



С.Н. ПОЛЕВОЙ
В.Д. ЕВДОКИМОВ

Упрочнение металлов

Серия
справочников
для рабочих



С. Н. ПОЛЕВОЙ
В. Д. ЕВДОКИМОВ

Упрочнение металлов

СПРАВОЧНИК



МОСКВА
« МАШИНОСТРОЕНИЕ »
1986



ББК 34.65
П49
УДК 621.787.669 (035)

Рецензент лауреат Государственной премии СССР
д-р техн. наук **В. Н. Лозовский**

Полевой С. Н., Евдокимов В. Д.

П49 Упрочнение металлов: Справочник. — М.: Машиностроение, 1986. 320 с., ил. — (Серия справочников для рабочих).

В пер. 1 р. 30 к.

Изложены сведения о современных методах упрочнения металлов: механических, термических, физико-химических, а также об областях их применения. Даны рекомендации по рациональному выбору наиболее эффективного метода и режимов упрочнения металлов с учетом экономии материалов, энергетических и трудовых ресурсов. Приведены примеры реализации методов упрочнения конкретных деталей и инструмента.

Для рабочих машиностроительных предприятий, может быть полезен учащимся ПТУ.

П $\frac{2704070000-273}{038(01)-86}$ 273—86

ББК 34.65
6П4

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Глава 1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ	5
Глава 2. УПРОЧНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИМИ И КРИОГЕННЫМИ МЕТОДАМИ	9
Упрочнение термическими методами	9
Упрочнение криогенными методами	72
Глава 3. УПРОЧНЕНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	85
Насыщение соединениями углерода	85
Насыщение соединениями азота	114
Насыщение соединениями бора	136
Насыщение соединениями хрома	155
Насыщение сложными соединениями ванадия, титана, циркония, вольфрама, ниобия, серы, алюминия, кремния	164
Обработка инструмента из быстрорежущей стали в атмосфере пара	183
Интенсификация процессов диффузионного насыщения	184
Глава 4. УПРОЧНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИМИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	188
Упрочнение методами электролитического осаждения и растворения	188
Упрочнение методами химического осаждения из растворов	212
Упрочнение методами лазерного воздействия	231
Упрочнение методами воздействия магнитным полем	239
Упрочнение методами наплавки легирующими металлами	244
Упрочнение методами электроискровой обработки	259
Упрочнение методами ионно-плазменной обработки	268
Глава 5. УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ	278
Упрочнение методами поверхностного пластического деформирования без использования внешнего тепла	278
Упрочнение энергией взрыва	294
Упрочнение методами электромеханической пластической обработки	298
Список литературы	309
Предметный указатель	315
1*	3

ПРЕДИСЛОВИЕ

В справочник включены сведения о большинстве известных методов упрочняющей обработки металлов. Проанализированы многочисленные способы и процессы, выбраны наиболее эффективные и доступные для практического использования. Рекомендации приведены в виде конкретных режимов, составов, описаний, процессов. В случаях, где понимание процесса может быть затруднено, для лучшего восприятия технологии приведено краткое описание сущности физического или химического явления. В отдельных случаях приведены простейшие формулы для расчета параметров технологического режима, показан графиками характер изменения свойств обрабатываемого металла. При использовании изобретений приведены выдержки из их описаний, что позволит, при необходимости, воспользоваться авторской консультацией.

Справочник рассчитан на рабочих, непосредственно осуществляющих процессы упрочнения. Он может оказаться полезным заводским технологам при разработке технологической документации. Систематизация сведений и их содержание позволяют надеяться, что справочник будет полезен учащимся ПТУ.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Известные методы упрочнения условно можно разделить на шесть основных классов упрочнения (таблица): 1 класс — с образованием пленки на поверхности; 2 — с изменением химического состава поверхностного слоя; 3 — с изменением структуры поверхностного слоя; 4 — с изменением энергетического запаса поверхностного слоя; 5 — с изменением шероховатости поверхностного слоя; 6 — с изменением структур по всему объему металла.

Классы разделены на методы и процессы. Процессы могут выполняться при наличии или сочетании следующих внешних условий: в газовой среде; в жидкости; в пасте; без использования или с использованием теплоты при нормальном, повышенном или высоком давлении; в низком, среднем или глубоком вакууме; в атмосфере водяного, водогазового или ионного пара; в контролируемых атмосферах экзогаза или эндогаза; в электропроводящей или диэлектрической среде; в среде с поверхностно-активными или абразивными свойствами; в магнитном, электрическом, гравитационном или термическом поле. Внешние условия характеризуют специфические особенности технологического процесса, при которых осуществляется данный метод упрочнения. Сочетание условий открывает перспективу дальнейшего развития методов упрочнения металлов и повышения их эффективности.

Любой экономически обоснованный метод упрочнения требует проверки типовой технологии в конкретных условиях для каждого вида упрочняемого изделия. Применяемость метода упрочнения металла определяют по основным факторам, характеризующим внешние и внутренние условия эксплуатации упрочненных изделий и технико-экономические возможности использования метода в сложившихся условиях и в перспективном периоде. В каж-

Классификация методов упрочнения металла

Класс и метод	Процесс
Упрочнение созданием пленки на поверхности Осаждение химической реакцией Электролитическое осаждение Осаждение твердых осадков из паров Напыление износостойких соединений	Окислирование, сульфидирование, фосфатирование, нанесение упрочняющего смазочного материала, осаждение из газовой фазы Хромирование, никелирование, электрофорез, никельфосфатирование, борирование, борохромирование, хромофосфатирование Электроискровое легирование, термическое испарение тугоплавких соединений, катодно-ионная бомбардировка, прямое электронно-лучевое испарение, реактивное электронно-лучевое испарение, электрохимическое испарение Плазменное напыление порошковых материалов, детонационное напыление, электродуговое напыление, лазерное напыление
Упрочнение изменением химического состава поверхностного слоя металла Диффузионное насыщение	Нитроокислирование, нитроцементация, карбонитрация, карбохромирование, азотирование, хромоазотирование, хромотитанирование, хромосилицирование, хромоалитирование, борохромирование, борирование, цианирование, сульфацианирование, диффузионное хромирование, диффузионное никелирование, циркосилицирование, бороциркование, легирование маломощными пучками ионов
Упрочнение изменением структуры поверхностного слоя Физико-термическая обработка Электрофизическая обработка	Лазерная закалка, плазменная закалка Электроимпульсная обработка, электроконтактная обработка, электроэрозийная обработка, ультразвуковая обработка

Продолжение таблицы

Класс и метод	Процесс
Механическая обработка	Упрочнение вибрацией, фрикционно-упрочняющая обработка, дробеструйная обработка, обработка взрывом, термомеханическая обработка, поперечно-клиновое прокатка, прокатывание, волочение, редуцирование
Наплавка легированным металлом	Газовым пламенем, электрической дугой, плазмой, лазерным лучом, пучком ионов
Упрочнение изменением энергетического запаса поверхностного слоя	
Обработка в магнитном поле	Электроферромагнитная обработка, обработка в импульсном магнитном поле
Упрочнение изменением шероховатости поверхности	
Электрохимическое полирование	Окунанием в ванну в струе электролита
Обработка резанием	Шлифование, суперфиниширование, хонингование
Пластическое деформирование	Накатка, раскатка
Упрочнение изменением структуры всего объема металла	
Термическая обработка при положительных температурах	Закалка светлая, обычная, несквозная, сквозная, изотермическая, с самоотпуском, с подстуживанием, с непрерывным охлаждением, ступенчатая. Отпуск высокий, низкий
Криогенная обработка	Закалка с обработкой холодом с температуры закалки или охлаждение с нормальной температуры, термоциклирование

дом конкретном случае для каждого конкретного вида упрочняемого изделия на выбор и принятие обоснованного решения о целесообразности использования метода упрочнения влияет своя, специфическая группа факторов. Наиболее полная оценка приемлемости метода для данных условий возможна, когда рассматривается наиболее полное число факторов и связи между ними. С этой целью рационально изучить и классифицировать основные факторы, действующие в данных конкретных условиях.

Внедрение технологии упрочняющей обработки требует проведения большого комплекса подготовительных работ. В их числе — определение номенклатуры изделий, деталей и поверхностей, упрочнение которых целесообразно; выбор наиболее эффективного, экономически оптимального метода упрочнения, его экспериментальная проверка в лабораторных условиях; подготовка материальной базы — приобретение и изготовление стандартизованного и нестандартизованного оборудования, различных приборов и инструментов; подготовка производственных помещений и коммуникаций; накопление основных и вспомогательных материалов; обучение кадров, комплектование специализированных служб и производств, разработка технической документации и др.

УПРОЧНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИМИ И КРИОГЕННЫМИ МЕТОДАМИ

УПРОЧНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Отжиг. Для получения структур, близких к равновесному состоянию, применяют отжиг — нагрев стали до заданной температуры, выдержку при ней и последующее медленное охлаждение. В процессе отжига улучшаются механические свойства и выравнивается химический состав стали; улучшается обрабатываемость ее на станках; уменьшаются остаточные деформации; осуществляется подготовка структуры стали для последующей термической обработки, изменяются свойства наклепанного металла. По этим причинам отжиг как технологическая операция включается составной промежуточной частью в большинство комплексных технологических процессов упрочняющей обработки. Проведение операции отжига способствует достижению заданных конечных свойств стали, упрочняемой другими методами обработки.

Различают следующие виды отжига: рекристаллизационный, полный, неполный; отжиг на зернистый перлит (сфероидизация); изотермический; низкотемпературный; диффузионный (гомогенизация).

Рекристаллизационный отжиг применяют для снятия наклепа холоднодеформированного металла. Нагрев при рекристаллизационном отжиге сталей марок У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13, Х, 9ХС, ХВГ, 7ХЗ, ХВ4, 6ХВ2С осуществляют при 670—700 °С; марок Х12, Х12М, Х12Ф1 — 730—750 °С, а марок Р18, Р9 — 760—780 °С. При температуре рекристаллизации детали выдерживают не более одного часа.

Полный отжиг применяют для уменьшения твердости, снятия напряжений и исправления структуры послековки в случае неправильного нагрева или охлаждения технологической оснастки, изготовленной из доэвтектоидных и эвтектоидных сталей. В результате полного отжига про-

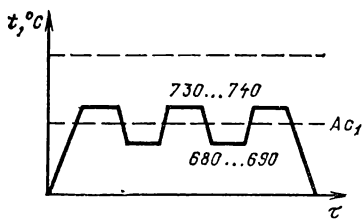


Рис. 1. Схема циклического режима отжига

исходит полная перекристаллизация металла, структура получается мелкозернистая с равномерным распределением перлита и феррита. При полном отжиге сталь нагревают выше A_{c3} (см. табл. 25) на 20—30 °C, выдерживают до полного прогрева, после чего медленно

охлаждают до 600 °C, а затем с любой скоростью.

Неполному отжигу подвергают доэвтектоидную сталь, прошедшую правильный режимковки. При этом сталь нагревают до температуры, находящейся между A_{c1} и A_{c3} , и выдерживают до полного прогрева. Режим охлаждения такой же, как при полном отжиге.

Отжиг на зернистый перлит применяют для снижения твердости, улучшения обрабатываемости и подготовки структуры стали к последующей закалке. При таком отжиге проводят нагрев выше температуры A_{c1} на 10—25 °C и выдерживают до полного прогрева. Отжиг на зернистый перлит можно проводить по циклическому режиму (рис. 1). Отжигаемые изделия несколько раз попеременно выдерживают при температуре на 15—20 °C выше и ниже A_{c1} , после чего охлаждают с печью до 550 °C.

Изотермический отжиг применяют для обработки легированных и высокоуглеродистых сталей. Назначение его такое же, как и полного отжига. При изотермическом отжиге доэвтектоидную сталь нагревают до температуры выше A_{c3} на 30—50 °C, а заэвтектоидную сталь на 30—50 °C выше A_{c1} . Выдерживают до полного прогрева, затем быстро охлаждают до температуры несколько ниже A_{c1} , выдерживают при этой температуре, после чего охлаждают с любой скоростью. Для проведения изотермического отжига требуется меньше времени, чем для полного отжига. Для быстрого охлаждения изделие переносят в печь с меньшей температурой или охлаждают при открытой дверце с последующим выравниванием температуры. Режимы изотермического отжига приведены в табл. 1.

Низкотемпературный отжиг применяют для снижения твердости и снятия внутренних напряжений в технологической оснастке из заэвтектоидных сталей. Изделие

1. Режимы изотермического отжига инструментальных сталей

Сталь	Температура, °C		Твердость HB
	нагрева	изотермической выдержки	
У9, У10	740—750	600—650	170—197
У11, У12, У13	750—780	620—660	187—207
Х, ХВГ	770—800	670—720	190—228
9ХС, Х12М, Х12Ф1	850—870	720—750	217—255
Р18, Р9	830—850	720—750	217—255

нагревают несколько ниже A_{c1} (примерно до 680 °C, т. е. до температуры отпуска), выдерживают до полного прогрева, затем охлаждают вместе с печью или на воздухе. Процесс называют отжигом условно.

Диффузионный отжиг применяют для крупных литых кубиков из штамповых сталей. При этом изделия нагревают выше A_{c3} на 150—250 °C и после длительной выдержки медленно охлаждают с печью. Цель процесса — устранение химической неоднородности и грубой структуры литых сталей. После диффузионного отжига необходим полный отжиг для устранения структурных изменений, вызванных перегревом.

Для выбора режимов отжига различных инструментальных сталей следует использовать данные табл. 25. Скорость нагрева при отжиге должна быть такой, при которой обеспечивается равномерный нагрев всей садки, и для углеродистой и легированной стали принимается равной 100 °C/ч; для высокохромистой и быстрорежущей стали 50 °C/ч.

Выдержка при отжиге составляет 1—2 ч в камерных печах и 2—4 ч в шахтных неventилируемых печах (из-за замедленного прогрева центральной части партии заготовок). Время выдержки в камерных печах отсчитывают от момента достижения температуры печи, равной температуре окончательного нагрева, определяемой по показаниям приборов. До этого момента происходит выравнивание температуры по всему объему садки.

Охлаждение после отжига проводят по одной из двух технологических схем:

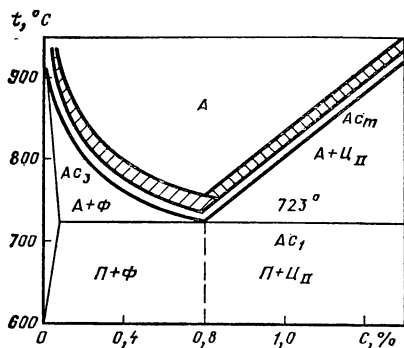


Рис. 2. Диаграмма температур нагрева при нормализации

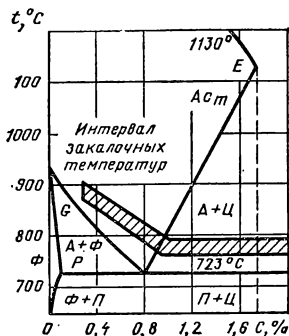


Рис. 3. Диаграмма закалочных температур для углеродистых сталей

I схема — непрерывное охлаждение с печью до 500°C со скоростью $50^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ для углеродистых сталей и $25\text{—}30^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ для легированных и быстрорежущих; дальнейшее охлаждение проводят на воздухе, и скорость его не регламентируется. Отжиг с непрерывным охлаждением проводят в камерных и шахтных печах при общей массе партии заготовок более 300 кг ;

II схема — охлаждение с изотермической выдержкой, дальнейшее охлаждение до 500°C с печью, а затем на воздухе. Охлаждение от температуры отжига до температуры изотермической выдержки при этой схеме не регламентируется. Оно проводится при выключенной печи. Дверцы открывать запрещается во избежание неравномерного охлаждения заготовок. Время на охлаждение с изотермической выдержкой составляет $1\text{—}2\text{ ч}$ для углеродистой стали, $3\text{—}4\text{ ч}$ для легированной, $3\text{—}8\text{ ч}$ для быстрорежущей. Изотермический отжиг следует проводить в камерных или шахтных печах с программным регулированием температуры.

Детали из сталей У7, У7А, У8, У8А, У10, У10А, У12, У12А сечением до 8 мм^2 (метчики сечением до 12 мм^2) охлаждают в расплаве солей или щелочей, а сечением более 8 мм^2 — в $5\text{—}10\%$ водном растворе поваренной соли или щелочи до температур, указанных в табл. 1. Отжиг инструмента из быстрорежущей стали в карбюризаторе или в чистом древесном угле не разрешается,

2. Температуры нагрева при нормализации сталей

Содержание углерода, %	Температура нормализации, °C	Содержание углерода, %	Температура нормализации, °C
0,1	От 920 до 940	0,8	От 775 до 790
0,2	» 890 » 910	1,0	» 830 » 850
0,4	» 850 » 870	1,2	» 900 » 920
0,6	» 800 » 820	1,4	» 950 » 970

так как при этом происходит поверхностное науглероживание, в результате чего в процессе последующей закалки оплавляются режущие кромки. Отжиг такого инструмента проводят в контролируемой атмосфере, в отработанном карбюризаторе либо в угле с добавкой 10—15 % кальцинированной соды.

Нормализация. Процесс нагрева стали на 30—50 °C выше A_{c3} , выдержку при этой температуре и последующее охлаждение на спокойном воздухе называют нормализацией (рис. 2). Нормализацию применяют, в основном, для снятия внутренних напряжений и улучшения обрабатываемости стали. Практически температуру нормализации углеродистых сталей можно выдерживать в пределах, указанных в табл. 2.

Закалка. Операцию, при которой доэвтектоидную сталь нагревают на 20—30 °C выше A_{c3} , а эвтектоидную и заэвтектоидную стали на 20—30 °C выше A_{c1} и после выдержки при этой температуре быстро охлаждают в воде, масле или на воздухе в зависимости от состава стали, называют закалкой (рис. 3).

В результате закалки получают неравномерные структуры, так как быстрое охлаждение препятствует фазовым превращениям. После закалки сталь становится твердой и хрупкой. Структура закаленной стали состоит из мартенсита, нерастворившихся карбидов и остаточного аустенита. Заэвтектоидную сталь не следует нагревать до закалки выше A_{cm} , так как при этой температуре происходит перегрев и снижается качество технологической оснастки. Выбор способа закалки зависит от состава стали, требуемых свойств и сложности изделий. Различают следующие виды закалки: полная, неполная, с непрерывным охлаждением, изотермическая, ступенчатая, с подстужи-

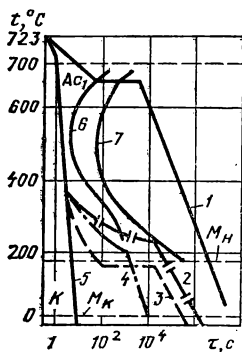


Рис. 4. Кривые охлаждения при различных способах термической обработки стали:

1 — изотермический отпуск; 2 — изотермическая закалка; 3 и 4 — ступенчатая закалка при температуре соответственно ниже и выше мартенситной точки; 5 — обычная закалка; 6 и 7 — соответственно начало и конец превращения

ванием, в двух жидких средах, с ограниченным пребыванием в охлаждающей среде, с самоотпуском, сквозная, несквозная, обычная, чистая, светлая, с обработкой холодом.

При *полной закалке* температура нагрева должна быть выше температуры нагрева должная быть выше критических точек A_{c3} или A_{cm} , при неполной должна находиться в интервале закалочных температур. Если закалку проводят со скоростью охлаждения выше критической, то структура стали после охлаждения состоит из мартенсита и остаточного аустенита, а если проводят со скоростью охлаждения ниже критической, то из ферритокарбидной смеси различной степени дисперсности (сорбит и троостит закалки).

Закалку с непрерывным охлаждением проводят в воде, масле и других средах, причем температура среды ниже мартенситной точки M_n .

Режимы закалки и отпуска конструкционных сталей приведены в табл. 3; коррозионно-, кислото- и окалиностойких — в табл. 4; теплостойких — в табл. 5; пружинных — в табл. 6; цементуемых — в табл. 7.

При *изотермической закалке* (рис. 4) детали нагревают на $10\text{--}20^\circ\text{C}$ выше обычной температуры закалки, охлаждают в масле, в расплавленных солях или щелочах, имеющих температуру выше мартенситной точки M_n , с выдержкой, достаточной для полного распада аустенита. В результате изотермической закалки уменьшаются напряжение и деформация, при этом резко снижаются трещинообразование и коробление. Ее применяют при изготовлении деталей сложной формы, крупных размеров и большой длины.

Режимы изотермической закалки конструкционной стали некоторых марок приведены в табл. 8.

При *ступенчатой закалке* охлаждение от высокой температуры ведут в горячей среде (ванне) при температуре

3. Режимы термической обработки конструкционных сталей

Марка стали	Закалка			Отпуск	
	Температура нагрева, °C		Охлаждающая среда	Температура, °C	Охлаждающая среда
	Первая закалка или нормализация	Вторая закалка			

Углеродистая

30	870	—	Вода	250	Воздух
40	840	—			
45	830	—		450 350 250 160	
50	810	—		500	

Хромистая

15X, 15XA 20X	880	770—820	Вода или масло	180	Воздух или масло
30X	860	—	Масло	500	Вода или масло
30ХРА	900	860	Воздух	200	Воздух
35X 38XA 40X	860	—	Масло	500 550 500	Вода или масло
45X	840			520	
50X	830			520	

Марганцовистая

15Г	880	—	Воздух	—	—
20Г					
25Г	860	—	Вода или воздух	560	Воздух
30Г					
35Г					
40Г					
45Г	850	—		600	
50Г					

Продолжение табл. 3

Марка стали	Закалка			Отпуск	
	Температура нагрева, °C		Охлаждающая среда	Температура, °C	Охлаждающая среда
	Первая закалка или нормализация	Вторая закалка			
10Г2	920	—	Воздух	—	—
30Г2	880	—	Масло или воздух	600	Воздух
35Г2	870	—		650	
40Г2	860	—			
45Г2	850	—			
50Г2	840	—			

Хромомарганцовая

18ХГ	880	—	Масло (при 950 °C — воздух)	200	Воздух или масло
18ХГТ	880—950	870			Воздух
20ХГР	880	—			
27ХГР	870	—		550 630 200	Вода или масло
25ХГТ	880—950	850			Воздух
30ХГТ					
40ХГТР	840	—	—	200	Воздух
35ХГФ	870	—			
25ХГМ	860	—			

Хромокремниевая

33ХС	920	—	Вода или масло	630	Вода или масло
38ХС	900	—	Масло	630	Масло
40ХС				540	

Изотермическая закалка при 900—910 °C в селитре при 330—350 °C, затем охлаждение на воздухе

Хромолибденовая и хромолибденованадиевая

15ХМ	880	—	Воздух	650	Воздух
20ХМ			Вода или масло	500	

Продолжение табл. 3

Марка стали	Закалка			Отпуск	
	Температура нагрева, °С		Охлаждающая среда	Температура, °С	Охлаждающая среда
	Первая закалка или нормализация	Вторая закалка			
30ХМ 30ХМА	880	—	Масло	540	Вода или масло
35ХМ	850	—		560	Воздух
38ХМ		—		580	
30ХЗМФ	870	—		620	Вода или масло
40ХМФА	860	—		580	Масло
Хромованадиевая					
15ХФ	880	760—810	Вода или масло	180	Воздух или масло
40ХФА		—	Масло	650	Вода или масло
Никельмолибденовая					
15Н2М 20Н2М	860	770—820	Масло	180	Воздух
20ХН		—	Вода или масло	180	Вода или масло
40ХН	820	760—810		500	
45ХН		—		530	
50ХН		—			
Хромоникелевая и хромоникелевая с бором					
20ХРН	930—950	780—830	Масло	200	Воздух
12ХН2 12ХН3Л	860	760—810		180	или масло
20ХН3А	820	—		500	Вода или масло
12Х2Н4А 20Х2Н4А	860	760—800 780	Масло	180	Воздух или масло
30ХН3А	820	—		530	Вода или масло
Хромокремнемарганцовая и хромокремнемарганцовоникелевая					
20ХГСА 25ХГСА	880	—	Масло	500	Вода или масло
30ХГС				480	
30ХГСА				540	

Продолжение табл. 3

Марка стали	Закалка			Отпуск		
	Температура нагрева, °С		Охлаждающая среда	Температура, °С	Охлаждающая среда	
	Первая закалка или нормализация	Вторая закалка				
Изотермическая закалка при 880 °С в смеси калиевой и натриевой селитры, имеющей температуру 280—310 °С, охлаждение на воздухе						
35ХГСА	950 700	890	Воздух	230	Воздух или масло	
30ХГСН2А	900	—	Масло	260		
Хромомарганцовоникелевая и хромомарганцовоникелевая с титаном и бором						
15ХГН2ТА	960	840	Масло	180	Воздух или масло	
20ХГНР	930—950	780—830		200	Масло	
20ХГНТР	—	850		570	Вода или масло	
38ХГН	850	—				
Хромоникельмолибденовая						
14Х2Н3МА	880	770	Масло	180	Воздух	
20ХН2М	860	780		200	Вода или масло	
30ХН2МА		—		530	Воздух	
38Х2Н2МА	870	—		580	Воздух или масло	
40ХН2МА	850	—		620	Вода	
40Х2Н2МА	870	—		600	или масло	
38ХН3МА	850	—		590	Воздух	
18Х2Н4МА	950	860		200	Воздух или масло	
25Х2Н4МА	850	—		560	Масло	
Хромоникельмолибденовая и хромоникельванадиевая						
30ХН2МАФА	860	—		Масло	680	Воздух
36Х2Н2МФА	850	—	600			
38ХН3МФА		—	460 630		Масло Вода	
45ХН2МФА	860	—				
20ХН4ФА	850	—	630			
Хромоалюминиевая и хромоалюминиевая с молибденом						
38Х2Ю	930	—	Вода	630	Вода	
38Х2МЮА	940	—	или масло	640	или масло	

4. Режимы термической обработки коррозионно-стойких, кислотостойких и окалиностойких сталей

Сталь	Закалка		Температура отпуска (охлаждение на воздухе), °C	Твердость HRC
	Температура нагрева, °C	Охлаждающая среда		
12X13 20X13	950—1050	Масло	500—550 550—600	— —
30X13 40X13	1000—1050		200—225 200—300 550—600	48—50 50—55 —
95X18 14X17H2	1000—1075		200—225 275—300 250—300 540—560	57—60 52—55 36—42 30—35
17X18H9	1000—1050 1050—1100	Воздух	— —	— —
12X18H9T	1100—1150	Вода	—	18
06X18H11 08X18H12T 10X23H18	1050—1100		— — —	
36X18H25C2		Воздух	—	
45X14H14B2M 40X9C2 40X10C2M	1150—1200 1000—1050 1100—1150	Вода Масло Вода	— 800—830 750—780	— — —

5. Режимы термической обработки теплостойких сталей

Сталь	Температура нагрева, °C	Охлаждающая среда	Температура отпуска или старения, °C
12MX	Нормализация 910—930	Воздух	670—690
12X1MФ	Нормализация 960—980		700—750
20X1M1Ф1TP	Закалка 970—990	Масло	680—720
20X1M1Ф1БР	Нормализация 1030—1050	Воздух	Ступенчатый отпуск 600 — 3 ч; 700—720 — 6 ч

Продолжение табл. 5

Сталь	Температура нагрева, °C	Охлаждающая среда	Температура отпуска или старения, °C
25X1МФ	Закалка: вариант I — 880—900 вариант II — 930—950	Масло	640—660 620—660
25X2М1Ф	Нормализация: вариант I — 1030—1050 вариант II — 950—970	Воздух	680—720
18X3МВ	Закалка 950—970	Масло	660—680
20X3МВФ	Закалка 1030—1060	Масло	660—700
15X5 15X5М 15X5ВФ 12X8ВФ	Отжиг 840—860	С печью	—

6. Режимы термической обработки пружинных сталей общего назначения

Сталь	Температура заковки, °C	Охлаждающая среда для заковки	Температура отпуска, °C
65 70	840 830	Масло	480
75 85	820		
У9А У10А, У12А	760—790 770—810	Масло (790—810) или вода (760—770)	300—420
60Г	840	Масло	480
65Г, 70Г	830		
55ГС 50С2 55С2, 55С2А	870	Масло или вода	460
60С2, 60С2А		Масло	420

Продолжение табл. 6

Сталь	Температура закали, °С	Охлаждающая среда для закали	Температура отпуска, °С
70C3A	860	Масло	460
50XΦA, 50XΓΦA	850		520
60C2XΦA			410
65C2BA			420
60C2H2A 70C2XA	880 870		

7. Режимы термической обработки конструкционных цементуемых сталей

Сталь	Операция	Температура нагрева, °С	Сталь	Операция	Температура нагрева, °С
10	Цементация	900—920	18ХГ	Цементация	880—900
	Закалка	780—800		Закалка	800—820
	Отпуск	180—200		Отпуск	180—200
20	Цементация	900—920	15ХФ	Цементация	920—940
	Закалка	780—800		Закалка	850—860
	Отпуск	180—200		Отпуск	180—200
15Г	Цементация	880—900	20ХГР	Цементация	900—930
	Закалка	780—800		Закалка	830—850
	Отпуск	180—200		Отпуск	180—200
20Г	Цементация	880—900	18ХГТ	Цементация	900—920
	Закалка	780—800		Закалка	800—820
	Отпуск	180—200		Отпуск	180—200
15Х	Цементация	900—920	18Х2Н4МА	Цементация	900—920
	Закалка	780—820		Закалка	850—870
	Отпуск	150—180		Отпуск	180—200

Продолжение табл. 7

Сталь	Операция	Температура нагрева, °C	Сталь	Операция	Температура нагрева, °C
12ХН2	Цементация	900—920	12Х2Н4А	Цементация	900—920
	Закалка	790—800		Закалка	780—800
	Отпуск	180—200		Отпуск	180—200
12ХН3А	Цементация	900—920	20Х2Н4А	Цементация	920—930
	Закалка	790—800		Закалка	780—800
	Отпуск	180—200		Отпуск	150—160

8. Режимы изотермической закалки некоторых конструкционных сталей

Сталь	Максимальная толщина или диаметр изделия, мм	Температура нагрева, °C	Температура среды закалочной ванны, °C	Выдержка в ванне, мин
25ХГН2ТА	Для изделий типа труб и пластин — 15	870—880	200—260	30—40
40Х2Н2МА	Для цилиндрических изделий — 30		315—325	20—30
38Х2Н2МА	Для изделий типа труб и пластин — 25 Для цилиндрических изделий — 30		300—325	30—40
30ХГСА	Не более 15	870—890	370—400 * 360—390	15—20
30ХГСН2А	80—100	890—910	280—320 270—300 240—280	60

* Чем больше сечение изделия, тем ниже температура закалочной ванны.

выше точки M_n до выравнивания температуры по всему сечению. Дальнейшее охлаждение проходит на воздухе. При этом происходит превращение аустенита в мартенсит. Ступенчатую закалку проводят двумя способами;

1) нагретое изделие охлаждают в горячей среде, температура которой на 20—30 °C выше температуры мартен-

9. Режимы ступенчатой закалки инструментальных сталей

Сталь	Температура закалки, °С	Температура изотермической выдержки в соляной ванне, °С	Твердость HRC
У7А	800—820	150—180	59—61
У8А, У9А	780—790		60—62
У10А, У12А	790—810		61—62
У13А	810—830		62—64
11ХФ	810—830		62—63
9ХС	870—880	160—200	62—64
ХВСГ	860—875		62—63
ХГС	860—870	160—180 160—200	61—63
ХВГ	830—850		
Х	845—855	160—180 250—300	61—64
6ХС	860—875		45—50
Р9	1280—1300	400—500 (250—350)	60—61
Р18	1240—1250		

Примечание. В скобках указаны температуры второй выдержки.

ситного превращения, а затем охлаждают на воздухе; после извлечения из горячей среды в период аустенитных превращений изделие можно править;

2) нагретое изделие охлаждают в горячей среде ниже температуры мартенситного превращения примерно на 160—190 °С, а затем на воздухе; при этом способе закалки править изделия невозможно из-за быстрого образования мартенсита, но по сравнению с обычной закалкой уменьшается брак из-за образования трещин и коробления.

На рис. 4 представлены некоторые кривые охлаждения, характеризующие различные способы термической обработки стали. Режимы ступенчатой закалки инструментальных сталей некоторых марок приведены в табл. 9.

Закалка с подстуживанием состоит в том, что перед погружением в охлаждающую среду изделие выдерживают на воздухе. Выдержку устанавливают опытным пу-

тем с таким расчетом, чтобы превращение аустенита не началось до погружения изделия в охлаждающую среду.

Во время *закалки в двух жидких средах* происходит быстрое охлаждение до температуры выше мартенситной точки и замедленное охлаждение ниже ее. Это достигается путем погружения изделия в воду и последующего перенесения его в масло (закалка «через воду в масло»). Время охлаждения в воде устанавливают для каждого вида деталей опытным путем.

Закалку с ограниченным пребыванием в охлаждающей среде и дальнейшим охлаждением на воздухе проводят с таким расчетом, чтобы температура изделия при извлечении его из охлаждающей ванны была ниже мартенситной точки.

Закалку с самоотпуском применяют в основном для ударного инструмента, изготовленного из углеродистой стали, твердость которого должна уменьшаться от рабочей части к хвостовику. Пребывание инструмента в охлаждающей среде ограничивают настолько, чтобы внутренняя часть сечения сохранила количество тепла, достаточное для отпуска наружных закалившихся слоев стали после извлечения инструмента из охлаждающей среды на воздух. На практике часто инструмент вторично погружают в охлаждающую среду, чтобы не допустить излишнего нагрева поверхности. При этом для оценки режима термического процесса руководствуются цветами побежалости (например, при закалке зубил) или временем, установленным опытным путем для каждого типоразмера инструмента. Закалку с самоотпуском проводят в такой последовательности: нагревают инструмент до температуры закалки, опускают рабочую часть в воду до потемнения, вынимают инструмент, быстро зачищают рабочую часть шлифовальной шкуркой или напильником. При появлении цвета побежалости, соответствующего заданной температуре отпуска, инструмент охлаждают в масле или воде.

При *сквозной закалке* изделие прокаливают насквозь. Оно имеет практически однородную структуру (мартенсит и остаточный аустенит) и одинаковые свойства по сечению. При *несквозной закалке* сечение имеет неоднородную структуру (неравномерное распределение продуктов распада аустенита выше точки M_n) и разные свойства.

Обычная закалка характеризуется наличием окислов на поверхности. Чистая закалка проводится при нагреве в печах с контролируемой атмосферой. В результате на поверхности изделий образуются пригары масла или цвета побежалости. Преимущество светлой закалки в расплавленных щелочах заключается в том, что деталь, прошедшая такой вид термообработки, имеет светлую поверхность, меньшее коробление и более высокую твердость.

Состав охлаждающей ванны выбирают в зависимости от требуемой рабочей температуры. Для закалки инструментальных сталей наиболее целесообразно применять смесь из 75 % едкого кали и 25 % едкого натра. Щелочь расплавляют в тигле из углеродистой стали. Коррозионно-стойкую сталь для тиглей применять не рекомендуется. Закаливающая способность ванны, работающей при температуре до 250 °С, повышается при перемешивании и зависит от количества введенной воды. Наибольшей охлаждающей способностью обладает смесь, содержащая 6—10 % еоды.

При светлой закалке в расплавленной щелочи выполняют такие операции: подогрев в расплавленной поваренной соли при температуре 800—840 °С; нагрев под закалку в ванне при температуре на 10—20 °С выше соответствующей температуры закалки (ванны, имеющие в составе хлористый барий, для светлой закалки применять нельзя, так как последний загрязняет щелочную ванну; целесообразнее использовать хлористый кальций); охлаждение в расплавленной щелочи до полного выравнивания температуры при ступенчатой закалке и до окончания превращения — при изотермической (время выдержки в щелочной ванне при ступенчатой закалке принимают равным 15 с на 1 мм сечения); промывка в воде, имеющей температуру 70—90 °С; промывка в проточной воде; окунание в 2—5 %-ный водный раствор нитрита натрия, предохраняющего от коррозии.

Детали с твердостью *HRC* 60 и выше не следует после закалки в щелочной ванне сразу промывать в горячей воде, так как это может привести к растрескиванию и значительному короблению. В этом случае детали необходимо охлаждать примерно до 100 °С на воздухе, а затем промывать в горячей воде. Детали, подвергаемые свет-

лой закалке, не должны иметь следов жира во избежание появления в этих местах темных пятен.

В результате такого метода термообработки можно повысить качество детали благодаря минимальной деформации, снизить трудоемкость процесса и сократить время на термообработку.

Закалку с последующей обработкой холодом применяют для более полного разложения аустенита. При этом закаленную деталь дополнительно охлаждают ниже 0°C . Закалку с обработкой холодом выполняют в такой последовательности: нагрев до температуры закалки, закалка, дополнительное охлаждение до температур ниже 0°C , отпуск.

Особенности закалки инструментов рассмотрены ниже. Определяя необходимость разложения остаточного аустенита, нужно учитывать, что при наличии в структуре стали более 25 % остаточного аустенита твердость стали заметно снижается, а износостойкость возрастает. Положительное влияние на износостойкость оказывают мелкозернистая структура, наличие остаточного аустенита и отсутствие нерастворенных карбидов. Для обеспечения высокой абразивной износостойкости хрупкая и твердая структура не должна иметь карбидов: в мягкой и пластичной карбиды должны быть высокой степени дисперсности и распределены по всей матрице. В последние годы все шире применяются быстрорежущие стали с 1,05—1,15 % С и до 2,7 % V. Эти стали подвергаются аустенизации при $1190\text{—}1210^{\circ}\text{C}$ и отпуску при $540\text{—}570^{\circ}\text{C}$ ($HRC\ 67\text{—}70$). Второй отпуск проводится при температуре на 30°C ниже, чем первый. Перед аустенизацией эффективен нагрев при 950°C в течение 30 мин. Для повышения качества быстрорежущей стали карбиды в ее структуре должны быть дисперсными и равномерно распределенными. Температура нагрева должна точно регулироваться на всех стадиях ТО.

Закалка кобальтовых сталей типа P9K5, P9K10, P12K8Ф2М3, P6K8Ф2М5 с температур ближе к верхнему пределу оптимальной температуры и выдержке при нагреве под закалку не менее 8 с/мм сечения обеспечивает высокие режущие свойства режущих инструментов, например, резцов и фрез. Инструменты, закаленные с пониженных температур на $15\text{—}20^{\circ}\text{C}$ ниже оптимальной тем-

пературы, имеют низкие режущие свойства. Уменьшение времени выдержки при оптимальной температуре до 4 с/мм приводит к резкому снижению вторичной твердости и стойкости инструмента.

Температуру нагрева под закалку выбирают в зависимости от формы, размеров, назначения и условий нагружения детали. Температура нагрева зависит от состава стали, а также от положения критических точек A_{c1} и A_{c3} на диаграмме интервалов закалочных температур железоуглеродистых сплавов.

Нагрев под закалку проводят преимущественно в электропечах — ваннах в расплавах солей. Реже применяют печи сопротивления, газовые печи или установки ТВЧ. Данные для установления режима нагрева стальных изделий на установках ТВЧ приведены в табл. 10—12.

Для безопасной работы соляных ванн (устранения разбрызгивания расплавленных солей при загрузке влажных или холодных деталей) применяют ступенчатый нагрев под закалку. Инструмент из углеродистой и легированной

10. Глубина проникновения электрического тока в сталь в зависимости от частоты тока

Частота тока, Гц	Глубина проникновения (мм) при температуре, °C	
	15	800
50	10,0—5,0	70,8
500	3,0—1,5	22,0
2 500	1,5—0,7	10,0
10 000	0,70—0,35	5,0
50 000	0,30—0,15	2,2
250 000	0,15—0,07	1,0

11. Рекомендуемая частота электрического тока (Гц) для нагрева под закалку на заданную глубину

Частота тока	Глубина закаливания, мм						
	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	10,0
Наивысшая	250 000	100 000	60 000	30 000	15 000	8000	2500
Наинизшая	15 000	7 000	4 000	1 500	1 000	500	150
Оптимальная	60 000	25 000	15 000	7 000	4 000	1500	500

**12. Температура нагрева ТВЧ некоторых предварительно
отожженных нормализованных и улучшенных сталей
в зависимости от времени аустенизации**

Сталь	Температура нагрева (°C) при суммарном времени аустенизации, с		
	10	3	1
35	880—900	900—940	940—980
	860—880	880—920	920—960
	840—860	860—900	900—940
40	860—880	880—920	920—960
	840—860	860—900	900—940
	820—840	840—880	880—920
45, 50	850—870	870—910	910—950
	830—850	850—890	890—930
	810—830	830—870	870—910
45Г2, 50Г	840—860	860—900	880—920
	820—840	830—870	860—900
	800—820	810—850	840—880
65Г	820—840	840—880	860—900
	800—820	810—850	850—890
	790—820	790—830	830—870
40Х, 45Х 40ХНМ	880—920	920—960	940—980
	840—880	860—900	880—920
40ХН, 45ХН	860—880	900—940	920—960
	820—840	840—880	860—900
40ХС, 30ХГС	920—940	940—980	960—1000
	880—900	920—960	940—980
ШХ15, ШХ12 9Х ШХ6, ШХ9	890—930	920—960	940—980
	850—870	880—920	900—940
	880—920	900—940	920—960
	840—860	860—900	880—920
У8, У9, У10, У11, У12	780—800	820—860	840—880
	760—780	800—840	820—860
ХВГ	860—880	840—880	860—900
	820—840	820—860	840—880

13. Отношение продолжительностей предварительного подогрева и окончательного нагрева стали под закалку

Группа стали	Первый подогрев		Второй подогрев	
	Температура, °С	Отношение	Температура, °С	Отношение
Углеродистая и легированная	400—500	1 : 1	—	—
Высокохромистая и быстрорежущая	400—500	2 : 1	840—860	2 : 1
Быстрорежущая	400—500	2 : 1	1040—1060	1 : 1

стали подогревают один раз для подсушивания и сокращения времени окончательного нагрева; инструмент из быстрорежущей стали подогревают дважды: первый подогрев проводят для подсушивания инструмента, второй — для предотвращения его деформации в процессе заковки.

Для крупногабаритного сложнофасонного инструмента применяют третий подогрев (при 1050 °С), после которого сокращается продолжительность окончательного нагрева при заковке, а следовательно, уменьшается обезуглероживание. Первый подогрев при заковке сталей Р12, Р18, Р18Ф2, Р18К5Ф2, Р14Ф4, Р10К5Ф5, Р9К5, Р9К10, Р6М3, У7, У7А, У8, У8А, У10, У10А, У12, У12А, Х12М, ХВГ, 9ХС проводят до температуры 400—500 °С, второй подогрев при заковке сталей Р12, Р18, Р18Ф2, Р14Ф2, Р10К5Ф5, Р9К5, Р9К10, Р6М3 — до 840—860 °С, а сталей Х12Ф1, Х12М, — до 800—820 °С.

Данные для расчета времени нагрева инструмента под закалку приведены в табл. 13—17, время прогрева заготовок в пламенной печи — в табл. 18.

Для повышения стабильности режущих свойств и износостойкости инструмента, изготовленного из вольфрамомолибденовых сталей типа Р6М5, может быть использован следующий способ термической обработки быстрорежущей стали [а. с. 628178 (СССР)].

В целях повышения стабильности режущих свойств и износостойкости инструмент подвергают дополнительному высокотемпературному подогреву и последующему подсуживанию перед окончательной термообработкой. Сначала инструмент подогревают один или 2 раза при температурах ниже температуры окончательного нагрева,

14. Зависимость времени нагрева в различных средах от отношения объема заготовки V (см³) к ее поверхности F , см²

Среда	Температура, °C	Отношение	Время нагрева, мин
Ванна из поваренной соли	850	0,50	4
		1,00	15
		1,50	32
	950	0,50	3
		1,00	11
		1,50	22
	1050	0,50	2
		1,00	7
		1,50	14
Масляная ванна	100	0,50	14
		1,00	23
		1,50	32
	200	0,50	11
		1,00	18
		1,50	24
	300	0,50	8
		1,00	14
		1,50	19
Ванна из смеси солей NaNO ₃ и KNO ₃ (1 1)	300	0,50	3,5
		1,00	8
		1,50	14
	450	0,50	2,5
		1,00	6
		1,50	10
	600	0,50	1,4
		1,00	4
		1,50	7

Продолжение табл. 14

Среда	Температура, °C	Отношение	Время нагрева, мин
Свинцовая ванна	650—850	0,25	0,6—0,8
		0,50	1,2—1,6
		1,00	3—4
		1,50	5,1—6,8
		2,00	7,8—11,0
		2,50	11—15
Электрическая печь	500	0,12	25
		0,08	45
	750	0,12	20
		0,08	26
	900	0,12	15
		0,08	22

15. Продолжительность (мин) подогрева и окончательного нагрева инструментов и технологической оснастки под закалку

Инструмент	Подогрев до температуры, °C		Окончательный нагрев под закалку
	550—600	800—850	
Метчики, развертки, сверла, круглые протяжки и другой стержневой инструмент	$\tau = bD$	$\tau = cD$	$\tau = aD$
Фрезы, насадные развертки и зенкеры, у которых $\frac{D-d}{2} < h$. Круглые, а также накатные плашки и фрезы, у которых $\frac{D-d}{2} < h$	$\tau = b \frac{D-d}{2}$	$\tau = c \frac{D-d}{2}$	$\tau = a \frac{D-d}{2}$
Круглые протяжки из легированных сталей, нагреваемые в электрической печи	$\tau = b(d + 4)$	—	$\tau = d + 4$

Продолжение табл. 15

Инструмент	Подогрев до температуры, °С		Окончательный нагрев под закалку
	550—600	800—850	
Шпоночные протяжки	$\tau = b(h + 4)$	—	$\tau = h + 4$
Молотовые штампы и штампы для холодного деформирования стали	$\tau = bh$	$\tau = ch$	$\tau = ah$

Обозначения: D — диаметр режущей части инструмента, мм; d — диаметр отверстия инструмента, мм; h — высота и толщина, мм; a , b , c — коэффициенты (см. табл. 16).

16. Значения коэффициентов a , b , c (мм/мин) для расчета продолжительности нагрева инструментов под закалку

Материал инструмента	Коэффициент	Соляная ванна	Печь периодического действия
Углеродистая сталь	a	0,10—0,17	0,7—0,8
		0,30—0,35 (без подогрева)	1,2—1,5 (без подогрева)
Легированная сталь	b	0,30—0,40	1,4—2,5
		0,15—0,20	1,0—1,2
Высоколегированная сталь типа X12, X12M	a	0,30—0,40	1,4—2,5
	b	0,17—0,18	0,4—0,5
	c	0,30—0,40	1,4—2,5
Быстрорежущая сталь типа P18 и P9	a	0,30—0,35	0,8—1,1
		0,9—0,12	0,25—0,35

Примечание. Если ванна не соляная, а свинцовая, то коэффициент a для углеродистой стали составляет 0,1 (без подогрева).

затем подогревают в соляной ванне при температуре на 40—50 °С выше оптимальной температуры закалки, выдерживают при этой температуре 10—60 с (в зависимости от диаметра или толщины инструмента), переносят в соляную ванну с температурой 850—1050 °С, подстуживают в ней около 2 мин и после этого подвергают закалке и отпуску.

17. Зависимость продолжительности (мин) нагрева и выдержки от сечения при залке углеродистой стали

Размер прогреваемого сечения, мм	Пламенная печь		Соляная ванна		Размер прогреваемого сечения, мм	Пламенная печь		Соляная ванна	
	Нагрев	Выдержка	Нагрев	Выдержка		Нагрев	Выдержка	Нагрев	Выдержка
25	20	5	7	3	125	100	25	40	20
50	40	10	17	8	150	120	30	50	25
75	60	15	24	12	175	140	35	55	30
100	80	20	33	17	200	160	40	65	35

Примечания: 1. Для легированной стали продолжительность нагрева и выдержки должна быть увеличена на 25—40 %.

2. Температура печи должна быть на 10—30 °C выше заданной температуры заковки.

18. Время (мин) подогрева цилиндрических и квадратных заготовок в пламенной печи

Температура печи и заготовки, °C	Цилиндр	Квадрат	Цилиндр	Квадрат	Цилиндр	Квадрат	Цилиндр	Квадрат	Цилиндр			
	Диаметр цилиндра (сторона квадрата), мм											
	25		50		75		100		150	200	250	300
300	20	—	37	—	62	—	—	—	—	—	—	—
500	14	—	32	—	47	—	—	—	—	—	—	—
650	13	—	31	—	47	—	—	—	—	—	—	—
750	11	14	21	35	47	50	70	70	200	250	350	400
900	9	13	25	25	32	42	70	70	120	160	200	250
1000	—	—	25	—	35	—	60	—	90	120	180	200
1100	7	11	23	25	31	32	40	40	80	110	160	180
1200	—	—	20	—	30	—	40	—	70	100	120	150

Время выдержки при первом нагреве при различных диаметрах (толщине) инструмента приведено ниже.

Диаметр, мм	1—10	20—40	50—100
Время выдержки, с	10—30	35—45	50—60

Подобная термическая обработка приводит к гомогенизации аустенита, равномерной по величине зерна структуре и стабильным механическим и эксплуатационным свойствам инструмента.

Износостойкость инструмента при точении и фрезеровании труднообрабатываемых материалов повышается на 25—30 %.

Для предупреждения окисления и обезуглероживания, а также для уменьшения коробления и трещинообразования нагрев и охлаждение технологической оснастки, в том числе инструментов из углеродистой стали, проводят в соляных ваннах (исключение составляют отдельные виды специального инструмента, например, длинные протяжки, для которых нет стандартных электрических ванн необходимого размера). Во избежание обезуглероживания поверхности в процессе нагрева необходимо проверять

19. Скорость охлаждения стали в различных закаливающих средах

Закаливающая среда	Скорость охлаждения (°C/с) в интервале температур	
	650—550	300—200
Вода при температуре, °C:		
18	600	270
25	500	270
50	100	270
75	30	200
Мыльная вода	30	200
Эмульсия масла в воде	70	200
Вода, насыщенная углекислотой	150	200
10 %-ный водный раствор при 18 °C:		
едкого натра	1200	300
поваренной соли	1100	300
соды	800	270
5 %-ный раствор марганцевокислого калия	450	100
Керосин	160—180	40—60
Масло промышленное	120	25
Спокойный воздух	3	1
Сжатый воздух	30	10

химический состав солей, не применять соли, имеющие отклонения по составу от стандарта или ТУ, и периодически добавлять в ванну раскислители (буру, борную кислоту, фтористый магний).

Выбор среды для охлаждения зависит от марки стали, требуемой твердости, формы, размеров детали. По составу и свойствам все закалочные среды подразделяют на четыре группы: вода и водные растворы, масла, расплавленные соли и щелочи, воздух. Скорость охлаждения стали в различных средах приведена в табл. 19. Воду и водные растворы применяют при закалке деталей простой формы диаметром или толщиной от 8 до 12 мм из углеродистой стали. Температуру воды необходимо поддерживать примерно 18—25 °С. При температуре ниже 18 °С увеличивается скорость структурных превращений, что ведет к трещинообразованию. В случае повышения температуры воды выше 25 °С и загрязнения ее маслами и мылом резко снижается охлаждающая способность в интервале 550—650 °С, что приводит к образованию мелких пятен на поверхности закаленного инструмента. Детали сложной конфигурации из углеродистой стали охлаждают в двух средах: в воде до 250—300 °С, а затем в масле. Продолжительность выдержки в воде до перенесения в масло составляет 1—2 с на каждые 6 мм диаметра или толщины изделия. Переносить деталь из воды в масло следует быстро во избежание отпуска. Масла имеют более низкую скорость охлаждения, чем вода. Охлаждение в масле проводят в интервале температур от 18 °С до температуры на 40—50 °С ниже температуры вспышки масла.

Для сталей с устойчивым аустенитом (P18, P9, X12M, X12Φ1) охлаждающей средой служит воздух, подаваемый компрессором или вентилятором, либо спокойный воздух. При охлаждении воздухом, подаваемым компрессором или вентилятором, перед закалкой проверяют, нет ли в воздухопроводе воды, так как попадание ее на изделие может быть причиной появления трещин.

Критический диаметр некоторых марок инструментальных сталей при закалке в различных средах приведен в табл. 20. Назначение и рекомендуемые составы соляных ванн указаны в табл. 21.

Нагрев можно выполнять в «кипящем» слое. Для этого на под печи укладывают трубчатый змеевик для подачи

20. Критический диаметр (мм) инструментальных сталей при залке в различных средах

Сталь	Среда			
	Вода	Масло	Селитра	Воздух
У7, У7У У8, У8А У10, У10А У11, У11А У12, У12А У13, У13А	15—20 10—12 10—20	4—6	4—6	Не закаливается
11ХФ	15—25	7—10	4—10	Не закаливается при диаметре инструмента свыше 20 мм
Х, ШХ15	—	8—35	8—27	Не закаливается
ХВCF	—	80	80	25—30
Х6ВФ	—	80—100	80—100	—
P9	—	—	—	До 10
Х12М	Сплошная прокаливаемость	80—100	80—100	50—60
Х12Ф1	То же	80—100	80—100	50—60
9ХС	»	15—50	12—35	Не закаливается
ХВР	»	15—70	15—40	То же
P18	»	Сплошная прокаливаемость		10—15

Примечание. Критический диаметр соответствует твердости *HRC* 60 в глубине образца и твердости *HRC* 62 и более на его поверхности.

21. Назначение и рекомендуемые составы соляных ванн для термообработки инструмента

Назначение состава ванны	Температур- ный интер- вал, °C	Состав ванны, % по массе						Температу- ра плавле- ния, °C
		BCl ₂	MgF ₂	NaCl	NaNO ₂	NaOH	KNO ₃	
Быстрорежущие стали								
Второй подогрев под заалку	840—860	68	2	30	—	—	—	650
	840—860	78	—	22	—	—	—	654
	1040—1060	97	3	—	—	—	—	950
	1040—1060	100	—	—	—	—	—	960

Продолжение табл. 21

Назначение состава ванны	Температур- ный интер- вал, °C	Состав ванны, % по массе						Температу- ра плавле- ния, °C
		BCl ₂	MgF ₂	NaCl	NaNO ₂	NaOH	KNO ₃	
Окончательный на- грев под закалку	1200—1300	95	5	—	—	—	—	940
Нагрев под свет- лую закалку	1200—1300	100	—	—	—	—	—	960
Охлаждение при ступенчатой за- калке	150—250	—	—	—	—	25	—	140
Отпуск	180—240	—	—	—	50	—	50	145
	150—300	—	—	—	45	—	55	137
Высокохромистые инструментальные стали								
Второй подогрев	840—860	68	2	30	—	—	—	650
под закалку	840—860	78	—	22	—	—	—	654
Окончательный на- грев под закалку	980—1050	68	2	30	—	—	—	650
Охлаждение при ступенчатой за- калке	980—1050	78	—	22	—	—	—	654
Отпуск	360—600	—	—	—	—	—	100	335
	350—700	—	—	—	—	100	—	322
	400—560	—	—	—	—	—	100	335
	400—560	—	—	—	—	15	85	226
	400—560	—	—	—	—	100	—	328
Углеродистые и легированные инструментальные стали								
Нагрев под закал- ку	770—900	68	2	30	—	—	—	650
	770—900	78	—	22	—	—	—	654
	790—900	—	—	70	—	—	—	730
	700—900	—	44	—	—	56	—	655

Примечания: 1. Для раскисления соляных ванн применяют буру 0,8—1 % или ферросилиций 0,5—1,5 % от массы соли.

2. Для раскисления щелочных ванн используют желтую кровяную соль 0,2—0,5 % от массы щелочи.

3. В расплаве, применяемом для нагрева под закалку при 790—900 °C для углеродистых и легированных инструментальных сталей, содержится дополнительно к указанному количеству NaCl примерно 25 % KCl и 5 % примесей, а в расплаве для нагрева под светлую закалку при 150—250 °C, кроме 25 % NaOH, содержится еще 75 % KOH.

газовоздушной смеси. Печь оборудуют вытяжной системой вентиляции. Под печи заполняют частицами корунда размером 0,3—0,4 мм так, чтобы на поверхности змеевика образовался слой толщиной 1,5—2 толщины одного ряда обрабатываемых заготовок. Частицы во время работы на-

ходятся во взвешенном состоянии в газовой воздушной смеси. Смесь сжигают с коэффициентом избытка воздуха 0,6—1,2. Высота плотного слоя обычно составляет 60—250 мм. Нагреваемые твердые частицы корунда, «бомбардируя» поверхность нагреваемого металла, ускоряют нагрев (скорость нагрева достигает 15 мм/мин). Коэффициент теплоотдачи составляет 550—600 Вт/(м²·с). В процессе нагрева поверхностные слои металла выгорают. Угар металла в «кипящем» слое составляет 0,2—0,25 %, а при нагреве в электропечах 1,0—1,7 %.

Высокое качество термической обработки обеспечивается при нагреве инструментальных сталей в вакууме. Нагрев в вакууме при давлении 10 Па и менее практически исключает окисление, науглероживание и обезуглероживание поверхности стальных изделий, благодаря чему этот способ нагрева особенно предпочтителен при технической обработке сталей, легированных хромом, титаном, цирконием, алюминием и марганцем. В последние годы разработаны специальные установки, которые наряду с отжигом в вакууме дают возможность проводить при необходимости цементацию с последующей закалкой в различных средах. Современные вакуумные печи, работающие при температурах до 3000 °С, позволяют производить высококачественную термическую обработку различного инструмента из углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей с высокой экономической эффективностью. Для закалки инструмента в жидких средах применяют многокамерные вакуумные печи шлюзового типа.

Преимущества термической обработки в вакууме инструментальных сталей: чистота поверхности, снижение содержания газов, хорошая воспроизводимость результатов, меньшее коробление, повышенная стойкость инструмента. Инструментальные стали подвергают термической обработке в вакууме от 0,13 до 66,5 Па. При термической обработке в вакууме рекомендуется считаться с возможностью испарения легирующих элементов, в особенности Мо и Сг. Скорость испарения зависит от вакуума. Для стали с 14 % Сг при температуре 990 °С и вакууме 0,01 Па наблюдают снижение содержания Сг от 0,5 до 13,5 %. Поэтому в процессе термической обработки быстрорежущей стали вакуум 0,013 Па поддерживается

только при нагреве до температуры 850 °С; при температуре заковки 1220 °С в печь подводится азот при давлении от 13,3 до 66,5 Па. Тепловую изоляцию вакуумных печей осуществляют с помощью графитоволокнистых материалов. Необходимую скорость охлаждения при заковке достигают принудительной циркуляцией атмосферы. Снижение температуры от 1220 до 550 °С при давлении $(1,5—1,75) \cdot 10^5$ Па достигается за 2 мин. Для заковки быстрорежущей стали требуется большая скорость охлаждения, чем при заковке штамповой стали, поэтому давление газа должно быть большим. Температура нагрева быстрорежущей стали при заковке в вакуумной печи должна быть на 10—20 °С ниже; 12 %-ные Cr-содержащие стали с W или Mo можно также закаливать в вакуумной печи. Для ускорения отпуска в вакуумных печах детали нагревают и охлаждают в циркулирующем инертном газе. При охлаждении в поток газа автоматически вводят теплообменник. При необходимости отпуск может быть совмещен с операцией азотирования, которая проводится в смеси аммиака и эндогаза (50/50); при этом образуется слой карбонитридов в несколько микрон, обладающий высокой износостойкостью, под которым лежит диффузионный слой толщиной 100—200 мкм, обогащенный азотом.

Отпуск — процесс нагрева и выдержки закаленной стали при температуре на 20—30 °С ниже критической точки A_{r1} . Во время отпуска происходят превращения мартенсита и остаточного аустенита, в результате чего уменьшаются внутренние напряжения и хрупкость, повышаются вязкость и пластичность стали.

Отпуску необходимо подвергать все закаленные детали, кроме тех, которые прошли изотермическую заковку. В зависимости от требуемых температур отпуск проводят в масляных или селитровых ваннах, в печах с принудительной циркуляцией воздуха, а также в ваннах с расплавленной щелочью (светлый отпуск). Отпуск технологической оснастки из углеродистой и легированной сталей следует проводить преимущественно в жидких средах, желательно в расплавленных солях. Для обеспечения качественного отпуска крупногабаритного инструмента сложной формы (фрезы, долбяки, шеверы и т. п.) более рационально проводить замедленный нагрев в печах с перемешиваемой атмосферой или с атмосферой пара.

Режимы отпуска инструментальных сталей (см. с. 43) определяются их химическим составом и требуемой твердостью. Охлаждение после отпуска может быть медленным, если сталь не склонна к отпускной хрупкости. В противном случае охлаждение ведут быстро.

По условиям нагрева различают отпуск высокий, низкий, средний и многократный. При *высоком отпуске*, когда температура нагрева достаточно высока, сталь приобретает сорбитовую структуру. Для конструкционной стали температура сорбитизации находится в пределах 450—670 °С. В процессе высокого отпуска закаленную сталь, охлажденную до температуры ниже 300 °С, не следует помещать в печь с высокой температурой, так как быстрый нагрев может привести к растрескиванию. При *низком отпуске* температура нагрева ограничена необходимостью сохранения высокой твердости. Высокохромистые, инструментальные и быстрорежущие стали нагревают до 400—600 °С. *Средний отпуск* применяют при необходимости сохранить упругие свойства в сочетании с достаточной вязкостью и проводят при температуре нагрева 350—480 °С.

При *многократном отпуске* процесс нагрева, выдержки и охлаждения повторяется несколько раз. Такой отпуск применяют в основном для быстрорежущей стали. При проведении многократного отпуска инструмента из быстрорежущей стали необходимо обязательное охлаждение инструмента до 20 °С (после каждого отпуска) на спокойном воздухе либо струей воздуха, нагретой до 20—25 °С. Для охлаждения можно также использовать водяной туман. Заменять продолжительный отпуск большим числом кратковременных отпусков при более высоких температурах (например, двукратный отпуск по 30 мин при 580 °С или двукратный отпуск по 15 мин при 600 °С) можно при термической обработке инструмента из сталей типа Р9 и Р18. Кратковременный отпуск при 580 °С допускается в автоматизированных агрегатах и в стационарных соляных ваннах с обязательным автоматическим регулированием температуры расплава с точностью ± 5 °С и строгим выполнением технологии отпуска. Кратковременный отпуск при 600 °С допускается применять только в автоматизированных конвейерных агрегатах и линиях, где возможно соблюдение малой выдержки (10—15 мин) при еди-

22. Температуры, соответствующие цветам побежалости на металлической поверхности

Цвет побежалости	Температура, °С	Толщина окисленного слоя, мкм
Светло-желтый	220	0,45
Соломенно-желтый	240	0,45
Желто-коричневый	255	0,50
Красно-коричневый	265	0,50
Фиолетовый	280	0,65
Синий	300	0,65
Голубой	315	0,72
Серый	300—350	0,72

ничной загрузке деталей в специальные приспособления. В случае проведения отпуска в ваннах или в печах с газовой атмосферой необходимо соблюдать следующие требования: не загружать детали на под печи, особенно если печь до загрузки работала при более высоких температурах; применять специальные корзины или поддоны, которые изолируют отпускаемые детали от прямого контакта с подом печи; при использовании жидких отпускных ванн подогревать инструмент перед его загрузкой в ванну.

Отпуск проводят также и на цвет побежалости, нагревая детали в печах, на электроплите, в горячем песке и т. п. Появляющаяся в результате нагрева окисная пленка приобретает различные цвета побежалости, зависящие от температуры отпуска. Перед отпуском на один из цветов побежалости необходимо зачистить деталь, снять окалину, нагар масла и пр. В табл. 22 приведены температуры, соответствующие цветам побежалости.

Температура отпуска зависит от состава стали и требуемой твердости. Для получения твердости не менее *HRC* 59—60 отпуск проводят при температуре 150—250 °С. Штампы для горячей штамповки из углеродистой стали, цанги и ударный инструмент отпускают при температуре 250—400 °С. При этом мартенсит превращается в троостит, твердость *HRC* снижается от 50 до 45, повышается пластичность. Штампы для горячей штамповки и детали приспособлений из легированных сталей отпускают при температуре 400—600 °С. В результате такого отпу-

ска образуется сорбитовая структура. Твердость HRC снижается от 45 до 30, резко повышаются пластичность и ударная вязкость. Быстрорежущую сталь отпускают при температуре 540—580 °С. Отпуск сопровождается увеличением твердости («вторичное отвердевание»), так как происходит выделение карбидов из аустенита, который при последующем охлаждении превращается в мартенсит. Для быстрорежущих сталей марок P12, P18, P18K5Ф2 выполняют три отпуска, для P14Ф4, P10K5, P9Ф5 три—четыре отпуска, для P9M4, P6M3 два отпуска. Продолжительность отпуска приведена в табл. 23.

Твердость закаленной инструментальной стали в зависимости от температуры отпуска дана в табл. 24.

Охлаждение после отпуска проводят на воздухе. Стали, содержащие хром и никель, после отпуска в интервале температур 450—650 °С охлаждают в масле или воде, так как при более медленном охлаждении они становятся хрупкими.

Измерительный инструмент высокой точности диаметром или толщиной 15—20 мм отпускают при 125—130 °С в течение 24—36 ч, диаметром или толщиной более 20 мм при 125—130 °С в течение 36—48 ч. Один продолжительный отпуск можно заменить несколькими кратковремен-

23. Ориентировочная продолжительность отпуска инструментальной стали в электрических печах с принудительной циркуляцией воздуха

Наибольший размер сечения технологической оснастки, мм	Температура, °С	Продолжительность выдержки, мин., для сечения		
		круглого	квадратного	прямоугольного
25	200—400	110—120	130—140	160—170
50	200—400	Св. 120 до 130	150—160	180—190
100	200—400	140—150	180—190	210—220
100	180—200	150	180	210

Примечание. При отпуске в соляных или масляных ваннах продолжительность выдержки пересчитывают с учетом коэффициента, равного 0,4.

24. Твердость *HRC* закаленных легированных инструментальных сталей в зависимости от температур отпуска

Сталь	Интервалы температур отпуска, °C				
	160—200	200—300	300—400	400—500	500—600
7ХФ	60—59	59—55	—	—	—
8ХФ	61—60	60—55	—	—	—
9ХФ	62—60	60—55	—	—	—
11ХФ	64—60	60—55	55—50	50—41	—
13Х	64—61	60—55	55—50	50—41	—
ХВ4	66—64	64—60	60—53	53—48	48—40
В2Ф	62—59	59—55	55—49	49—41	41—35
9Х1	64—61	61—55	49—55	49—41	41—28
Х, ШХ15					
12Х1					
9ХС	64—63	63—59	59—54	54—47	47—39
ХГС					
9ХВГ	63—60	60—56	—	—	—
ХВГ	63—62	62—58	58—52	52—46	46—37
ХВСГ	64—63	63—59	59—54	54—47	47—39
9Х5ВФ	61—59	—	—	—	—
8Х6НФТ	62—58	—	—	—	—
8Х4В3М3Ф2	62—59	—	—	—	—
Х6ВФ	63—58	—	—	—	—
Х12	65—62	62—59	59—58	58—56	56—50
Х12М	63—62	62—59	59—57	57—55	55—47
Х12Ф1	63—59	59—57	57—57	—	—
7ХГ2ВМ	60—59	59—56	56—53	53—48	48—39
6Х6В3МФС	—	—	—	—	60—58
7Х3, 8Х3	—	60—58	58—55	55—50	50—39
5ХВМ	—	59—58	58—48	48—35	—
5ХНВ	—	—	—	47—41	41—34
5ХНВС	—	—	—	—	41—35
5ХГМ	—	57—52	52—46	46—40	40—34
4ХМФС	—	—	—	—	46—36
4Х5В2ФС	—	—	—	—	52—51
4Х5МФС	—	—	—	—	50—45
4Х5МФ1С	—	—	—	—	50—45
4Х3ВМФ	—	—	—	50—45	—

Продолжение табл. 24

Сталь	Интервалы температур отпуска, °C				
	160—200	200—300	300—400	400—500	500—600
4X4BMΦC	—	—	—	—	53—47
3X3M3Φ	—	—	—	—	50—45
3X2B8Φ	52—49	49—48	48—46	46—45	45—40
4X2B5MΦ	—	—	—	—	50—45
4X2B2MΦC	—	—	—	—	50—45
5X3B3MΦC	—	—	—	—	50—45
5X2MНΦ	—	—	—	—	50—45
4XC	До 52	52—51	51—48	48—42	42—35
6XC	—	60—55	55—52	52—42	42—36
4XB2C	—	53—51	51—49	49—42	42—33
5XB2C	54—52	52—48	48—42	42—36	—
6XB2C	—	58—53	53—49	49—43	43—35
6XBГ	—	55—52	52—47	47—43	43—35

ными, но с суммарной продолжительностью, равной указанной выше. Двукратный отпуск измерительного инструмента проводят по следующей схеме: первый отпуск при температуре 135—140 °C в течение 1—2 ч; второй при 120—125 °C в течение 1—2 ч. Вторичный отпуск инструмента при 120—130 °C в течение 2—3 ч применяют для снятия напряжений, вызванных шлифованием.

Инструмент, который должен иметь высокую твердость (*HRC* 58—60), отпускают при 150—200 °C. В этом случае твердость снижается незначительно. Отпуск при более низких температурах (120—160 °C) применяют для измерительного инструмента для снятия напряжений после чернового шлифования. Такой отпуск рекомендуется проводить в нагревательной масляной ванне (старение).

Дополнительный отпуск после заточки и шлифования инструмента из быстрорежущей стали вводят для повышения его износостойкости. Режим дополнительного отпуска: температура нагрева 360—370 °C, время выдержки 2 ч, охлаждение на воздухе. Отпуск проводят в отпускной печи. Стойкость инструмента при этом повышается максимально в 1,5 раза.

Улучшение. Процесс, состоящий из закалки и последующего высокого отпуска при 500—700 °C. Улучшению подвергают стали для получения необходимого сочетания

25. Температура (°C) отжига, закалки и отпуска инструментальных сталей

Сталь	Отжиг	Закалка	Отпуск	Твердость после от- пуска <i>HRC</i> , не более
У7, У7А	690—710	810—840	140—200	63
У8, У8А	690—710	800—820	140—200	63
У10, У10А	750—770	790—810	140—200	65
У12, У12А	750—770	790—810	140—200	65
У13, У13А	750—770	790—810	140—200	65
Р5К10	860—880	1220—1240	570—610	66
Р6М3	850—870	1220—1240	570—610	66
Р6М5	840—860	1225—1235	550—560	65
Р8М3К6С	870—890	1200—1230	535—565	69
Р9	830—850	1230—1250	550—570	62
Р9К5	860—880	1220—1240	570—580	66
Р9К10	840—860	1235—1245	565—575	66
Р9Ф5	840—860	1220—1240	570—580	66
Р9М4К8	840—860	1210—1240	540—560	68
Р10К5Ф5	860—880	1230—1250	570—610	67
Р12	860—880	1240—1260	560—570	65
Р12Ф2К8М3	850—860	1220—1250	540—560	68
Р14Ф4	860—880	1240—1260	560—610	66
Р18, Р18М	860—880	1270—1290	550—570	62
Р18Ф2	860—880	1270—1290	570—610	66
Р18К5Ф2	860—880	1270—1290	570—610	66
5ХВ2С	710—740	860—900	400—500	42
5ХНВ	830—850	840—860	480—580	42
5ХНМ	780—790	830—860	500—580	42
Х12М, Х12Ф1	850—870	1030—1050	140—200	64
ХВ5	800—820	830—850	140—170	67
ХВГ	770—790	830—850	140—170	65
Х, ШХ15	770—790	830—850	140—170	65
9ХС	790—810	860—880	140—200	65
11Х	750—770	800—820	140—250	65
13Х	750—770	780—800	100—200	67
ХВСГ	790—810	860—880	140—250	63
Х6ВФ	830—850	990—1010	150—210	64
55Х6В3СМФ	860—880	1060—1075	535—545	61

прочности и вязкости. Улучшение углеродистой и легированной стали проводят до закалки и отпуска, а быстрорежущей стали и ее заменителей после термической обработки режущей части инструмента.

Улучшение легированных сталей выполняют в такой последовательности: закалка в масле (после предварительной механической обработки) от температуры 1290 °С для сталей типа P18 и от 1250 °С для сталей типа P9; нормализация с нагревом до 840—860 °С; закалка при 920—950 °С; отпуск при 670—720 °С с выдержкой 2—3 ч до получения твердости *HRC* 33—37 и для достижения хорошей обрабатываемости при чистовой механической обработке; закалка по обычным режимам (табл. 25).

Для улучшения структуры и уменьшения деформации при последующей термической обработке применяют комбинированную термическую обработку — закалку в масле с последующим отжигом. Температуру нагрева для комбинированной закалки принимают на 20—30 °С выше температуры закалки, приведенной в табл. 25. Такой обработке подвергают заготовки для технологической оснастки сложной конфигурации, а также резьбовой инструмент после черновой механической обработки.

Старение. Процесс отпуска стали с метастабильной структурой в интервале температур 120—200 °С или при нормальной температуре. В процессе старения происходит изменение физических и механических свойств сталей и структура принимает более стабильное состояние. По температурным условиям различают естественное, про-

26. Твердость *HRC* закаленных углеродистых сталей в зависимости от температуры отпуска, °С

Сталь	Интервалы температур отпуска, °С				
	160—200	200—300	300—400	400—500	500—600
У7, У7А	63—60	60—54	54—43	43—35	35—27
У8, У8А, У8Г	64—60	60—55	55—45	45—35	35—27
У9, У9А	64—62	62—56	56—46	46—37	37—28
У10, У10А	64—62	62—56	56—47	47—38	—
У11, У11А	65—62	62—57	57—49	49—38	—
У12, У12А	62—65	62—57	57—49	49—38	—
У13, У13А	66—62	—	—	—	—

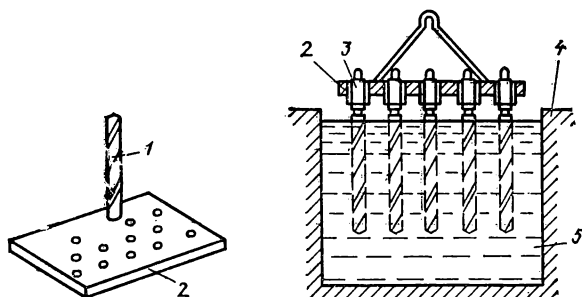


Рис. 5. Приспособления для нагрева сверл в печах (а) и в соляных ваннах (б):

1 — сверло; 2 — плита; 3 — втулка; 4 — ванна; 5 — охлаждающая среда

исходящее при нормальной температуре, и искусственное, осуществляемое при повышенной температуре (обычно не выше 200°C), старение. По начальной структуре различают старение закаленной или наклепанной стали, проводимое для стабилизации размеров и формы детали, и старение (дисперсионное твердение) стали, имеющей в структуре пересыщенные или твердые растворы. Режимы старения указаны на с. 44, температура отжига, закалки и отпуска инструментальных сталей приведена в табл. 25.

Термообработка сверл. Сверла в основном изготавливают составными: рабочую часть из быстрорежущей стали, а хвостовую — из конструкционной. Непосредственно после сварке этих частей заготовку сверла подвергают отжигу, а после механической обработки — закалке и отпуску.

Нагрев рабочей части сварных сверл из быстрорежущей стали проводят в соляных ваннах или в печах, используя приспособления, приведенные на рис. 5. Удобнее пользоваться соляными ваннами с несколькими тиглями. В первой ванне сверла подогревают до $600\text{--}650^{\circ}\text{C}$. Затем их переносят во вторую ванну и нагревают до $800\text{--}850^{\circ}\text{C}$. Окончательный нагрев до температуры закалки (для быстрорежущей стали) осуществляют в третьей ванне. Продолжительность нагрева сверл под закалку указана в табл. 27. После выдержки охлаждение проводят в масле, подогревом до $90\text{--}140^{\circ}\text{C}$. Сверла охлаждают в нем до $250\text{--}200^{\circ}\text{C}$, а затем на воздухе. Охлаждение можно про-

27. Продолжительность (мин) нагрева сверл в соляных ваннах и камерных печах

Диаметр сверл, мм	Число одновременно нагреваемых сверл, шт.	Быстрорежущая сталь		Углеродистая и легированная сталь	
		Соляная ванна	Камерная печь	Соляная ванна	Камерная печь
От 3 до 5	10—12	0,17—0,25	0,4—0,5	0,54—0,75	3—4
6	8	0,41—0,50	0,8—1,0	0,8—1,1	5—6
10	12	0,66—0,83	1,4—1,6	1,3—1,5	7—8
14	16	0,83—1,00	Св. 1,6 до 2,0	1,8—2,2	10—12
18	20	Св. 1,0 до 1,3	» 2,0 » 2,5	2,3—2,6	14—15
» 22	25	Св. 1,3 до 1,5	2,5 3,0	2,9—3,2	16—18
» 26	30	1,6—2,0	3,2—4,0	3,5—3,8	20—22
» 33	37	2,4—2,8	4,8—5,6	4,5—5,0	24—26

водить в соляной ванне до 500—550 °С, а затем на воздухе. Отпуск проводят в шахтных печах с принудительной циркуляцией воздуха при 550—570 °С.

При термической обработке хвостовика сверла его погружают в соляную ванну, нагретую до 820—740 °С, выдерживают, после чего охлаждают в 5 %-ном растворе NaCl до температуры 150—200 °С, а затем на воздухе. После закалки хвостовик отпускают в соляной ванне при 450—500 °С.

Нагрев сверл из легированной или углеродистой стали проводят в соляной ванне, после чего охлаждают в селитровой или масляной ванне до 150—180 °С, а затем на воздухе. Отпуск сверл из различных марок легированных сталей, кроме стали 9ХС, проводят в масляной ванне при 150—180 °С в течение 1—2 ч. Сверла из стали 9ХС отпускают в масляной ванне или в электропечах при 180—200 °С в течение 1,5—2 ч. Сверла из углеродистой стали охлаждают в воде до 180—200 °С, а затем переносят в масло.

Оптимальным для сверл из стали Р6М5К5 является следующий режим: предварительный нагрев до 1000 °С, окончательный до 1230 °С; температура ванны для изотермической закалки 500 °С; одно-, двухкратный отпуск

при 580 °С в течение 30 мин и последующее охлаждение на воздухе.

Твердость рабочей части сверл из легированной и углеродистой стали диаметром до 10 мм должна быть *HRC* 59—63; диаметром свыше 10 мм *HRC* 61—64.

Термообработка зенкеров. Рабочую часть зенкеров из быстрорежущей стали термически обрабатывают до твердости *HRC* 62—64, а хвостовую часть до твердости *HRC* 30—45. Технологический процесс термообработки зенкеров и оборудование приведены в табл. 28.

Термообработку сварного хвостовика зенкера, изготовленного из стали 45, проводят в такой последовательности: первый подогрев в шахтной пламенной печи до 120—130 °С с выдержкой при этой температуре в течение 7 мин; окончательный нагрев в соляной ванне до 850—880 °С с выдержкой 2 мин; охлаждение в воде; нагрев в шахтной печи или в соляной ванне до 450—550 °С; выдержка при этой температуре (продолжительность выдержки зависит от размеров зенкера).

После термообработки проводят контроль. Твердость рабочей части зенкера определяют тарированным напильником. Зенкеры диаметром до 6 мм контролируют на твердость в количестве 10 % от партии. Твердость хвостовой части определяют у 5—10 % инструментов от партии, а кривизну — у 10 %.

Термообработка метчиков. Метчики изготовляют из углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей. Нагрев метчиков под закалку проводят в соляной ванне. В результате обеспечивается получение высокой твердости поверхностных слоев металла при вязкой сердцевине, уменьшается деформация резьбы и увеличивается стойкость метчика.

Метчики из быстрорежущей стали нагревают преимущественно в два приема: при 400—500 °С и при 800—850 °С. Охлаждение проводят в селитровой ванне, нагретой до 450—400 °С, или в масле, нагретом до 150—200 °С, с последующим охлаждением на воздухе. В селитровую или масляную ванну метчики погружают в вертикальном положении, перемещая их по кругу вверх и вниз. Метчики из углеродистой стали диаметром до 8 мм следует охлаждать в масле, диаметром свыше 8 мм — в воде (до потемнения) с последующим переносом в масло. Отпуск

28. Технологический процесс термообработки зенкеров из быстрорежущей стали

Операция	Температура нагрева, °C	Оборудование и среда	Время выдержки,
Первый нагрев	500—600	Камерная электрическая или пламенная печь	$\tau = K \frac{D_{расч} l}{4l + D}$
Второй нагрев	850—880	Ванна (78 % BaCl и 22 % NaCl)	$\tau = \frac{10 D_{расч} l}{4l + D}$
Окончательный нагрев	1230—1240 (для стали типа P9) 1270—1280 (для стали типа P18)	Ванна BaCl	$\tau = \frac{5 D_{расч} l}{4l + D}$
Охлаждение	450—600	Ванна (расплав солей)	Такое же, как при первом нагреве, затем на воздухе До температуры 200—250 °C, затем на воздухе До полного охлаждения
	90—140	Бак (масло)	
	20—40	Спокойный воздух для зенкеров диаметром до 10 мм; струя воздуха для зенкеров диаметром свыше 10 мм	
Отпуск (двукратный или трехкратный)	560—570	Соляная ванна или электровоздушная печь	1 ч с момента прогрева партии заготовок до температуры отпуска

Обозначения: l — глубина погружения зенкера в ванну нагрева, равная величине зоны закалки плюс $0,5D$, см; D — диаметр зенкера, см; $D_{расч}$ — расчетный диаметр, см; $D_{расч} = D - h$ (h — высота зуба, см); K — коэффициент (для пламенных печей $K = 30$, для электропечей $K = 35$).

метчиков проводят в масляной ванне при 150—180 °C в течение 1—2 ч. Твердость режущей части метчиков контролируют тарированным напильником. Твердость метчиков из быстрорежущей стали должна составлять HRC 61—65; из углеродистой и легированной стали диамет-

29. Продолжительность нагрева метчиков под закалку, мин

Диаметр метчиков, мм	Число одновременно нагреваемых метчиков, шт.	Быстрорежущая сталь (нагрев в соляной ванне)	Углеродистая сталь	
			Соляная ванна	Камерная печь
2	15—20	0,25—0,35	0,50—0,58	2—3
3	10—15	0,33—0,40	0,05—0,80	3—4
6	8—10	0,66—0,88	1,0—1,3	4—6
8	8—10	0,8—1,0	1,5—1,8	6—7
10	8—10	1,0—1,1	2,0—2,2	7—8
12	6—8	1,4—1,5	2,4—2,6	9—10
14	6—8	1,5—1,6	3,1—3,3	10—11
18	6—7	2,0—2,2	4,0—4,2	13—14
20	4—5	2,2—2,4	4,3—4,5	15—16
24	3—4	2,4—2,6	5,3—5,5	18—20

ром 1—6 мм *HRC* 57—60; диаметром 7—15 мм *HRC* 58—62; диаметром свыше 15 мм *HRC* 59—63. Ориентировочная продолжительность нагрева метчиков под закалку приведена в табл. 29.

В отличие от сверл метчики могут не иметь высокой твердости по всему сечению. При вязкой сердцевине уменьшается опасность поломки метчиков при правке или работе. Под закалку метчиков малых диаметров с мелким шагом резьбы их нагревают до нижнего предела технологических температур.

Термообработка резцов из быстрорежущей стали. Термообработку этих резцов проводят после напайки и приварки пластинок к стержню. Если пластинки напаяны припоем ГФК, то термообработку резцов проводят в такой последовательности: окончательный нагрев под закалку (например, для стали типа Р9 до 1230—1250 °С), продолжительность нагрева приведена в табл. 30; охлаждение на воздухе до 1050—980 °С; охлаждение в масле до 180—120 °С; двукратный отпуск в солированной ванне при 540—560 °С с выдержкой около 1 ч.

Если пластинки приварены с использованием сварочных порошков, то после полного охлаждения резца проводят «ступенчатую» термообработку в такой последовательности: нагрев до 820—850 °С; нагрев до 960—980 °С; нагрев до 1240—1300 °С; охлаждение в масле или в струе холодного воздуха; отпуск при 540—560 °С с выдержкой

30. Продолжительность нагрева резцов из быстрорежущей стали под закалку, мин

Размер наименьшей стороны сечения резца, мм	Число одновременно нагреваемых резцов, шт.	Высокотемпературная соляная ванна	Камерная печь
10	От 6 до 8	От 1,2 до 1,5	От 2,5 до 3,0
12	» 6 » 7	Св. 1,5 » 2,0	Св. 3,0 » 4,0
16	» 5 » 6	» 2,0 » 2,5	» 4,0 » 5,0
20	» 3 » 5	» 2,5 » 3,0	» 5,0 » 6,0
25	» 2 » 4	От 3,2 » 4,0	» 6,0 » 8,0
30	» 2 » 3	Св. 4,0 » 5,0	» 8,0 10,0

в печи в течение 2—3 ч (в зависимости от сечения); охлаждение в масле или в струе холодного воздуха. Твердость режущей части резца после отпуска должна быть *HRC* 62—65.

Термообработка фрез. Термообработку червячных, цилиндрических, торцовых, дисковых, пазовых, отрезных и фасонных фрез из быстрорежущей стали осуществляют в такой последовательности: первый подогрев до 600—650 °; второй подогрев до 800—850 °С; окончательный нагрев до 1270—1290 °С; охлаждение до 200—250 °С в соляной ванне, нагретой до 500—550 °С, или в масле, температура которого равна 90—140 °С, с последующим охлаждением на воздухе; промывка, трехкратный отпуск при 550—570 °С в соляной ванне; промывка и пассивирование; контроль твердости. Продолжительность нагрева фрез под закалку, приведена в табл. 31, 32.

Сборные фрезы (концевые и шпоночные) термически обрабатываются по такому же режиму, как и сварные сверла. Прорезные фрезы нагревают в вертикальном положении. Дисковые фрезы толщиной до 2,5 мм во избежание деформации охлаждают между металлическими плитами. Отпуск должен быть двукратным при 550—570 °С. Закалку червячных фрез в масле проводят в горизонтальном положении. Фрезы из углеродистой стали после нагрева под закалку в соляной ванне охлаждают в воде и ватем переносят в масло. Выдержка в воде должна быть наименьшей во избежание появления трещин. Например, фрезу диаметром 25 мм охлаждают в воде 3—4 с, после чего переносят в масло.

31. Продолжительность нагрева цилиндрических фрез под закалку, мин

Диаметр фрезы, мм	Ширина фрезы, мм	Число одновременно нагреваемых фрез, шт.	Быстрорежущая сталь		Легированная сталь	
			Соляная ванна	Камерная печь	Соляная ванна	Камерная печь
40	50	2	1,1—1,2	2,2—2,4	2,2—2,4	10—11
50	60	2	1,4—1,5	2,8—3,0	2,8—3,0	12—13
60	60	2	1,8—2,0	3,6—4,0	3,6—4,0	14—16
75	75	1	2,6—2,8	5,2—5,5	5,2—5,6	18—26
90	100	1	3,8—4,0	7,6—8,0	7,6—8,0	22—24

32. Продолжительность (мин) нагрева концевых фрез под закалку

Диаметр, мм	Число одновременно нагреваемых фрез, шт.	Быстрорежущая сталь		Углеродистая, легированная сталь	
		Соляная ванна	Камерная печь	Соляная ванна	Камерная печь
3—4	10—15	0,3—0,35	0,8—1,0	0,6—0,8	3—4
5—6	8—10	0,5—0,58	Св. 1,0 до 1,2	1,0—1,3	5—6
7—8	6—8	0,75—0,9	1,5—1,7	1,5—1,8	Св. 6 до 7
10—11	6—8	1,0—1,1	Св. 1,8 до 2,0	2,0—2,2	» 7 » 8
12—15	5—6	1,1—1,3	» 2,0 » 2,5	2,4—2,6	12—13
16—17	5—6	1,5—1,6	3,0—3,5	3,5—3,8	Св. 13 до 14
18—19	4—5	1,7—1,8	Св. 3,5 до 4,0	4,0—4,5	15—16
20—21	3—4	2,0—2,2	» 4,0 » 4,5	Св. 4,5 до 5,0	17—18
22—26	3—4	2,3—2,4	4,5 5,0	Св. 5,0 до 5,5	
27—28	2—3	2,5—2,8	5,0 5,5		Св. 18 до 20

Прецизионные зуборезные инструменты из стали типа Р6М5 и Р6М5К5 целесообразно изготовлять с разделением процесса шлифования закаленного инструмента на предварительное и окончательное. В этом случае последующий дополнительный отпуск при 500 °С в течение 1 ч после предварительного шлифования и при 200 °С в течение 1 ч после окончательного шлифования наиболее надежно стабилизирует размеры инструмента при хранении.

После окончательной термообработки контролируют твердость фрез твердомером или тарированным напиль-

33. Продолжительность нагрева круглых плашек под закалку, мин

Толщина плашки, мм	Число одновременно нагреваемых плашек, шт.	Соляная ванна	Камерная печь
6	10—12	1,6—1,8	6—7
7	10—12	1,8—2,0	7—8
9	8—10	2,3—2,5	8—9
11	8—10	2,5—2,8	9—10
14	6—8	2,8—3,0	10—11
18	6—8	3,2—3,5	14—15
22	5—6	4,2—4,5	17—18
25	5—6	4,7—5,0	22—24
30	4—5	6,0—6,5	28—30
36	3—4	7,5—8,0	36—38

ником. Она должна составлять *HRC* 62—65. Качество отпуска проверяют магнитным методом у 5—10 % фрез из партии.

Термообработка плашек. Плашки должны иметь повышенную вязкость. В целях предотвращения выкрашивания режущей части их нагревают под закалку до нижнего предела температур с минимальной выдержкой. Продолжительность нагрева плашек под за-

калку приведена в табл. 33. Предварительный подогрев плашек под закалку проводят в соляной ванне до 750—780 °С. Плашки диаметром более 25 мм предварительно нагревают до 400 °С. Во избежание обезуглероживания поверхности резьбы нагрев ведут в хорошо раскисленной соляной ванне. При окончательном нагреве в камерной печи плашки покрывают слоем буры. Во избежание коробления не допускается провисание плашек в печи. Время выдержки в камерной печи — 1 мин на 1 мм² сечения плашки. Плоские плашки для уменьшения коробления охлаждают под прессом между плитами, охлаждаемыми водой. Тангенциальные плашки охлаждают в селитре при 450—500 °С или в масле при 150—200 °С, а затем на воздухе. Плоские плашки отпускают при 160—170 °С в течение 24 ч. Для тангенциальных плашек проводят двукратный отпуск по 1 ч при температуре до 540—580 °С. Твердость плашек должна быть в пределах *HRC* 59—61. Контроль твердости проводят твердомером. Тарированным напильником проверяют обезуглероживание резьбы. Накатные плашки из стали X12Ф1 изготавливают из поковок с последующей термической закалкой. После образования резьбы плашки подогревают в печи до 810 °С, а затем окончательно подогревают в хлорбариевой ванне до 1050 °С. Для предупреждения коробления их охлаждают в верти-

кальном положении в течение 15 мин в растворе селитры, нагретом до 450 °С. Затем плашки переносят в ванну с маслом при температуре 80 °С. Отпуск плашек проводят в электропечи при 450 °С в течение 3—4 ч. Интервал времени между закалкой и отпуском не должен превышать 2 ч. Твердость накатных плашек после отпуска должна быть *HRC* 56—58.

Термообработка протяжек. Протяжки изготовляют из быстрорежущих или легированных сталей ХВГ, Х12Н, ХГ и др. Для уменьшения деформации термообработку длинных протяжек выполняют 3 раза: после предварительной механической обработки, после окончательной механической обработки и после шлифования. Термообработку после предварительной механической обработки выполняют в такой последовательности: нагрев до температуры закалки с предварительным подогревом; охлаждение в масле; отпуск при 770—790 °С; правка. Вместо закалки с высоким отпуском можно проводить отжиг в чугунной стружке или угле. Термообработка после окончательной механической обработки включает подогрев до 800—850 °С в вертикальной шахтной печи или соляных ваннах (при нагреве в шахтных печах для уменьшения обезуглероживания и окисления поверхности протяжки обертывают листовым асбестом; после нагрева в течение 15—30 мин их освобождают от асбеста, рабочую часть посыпают бурой и несколько минут повторно нагревают для расплавления буры, после чего переносят в печь для окончательного нагрева); окончательный нагрев в шахтной электрической печи или в соляных ваннах; охлаждение в масле в вертикальном положении до 300—400 °С; горячая правка под прессом; охлаждение на воздухе в подвешенном состоянии; двукратный отпуск по 1 ч при 550—580 °С; правка; очистка, нормализация хвостовой части.

Термообработка протяжек после шлифования заключается в отпуске в масляной ванне при 200—250 °С для снятия внутренних напряжений, возникающих при шлифовании. Если корпус протяжки сваривается с хвостовиком из стали 40Х или 50, то твердость хвостовика должна быть в пределах *HRC* 35—45. Требуемая твердость хвостовика может быть получена при нормализации или закалке, путем нагрева в соляной ванне или на установке

ТВЧ до 840—850 °С, охлаждения в масле и отпуска хвостовика в селитре.

При термообработке протяжек необходимо соблюдать следующие условия: при всех операциях протяжки должны находиться в вертикальном положении в подвешенном состоянии; окончательный нагрев протяжек малой длины следует проводить в соляной ванне, а длинных — в шахтной печи (при отсутствии таковых нагрев ведут в горизонтальной печи на подставках); при охлаждении во время закалки подвешенную протяжку следует перемещать вверх и вниз (плоские протяжки небольших сечений для уменьшения деформации охлаждают зажатými между охлаждаемыми плитами или под прессом); правку после закалки и отпуска необходимо проводить в горячем состоянии; правку после очистки следует проводить при подогреве сварочной горелкой до температуры отпуска.

Термообработка калибров-пробок. Чтобы уменьшить возможную деформацию калибров, их подвергают улучшению после предварительной механической обработки. После улучшения выполняют повторную механическую обработку с припуском на шлифование и доводку. Термическую обработку калибров-пробок выполняют в такой последовательности: предварительный подогрев в тщательно раскисленной соляной ванне до 600—650 °С; окончательный нагрев в соляной ванне до 820—850 °С; охлаждение в соляной ванне и на воздухе до 150—180 °С, а затем в масле до 20—70 °С; обработка холодом в холодильной установке при температуре до —55 °С; промывка в 10 %-ном содовом растворе; отпуск в шахтной печи при температуре 160—180 °С; механическая обработка (предварительная доводка); старение при температуре 150 ± 10 °С. Твердость калибров после обработки должна быть HRC 56—64. Калибры, изготовленные из стали У10, У10А, закаливают в воде, а затем в масле.

Продолжительность отпуска зависит от качества калибров. При высоком качестве отпуск длится от 20 до 32 ч, а при пониженном — от 2 до 3 ч.

Термообработка скоб и шаблонов. Скобы и шаблоны простой формы изготавливают из малоуглеродистой стали, а шаблоны или лекала сложной формы из высокоуглеродистой или легированной. Термообработку скоб и шаблонов из стали 20 проводят в такой последовательности:

цементация; нагрев в соляной ванне при температуре 780—800 °С под закалку; охлаждение в соляной ванне и на воздухе до 150—180 °С и в водяной ванне до 30—40 °С; обработка холодом в холодильной установке при температуре до —20 °С для сохранения размеров; промывка в 10 %-ном содовом растворе при 70—90 °С; отпуск при 160—180 °С; старение в масляной электролитической ванне при 150 ± 10 °С после шлифования и предварительной доводки.

Если шаблоны или скобы изготовлены из стали 20Х, то отпуск проводят в масле. Продолжительность отпуска зависит от размеров инструмента и глубины цементации. Шаблоны и лекала сложной формы охлаждают с подогревом в расплавленной соли или масле, что значительно уменьшает степень деформации. Чтобы уменьшить деформацию шаблонов и скоб, закалывают только их рабочие поверхности.

Термообработка штампов для горячей штамповки. Рекомендуемые режимы термообработки штампов для горячей штамповки приведены в табл. 34. Охлаждение после отжига (температура нагрева указана в табл. 35) проводят с печью со скоростью 40—50 °С/ч до температуры 350—400 °С, а затем на воздухе. При нагреве под закалку детали штампов загружают в печь при температуре до 400 °С. Нагрев до температуры 650 °С выполняют со скоростью до 80 °С/ч. При температуре 650 °С дают выдержку 2,5 ч для штампов массой до 500 кг и 3—4 ч для штампов массой до 1000 кг и более. Дальнейший нагрев до заданной температуры закалки ведут со скоростью 100 °С/ч. Штампы с резкими переходами нагревают с меньшими скоростями. Выдержка при температуре закалки для малых штампов должна быть не менее 5,5 ч, для средних и крупных 8—9 ч. Для сокращения времени закалки штампов применяют изотермическую закалку.

Перед установкой в печь боковые поверхности штампа с обработанными ручьями обмазывают огнеупорной глиной с асбестом, а зеркало штампа и фигуру засыпают отработанным карбюризатором или прокаленной чугушной стружкой, а затем обмазывают глиной и асбестом. Малые штампы укладывают фигурой вниз на поддон со слоем отработанного карбюризатора толщиной 35—40 мм. Время выдержки на каждые 25 мм наименьшей толщины штампа определяют из такого расчета: при нагреве в га-

34. Режимы термобработки штампов для горячей штамповки

Сталь	Закалка			Отпуск		
	Температура нагрева, °С	Среда охлаждения	Твердость после закалики	Температура нагрева, °С	Твердость после отпуска	
					HB	HRC
У7	800—830	Вода	62—64	370—400	340—375	37—40
7Х3	830—860	Масло	59—61	480—520	364—430	39—45
8Х3	820—850	»	60—62	480—520	387—430	41—45
4ХС	890—920	»	52—54	240—270	495—512	51—52
6ХС	Св. 840 до 860	Вода	58—60	240—270	295—512	51—52
	Св. 860 до 880	Масло	58—60	350—450	402—430	43—45
5ХНВ	830—860	»	54—58	520—540	387—430	41—45
	830—860	»	54—58	530—550	364—402	39—43
	830—860	»	54—58	560—580	321—364	35—39
5ХНТ	830—850	»	53—58	475—485	387—430	41—45
	830—850	»	53—58	Св. 485 до 510	364—402	39—43
	830—850		53—58	520—540	321—364	35—39
5ХНС	850—870		55—59	500—520	387—430	41—45
				510—530	364—402	39—43
				520—540	321—364	35—39
5ХВГ	840—860	Масло	56—58	240—270	495—512	51—52
	840—860	»	56—58	420—450	430—460	45—48
5ХГМ	830—870	Воздух	56—58	500—550	306—341	33—37
	830—870	»	56—58	575—625	269—306	28—33
	830—870	Масло	56—58	550—575	388—451	41—47
	830—870	»	56—58	575—600	341—388	37—41
	830—870	»	56—58	600—625	321—368	35—39
	830—870	»	56—58	625—650	306—341	33—37
	830—870	»	56—58	650—675	269—306	28—33
5ХНМ	830—860	»	54—58	520—540	387—430	41—45
5ХГС	840—880	»	56—58	550—580	388—451	41—47
	840—880	»	56—58	Св. 580 до 610	341—368	37—41
	840—880	»	56—58	600—620	321—368	35—39
	840—880	»	56—58	Св. 620 до 650	269—306	28—33
4Х5В2ФС	1060—1080	»	52—54	570—600	—	45—50
4Х5В4ФСН	1060—1070	»	54—56	600—620	—	45—50
3Х2В8Ф	1120—1140	»	54—56	600—610	—	50
	1120—1140	»		640—650	—	55
4Х3В2ФМ2	1090—1110	»	54—56	610—620	—	50
	1090—1110	»	54—56	650—660	—	45
30ХГС	890—920	Вода, масло	46—52	520—660	277—310	29—34

Продолжение табл. 34

Сталь	Закалка			Отпуск		
	Температура нагрева, °C	Среда охлаждения	Твердость после закалки	Температура нагрева, °C	Твердость после отпуска	
					HB	HRC
35ХГСА	870—900	Вода, масло	48—56	600—660	277—310	29—31
5ХНЧВ	850—870		55—59	520—540	387—430	41—45
	850—870		55—59	530—550	364—402	39—43
	850—870		55—59	550—570	321—364	15—39
3Х2В8	1050—1100	»	49—52	600—620	402—475	42—48
4ХВ2С	870—900		52—56	240—270	512—540	53—55
	870—900	»	52—56	420—450	430—460	46—48
5ХВ2С	870—900		54—57	240—270	512—540	53—55
	870—900	»	58—60	420—450	430—460	46—48
6ХВ2С	850—875			240—270	512—540	53—55
	850—875	Воздух	58—60	420—450	430—460	46—48
5ХН2ВФ	830—870			500—525	388—451	41—47
	830—870		58—60	525—550	341—388	37—41
	830—870		58—60	550—575	321—368	35—39
	830—870		58—60	500—550	306—341	33—37
	830—870		58—60	525—550	341—388	37—41
	830—870		58—60	550—575	321—368	35—39

35. Температура отжига заготовок штампов для горячей штамповки

Сталь	Температура нагрева, °C	Твердость HB	Сталь	Температура нагрева, °C	Твердость HB
7Х3	780—800	187—229	5ХВ2С	800—820	207—255
8Х3	780—900	207—255	5ХВГ	760—790	197—241
4ХС	820—840	197—228	6ХС	820—840	197—241
5ХНТ	760—790	192—235	30ХГС	Св. 840	187—228
5ХНЧ	790—810	207—255		до 880	
5ХНВ	760—790	197—241	35ХГС	840—870	197—228
6ХВ2С	780—800	180—217	3Х2В8	820—840	207—255
5ХНЧВ	Св. 790	207—255	4ХВ2С	800—820	197—217
	до 820		4Х8В2	Св. 820	207—255
				до 830	

зовой печи малолегированной стали 35—40 мин, стали 3Х2В8, 4Х8В2, 7Х3 и 8Х3 40—50 мин; при нагреве в электрической печи 50—60 мин.

Перед закалкой штампы тщательно очищают от остатков карбюризатора, обмазки и окалины. При закалке штампов в масле не следует допускать их полного охлаждения до нормальной температуры. Крупные штампы охлаждают в масле до 100—150 °С и немедленно помещают в печь для отпуска. Задержка в выполнении отпуска может привести к трещинообразованию. Продолжительность отпуска после закалки штампов определяют из расчета на каждые 25 мин наименьшей толщины штампа: для доэвтектоидных сталей (40С, 30ХГС, 35ХГС, 4ХВ2С и др.) 40—45 мин, для заэвтектоидных сталей 50—60 мин. Скорость нагрева устанавливают не более 50 °С/ч. После проведения общего отпуска штампов хвостовики подвергают дополнительному отпуску для снижения их твердости. Хвостовики штампов из стали 5ХНТ отпускают при 700—720 °С, нагрев ведут на специальных плитах или в специальных печах. После нагрева и выдержки при указанной температуре штампы охлаждают с печью до 350—500 °С. Последующее охлаждение ведут на воздухе.

Для увеличения эксплуатационной стойкости штампового инструмента наряду с обычной закалкой на заданную твердость рабочая поверхность инструмента подвергается дополнительной закалке с нагревом ТВЧ. При закалке ТВЧ скорость нагрева 20—150 °С/с, температура выше обычной технологической на 100—150 °С, твердость поверхности повышается на 5—8 единиц. Микроструктура поверхности — мелкоигльчатый мартенсит, что обеспечивает высокие механические свойства и повышенные эксплуатационные качества инструмента. В процессе высокочастотной закалки на поверхности инструмента формируются внутренние сжимающие напряжения, совпадающие по направлению с напряжениями, возникающими при штамповке и обеспечивающими высокую прочность инструмента. Напряжения, формируемые на границе закалки ТВЧ и объемной закалки, растягивающие, что обеспечивает упругую деформацию инструмента при штамповке. Дополнительную поверхностную закалку ТВЧ применяют для различного инструмента—пуансонов,

вставок, прижимов, изготовленных из специальных штамповых сталей: 4Х5МФС, 40ХСМФ, 4Х2МГФ — для горячей штамповки и ШХ15, Х12 — для холодного деформирования.

Стойкость штампов для объемной штамповки крупногабаритных изделий из титановых сплавов и высокопрочных сталей может быть увеличена при использовании способа упрочнения, приведенного в а. с. 926042 (СССР).

Предварительно на рабочей поверхности штампа выполняют компенсационные уклоны. Циклическое нагружение осуществляют при интенсивности напряжений 150—250 МПа длительностью 5—15 с. Между циклами нагружения проводят корректирование гравюры штампа.

Циклическое нагружение (12—15 циклов) до корректирования гравюры штампа производят при 450—500 °С. После корректирования гравюры штампа производят нагружение в процессе эксплуатации штампа при 350—450 °С.

Предварительное нагружение штампа проводят специально изготовленной заготовкой, плотно прилегающей к рабочей поверхности штампа и нагретой до 700—800 °С.

Для отвода тепла от штампа в процессе его эксплуатации (с целью поддержания температуры штампа в пределах 350—450 °С) опорные поверхности штампа и опорной плиты профилируют, увеличивая площадь контакта, а на поверхность раздела кладут тонкий пластичный лист металла с хорошей теплопроводностью, например, тонкий лист технической меди. Циклическое нагружение штампа осуществляют при 450—500 °С. Этот диапазон температур выбирают из тех соображений, что при температурах ниже 450 °С штамп при интенсивности напряжений $\sigma_i \leq 600$ МПа находится в упругом состоянии и не происходит его упрочнение. При температурах выше 500 °С и при $\sigma_i \geq 250$ МПа наблюдается явление кратковременной ползучести, в результате которой уровень накопленных в процессе тренировки штампа остаточных напряжений снижается и не происходит упрочнения штампа (при рабочих нагружениях штамп находится в упругопластическом состоянии).

Заготовку для штампа, имеющую конфигурацию готового изделия, но с компенсационными уклонами, изготавливают из жаропрочных сплавов, например, из ЖС6-К

или ХН77ТЮР. В тех случаях, когда не удастся сделать заготовку монолитной, ее изготавливают из составных частей. Температура заготовки должна быть не менее 700—800 °С, поскольку при подсыивании штампа с поверхности и термосопротивлении на поверхности контакта при циклическом нагружении температура рабочей поверхности штампа не превышает 500 °С.

Затем размеры гравюры корректируют согласно полученной расчетной конфигурации. При этом происходит перераспределение остаточных напряжений на рабочей поверхности вследствие снятия части металла. Поэтому после первого нагружения штампа проводят второе. После каждой штамповки проверяют профиль гравюры и конфигурацию получаемого изделия. В случае необходимости проводят вторую корректировку гравюры штампа после 5—10 штамповок.

Вместе с гравюрой штампа обрабатывают его опорную поверхность, делают ее волнистой таким образом, чтобы в проекции на плоскость разреза получалась синусоидальная кривая. Таким же образом обрабатывают и сопрягаемую поверхность на опорной плите. На поверхность раздела кладут тонкий лист технической меди или алюминия. Через такую поверхность при работе штампа в процессе штамповки тепло легче отводится от штампа.

Предлагаемый способ упрочнения штампов выгоден при производстве крупногабаритных штамповок типа лонжеронов, дисков и т. д., где нецелесообразны иные способы упрочнения.

Для увеличения стойкости рабочих элементов вырубных штампов из сталей У8 и У10А первую закалку проводят при температуре нагрева 1200 ± 10 °С в масле. Для предотвращения роста аустенита нагрев до температуры заковки проводят в расплаве соли хлористого бария в соляной ванне. После заковки — отпуск при 450 °С. Вторую закалку выполняют по обычному для углеродистых сталей режиму: закалка от температур 800—820 °С, затем низкий отпуск при 180—200 °С. Твердость рабочей поверхности вырубного штампа после двойной заковки HRC 57—59. Структура стали после двойной заковки с промежуточным отпуском представляет собой мелкоигольчатый отпущенный мартенсит. Двойная закалка с промежуточным отпуском увеличивает стойкость вы-

36. Влияние газов на сталь

Влияние на сталь	Газ	Химическая формула
Окисляющее	Кислород Углекислый газ Водяной пар	O_2 CO_2 H_2O
Восстанавливающее	Оксид углерода Водород Метан	CO H_2 CH_4
Обезуглероживающее	Углекислый газ Водяной пар	CO_2 H_2O
Науглероживающее	Оксид углерода Метан	CO CH_4
Азотирующее	Аммиак	NH_3
Нейтральное	Азот Аргон Гелий	N_2 Ar He

рубных штампов по сравнению со штампами, обработанными по общепринятому режиму.

Термообработка в контролируемой атмосфере. При нагреве металла в контролируемой атмосфере исключаются его окисление и обезуглероживание, появляется возможность назначить меньшие припуски на последующую механическую обработку; исключаются операции очистки поверхности после термообработки вследствие устранения окисления, достигается экономия металла до 3 % массы партии заготовок, помещаемой в печь; повышаются механические свойства и усталостная прочность металла, так как исключается обезуглероживание поверхностного слоя; сохраняется форма поверхностей деталей (особенно лезвийного инструмента и тонких деталей приспособлений), снижается трудоемкость изготовления деталей; улучшаются условия труда в термических отделениях.

В табл. 36 приведен ряд окисляющих и восстанавливающих газов. Из этих газов можно составить нейтраль-

37. Температура воспламенения газовых компонентов

Газ	Предельно допустимое содержание в смеси воздух—газ, %	Температура воспламенения, °С
Метан	5,00—15,00	650—705
Пропан	2,37—9,50	518
Окись углерода	12,50—74,20	643—658
Водород	4,00—74,20	580—590

38. Классификация и назначение контролируемых атмосфер

Контролируемая атмосфера	Состав, % по объему			Точка росы, °С	Назначение
	Водород	Азот	Кис-лород		
Класс А Вакуум	—	—	—	—	Отжиг углеродистых и легированных сталей
Класс В Газы в баллонах:					
аргон (99,898 %)	0,001	0,1	0,001	—50	Отжиг, отпуск и нагрев под закалку углеродистых и легированных сталей
гелий (99,99 %)	0,01	—	—	—50	
Водород:					
торговый	99,8	0,2	—	—30	сталей
чистый	100	—	—	—50	
Азот:					
торговый	—	99,8	0,2	—30	То же
чистый	1—3	99—97	—	—50	То же

ные газовые смеси или смеси из газов, взаимодействующих между собой. В последнем случае газы нейтрализуют друг друга при определенных температурах и составе стали, поверхность которой необходимо защитить от окисления и обезуглероживания. Атмосфера печи с такими газами будет нейтральна к поверхности нагреваемого

39. Температура точки росы для различного содержания H_2O в газах

Температура точки росы, °C	Содержание влаги, % по объему	Температура точки росы, °C	Содержание влаги, % по объему	Температура точки росы, °C	Содержание влаги, % по объему
—8	0,306	2	0,512	10	1,220
—6	0,364	0	0,605	14	1,60
—5	0,397	4	0,810	15	1,71
—4	0,432	5	0,868	16	1,82
—3	0,471	6	0,930	17	1,95
—2	0,512	7	0,998	18	2,08
5	0,397	8	1,070	19	2,22
4	0,432	9	1,140	20	2,36
3	0,471				

инструмента. Свойства контролируемых атмосфер и область их применения приведены в табл. 37, 38.

Регулирование состава контролируемой атмосферы может осуществляться по точке росы. В табл. 39 даны сведения о температуре точки росы для различного содержания H_2O в газах.

При оценке факторов, влияющих на эффективность теплообмена лучеиспусканием, следует учитывать, что при нагреве в контролируемой атмосфере сталь со светлой поверхностью воспринимает почти в 2 раза меньше лучистой энергии, чем сталь с окисленной поверхностью, поэтому при прочих равных условиях детали нагреваются дольше, чем в печах с окисленной атмосферой.

Правка после термобработки. Деформированные детали после термической обработки подвергают правке одним из следующих способов: в горячем состоянии перед охлаждением при закалке; в штампах и зажимных приспособлениях в процессе закалки и отпуска; со специальным подогревом в интервале температур отпуска стали (для закаленных и отпущенных деталей в холодном состоянии — то же).

40. Допуски на биение концевой инструмента после термообработки, мм

Длина инструмента	Диаметр инструмента					
	до 10		св. 10 до 18		св. 18 до 30	
	Рабочая часть	Хвостовик	Рабочая часть	Хвостовик	Рабочая часть	Хвостовик
До 120	0,08	0,10	0,10	0,12	0,12	0,15
Св. 120 до 260	0,10	0,12	0,12	0,15	0,18	0,18
» 260 » 450	0,12	0,15	0,15	0,18	0,18	0,20
» 450	0,15	0,18	0,18	0,20	0,20	0,23

Длина инструмента	Диаметр инструмента					
	св. 30 до 50		св. 50 до 80		св. 80	
	Рабочая часть	Хвостовик	Рабочая часть	Хвостовик	Рабочая часть	Хвостовик
До 120	0,15	0,18	0,18	0,20	0,20	0,25
Св. 120 до 260	0,18	0,20	0,20	0,23	0,23	0,27
» 260 » 450	0,20	0,23	0,23	0,25	0,25	0,28
» 450	0,23	0,25	0,25	0,28	0,28	0,30

Правку в горячем состоянии проводят в процессе ступенчатой закалки после достижения температуры начала мартенситного превращения (200—350°C). Этот вид правки применяют для сталей с малой критической скоростью закалки. Деталь, в том числе инструмент, помещают на двух опорах выпуклой частью вверх и нагружают до устранения деформации. При этом учитывают упругие деформации после снятия нагрузки. Правку проводят в два—три приема и прекращают по достижении температуры 60—40°C. Биение осевых деталей после правки проверяют в центрах индикатором, а плоских изделий — на плите щупом. Допуски на биение концевой инструмента (кроме метчиков и сверл) после термической обработки приведены в табл. 40. *Правку в штампах или зажимных приспособлениях* проводят путем совмещения операций закалки и правки или отпуска и правки.

Деталь, нагретую до температуры закалки или частично охлажденную, зажимают в штампе и в зажатом состоянии охлаждают со скоростью, необходимой для за-

калки стали данной марки, а затем (также в штампе) подвергают отпуску.

Длинные протяжки, удлиненные сверла, хвостовой комбинированный и другой удлиненный осевой инструмент подвергают *правке с подогревом*. Инструмент можно подогревать частично или полностью в ваннах или печах либо с использованием установок ТВЧ. При местном подогреве нагревают зону наибольшего прогиба. Температура подогрева не должна быть выше температуры отпуска. Динамическую нагрузку при правке прилагают в месте, противоположном области максимальной деформации. Среднюю статическую нагрузку прилагают непосредственно в месте максимальной деформации в течение длительного времени.

Правку в холодном состоянии проводят в тех случаях, когда деформация незначительна. Инструменты мелкого и среднего размера (сверла, развертки) правят на закаленных стальных плитах слабыми ударами мягкого молотка по месту максимальной деформации. У составного сварного инструмента большой длины под прессом правят незакаленные части. Цельный инструмент большой длины правят сильными ударами острозаточенного рихтовального молотка массой 1—3 кг. Удары наносят под углом 50—60 °С по направлению к оси инструмента непосредственно или через специальные ножи по деформированной части.

Контроль качества термообработки. Для определения качества термообработки применяют различные методы неразрушающего контроля с использованием просвечивания деталей, измерения интенсивности распространения в испытуемом объекте механических колебаний, определения электрических и магнитных свойств, а также методы, основанные на использовании физико-механических свойств жидкостей, газов и т. д.

Тепловой контроль термических операций проводят при помощи контрольно-измерительных, регулирующих и регистрирующих приборов, в которых в качестве датчиков измерения температуры использованы термометры и термопары. Термометры могут быть ртутные, манометрические и сопротивления. Ртутными термометрами измеряют температуру жидкой и газообразной среды в пределах —50 ... +500 °С. Манометрические термометры

применяют для измерения температур в пределах $-40 \dots +500^\circ\text{C}$ и для автоматического регулирования температур. Термометры сопротивления (термопары) применяют для измерения температур $-120 \dots +1300^\circ\text{C}$. Такие термометры бывают двух видов: показывающие и самопишущие.

Контроль твердости термообработанных поверхностей. При контроле твердости технологической оснастки по методу Роквелла определяют глубину проникновения в металл алмазного или стального наконечника. Ее выражают в условных единицах, называемых числом твердости по Роквеллу. Угловое перемещение стрелки на одно деление шкалы прибора (единица твердости) соответствует $2 \cdot 10^{-6}$ мм глубины вдавливания. Наличие окалина, грубых рисок и других дефектов искажает результаты измерений.

Для приближенного определения твердости пользуются тарированными напильниками плоской, квадратной или треугольной формы, предварительно термически обработанными на различную твердость насечки с интервалом 3—5 единиц по Роквеллу. Тарирование напильников проводят по специальным эталонным плитам, твердость которых точно определена прибором. Твердость насечки напильника обозначают на его нерабочей части (например, *HRC 56, HRC 60* и т. п.). При контроле твердости детали подбирают такую пару напильников с минимальным интервалом по твердости, чтобы напильник с меньшей твердостью скользил по проверяемой поверхности, а напильник с большей твердостью слегка ее царапал. Следовательно, твердость исследуемой поверхности будет находиться в пределах твердости напильников.

Контроль сплошности металла с помощью дефектоскопа. Исследуемую деталь намагничивают на специальных установках — магнитных дефектоскопах. Поверхность ее смачивают суспензией, состоящей из 0,5 кг порошка окиси железа и 1 л трансформаторного масла. В местах несплошности металла осаждаются частицы окиси железа, в результате чего рельефно выделяется дефект. После контроля деталь размагничивают в соленоиде.

При люминесцентном методе контроля поверхностных дефектов немагнитных металлов элементы контролируемой детали погружают в специальную жидкость, содер-

жашую флюороль — вещество, которое светится под действием ультрафиолетовых лучей. Затем деталь промывают водой, при этом жидкость удаляется только с гладкой поверхности, а в дефектных местах она остается. После этого на поверхность насыпают мелкий порошок, обычно селикагель. Порошок впитывает жидкость из полостей и остается по краям дефекта при последующей обдувке поверхности. Если такую деталь осветить в темном помещении ультрафиолетовыми лучами, места дефектов будут светиться сине-голубым светом.

Для контроля дефектов применяют также *метод импульсной ультразвуковой дефектоскопии*. Принцип действия ультразвуковых импульсных дефектоскопов состоит в том, что ультразвуковая волна, распространяющаяся в исследуемом материале, при встрече с дефектом, служащим границей раздела двух сред, например воздушная полость в стали, отражается от этой границы. Отраженные волны принимают, усиливают и подают на индикатор. Импульсные дефектоскопы могут работать с одной стороны. По направленности ультразвуковых волн можно определить месторасположение и очертание дефектов. Для точной отметки глубины залегания дефекта в дефектоскопах применяют глубиномеры. Глубиномеры также служат измерителями толщины изделий при доступе к их поверхности только с одной стороны.

Способы абразивной обработки поверхности металла после термообработки. Обработка металлическим песком. При очистке металлическим песком следует учитывать возможность изменения первоначальных свойств стали вследствие внедрения или осаждения металлических частиц на ее поверхности, увеличения шероховатости обрабатываемой поверхности на одно-два значения параметра *Ra*. Для обработки применяют чугунный песок с острыми гранями, получаемый на специальной установке разбрызгиванием и последующим размолом и просеиванием, имеющий твердость *HRC* 51—56, среднюю плотность 4,0—4,5 кг/см³ при максимальной плотности 6,9 кг/см³. Песок сортируется на фракции на вибрационных ситах.

Абразивная обработка. Регенерированные абразивные зерна получают из перемолотых отходов и использованных абразивных кругов электрокорунда с предельными размерами зерен основной фракции 630—500 мкм (зер-

41. Последовательность выполнения процесса абразивной ультразвуковой обработки

Обрабатываемый объект	Операция	Среда и режим	Примечание
Детали сложной формы — от продуктов коррозии и других дефектов перед нанесением гальванических покрытий	Травление	Серная кислота — 0,1 г/л воды, соляная кислота — 0,05 г/л воды, контакт Петрова — 30 г/л воды, 60 °С, выдержка 2 мин	Травление проводят одновременно с обезжириванием и удалением дефектов; между временем проведения операций не должно быть перерыва
Детали из коррозионно-стойкой стали — после термической обработки	Промывка Обезжиривание Предварительное травление Промывка Ультразвуковая очистка	Проточная вода Бензин Азотная кислота — 8—10 %, фтористый натрий — 45 г/л воды, выдержка 20 мин Проточная вода Сода 3 %, 50—60 °С, выдержка 3 мин	
Детали из конструкционной стали — от термической окалины перед гальванопокрытием	Травление Промывка	Серная кислота — 0,1 г/л воды, соляная кислота — 0,05 г/л воды, соль — 5 г/л воды, контакт Петрова — 30 г/л воды, 60 °С, выдержка 0,5—5 мин Проточная вода	Травление можно проводить без ультразвука, но с последующим снятием шлама в воде с помощью ультразвука

нистость 50). При обработке абразивными зернами физические свойства поверхности деталей почти не изменяются, т. е. не нарушаются магнитные, коррозионные и другие свойства и не изменяется геометрия детали. Обработанные детали имеют темно-серый цвет. Обработку проводят в обычных аппаратах эжекционного типа.

Гидро-абразивная обработка. Преимущество гидро-абразивной обработки заключается в отсутствии пылевых выделений. Недостатками ее является необходимость применения специальных герметизированных аппаратов и дополнительных операций по коррозионной защите деталей.

В качестве абразивного материала при гидро абразивной обработке от пригара и коррозии применяют песок зернистостью 160—100, т. е. с размерами зерен основной фракции 2000—1000 мкм в просеянном и просушенном виде. Такой песок смешивают с водой в отношении: 30 % воды и 70 % песка. Для предохранения деталей от коррозии в смесь добавляют 0,8—1,0 % кальцинированной соды или 0,5—1,0 % нитрита натрия. После очистки детали промывают и подвергают дополнительной антикоррозионной обработке.

При гидро абразивной обработке от окалины применяют кварцевый песок зернистостью 50—80, т. е. с размером зерен 500—800 мкм. Струя направляется под давлением $(3,9—5,9) \cdot 10^5$ Па. Расстояние от распылителя до обрабатываемой детали следует изменять от 80 до 150 мм. Оптимальный угол наклона сопла 45° .

Ультразвуковая абразивная обработка. Для ультразвуковой обработки используют колебания с частотой более 16 кГц, образуемые с помощью ультразвукового генератора. При таких колебаниях в жидкости возникают поочередно зоны сжатия и растяжения. В момент растяжения происходят местные разрывы жидкости и образуются пузырьки (полости), которые заполняются парами жидкости и растворенными в ней воздухом и другими газами. В момент сжатия пузырьки сминаются, что сопровождается сильными гидравлическими ударами. Эти удары очищают поверхность от загрязнений и других дефектов. Последовательность выполнения операций ультразвуковой обработки приведена в табл. 41.

УПРОЧНЕНИЕ КРИОГЕННЫМИ МЕТОДАМИ

Влияние криогенной обработки на структурные превращения сталей и изменение их физико-механических свойств. В структуре закаленной стали имеется некоторое количество сравнительно мягкого остаточного аустенита, что обусловлено ее химическим составом и режимом термообработки. В результате этого понижаются твердость и прочность, ухудшаются теплопроводность и магнитные свойства, изменяются размеры, ухудшается качество поверхности изделия. Отпуск закаленной стали с целью ликвидации или уменьшения количества остаточного аустенита в большинстве случаев неэффективен. Для этого наиболее рационально использовать криогенный метод (глубокое охлаждение).

В процессе криогенной обработки обеспечивается улучшение механических свойств инструментов, в том числе инструментов из быстрорежущих сталей (повышение их износостойкости и режущих свойств), повышение твердости и износостойкости контрольно-измерительных инструментов, штампов и пресс-форм, изготавливаемых из высокоуглеродистых и легированных конструкционных сталей, увеличение твердости коррозионно-стойких сталей с повышенным содержанием углерода, улучшение качества поверхностей, подвергаемых полированию или доводке, так как наличие мягких аустенитных участков препятствует получению однородной зеркальной поверхности.

При оценке целесообразности назначения криогенной обработки стали необходимо учитывать такие особенности: повторное охлаждение закаленной стали не улучшает ее свойств, если при этом не достигаются температуры более низкие, чем при закалке; продолжительность выдержки при низкой температуре не оказывает влияния на результаты обработки; наибольшие структурные изменения под влиянием криогенных температур происходят в сталях с повышенным содержанием остаточного аустенита (высокоуглеродистые и легированные стали, причем в легированных сталях больше остаточного аустенита, чем в углеродистых); закономерности изменения размеров детали в результате аустенитно-мартенситных превращений следует определять опытным путем для конкретного

42. Средние значения коэффициентов расширения структурных составляющих стали

Структурная составляющая стали	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6, ^\circ\text{C}^{-1}$	Коэффициент объемного расширения $\beta \cdot 10^6, ^\circ\text{C}^{-1}$
Аустенит	23,0	70,0
Мартенсит	11,5	35,0

43. Температура начала и конца мартенситного превращения для углеродистой стали, $^\circ\text{C}$

Количество углерода, %	Начало превращения M_H	Конец превращения M_K
0—0,3	350	200
0,3—1,17	180	—140

химического состава стали в зависимости от режимов предыдущей термообработки и конфигурации детали; при обработке детали особо сложной формы с неравномерным распределением массы рекомендуется немедленно после закалки применять отпуск для снятия закалочных напряжений; нельзя непосредственно после закалки производить охлаждение ниже нуля, так как в этих случаях увеличиваются напряжения и опасность образования трещин; криогенная обработка приводит к росту объема структурных составляющих при распаде остаточного аустенита. В табл. 42 приведены средние коэффициенты расширения аустенитно-мартенситных фаз стали.

Распад остаточного аустенита и превращение его в мартенсит происходят в определенном интервале температур (табл. 43). Если закалку осуществляли при пониженных температурах, то аустенит мало насыщен кислородом, его превращение полностью заканчивается при температуре ниже нуля, и такое охлаждение не вызывает дополнительных превращений. Если закалка выполнена при повышенных температурах, то в результате ее образуется аустенит с высокой концентрацией по углероду и легирующим элементам. При охлаждении стали, закаленной при повышенных температурах, ниже нуля проис-

44. Влияние криогенной обработки на свойства стали

Сталь	Мартенситные точки, °C		Количество аустенита, %		Прирост твердости после обработки, HRC
	M _H	M _K	до обработки	после обработки	
У7	300—250	—50	3—5	1,0	0,5
У8	250—225	—55	4—8	1—6	1,0
У9	225—210	—55	5—12	3—10	1—1,5
У10	210—175	—60	6—18	4—12	1,5—3
У12	175—160	—70	10—20	5—14	3—4
9XC	210—185	—60	6—17	4—17	1,5—2,5
X	180—145	—90	9—28	4—17	3—6
XBG	155—120	—110	13—45	2—17	5—10

ходит превращение аустенита в мартенсит, протекающее до температуры конца мартенситного превращения (табл. 44). Влияние 1 % легирующих элементов на температуру конца мартенситного превращения показано ниже.

Снижение температуры
конца мартенситного
превращения, °C

Марганец	45
Никель	26
Ванадий	30
Молибден	25
Хром	35
Медь	7

Охлаждение ниже этой температуры не вызывает дальнейшего превращения аустенита в мартенсит. Чем больше углерода и легирующих элементов в стали, тем выше температура закалки, тем большее количество остаточного аустенита получается в закаленной стали и, следовательно, тем ниже температура начала M_H и конца M_K мартенситного превращения (см. табл. 44). На количество остаточного аустенита оказывает влияние скорость охлаждения стали в области температур мартенситного превращения. С уменьшением этой скорости количество остаточного аустенита увеличивается. В некоторых марках стали не весь аустенит превращается

в мартенсит. Определенное количество его стабилизируется, причем тем большее, чем выше температура закалки и ниже температура мартенситного превращения. Выдержка закаленной стали при нормальной температуре ведет к стабилизации остаточного аустенита. После этого при последующем охлаждении превращение начинается не сразу, а после циклического гистерезиса в несколько десятков градусов. Продолжительность разрыва между временем закалки и криогенной обработки влияет на стабилизацию аустенита.

Температура, при которой аустенит стабилизируется, зависит от марки стали. Выше этой температуры, обозначаемой M_s , аустенит не стабилизируется. Если M_s лежит ниже 20°C , то между закалкой и криогенной обработкой может быть промежуток времени любой длительности. Если точка M_s лежит выше 20°C , то криогенную обработку следует проводить сразу после закалки. Стабилизирующее влияние длительности выдержки после закалки будет тем больше, чем выше лежит точка M_s . Стабилизация размеров технологической оснастки высокой точности достигается дополнительной термообработкой — старением, выполняемым после одноразовой криогенной обработки и предусматривающем длительный нагрев до $120\text{—}150^\circ\text{C}$.

Криогенную обработку целесообразно применять для нерегулируемых разверток, расточных блоков, протяжек и прошивок, гладких и резьбовых калибров (скоб, пробок, колец, шаблонов), концевых мер длины, установочных мер, рабочих деталей штампов и пресс-форм, направляющих и фиксирующих деталей станочных приспособлений, контрольных и установочных оправок.

Особенности криогенной обработки технологической оснастки, изготовленной из различных сталей. В углеродистых сталях с содержанием углерода свыше $0,6\%$ в результате криогенной обработки обеспечивается повышение твердости при любой закалочной температуре (рис. 6). При этом надо учитывать, что положение точки M_n на шкале температур изменяется с изменением температуры закалки (табл. 45). При закалке от температуры 750 до 800°C охлаждение углеродистых инструментальных сталей до -30°C достаточно для максимального превращения остаточного аустенита. Чем ниже температура закалки, а

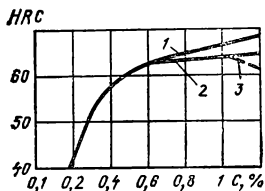


Рис. 6. Зависимость твердости закаленной углеродистой стали от содержания углерода и метода термообработки при нагреве:

1 — выше A_{c3} и обработке при криотемпературах; 2 — выше 780—800 °C; 3 — выше A_{c3}

следовательно, чем меньше аустенит насыщен углеродом, тем меньше должен быть разрыв во времени между закалкой и криогенной обработкой. Температура мартенситного превращения углеродистой инструментальной стали некоторых основных марок приведена в табл. 46.

С повышением температуры закалки быстрорежущей стали количество остаточного аустенита в ней при нормальной температуре возрастет; стабилизируемость его уменьшается. Поэтому криогенную обработку такой стали следует проводить при более низкой температуре. Сталь, закаленная при пониженных температурах нагрева, претерпевает более полное мартенситное превращение. Время между операциями закалки и криогенной обработкой для такой стали необходимо сократить. Если в процессе охла-

45. Зависимость температуры точки M_K углеродистой инструментальной стали от температуры закалки

Сталь	Температура закалки, °C	Температура M_K , °C
У8	780	0
	1000	—60
У10	780	0
	1000	—90
У12	780	—20
	1000	—100

46. Температура мартенситного превращения и эффективность охлаждения ниже 0 °C углеродистых инструментальных сталей

Сталь	Границы превращения, °C		Количество остаточного аустенита после охлаждения, %		Прирост твердости HRC после охлаждения до M_K
	M_H	M_K	до 20 °C	до M_K	
У7	300—255	—55	До 5	До 1	До 0,5
У8	255—230	—55	3—5	1—5	До 1
У9	230—210	—55	5—12	3—10	1—1,5
У10	210—175	—60	6—18	4—12	1,5—3
У12	175—160	—70	10—23	5—14	3—4

47. Зависимость количества остаточного аустенита в сталях от продолжительности перерыва при охлаждении

Продолжительность перерыва при охлаждении, ч	Полнота превращения аустенита, %	Количество остаточного аустенита, %
0,1	88	До 6,5
1,0	63	9,5
10,0	35	15

ждения до 100 °С (табл. 47) делать остановки, то количество аустенита увеличится.

Для быстрорежущих сталей преимущества криогенной обработки сохраняются после отпуска при температурах до 580 °С. Если отпуск проводят при более высоких температурах, преимущество охлаждения ниже нуля исчезает. Для снижения количества остаточного аустенита наиболее эффективна термообработка, включающая в себя отпуск (при 580 °С для стали типа Р18Ф2К8М или 560 °С для стали типа Р6М5Ф2К8 либо Р6М5Ф3) после закалки, криогенную обработку при —70 ... —100 °С (для указанных типов сталей) и двухкратный отпуск при 560—580 °С. После такой обработки количество остаточного аустенита приближается в стали типа Р18Ф2К8М до 1,9 %, в стали типа Р6М5Ф2К8 до 0,52 %; твердость стали HRC 65—66. Быстрорежущие стали, обработанные при криотемпературах и затем отпущенные, приобретают более равномерную твердость, чем стали, охлажденные только в масле и отпущенные 3 раза при 560 °С. Для резцов из быстрорежущей стали, обрабатываемой при криотемпературах, рекомендуется двукратный отпуск при 540 °С с выдержкой не менее 1 ч. Средняя стойкость инструментов, охлажденных ниже нуля, на 40—50 % превышает стойкость инструментов, не подвергающихся криогенной обработке. Температура мартенситного превращения легированной инструментальной стали некоторых основных марок приведена в табл. 48.

Криогенная обработка закаленных конструкционных сталей нецелесообразна, так как температура конца мартенситного превращения таких сталей выше 20 °С. Этот вид обработки применяют для конструкционных сталей, предварительно прошедших цементацию, азотирование или

48. Температура мартенситного превращения и эффективность охлаждения ниже нуля легированных сталей

Сталь	Границы превращения, °С		Количество остаточного аустенита после охлаждения, %		Прирост твердости HRC после охлаждения до M _K
	M _H	M _K	20 °С	до M _K	
7X	280—230	—55	3—10	1—8	До 1
7X9	240—185	—60	4—17	2—12	1—2,5
9X	220—180	—70	6—18	4—13	1—2,5
X	175—145	—90	10—28	5—14	3—6
9XC	210—185	—60	6—27	4—12	1,5—2,5
XBG	155—120	—110	13—45	2—17	До 10
XГ	120—100	—120	22—60	До 20	» 15
20X3	140—120	—100	17—40	» 15	» 10
13H2A	160—140	—95	12—30	3—14	4—7
13H5A	160—140	—95	12—30	3—14	4—7
12H5A	120—100	—120	22—60	До 20	До 15
18X2H4BA	130—120	—110	20—45	» 15	» 10

цианирование. Высокое содержание углерода в цементованном слое способствует сохранению в нем остаточного аустенита (особенно в сталях, содержащих такие легирующие элементы, как хром, никель и вольфрам). Твердость и износостойкость цементованных изделий при криогенной обработке повышаются. Режим криогенной обработки сталей с насыщенным поверхностным слоем аналогичен назначенному для углеродистых или легированных инструментальных сталей с количеством углерода и легирующих примесей, равным количеству, содержащемуся в поверхностном слое.

Рекомендации по выбору режимов термообработки инструментальных сталей с применением криогенных температур. Внедрение в производство криогенных процессов для обработки инструментальных сталей связано с изменением последовательности операций термической обработки, возможным изменением режимов операций термообработки — цементации или закалики и отпуска, минимально допустимого промежутка времени между окончанием операции закалики и началом охлаждения ниже нуля, т. е. продолжительности вылеживания при нормальной температуре, наиболее оптимальной температуры охлаждения, скорости охлаждения и продолжитель-

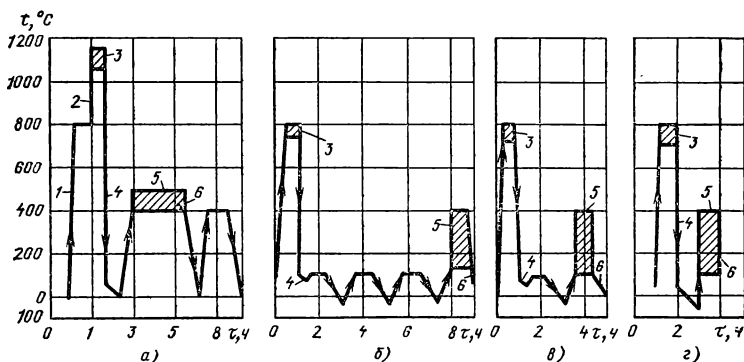


Рис. 7. Графики режимов термообработки сталей с применением криотемператур:

а — быстрорежущих; б — шарикоподшипниковых; в — легированных цементованных; г — инструментальных; 1 — предварительный нагрев; 2 — закалка в масле; 3 — интервал температуры закалки; 4 — обработка при криотемпературах; 5 — интервал температуры отпуска; 6 — охлаждение

ности выдержки при низких температурах, экономичности (с учетом окупаемости затрат, связанных с усложнением технологии).

Для деталей особо сложной формы с неравномерным распределением массы и разными переходами по сечению, особенно для деталей, изготовленных из высоколегированных сталей, характеризующихся сквозным прокаливанием, немедленно после закалки выполняют отпуск для снятия закалочных напряжений. Если охлаждать такие детали ниже нуля, то увеличивается опасность образования трещин. Поэтому их подвергают обычному отпуску, затем охлаждают ниже нуля и, наконец, подвергают вторичному отпуску при несколько пониженной температуре. Такая последовательность технологического процесса предотвращает опасность возникновения кольцевых трещин в массивных инструментах из быстрорежущей стали, сваренной встык с углеродистой или низколегированной.

При изготовлении технологической оснастки высокой точности (измерительных инструментов, деталей прецизионных приборов и т. п.) возникает необходимость обеспечения максимальной стабилизации размеров. В этих случаях необходимо устранить остаточный аустенит, сохранившийся в стали в небольших количествах после однофазовой криогенной обработки. Это достигается дополни-

49. Зависимость удельного объема аустенита и мартенсита от количества углерода в стали

Количество углерода в стали, %	Удельный объем (см ³ /г) при 20 °С	
	аустенита	мартенсита
0,2	0,12270	0,12761
0,4	0,12313	0,12812
0,6	0,12356	0,12863
0,8	1,12399	0,12915
1,0	0,12442	0,12965
1,4	0,12528	0,13061

тельной обработкой — старением изделий, предусматривающим длительный нагрев до 120—150 °С. На рис. 7 приведены графики режимов термообработки различных сталей с применением криотемператур.

Рекомендации по использованию криогенных температур для восстановления техно-

логической оснастки. Восстановление технологической оснастки, в том числе инструмента, с применением криотемператур основано на явлении роста объема структурных составляющих при распаде остаточного аустенита в охлажденных инструментальных сталях.

Процесс восстановления технологической оснастки с применением криотемператур состоит из следующих операций: очистка, обезжиривание и сушка, проводимые с помощью технических салфеток и смывочных жидкостей; комплектование технологической оснастки в партии с учетом температуры обработки и времени выдержки; криогенная обработка каждой партии в отдельности (время выдержки отсчитывается с момента прекращения кипения азота, а при использовании криогенной установки — с момента достижения требуемой отрицательной температуры в криогенном аппарате); оттаивание без использования источников теплоты, просушка по прекращении процесса охлаждения (после полного исчезновения снежного инея через 0,5—2 ч); контроль размеров технологической оснастки; доведение полученных размеров до исполнительных (выполняют по технологии, принятой для изготовления новой технологической оснастки) путем применения тонкого шлифования, притирки, хонингования и т. п.

Применение криогенных температур для стабилизации формы и размеров деталей. В результате самопроизвольных фазовых превращений в стали и перераспределения остаточных напряжений могут произойти изменения раз-

меров и формы деталей во время их эксплуатации или хранения на складе. Эти процессы, протекающие медленно при нормальной температуре, могут интенсифицироваться под влиянием естественной теплоты рук рабочего, сезонных колебаний температуры, нагрева инструмента при снятии стружки либо в результате действия силы трения в подвижных соединениях и т. п.

Обычным способом стабилизации размеров и форм точных деталей из закаленной стали является отпуск (тепловое старение). Степень стабилизации повышается при дополнительном превращении остаточного аустенита, для чего очень часто требуется отпуск при столь высокой температуре, что деталь теряет необходимую по условиям работы твердость. При обработке стальных деталей крио-

50. Влияние криогенной температуры на размерную стабильность стали при 20 °С

Сталь	Криогенная температура, °С	Твердость HRC	Изменение 1 см длины при 20 °С, мкм									
			Без отпуска					После двукратного отпуска в течение 1 ч при 150 °С				
			День	Неделя	Месяц	Квартал	Год	День	Неделя	Месяц	Квартал	Год
Углеродистая инструментальная	*1	66,0		—90	—175	—265	—405	0	—4	—8	—10	—17
	—50	67,0		—110	—205	—310	—480	0	—6	—10	—14	—11
	—160	66,5	0	—120	—240	—350	—525	0	—5	—8	—11	—16
Шарикоподшипниковая	*1	65,0	0	—10	*2	—82	—110	0	—3	—5	—6	—8
	—50	66,0		—36	*2	—110	*2	0	—2	—4	—4	—6
	—160	66,0		—50	*2	—135	—197	0	—1	—2	—4	—6
Вольфрамовая штамповая	*1	66,0		—52	—101	—156	—259	0	—3	—6	—8	—10
	—50	67,5		—88	—162	—230	—355	0	—5	—8	—11	—14
	—160	67,5	0	—94	—173	—248	—362	0	—2	—4	—6	—8
Марганцовистая штамповая	*1	64,0	0	—11	—30	—48	—87	0	—1	—2	—4	—6
	—50	64,5	0	—36	—71	—103	—158	0	—3	—5	—7	—8
	—160	65,0	0	—50	—91	—128	—183	0	—5	—8	—10	—13

*1 Приведены изменения 1 см длины необработанной стали при 20 °С.

*2 Нет данных.

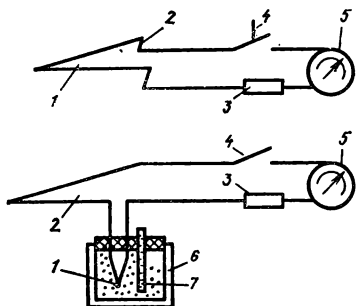


Рис. 8. Схемы прибора для замера низких температур до -150°C :

1 — рабочий спай термопары хромель-копель; 2 — свободный спай; 3 — сопротивление 420 Ом; 4 — тумблер; 5 — потенциометр; 6 — термос; 7 — термометр

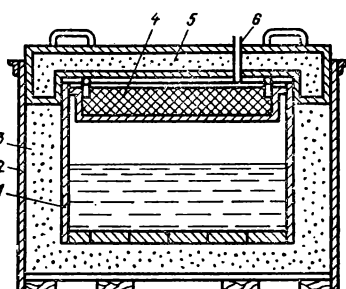


Рис. 9. Криогенный аппарат с жидкой ванной:

1 — сварной бак; 2 — контейнер; 3 — теплоизоляция; 4 — сетка с деталями; 5 — крышка; 6 — испарительная трубка

генным методом их размеры стабилизируются, что имеет особое значение для стальных закаленных точных деталей технологической оснастки, стабильность форм и размеров которых должна быть обеспечена на все время хранения и эксплуатации (калибров, мерительных эталонов, точного режущего инструмента, рабочих деталей штампов, пресс-форм и т. п.). Чем больше остаточного аустенита в структуре стали, тем эффективнее в этом отношении криогенная обработка (табл. 50).

Эффективность стабилизации размеров деталей возрастает при сочетании тепловых (отпуск, старение) и низкотемпературных методов обработки. На основании этого в зависимости от требований, предъявляемых к деталям, которые должны сохранить точные размеры, можно рекомендовать следующие варианты технологических процессов: закалка, криогенная обработка, продолжительный отпуск, включающий тепловое старение (для деталей повышенной точности, измерительных инструментов и т. п.); закалка и чередующиеся охлаждение ниже нуля и отпуск (или старение) по схеме: охлаждение—отпуск—охлаждение—отпуск (или старение для деталей особо высокой точности, где необходимо обеспечить постоянство конфигурации и размеров). Для размерной стабилизации закаленных стальных деталей необходимо обеспечить более пол-

ное превращение остаточного аустенита, чем для получения максимальной твердости.

Приборы для измерения криогенных температур. Для измерения криогенных температур в холодильных камерах применяют спиртовые термометры, дистанционные измерители, унифицированные электрические термометры, электронные автоматические уравновешенные мосты.

При отсутствии специальных средств измерения криогенных температур для этих целей можно использовать прибор, изготовленный по простейшим схемам, приведенным на рис. 8. Для настройки прибора рабочий спай помещают в криогенный аппарат, а свободный спай выводят в атмосферу. Термометром замеряют температуру окружающего воздуха и устанавливают стрелку потенциометра со специально проградуированной шкалой на замеренную температуру, после чего прибор готов к работе. Второй вариант схемы прибора отличается тем, что свободный спай помещен в колбу, установленную в термосе, наполненном льдом. Стрелку потенциометра устанавливают на нуль. Для повышения точности показаний потенциометра необходимо следить по спиртовому термометру за тем, чтобы температура свободного спаия была постоянно равна нулю.

Источники получения криогенных температур для обработки инструментальных материалов. В качестве источников умеренного холода (до -70°C) при обработке технологической оснастки используют аммиачные и фреоновые установки; для получения криогенной температуры (до -135°C) — криогенные установки. Могут также при-

51. Характеристика криоагентов

Криоагент	Агрегатное состояние	Температура нижняя при нормальном давлении, $^{\circ}\text{C}$	Скрытая теплота испарения при температуре кипения и нормальном давлении, кДж/кг
Углекислый газ	Твердое	$-78,5^*$	574,8 **
Кислород	Жидкое	$-182,8$	213,7 *
Азот	»	$-195,8$	197,8

* Температура сублимации сухого льда при нормальном давлении.

** Скрытая теплота сублимации, кДж/кг.

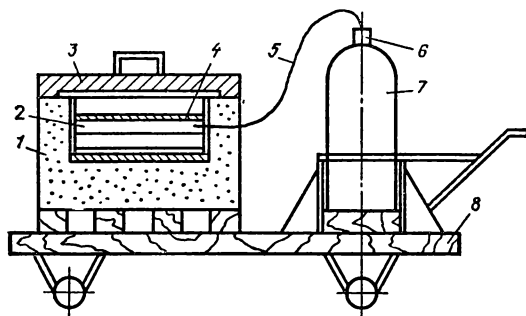


Рис. 10. Передвижной криогенный аппарат с использованием сжиженного углекислого газа:

1 — криоаппарат; 2 — рабочая ванна; 3 — крышка; 4 — сетка; 5 — шланг; 6 — редуктор; 7 — баллон; 8 — тележка

меняться криогенные аппараты и с другими источниками криотемпературы (рис. 9). Криоагентами обычно служат твердый углекислый газ (сухой лед), жидкий азот, жидкие кислород и воздух (смесь жидкого азота и жидкого кислорода) и др. Характеристика криоагентов приведена в табл. 51, температура их кипения при атмосферном давлении указана ниже.

Аммиак	—33,5
Углекислота .	—78,5
Хлористый метил	—23,7
Азот	—195,8
Смесь твердой углекислоты с:	
хлористым метилом	—82
хлороформом	—77
этиловым эфиром .	—77
треххлористым фосфором	—76
этиловым спиртом	—72
хлористым этилом .	—60
ацетоном	—78
Фреон	—29,4
Этилен	—105,2
Метан .	—161,5
Кислород	—183

При отсутствии готового сухого льда его можно получить в результате дросселирования из баллона сжиженного углекислого газа (рис. 10) через небольшое (диаметром 1,5—3 мм) отверстие сопла.

УПРОЧНЕНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

НАСЫЩЕНИЕ СОЕДИНЕНИЯМИ УГЛЕРОДА

Цементация в твердом карбюризаторе. Цементации в твердом карбюризаторе подвергают стальные детали для повышения твердости, теплостойкости и износостойкости, достигаемых при последующей закалке. Цементацию деталей малой и средней длины проводят в камерных печах, большой длины в шахтных печах. Детали

1. Составы карбюризаторов для цементации

Состав	Компонент	Содержание, %	Состав	Компонент	Содержание, %
1	Углекислый барий	20—25	5	Углекислый натрий	10
	Углекислый кальций	2,5—5		Древесный уголь	90
	Легучие	До 10		Углекислый натрий	10
	Вода	» 6		Древесный уголь	90
2	Древесный уголь	Остальное	7	Углекислый барий	6—10
	Углекислый барий	10—15		Торфяной кокс	90—94
	Углекислый кальций	3,5		Ацетат натрия	10
	Вода	До 6,0		Полукокс	30—35
3	Полукокс	Остальное	8	Древесный уголь	55—60
	Углекислый барий	12—15		Мазут	2—3
	Углекислый натрий	1,0—1,5		Ацетат бария	10
	Углекислый кальций	3,0—5,0		Полукокс	75—80
4	Мазут или патока	4,5—5,0	9	Древесный уголь	10—15
	Древесный уголь	Остальное		Древесный уголь	100
	Углекислый натрий	10,0		Углекислый натрий	5—8
	Углекислый кальций	3,0		Древесные опилки	92—95
	Древесный уголь	Остальное	12	Костная мука	60
				Углекислый натрий	5
				Подсолнечная лузга	35

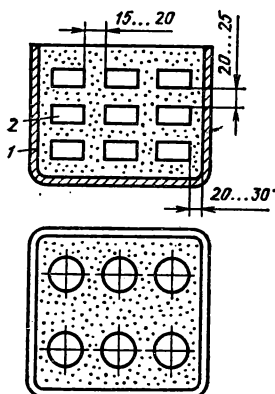


Рис. 1. Схема упаковки деталей в цементационный ящик:

1 — ящик; 2 — детали

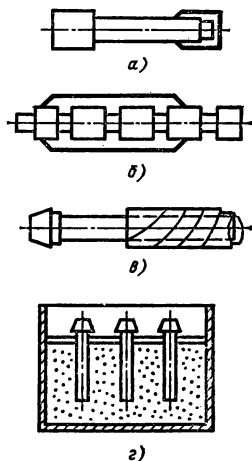


Рис. 2. Местная защита от цементации:

а — колпачок; б — труба; в — обертывание асбестом; г — частичная упаковка в карбюризатор

укладывают в цементационные ящики с карбюризатором. При выборе формы ящиков стремятся сократить неиспользуемый объем так, чтобы обеспечивался равномерный подогрев за минимальное время. Составы карбюризаторов приведены в табл. 1. Детали укладывают следующим образом: на дно ящика насыпают слой карбюризатора толщиной 30—40 мм, на него помещают детали, затем снова насыпают слой карбюризатора и так далее до верха ящика. Последним сверху должен быть слой карбюризатора (между деталями и крышкой) толщиной 20—30 мм (рис. 1). Детали должны занимать 10—15 %, а карбюризатор — 85—90 % объема ящика. При укладке деталей необходимо следить, чтобы они не касались друг друга и стенок ящика. Каждый слой карбюризатора во избежание осадки последнего и провисания деталей необходимо уплотнять, встряхивая ящик. На верхний слой карбюризатора кладут лист асбеста, закрывают ящик крышкой и обмазывают ее смесью огнеупорной глины с песком. После естественной сушки ящики ставят в печь, нагретую до заданной температуры. Расстояние между ними должно быть не менее 30—50 мм. Продолжитель-

ность процесса цементации приведена в табл. 2. При ступенчатом режиме цементации процесс ведут в два этапа: после полного прогрева ящиков с деталями в печи устанавливают рабочую температуру 950 °С. После выдержки температуру в печи снижают до 850 °С и выдерживают ящики с деталями в течение времени, указанного в табл. 3.

2. Продолжительность цементации в твердом карбюризаторе при температуре 910—930 °С в зависимости от требуемой глубины слоя и размера ящика

Минимальный размер ящика, мм	Общая продолжительность процесса, ч, при глубине слоя, мм			
	0,5—0,7	0,7—0,9	0,9—1,2	1,2—1,5
100	4—5	5—6	6—7,5	7,5—9
150	4,5—6,5	5,5—6,5	6,5—8,5	Св. 9 до 11
200	5,5—6,5	6,5—7,5	7,5—9,5	10—12
250	6,5—7,5	7,5—8,5	8,5—10,5	11—14

3. Зависимость продолжительности (мин) цементации в твердом карбюризаторе при ступенчатом режиме обработки от требуемой глубины слоя

Рабочая температура, °С	Глубина слоя, мм	
	0,7—1,0	1,1—1,5
950	1	2
850	2	3

4. Составы защитных обмазок при цементации в твердом карбюризаторе

Компонент	Содержание компонента, %	Рекомендации по изготовлению и применению смеси
Тальк	50	В смесь добавляют жидкое стекло до сметанобразной консистенции
Глина огнеупорная	25	
Вода	25	
Песок	40	
Глина огнеупорная	44	
Бура	10	Все составляющие перемешивают и разводят на жидком стекле до получения сметанообразной консистенции
Селитра натриевая	3	
Оксид свинца	3	

Продолжение табл. 4

Компонент	Содержание компонента, %	Рекомендации по изготовлению и применению смеси
Тальк	58	Смесь разводят на жидком стекле (одна часть смеси и три части жидкого стекла) Смесь разводят на воде до сметанообразной консистенции. Предпочтительно применять для защиты отверстий Замешивают на канифольном лаке до сметанообразной консистенции
Оксид алюминия	28	
Сурик свинцовый	14	
Глина шамотная	90	
Асбестовая крошка	10	
Медь однохлористая	70	Разводят на жидком стекле (три части смеси и одна часть жидкого стекла). Пасту наносят в два слоя
Сурик свинцовый	30	
Песок (кремнезем)	60	Разводят на жидком стекле до сметанообразного состояния. Пасту наносят в два слоя
Глинозем	35	
Оксид железа	3	
Оксид титана	0,25	
Оксид магния	1,75	
Глина огнеупорная	40	
Песок сеяный	45	
Бура	12	
Нитрид натрия	3	
Маршаллит	85	
Бура	2	Составы готовят отдельно и смешивают в пропорции 1 1
Тальк	13	
Хромокислый калий	12	
Кальцинированная сода	7	
Поташ	4	
Жидкое стекло	77	
Маршаллит	80	
Каолин	20	
Тальк	66	
Каолин	34	
Асбестовый порошок	35	Составы готовят отдельно и смешивают в пропорции 1 1. Разводят на жидком стекле, наносят в два слоя толщиной до 1 мм каждый Хранят не более 2 ч с момента приготовления Наносят в два слоя
Жидкое стекло	65	
Оксид меди	30	
Тальк	20	
Жидкое стекло	50	

Разборку ящиков после цементации осуществляют при температуре не выше 100 °С. Остывшие детали должны иметь светло-серую поверхность. При частичной цементации деталей поверхности, не подлежащие обработке, следует защищать (рис. 2) с помощью асбеста, труб, кол-

паков и обмазок, состав которых приведен в табл. 4 (составы доводят до сметанообразной консистенции).

Контроль качества цементованных деталей выполняют по образцам-свидетелям, изготовленным из стали той же марки и прошедшим термическую обработку и цементацию вместе с контролируемой партией деталей. Глубину цементованного слоя измеряют по микрошлифам. Контроль качества деталей, цементованных в пастах, аналогичен контролю деталей, цементованных в твердых карбюризаторах. Контроль после газовой цементации выполняют по образцам-свидетелям аналогично контролю деталей после цементации в твердом карбюризаторе. Контроль состава газовой среды в печи ведется с помощью газоанализатора. Температура нагрева деталей контролируется оптическим фотопирометром (табл. 5).

Ниже в качестве примера приведена технология приготовления защитной обмазки, состоящей из 70 %-ной меди однохлористой и 30 %-ного свинцового сурика. Смесь замешивают в 15 %-ном растворе канифоли в очищенном скипидаре. Компоненты (например, 85 г свинцового сурика и 215 г однохлористой меди) просеивают через сито и тщательно перемешивают. В 100 мл скипидара растворяют 15 г канифоли. Затем в пяти объемах раствора замешивают три объема сухой смеси. Готовую обмазку наносят кисточкой на обезжиренные участки поверхности детали слоем 1,0—1,5 мм, просушивают при температуре 100—150 °С в течение 1,0—1,5 ч и охлаждают. Допускается повторное нанесение обмазки. После цементации пленка защитной обмазки удаляется струей воды или металлической щеткой. Для повышения стойкости инструмента из быстрорежущей стали его заготовки подвергают цементации. В результате можно получить сталь с мелкими равномерно распределенными карбидами в диффузионном слое. Возрастают твердость и износостойкость, но ухудшаются прочность и вязкость, в структуре стали сохраняется большое количество остаточного аустенита (до 40 %). Количество остаточного аустенита может быть снижено при комплексной термомеханической обработке заготовок способом, изложенным в а. с. 737479 (СССР). Способ включает в себя химико-термическую обработку, высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО), закалку, отпуск и криогенную обработку.

5. Виды, причины брака при цементации, методы предупреждения и исправления

Брак	Метод определени	Основные причины образования	Методы предупреждения и исправления
Разъедание поверхности изделия	Осмотр	Наличие в карбюризаторе сернокислых солей более 3—6 %	Применение карбюризатора, содержащего не более 3—6 % сернокислых солей. Дополнительная механическая обработка
Стекловидные наплывы на поверхности	Осмотр	Наличие песка в карбюризаторе	Просеивание карбюризатора, имеющего песок. Дополнительное травление в серной или соляной кислоте либо механическая обработка, в том числе и гидроабразивная очистка
Неодинаковая глубина цементации	Осмотр излома	Плохое перемешивание карбюризатора, неравномерный прогрев ящика	Тщательное перемешивание карбюризатора, равномерный прогрев ящика. Повторная цементация при защите зон поверхности с повышенным содержанием углерода
Излишняя глубина цементации	Осмотр излома	Повышенные температуры и время выдержки при цементации	Контроль режима

Продолжение табл. 5

Брак	Метод определения	Основные причины образования	Методы предупреждения и исправления
Повышенная концентрация углерода в цементованном слое	Просмотр шлифа под микроскопом	Применение сильного карбюризатора	Контроль режима. Двойная за-калка
Пониженная концентрация углерода в цементованном слое	Определение твердости, просмотр шлифа под микроскопом	Низкая температура цементации, применение слабого карбюризатора, перегрузка печи деталями	Контроль режима. Повторная цементация по режиму в нормальном карбюризаторе
Недостаточная глубина цементации	Осмотр излома, просмотр шлифа под микроскопом	То же	То же
Поверхностное обезуглероживание цементованного слоя	Определение твердости, просмотр шлифа под микроскопом	Излишне медленное охлаждение ящиков с печью после цементации	Контроль режима. Повторная кратковременная цементация при нормальной температуре
Неравномерная цементация	Определение твердости	Грязная поверхность изделия, усадка карбюризатора	Нагрев в ящиках, наполненных смесью угля с 3—5 % кальцинированной соды, до 920—940 °С и выдержкой при этой температуре 2—4 ч

6. Режим комплексной обработки заготовок из стали Р6М5 для снижения количества остаточного аустенита

Операция	Температура, °С	Количество остаточного аустенита в зависимости от вида обработки, %
Цементация	1150 ⁺⁵⁰	—
ВТМО:		
аустенизация	1200	—
деформация	1050	—
Закалка	В масле	57
Отпуск (первый)	560	40
Отпуск (второй)	560	35
Обработка при криотемпературах	—196	16

П р и м е р. Производится изготовление режущего инструмента (зенкеров и разверток) из быстрорежущей стали Р6М5. Заготовки подвергают высокотемпературной цементации в твердом карбюризаторе при температуре 1150⁺⁵⁰ °С с выдержкой в течение 8 ч. В результате глубина слоя насыщения углеродом достигает 3,2 мм при концентрации 1,1 %. Затем осуществляют ВТМО по следующему режиму: нагрев до температуры аустенизации 1200 °С, подстуживание до 1050 °С, горячее гидродинамическое выдавливание заготовок зенкеров со степенью деформации 72 % и заготовок развертки со степенью деформации 65 % за проход без пресс-остатка, с последующей немедленной закалкой в масле.

Выдавленные заготовки подвергают двухкратному отпуску при 560 °С продолжительностью по 1 ч и криогенной обработке в жидком азоте в течение 30 мин по режиму, приведенному в табл. 6. В результате такой обработки профильная заготовка инструмента имеет поверхностный упрочненный и износостойкий слой глубиной 2,1—2,3 мм по вершине зуба, твердостью HRC 66—68 с припуском под шлифование. Износостойкость зенкеров и разверток, обработанных указанным способом, в 1,5—2 раза выше по сравнению с инструментом, изготовленным другими способами. Рентгеноструктурные и металлографические исследования показывают, что деформация в режиме ВТМО способствует формированию однородной дисперсной структуры металла с аустенитным зерном 12—13 балла и карбидной неоднородностью 1—2 балла.

7. Составы паст, применяемых для цементации стали

Состав	Компонент	Содержание, %
1	Газовая сажа	28
	Кальцинированная сода	3,5
	Железосинеродистый калий	1,5
	Веретенное масло (отработанное)	67
2	Голландская сажа	30
	Кальцинированная сода	10
	Декстрин	20
	Индустриальное масло (отработанное)	40
3	Голландская сажа	55
	Кальцинированная сода	30
	Щавелево-кислый натрий	15
4	Ацетиленовая сажа	30
	Кальцинированная сода	20
	Декстрин	10
	Мазут	40
5	Древесноугольная пыль	75
	Кальцинированная сода	5
	Железосинеродистый калий	10
	Декстрин	10
6	Ацетиленовая сажа	60
	Кальцинированная сода	30
	Железосинеродистый калий	5
	Декстрин	5
7	Голландская сажа	70
	Кальцинированная сода	10
	Железосинеродистый калий	10
	Декстрин	10

Использование этого способа обеспечивает получение высокой твердости поверхностного слоя, повышенных прочностных и пластических свойств сталей, износостойкости, долговечности и надежности работы инструмента, повышение качества и стойкости режущего инструмента в 1,5—2,0 раза и снижение расхода инструментальных сталей на 30—50 %.

Цементация в пасте. При единичном и мелкосерийном производстве применяют цементацию в пасте, позволяющую сократить продолжительность процесса. Составы паст приведены в табл. 7.

Для изготовления паст исходные материалы просеивают и взвешивают в нужной пропорции, затем сыпают в мешалку и тщательно перемешивают. Жидкие составляющие (масло, мазут, керосин) вводят при непрерывном перемешивании. Паста должна иметь сметанообразную консистенцию. Для получения равномерной глубины цементованного слоя пасту необходимо наносить на поверхность детали ровным слоем. Приближенно можно считать, что толщина слоя пасты должна быть в 5—8 раз больше требуемой глубины цементованного слоя. Перед покрытием пастой детали должны быть тщательно очищены от окалины, коррозии, грязи и т. п.; в противном случае паста плохо удерживается на поверхности. Детали, покрытые слоем пасты, загружают в ящики. Кромки крышек ящиков тщательно промазывают огнеупорной глиной. Цементацию проводят при 910—950 °С. Продолжительность цементации пастой при температуре процесса 950 °С по сравнению с цементацией в твердом карбюризаторе при 910 °С сокращается в 5—6 раз. Содержание углерода в цементованном слое достигает 1,0—1,2 %; твердость после закалки превышает *HRC* 60. После цементации детали охлаждают на воздухе, затем осуществляют закалку. В целях экономии времени и сокращения числа подогревов закалку деталей целесообразно проводить непосредственно после извлечения их из цементационного ящика, температура которого на воздухе снижается до температуры закалки.

Цементация в жидкой среде. Этот процесс осуществляется в ваннах с расплавленными солями и приме-

8. Составы ванн для цементации в жидкой среде

Состав	Компонент	Содержание, %
1	Кальцинированная сода	83—84
	Поваренная соль	8—10
	Карбид кремния	7—8
2	Кальцинированная сода	78—81
	Поваренная соль	5—6
	Хлористый аммоний	6—8
	Карбид кремния	7—8

няется для обработки деталей небольших размеров. Составы ванн приведены в табл. 8.

Предварительно очищенные и подогретые до 300—400 °С детали загружают в соляную ванну в сетчатом ковше. Рабочая температура процесса 850—870 °С, скорость цементации в пасте состава 1 0,25—0,35 мм/ч, состава 2 0,45—0,55 мм/ч; достигаемая глубина цементации 0,1—0,5 мм.

Газовая цементация. Осуществляют в муфельных шахтных электропечах. В качестве жидких карбюризаторов применяют бензол, синтин, керосин, пиробензол, индустриальное и трансформаторное масло; в качестве газообразных — природный и попутный газы, газ нефтяных месторождений, пропано-бутановые смеси. В шахтные печи с вентиляторами жидкие карбюризаторы подают в виде капель или в пылевидном состоянии через фор-

9. Расход карбюризатора при газовой цементации

Характеристика печи		Керосин, пиробензол, синтин			Природный газ		
Объем рабочего пространства, м³	Средняя часовая производительность при цементации на глубину 1 мм, кг/ч	капель/мин		л/ч на 1 м³ рабочего пространства	м³/ч		л/ч на 1 м³ рабочего пространства
		Нагрев	Выдержка		Нагрев	Выдержка	
0,04	100	25—35	60—70	4,50	—	—	—
0,080	150	35—45	60—90	2,50	0,3—0,5	0,9—1,2	13,0
0,14	220	35—45	70—90	1,50	0,3—0,5	0,9—1,2	7,5
0,25	400	50—75	120—150	1,47	0,4—0,6	1,2—1,6	5,6
0,35	600	50—75	120—150	1,05	0,4—0,6	1,2—1,6	4,0
0,85	1500	60—80	150—170	0,52	0,4—0,6	1,2—1,8	1,78
0,03	50	25—35	40—60	4,50	—	—	—
0,10	150	35—45	60—90	2,10	0,3—0,5	0,9—1,2	10,0
0,14	220	35—45	70—90	1,50	0,3—0,5	0,9—1,2	7,5
0,34	600	50—75	120—150	1,10	0,4—0,6	1,2—1,6	4,1
2,80	—	—	2,0—2,5	0,80	—	4,0—6	1,8
37,0	—	—	—	—	—	4,0—8	1,2

П р и м е ч а н и е. Принято, что в 1 см³ жидкого карбюризатора содержится в среднем 23 капли.

**10. Зависимость глубины цементованного слоя
от продолжительности выдержки при температуре 930 °С
(без учета времени прогрева)**

Глубина слоя, мм	Продолжительность цементации, ч					
	Керосин	Бензол	Пиробензол	Масло		Синтин
				трансформаторное	индустриальное 20	
От 0,7 до 1,0	5—7	—	4—6	4—6	7—9	3—4
Св. 1,0 » 1,3	7—9	8—10	6—8	5—8	10—12	5—6
» 1,3 » 1,6	9—11	10—12	8—10	8—10	12—14	6—8
» 1,6 » 1,9	11—13	13—15	10—12	10—12	14—17	9—10
» 1,9 » 2,5	13—15	15—18	—	13—15	—	—

11. Составы защитных обмазок при газовой цементации

Состав	Компонент	Содержание, % по массе	Примечание
1	Маршаллит	85—90	Разводят на жидком стекле
	Бура	1,5—2,0	
	Тальк	10—15	
2а	Хромовокислый кальций	12	Составы 2а и 2б готовят отдельно и смешивают в соотношении 1 1
	Кальцинированная сода	7	
	Поташ	4	
	Жидкое стекло	77	
2б	Маршаллит	80	
	Каолин	20	Разводят на жидком стекле и наносят в два слоя
3	Песок	44	
	Глина	40	
	Бура	13	
	Нитрит натрия	3	
4	Тальк	70	Разводят на жидком стекле
	Каолин	30	
5	Асбестовый порошок	35	Хранят не более 2 ч с момента приготовления
	Жидкое стекло	65	
6	Свинцовый сурик	4	Наносят в два слоя. Обмазка пригодна при высокотемпературной цементации
	Окись алюминия	8	
	Тальк	16	
	Жидкое стекло	72	
7	Окись меди	30	
	Тальк	20	
	Жидкое стекло	50	

сунки, соединенные с двух- или четырехплунжерными насосами. Расход различных карбюризаторов приведен в табл. 9. Цементующая активность жидких карбюризаторов приведена в табл. 10.

При частичной цементации поверхности детали, не подлежащие обработке, следует изолировать от атмосферы печи с помощью защитных обмазок, составы которых приведены в табл. 11. Очищенные детали, уложенные в корзину или в специальные приспособления, загружают в печь на расстоянии 5—10 мм друг от друга. Продолжительность периода нагрева определяется в зависимости от типоразмера печи и колеблется в пределах 1—4 ч. Скорость нагрева и выдержку определяют с помощью данных, приведенных в табл. 12, 13. Заданную глубину цементованного слоя получают путем подбора температуры процесса. Рабочая температура обычного режима цементации 900—940 °С, высокотемпературной цементации 970—1100 °С. Влияние температуры на глубину цементации при выдержке в течение 3 ч и использовании различных карбюризаторов показано на рис. 3.

Охлаждение деталей после газовой цементации осуществляют в колодцах, на воздухе или в закалочных

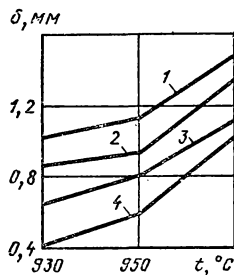


Рис. 3. Влияние температуры на глубину цементации при различных карбюризаторах:

1 — синтин; 2 — керосин; 3 — уайт-спирит; 4 — индустриальное масло

12. Средние значения скорости газовой цементации при различной температуре процесса

Глубина слоя,	Скорость, при температуре, °С				
	900	925	950	975	1000
До 0,5	0,45	0,55	0,75	—	—
0,5—1,0	0,30	0,40	0,55	0,75	0,95
1,0—1,5	0,20	0,30	0,40	0,55	0,75
1,5—2,0	0,15	0,20	0,25	0,35	0,55
2,0—2,5	0,12	0,15	0,20	0,25	0,40

13. Продолжительность выдержки при нитроцементации инструментов из быстрорежущей стали

Инструмент	Диаметр или толщина, мм	Выдержка, ч		
Сверла, зенкеры, развертки	До 15	1,0—1,5		
	15—25	1,5—2,0		
	25—50	2,0—3,0		
Метчики	До 15	0,5—1,0		
	15—25	1,0—1,5		
	25—50	1,5—2,0		
Фрезы:	резьбовые с зубьями шлифованными	25—50	1,0—1,5	
		Св. 50	1,5—2,0	
		25—50	1,5—2,0	
	то же, нешлифованными	Св. 50	2,0—2,5	
		50—75	1,0—1,5	
	червячные и шлицевые с зубьями шлифованными	Св. 75	1,5—2,0	
		50—75	1,5—2,0	
	то же, нешлифованными	Св. 75	2,0—2,5	
		До 50	1,0—1,5	
	цилиндрические, фасонные и торцо- вые	50—75	1,5—2,0	
		Св. 75	2,0—2,5	
	Резцы:	дисковые	До 10	1,0—1,5
			Св. 10	1,5—2,0
		круглые	До 5	1,0—1,5
			5—15	1,5—2,0
тангенциальные		10	1,5	
		25	2,0	

средах (при непосредственной закалке). Скорость охлаждения выбирают такой, чтобы обеспечивались минимальное коробление, отсутствие трещин, карбидной сетки и, в случае необходимости, возможность механической обработки.

Метод газовой цементации применяют и для упрочнения инструментов, изготовленных из твердых сплавов и быстрорежущих сталей. Этим методом за 3—5 ч цементации при температуре 1000—1100 °С можно получить диффузионный слой толщиной 3—7 мкм, состоящий из монокарбидов Ti, V, Nb, Cr, Mo, W и сложных карбидов Ti—Nb, Ti—Cr, Nb—Cr и др. Газовую цементацию используют для повышения эксплуатационной стойкости ковочных штампов, изготовленных из сложнелегирован-

ных сталей, обладающих эффектом вторичной твердости (например, сталь состава (%): С 0,36; Si 1,1; Cr 5,3; W 1,3; Mo 1,5; V 0,3). Инструмент подвергают подогреву до 590 °С, затем нагреву в камере в атмосфере эндогаза до 850 °С и цементации при 1020 °С в атмосфере эндогаза, обогащенной метаном, от 0,5 до 3 ч. Охлаждение (закалку) после цементации проводят в эндогазе, после чего выполняют трехкратный отпуск при 560 °С с выдержкой 1 ч на каждые 200 мм сечения. Получают цементованный слой глубиной до 0,75 мм с твердостью на поверхности HV 650; содержание С на поверхности 0,7 %, в середине слоя 0,5 %. Стойкость цементованных штампов при изготовлении клапанов возрастала до 4000—6000 шт. против 1800—2500 шт. для обычных штампов; при изготовлении шпинделей стойкость возрастала до 5500—6000 шт. против 4000—4500 шт. Цементация может быть применена и для штампов из других Cr—Mo—V и Cr—Mo—W-содержащих сталей.

Низкотемпературная нитроцементация. Такой обработке подвергают технологическую оснастку, изготовленную из быстрорежущей стали всех марок. При нитроцементации происходит одновременно насыщение поверхностного слоя азотом и углеродом, образующимися в результате разложения жидкого цианидатора — триэтанолламина $(C_5H_5O)_3N$, жидкого или газообразного карбюризатора и аммиака при их одновременной подаче в печь. В качестве жидких карбюризаторов применяют керосин, легкое индустриальное масло, пиробензол; в качестве газообразных — природный газ и газ, используемый для бытовых нужд. Состав карбюризатора и атмосферы печи при низкотемпературной нитроцементации приведен в табл. 17.

Низкотемпературная нитроцементация повышает твердость на поверхности изделий, сопротивление износу и задиру, обеспечивает хорошую прирабатываемость и высокую износостойкость. При низкотемпературной нитроцементации инструмента из быстрорежущих сталей за 60—240 мин происходит образование диффузионного слоя глубиной 0,03—0,08 мм с содержанием углерода 0,96—1,02 % и азота 0,15—0,30 %. Слой имеет высокую твердость (H_{25} 91,7—97,8) и износостойкость. Хрупкого слоя, содержащего избыточную ϵ -фазу, на поверхности инстру-

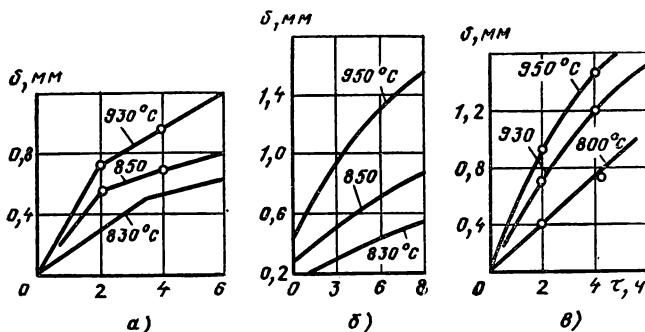


Рис. 4. Зависимость глубины нитроцементованного слоя от температуры процесса:

а — триэтаноламин; б — пиробензол и аммиак; в — промышленное масло и аммиак

мента не образуется. Поверхность приобретает матовый, синеватый цвет. Нитроцементацию проводят в шахтных муфельных электропечах или в камерных электропечах после механической и термической обработки. Инструмент не должен иметь прижогов, заусенцев и других дефектов на поверхности режущих кромок. Твердость инструментов перед нитроцементацией должна быть не менее *HRC* 61. Подготовка деталей к нитроцементации заключается в очистке и обезжиривании поверхности. С этой целью их тщательно протирают и промывают в бензине или 5 %-ном растворе каустической соды (едкого натра), нагретом до 80—90 °С в течение 10—15 мин. После промывки детали насухо протирают и устанавливают в приспособлении или укладывают в корзины с соблюдением зазоров, необходимых для свободной циркуляции газов. Приспособления с нитроцементуемыми деталями загружают в печь после того, как в ней будет достигнута рабочая температура, равная температуре предшествовавшего отпуска (для инструментов из быстрорежущей стали 550—560 °С, для инструментов из высокохромистых сталей типа X12 и X12Ф1 510—520 °С). Подачу карбюризатора проводят при закрытой крышке печи. В период прогрева печи до рабочей температуры в нее вводят примерно 30—40 % объема карбюризатора. Остальное количество карбюризатора (60—70 %) расходуют равномерно в течение всего периода выдержки деталей в печи. Глубина слоя нитроцементации составляет 0,02—0,05 мм. На рис. 4

показана зависимость глубины нитроцементованного слоя от температуры процесса. Продолжительность низкотемпературной нитроцементации дана в табл. 14, средняя скорость нитроцементации — в табл. 15, режимы высокотемпературной нитроцементации приведены в табл. 16. Продолжительность выдержки устанавливают в зависимо-

14. Продолжительность низкотемпературной нитроцементации при 570 °С

Насыщающая среда	Продолжительность процесса, ч
Эндогаз (40 % H_2 , 20 % CO , 40 % N_2) + 25 % аммиака Экзо- и эндогаз (20 % H_2 , 20 % CO , 60 % N_2) + 50 % аммиака	0,5—3
Экзогаз (90 % N_2 , 10 % CO_2) + 50 % аммиака, 50 % продуктов пиролиза керосина, спирта или синтина + 50 % аммиака	1—6

Примечания: 1. При применении эндогаза ниже 700 °С возможен взрыв. Для предотвращения взрыва рекомендуется следующая технология: у передней дверцы создается пламенный затвор, печь нагревают до 800 °С, подают при этой температуре эндогаз и аммиак, далее снижают температуру до 620 °С, печь постоянно продувают газом, загружают детали и выполняют процесс при 570 °С.

2. После окончания процесса ускоренное охлаждение в светложидком масле или потоке защитного газа.

15. Средняя скорость нитроцементации (мм/ч) при различных температурах процесса

Глубина слоя, мм	Температура процесса, °С		
	860	930	950
До 0,5	0,20	0,40	0,50
0,5—1,0	0,15	0,30	0,40
1,0—1,5	0,12	0,20	0,30

16. Режимы высокотемпературной нитроцементации стали

Насыщающая среда	Температура, °C	Глубина слоя, мм	Примечание
Эндогаз (20 % CO, 40 % H ₂ , 40 % N ₂) + + 3—5 % природного газа + 3—5 % аммиака *	860	0,25—1,0	Процесс осуществляется в безмуфельных методических печах. Углеродный потенциал регулируется по точке росы или содержанию CO ₂ . Приборы для регулирования потенциала азота не разработаны
Маловодородный экзэндогаз (20 % CO, 20 % H ₂ , 60 % N ₂) + 0,5—0,8 % природного газа + + 2—4 % аммиака	860	0,5—0,8	То же. Применение маловодородной эндотермической атмосферы менее пожароопасно, а также устраняет возможность возникновения водородной хрупкости
Маловодородный эндогаз + 1,5 % природного газа + 4—6 % аммиака	820—860	0,2—0,5	
Природный газ + + 20—25 % аммиака	860	0,6—0,9	Процесс ведется в вертикальных печах типа Ц
Триэтаноламин + + 10 % воды	860—930	0,2—1,0 0,8—1,5	Процесс осуществляется в вертикальных и ретортных шнековых печах. Дозированную подачу триэтанолamina в печь осуществляют с помощью топливного насоса
Синтин, керосин, спирт и т. п. + 5—50 % аммиака от общего объема ^{2*}	860—930	0,4—1,5	Процесс ведется в вертикальных печах

^{1*} Из-за отсутствия приборов автоматического регулирования азота подача аммиака в атмосферу печи должна строго регулироваться.

^{2*} Рекомендуется подавать в печь азот для лучшей циркуляции газа в рабочем объеме печи. В печь Ц-60 рекомендуется вводить 43—49 % керосина (0,5 л/мин), 14—17 % аммиака (2,0 см³/мин) и 34—43 % технического азота (150 см³/мин).

17. Состав карбюризатора и атмосферы печи при нитроцементации

Состав карбюризатора, %					Темпе- ратура печи, °C	Расход, ка- пель/мин
(C ₈ H ₄ ON ₈)N	NH ₄ OH	NaNO ₃	NaAlO ₂	H ₂ O		
94,5	0,5	0,3	0,3	4,4	550	$\frac{50}{60}$
94,5	0,5	0,3	0,3	4,4	560	$\frac{55}{65}$
95,3	0,5	0,4	0,2	3,6	560	$\frac{60}{70}$

Продолжение табл. 17

Точка росы	Состав атмосферы печи, * %					
	CO	CH ₄	NH ₃	H ₂	CO ₂	O ₂
-2+1	26—27	3,0—3,2	7—8	28—30	0,60	0,3
-3—6	28—30	3,5—4,3	6—9	28—32	0,30	0,2
-3—7	27—29	3,4—3,8	8—11	24—27	0,60	0,5

Примечания: 1. В числителе приведены данные расхода для печи Ц-25; в знаменателе — для печи Ц-75.

* Остальное азот.

сти от вида и размеров поперечного сечения инструмента. В табл. 13 указана продолжительность выдержки с момента достижения рабочей температуры 550—560 °C при нитроцементации деталей из быстрорежущей стали. По окончании выдержки прекращается подача аммиака, а затем и карбюризатора. Печь выключают, и после того, как погаснет факел отходящих газов, крышку открывают и выгружают инструменты из муфеля.

Для изготовления специального инструмента из стали Р6М5, подвергающегося карбидизации, рациональна следующая технология. Фильеры, центры для шлифования, матрицы и пуансоны для вырубki листовых заготовок после механической обработки с припуском до 0,15 мм

на сторону подвергают карбидизации по режиму: загрузка в печь Ц-25, разгретую до 940 °С, подача карбюризатора (80 капель/мин в первые 30 мин и 100—110 капель/мин во время выдержки в течение 6—10 ч); охлаждение садки в масле, загрузка на отпуск при температуре деталей 120—140 °С, отпуск при 200—220 °С в течение 6 ч, охлаждение на воздухе; заточка, измерение твердости по Виккерсу ($HV_{30/30}$ 950—980); шлифование, доводка, промежуточный отпуск при температуре 180 °С в течение 6 ч.

Дисковые резцы, матрицы для холодной высадки, развертки карбидизируют по аналогичному режиму, охлаждают на воздухе, проводят высокий отпуск при 700 °С в течение 4 ч. Затем проводят закалку с подогревом до 840 °С в течение 20 мин, нагревом до 1120—1140 °С (8—10 мин) в масле. После трехкратного отпуска при температуре 520 °С в течение 2 ч измеряют твердость HV_{50} 96—107 и проводят заточку с промежуточным отпуском при 500 °С в течение 2 ч.

Газовая карбидизация в продуктах пиролиза триэтанолamina с активизирующими добавками для повышения твердости специального инструмента из стали типа Р6М5 экономична, позволяет повысить износостойкость фильер, матриц, пуансонов по сравнению с аналогичной оснасткой из стали типа Х12М в 2—4 раза или до уровня твердосплавных из сплавов марок ВК10, ВК20.

Для инструментов, прошедших нитроцементацию, применяют следующие виды контроля: наружный осмотр для выявления видимых следов окисления, бурого налета, закоксовывания, а также забоин, сколов и пр.; выборочный контроль твердости с помощью приборов Виккерса либо Супер—Роквелла и проверка хрупкости слоя с помощью прибора Роквелла (проверка ведется по образцам-свидетелям, изготовленным из той же стали, что и инструменты, и прошедшим термическую обработку и нитроцементацию вместе с инструментами); контроль состава газов в печи путем химического анализа проб отходящих газов; контроль расхода газа с помощью реометров; контроль расхода жидких карбюризаторов, а также триэтаноламина путем измерения мензуркой подачи в единицу времени.

Для интенсификации процесса насыщения и повышения износостойкости диффузионного слоя в карбюризатор,

содержащий триэтаноламин и воду, дополнительно вводят уксуснокислый аммоний, аммоний и никель азотнокислый [а. с. 740863 (СССР)]. В карбюризатор, содержащий триэтаноламин и воду, дополнительно вводят уксуснокислый аммоний, аммоний и никель азотнокислый при следующем соотношении компонентов (%): уксуснокислый аммоний 2,5—6,0; азотнокислый аммоний 3,0—10,0; азотнокислый никель 0,5—1,2; сода 1,0—12,0; триэтаноламин остальное.

Введение в триэтаноламин азотнокислого и уксуснокислого аммония снижает температуру разложения основного компонента триэтанолamina до 490—500 °С. Скорость и полнота пиролиза, определяемого по выходу активных газов, повышается на 30—80 %. Образующиеся частицы окиси никеля оказывают влияние на связывание водорода в молекулярную форму, что предотвращает возникновение повышенной хрупкости в поверхностном слое. Карбюризатор готовят последовательным введением в чистый триэтаноламин насыщенных водных растворов азотнокислого аммония NH_4NO_3 , уксуснокислого аммония $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ и азотнокислого никеля $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$. Азотнокислый аммоний готовят растворением в воде при нормальной температуре 1780—1800 г/л химически чистого NH_4NO_3 ; уксуснокислый аммоний вводят в виде содержащего 1400—1480 г/л водного раствора; азотнокислый никель — в виде содержащего 2300—2350 г/л водного раствора. Максимальное количество воды, вводимое с насыщенными водными растворами, не превышает 12 %.

П р и м е р. Подвергают нитроцементации при 570 °С в течение 3 ч в печи Ц-25 зенкеры из стали Р9К5, имеющие после закалки и отпуска HRC 65,5. Состав карбюризатора (%): уксуснокислый аммоний 6,0; азотнокислый аммоний 10; азотнокислый никель 1,2; вода 7,5; триэтаноламин остальное.

Расход карбюризатора в первые 20 мин составляет 138 см³/ч, а затем 156 см³/ч. Охлаждают на воздухе. Скорость насыщения составляет 0,03 мм/ч против 0,015 мм/ч в других карбюризаторах. Получают слой глубиной 0,101 мм с микротвердостью $H_{\mu,0}$ 1007, в то время как при обработке в других карбюризаторах глубина слоя 0,056 мм. Износостойкость слоя повысилась в 1,5 раза.

Карбюризатор обеспечивает повышение скорости образования слоя с оптимальным соотношением азота и углерода в 1,5—1,7 раза. Износостойкость инструмента повышается в 1,4—2 раза. Слои не склонны к выкрашиванию при ударных нагрузках и при значительных толщинах (0,2—0,25 мм). Карбюризатор прост в приготовлении, не содержит дефицитных и токсичных компонентов, не образует сажистых смолистых соединений в печах и системах отвода газообразных продуктов из печей.

Нитроцементация в твердых смесях применяется преимущественно для повышения работоспособности инструментов из быстрорежущих сталей. Рабочая смесь (%): 60—80 древесного угля и 20—40 желтой кровяной соли, либо 20—40 животного угля, 40—60 древесного угля и 20—25 желтой кровяной соли. Составляющие смеси дробят, просеивают и тщательно перемешивают. Поперечный размер кусочка угля не должен превышать 1—3 мм. Смесь просушивают при температуре 100—120 °С. Предварительно очищенные детали упаковывают в металлические ящики, пересыпая их смесью. Ящики устанавливают в печь и выдерживают при температуре 550—560 °С в течение 2—3 ч. Затем ящики выгружают из печи, охлаждают до 200—100 °С и распаковывают. Охлаждение ящиков до нормальной температуры приводит к слипанию смеси, что затрудняет распаковку и очистку. При указанной продолжительности выдержки глубина нитроцементованного слоя достигает 0,015—0,055 мм.

Нитроцементация пастами. Состав пасты: 16,7 желтой кровяной соли; 21,5 карбюризатора; 4,2 углекислого натрия; 3,8 карборунда; 0,9 цемента и 52,9 жидкого стекла. Паста в сметанообразном состоянии наносится на обрабатываемую деталь, предварительно подогретую до 300 °С. Карборунд и цемент способствуют быстрому затвердеванию пасты на воздухе, препятствуют стеканию солей при нагреве детали до температуры обработки. Поверх слоя пасты наносят смесь из 60 % кварца и 40 % жидкого стекла и погружают в 30 %-ный водный раствор аммиака. При последующем нагреве ТВЧ смесь превращается в керамическую оболочку. Для нитроцементации нагрев производится ТВЧ до температуры 1200 °С. За 2 мин глубина слоя достигает примерно 1 мм. Метод удобен при производстве зубчатых колес, дисков, муфт,

кулачков и других подобных деталей, изготавливаемых из конструкционных сталей.

Цементация литого инструмента из быстрорежущих сталей. Существенный недостаток литого быстрорежущего инструмента — повышенная хрупкость из-за наличия в структуре стали карбидной эвтектики. Повышение износостойкости такого инструмента может быть достигнуто обезуглероживанием поверхностного слоя металла и последующей его высокотемпературной цементацией [а. с. 850703 (СССР)]. Способ включает гомогенизирующую обработку, закалку и отпуск. Гомогенизирующую обработку проводят двухступенчато при 1270—1280 °C и 1310—1320 °C в обезуглероживающей атмосфере, а затем осуществляют высокотемпературную цементацию. Обезуглероживание при 1270—1280 °C обеспечивает получение низкоуглеродистой оболочки, необходимой для предотвращения роста расплавленной эвтектики, которая образуется при 1310—1320 °C. За сравнительно короткое время получают слой феррита в 2—3 мм. В нем эвтектические карбиды полностью отсутствуют.

Последующее науглероживание обезуглероженной поверхности (например, высокотемпературная цементация) позволяет получить в поверхностном слое структуру с мелкозернистыми равномерно распределенными карбидами, обеспечивающую после окончательной термической обработки высокие режущие свойства и износостойкость литого режущего инструмента из быстрорежущей стали.

Пример. Заготовки размером 10×100×60 мм, полученные методом точного литья из быстрорежущей стали Р6М5, нагревают до 1270 °C и обезуглероживают в среде влажного водорода в течение 1 ч. Затем повышают температуру до 1310 °C с двухчасовой выдержкой при этой температуре. Последующее охлаждение со скоростью 15 град/с. В результате на поверхности заготовок образуется слой феррита толщиной 3 мм. Обезуглероженные заготовки подвергают высокотемпературной цементации в стандартном твердом карбюризаторе при 1150 °C с выдержкой в течение 2 ч. Охлаждение до 850 °C ведут с печью. Выдерживают при этой температуре 2 ч и окончательно охлаждают с печью. В результате высокотемпературной цементации в обезуглероженном поверхностном слое об-

разуется структура с мелко дисперсными равномерно распределенными карбидами.

После химико-термической обработки проводится окончательная термическая обработка по режиму, соответствующему термической обработке быстрорежущей стали Р6М5. Величина и темп изнашивания резцов из этой быстрорежущей стали, обработанных по предложенному способу, значительно меньше, чем у резцов, изготовленных из литой быстрорежущей стали. Способ обеспечивает получение поверхностного слоя с мелкодисперсными равномерно распределенными карбидами, что значительно повышает режущие свойства и износостойкость литого режущего инструмента из быстрорежущей стали.

Диффузионное насыщение инструментов, изготовленных из быстрорежущих сталей, карбидами металлов непосредственно в процессе резания можно осуществить описанным ниже способом [а. с. 722999 (СССР)]. Известно, что в результате заточек, которым подвергаются инструменты после химико-термической обработки, происходит частичное обезуглероживание режущих кромок и отпуск затачиваемых поверхностей, что приводит к снижению их твердости. Способ повышения износостойкости режущих инструментов непосредственно при их эксплуатации включает в себя нагрев и диффузионное насыщение металла инструмента в полимерсодержащей среде. Нагрев осуществляют обработкой резанием, а насыщение подачей полимерсодержащей среды в зону резания. В качестве полимерсодержащей среды используют 10 %-ную суспензию полиэтилена низкого давления (ГОСТ 16338—77) в 5 %-ной водной эмульсии эмульсола ЭТ-2. Обработка резанием в полимерсодержащей среде осуществляется при ужесточении режимов резания на 20—30 % в течение 2—3 мин. Ужесточение режимов обработки по сравнению с обычно принятой технологией требуется для создания в зоне обработки необходимых энергетических условий, обеспечивающих с одной стороны эффективную термомеханодеструкцию полимерного компонента среды до образования активного атомарного углерода, а с другой — высокую температуру и ингредиент механических напряжений на режущих кромках инструмента. При резании в полимерсодержащей среде происходит науглероживание инструмента. Высокая температура в зоне резания спо-

способствует деструкции полимера, содержащегося в среде, с последующим образованием активного углерода. Это значительно ускоряет его диффузию в металл инструмента (содержание углерода в процессе такой обработки в полимерсодержащей среде увеличивается на 0,4—0,5 %). Высокая концентрация активного углерода в зоне резания и наличие ювенильных (свободных от окислов) поверхностей способствуют дополнительному образованию мелкодисперсных карбидов типа $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$.

Пр и м е р. Сверла из стали Р6М5, диаметром 25 мм при сверлении стали 40Х перед проведением сравнительных испытаний на износостойкость эксплуатировались в 10 %-ной суспензии полиэтилена низкого давления и 5 %-ной водной эмульсии эмульсола ЭТ-2 в течение 2—3 мин при следующих режимах: скорость 39,2 м/мин, подача 0,28 мм/об, глубина сверления 100 мм.

Сравнительные испытания проводили с использованием в качестве смазочно-охлаждающей жидкости 5 %-ной водной эмульсии эмульсола ЭТ-2. Режим сверления: скорость 27,9 м/мин, подача 0,28 мм/об, глубина сверления 100 мм. Стойкость инструмента фиксировалась по достижении износа задней поверхности, равного 1 мм. В результате, в среднем по партии из 10 сверл, сверла, упрочненные описанным способом, обладают стойкостью в 5—6 раз больше стойкости стандартных.

Таким образом, способ позволяет повысить производительность труда за счет экономии времени на смену и заточку инструмента, проводить упрочнение инструмента непосредственно на рабочем месте, без дополнительного оборудования. Достигается экономия дорогостоящих инструментальных сталей, идущих на изготовление режущих инструментов.

Карбонитрирование. Одним из перспективных направлений увеличения стойкости режущего инструмента из быстрорежущей стали является его термодиффузионное насыщение азотом и углеродом (жидкое азотирование). Значительный эффект получается при карбонитрировании зубчатых колес, кулачков, резьбовых соединений из ферромагнитных конструкционных сталей и др.

Насыщение поверхностных слоев инструмента углеродом, азотом, серой или несколькими элементами одновременно повышает его твердость, износостойкость, со-

18. Технологический процесс карбонитрирования быстрорежущих сталей

Обезжиривание	Подогрев	Нагрев для карбонитрирования	Охлаждение
Горячий 3 %-ный раствор NaOH	До 300—350 °C в течение 10—15 мин	Соляная ванна, продувка воздухом до 540—560 °C	На воздухе до 150 °C Перенос в расплав NaOH—NaNO ₂ —NaNO ₃

противление усталости и соответственно стойкость. Однако применяемые в настоящее время способы химико-термической обработки имеют ряд недостатков.

Процесс цианирования на основе цианида натрия (NaCN) и цианида калия (KCN) не находит широкого применения из-за высокой токсичности. Газовое азотирование инструмента требует длительного времени например, обработка крупногабаритных штампов длится 36—40 ч. Поэтому перспективным является процесс низкотемпературного жидкостного азотирования на основе неядовитых солей — цианатов и карбонатов. Процесс основан на насыщении поверхности азотом и углеродом (карбонитрирования (в расплаве солей типа KCNO (80—85 % KCNO и 15—20 % K₂CO₃), NaCNO при температуре 540—560 °C. Наиболее часто используют расплав, состоящий из 25—38 % NaCNO (получаемого сплавлением мочевины и кальцинированной соды в соотношении 1,3 : 1), 25—35 % Na₂CO₃ и 28—40 % KCl. Карбонитрированию подвергают режущий инструмент (как новый, так и восстановленный), изготовленный из всех марок быстрорежущей стали, после окончательной термической (закалка, отпуск) и механической (шлифование, заточка, полирование) обработки. Инструмент для карбонитрирования должен быть очищенным от грязи, обезжиренным, без каких-либо защитных, оксидных или других покрытий.

Подогрев инструмента в воздушной атмосфере проводят в течение 10—15 мин при температуре 300—350 °C. Для ведения процесса карбонитрирования используют

Окислирование	Промывка	Промывка в эмульсоле	Просушка
Раствор $\text{NaOH}-\text{KNO}_3$ при 140°C в течение 20—30 мин Стабилизация, температура 300°C	В горячей воде	5 %-ный рас- твор Э2 , или ЭТ2 , НГЛ-205	На воздухе

19. Продолжительность карбонитрирования основных видов инструмента, мин

Инструмент	Размер инструмента, мм	Время выдержки в ванне, мин	Глубина карбонитри- дного слоя, мкм
Сверла (диаметр)	7—10	15—20	10—15
	10—20	20—25	15—20
	20—30	25—30	20—30
	Более 30	30—45	20—30
Развертки, зенкеры, мет- чики	7—10	15—20	10—15
	10—20	20—25	15—20
	20—30	25—30	20—30
	Более 30	25—40	15—20
Фрезы (диаметр): резьбовые концевые насадные	До 35	20—25	10—15
	35—50	25—30	10—15
	Более 50	35—45	10—15
	7—10	15—20	10—15
Борфрезы (диаметр)	10—20	20—25	10—15
	20—30	25—30	10—15
	Более 30	30—45	15—20
	1—2	10—15	7—10
Дисковые фрезы (толщи- на)	2—5	15—20	10—15
	5—10	20—25	10—15
	10—15	25—30	10—15
	Более 15	20—45	10—15

Продолжение табл. 19

Инструмент	Размер инструмента, мм	Время выдержки в ванне, мин	Глубина карбонитрированного слоя, мкм
Фрезы цилиндрические (диаметр)	До 25 25—40 40—60 Более 60	10—15 25—30 30—40 50—60	10—15 10—15 10—15 10—15
Фрезы червячные шлицевые (диаметр)	50—60 Более 60	25—30 30—45	20—30 20—30
Гребенки круглые	Все размеры	30—40	15—20
Токарные и строгальные резцы (толщина)	6×10 8×12 10×16 16×24 20×30 30×45	15—20 20—25 25—30 30—35 35—40 40—45	10—15 10—15 15—20 15—20 20—30 20—30
Пресс-формы литья под давлением (сталь 3Х2В8)	Все размеры	120—150	80—150
Знаки для пресс-форм (сталь 3Х2В8Ф) (толщина)	До 25 Более 25	60—90 90—120	40—80 80—100
Штамповый инструмент	Все размеры	60—120	30—60

печь-ванну, снабженную системой вентиляции. Агрегат состоит из бака для обезжиривания, печи с воздушной атмосферой для подогрева, печи-ванны с температурой нагрева до 600 °С, ванны для оксидирования (воронения) при температуре до 140 °С, ванны (бака) для удаления соли с поверхности инструмента. Основные технологические операции процесса карбонитрирования приведены в табл. 18. Карбонитрирование инструмента проводят при температурах: для быстрорежущих сталей марок Р18, Р9К10, Р12 — 560 °С и марок Р9, Р6М5 — 550 °С; для легированных сталей марок Х12М, Х12Ф, Х12 — 540 °С. Длительность выдержки инструмента в ванне при указанной температуре карбонитрирования приведена в табл. 19.

Максимальные значения микротвердости 1316 получены при температуре ванны 550—570 °С независимо от

времени выдержки. При температуре 580 °С такая микротвердость получается только при выдержке 25—30 мин. Твердость сердцевины во всех случаях составляет более 60.

Для карбонитридного инструмента важно иметь не только высокую поверхностную твердость, но и плавное ее изменение от поверхности к сердцевине, предотвращающее скалывание диффузионного слоя. Оптимальным режимом карбонитрирования быстрорежущих сталей следует считать температуру 560 °С и выдержку 20—25 мин. Режим позволяет при достаточной толщине диффузионного слоя получать максимальную твердость 1316, плавно изменяющуюся от поверхности к сердцевине изделия. Оптимальная глубина карбонитридного слоя для режущего инструмента составляет 20—30 мкм, микротвердость слоя 970—1200. Микроструктура карбонитридного слоя при всех режимах практически одинакова и состоит из двух зон. У поверхности диффузионного слоя расположена светлая нетравящаяся полоса — карбонитридная фаза на основе гексагонального нитрида железа, легированного углеродом (Fe_3N , C). Толщина этой зоны зависит от температуры и времени выдержки. При выдержке 15 мин зона нитрокарбидов отсутствует. Максимальная толщина зоны (10—15 мкм) наблюдается после карбонитрирования по режиму: температура процесса 550—570 °С, выдержка 30 мин. За зоной нитрокарбидов расположена травящаяся зона — тонкая смесь феррита, карбидов, нитридов, карбонитридов железа и легирующих элементов (вольфрама, ванадия, хрома, молибдена). Наибольшая толщина этого слоя (60—65 мкм) получена при 550—570 °С и выдержке 30 мин. Зона основного металла представляет собой высоколегированный мартенсит отпуска и карбиды. На рис. 5 приведена параболическая зависимость глубины карбонитридного слоя от вре-

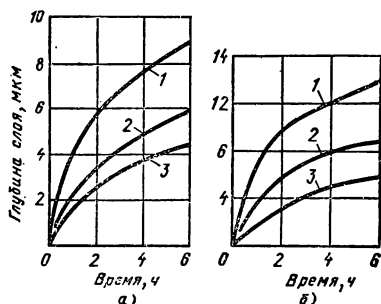


Рис. 5. Влияние времени выдержки и температуры на глубину карбонитридного слоя:

а — для стали P18; б — для стали P6M5; 1 — 1100 °С; 2 — 1050 °С; 3 — 1000 °С

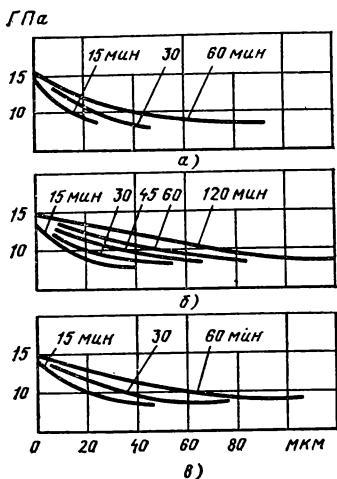


Рис. 6. Изменение микротвердости по глубине карбонитридного слоя в стали Р9К5 при 540 °С (а), 560 °С (б) и 580 °С (в)

Карбонитрирование аустенитных сталей типа 12Х18Н10Т повышает их стойкость против заедания, т. е. возникновения и развития повреждений поверхности трения вследствие схватывания и переноса материала деталей пары трения под влиянием больших нагрузок при высоких скоростях скольжения и температуре.

НАСЫЩЕНИЕ СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА

Азотирование. Процесс насыщения поверхности стали азотом. Азотированию подвергают технологическую оснастку, изготовленную из легированных сталей 3Х2В8Ф, Х12, Х12Ф1, 7Х3 по ГОСТ 5950—73 и сталей 38Х2МЮА, 20Х и 30Х по ГОСТ 4543—71, для получения высокой поверхностной твердости и износостойкости. Азотирование проводят в шахтной электрической печи сопротивления с герметичным муфелем из жаростойкой стали, снабженным вентилятором и трубками для ввода и вывода газов.

Технологическую оснастку, поступающую на азотирование, предварительно подвергают улучшению, механиче-

ски выдержки сталей Р18, Р6М5, Р9К5; на рис. 6 показано изменение микротвердости по глубине карбонитридного слоя в стали Р9К5. Для других марок сталей результаты аналогичны и отличаются только абсолютными значениями величин.

Карбонитрирование значительно увеличивает износостойкость быстрорежущей стали. Например, коэффициент трения сталей Р6М5 и Р9 за счет карбонитрирования уменьшается в 2—3 раза. Стойкость сверл, фрез и других видов режущего инструмента после карбонитрирования увеличивается в 3—5 раз.

ски обрабатывают и очищают от коррозии и грязи. Перед загрузкой в муфель технологическую оснастку обезжиривают. Особо ответственные изделия, например, пресс-формы для литья пластмасс, перед азотированием фосфатируют. Мелкую оснастку подвешивают в муфеле печи на мягкой стальной проволоке диаметром 0,5—1,0 мм, крупную устанавливают на металлическую подставку на дно муфеля. При этом необходимо следить, чтобы рабочие поверхности не соприкасались. Укладывать и подвешивать изделия следует осторожно, без ударов.

Герметичность муфеля проверяют пропусканием через него аммиака под давлением 3,5—5,0 кПа следующим образом: включают печь, нагревают ее до 100 °С, затем впускают аммиак. После выхода аммиака из печи и прохождения его через бутылку, заполненную водой, измеряют давление. Давление проверяют по водяному манометру в течение всего процесса; избыточное давление должно быть 2—4 кПа. Степень диссоциации аммиака контролируют по диссоциометру. Температуру регулируют автоматически потенциометром. Рабочая температура азотирования 500—570 °С; продолжительность выдержки в зависимости от требуемой глубины слоя и температуры процесса задают из расчета 15 ч на 0,1 мм азотированного слоя.

Продолжительность процесса при азотировании инструментов, изготовленных из быстрорежущих сталей, приведена в табл. 20. Средняя скорость азотирования в зависимости от температуры процесса и глубины азотирования показана в табл. 21. Режимы термической обработки некоторых сталей перед азотированием даны в табл. 22. Оптимальные режимы процесса азотирования должны соответствовать указанным в табл. 23. Степень диссоциации аммиака устанавливается в зависимости от температуры процесса; при 500—520 °С выдерживается в пределах 18—25 %; при 530—550 °С в пределах 25—40 %.

На рис. 7 показана зависимость продолжительности формирования азотированного слоя от температуры процесса и влияние легирующих элементов на глубину и твердость азотированного слоя. После азотирования проводят замедленное охлаждение вместе с печью до температуры 300—350 °С при сохранении подачи аммиака. Твердость азотированной технологической оснастки до-

20. Продолжительность выдержки инструментов из быстрорежущей стали при азотировании в смеси аммиака (20—40 %) и (60—80 %) науглероживающего газа при 550—560 °С

Инструмент	Диаметр или толщина инструмента, мм	Выдержка, ч
Сверла, зенкеры, развертки	До 15	1,0—1,5
	15—25	1,5—2,0
	25—30	2,0—3,0
Метчики	До 16	0,5—1,0
	15—25	1,0—1,5
	25—50	1,5—2,0
Резьбовые фрезы: с шлифованным зубом	25—50	1,0—1,5
	Св. 50	1,5—2,0
с нешлифованным зубом	25—50	1,5—2,0
	Св. 50	2,0—2,5
Фрезы цилиндрические, фасонные и торцовые	До 50	1,0—1,5
	50—75	1,5—2,0
	Св. 75	2,0—2,5
Резцы: дисковые	До 10	1,0—1,5
	Св. 10	1,5—2,0
круглые	До 5	1,0—1,5
	5—15	1,5—2,0
тангенциальные	10×10	1,5
	25×25	2,0

21. Средняя скорость азотирования

Глубина слоя, мм	Скорость азотирования (мм/ч) при температуре, °С		
	500	550	600
До 0,2	0,020	0,040	—
0,2—0,4	0,015	0,030	0,06
0,4—0,6	0,010	0,020	0,03
0,6—0,8	—	0,015	0,02

22. Режимы термической обработки перед азотированием

Сталь	Закалка, °C	Отпуск, °C	Твердость HВ
38Х2МЮА	940±10 в масле или теплой воде	600—670 в масле или воде	302—341 285—321
30Х3МФ	880±10 в масле	580—620 на воздухе	302—341
40ХН2МА	850±10 » »	580—600 » »	302—341
30ХН2МА	850±10 » »	540—560 » »	302—341
30ХН2МФА	900±10 » »	580—650 » »	302—341
18Х2Н4МА	850—870 в масле или на воздухе	530—550 » »	302—341
12Х13	1000—1050 в масле	680—780 в масле	179—241
20Х13	1000—1050 в масле	600—700 в масле или в воде	241—341
11Х11Н2В2МФ	1000—1020 в масле или на воздухе	660—710 на воздухе	269—321
10Х11Н20ТЗР	1000±10 в масле	750 на воздухе	302—388
45Х14Н14В2М	Нормализация 3—5 ч на воздухе	—	179—269

23. Режимы азотирования стали

Сталь	Температура процесса, °C (+ 40 °C)	Продол- житель- ность, ч	Глубина слоя, мм	Поверхност- ная твер- дость HВ ₁₀₀ номинальная
Х12Ф1	510	25	0,15—0,20	900—1000
Х12Ф1	510	55	0,20—0,30	900—1000
4Х8В2	510	36	0,30—0,35	900—1000
3Х2В8Ф	560	65	0,45—0,55	700—750
7Х3	500—520	48—60	0,40—0,50	1000—1100
38Х2МЮА	510 для первой ступени	15	0,5—0,6	850—1000
	550 для второй ступени	25	0,5—0,6	850—1000
18Х2Н4МА	490—510	40—50	0,35—0,40	750—850

Быстрорежущие стали подвергаются жидкостному, газовому и твердому азотированию. Важным условием качественного азотирования является правильное проведение исходного ТО инструмента, надлежащей очистки его поверхности, отсутствие обезуглероживания. Быстрорежущие стали с высоким содержанием W склонны к выкрашиванию после азотирования. Наиболее пригодны для азотирования Mo- и W — Mo-содержащие стали. Азотирование быстрорежущей стали повышает твердость до HV 1300; в сталях с высоким содержанием V до HV 1500. Для режущего инструмента предпочтительна HV 1100. При жидкостном азотировании оптимальные результаты получаются при 570 °C и продолжительности процесса до 15 мин. Выдержка при азотировании сверл, разверток, зенкеров при температуре 570 °C определяется из расчета 0,5 мин на 1 мм сечения; при температуре 540 °C 0,7 мин на 1 мм сечения. Азотирование инструмента для нарезки резьбы в бакелите повышает его стойкость на 50—70 %. Азотирование инструмента для нарезки резьбы в пластмассе, армированной стекловолокном, повышает его стойкость в 3—4 раза. Азотирование спиральных сверл диаметром свыше 2 мм также повышает их стойкость. Азотированию подвергаются дисковые пилы толщиной более 0,4 мм. Жидкостное азотирование постепенно вытесняет газовое азотирование инструмента из быстрорежущей стали. Твердое азотирование инструмента из быстрорежущей стали не дало положительных результатов.

При газовом азотировании особое внимание следует обратить на качественное проведение депассивации поверхности (в 20 %-ной HCl с последующей промывкой в нейтрализаторе), тщательное выдерживание продолжительности циклов процесса и степени диссоциации насыщенного газа (аммиака). Для повышения стойкости штампов и деталей пресс-форм, работающих в условиях интенсивных температурно-силовых нагрузок, применяют способ газового азотирования, состоящий из повторяющихся циклов вакуумирования и подачи реагирующего газа. Изделие нагревают в вакууме до 570 °C, после чего подают реагирующий газ. После выдержки в течение 10 мин печь вакуумируют и повторяют циклы в указанной последовательности 120 мин. Это повышает

стабильность и воспроизводимость результатов азотирования по глубине и механическим свойствам получаемого слоя, но не позволяет увеличить глубину слоя, которая оастается в пределах 0,012—0,20 мм.

Для увеличения глубины азотированного слоя и сокращения длительности процесса при азотировании инструментальных сталей, преимущественно штампового назначения, может быть использован способ по а. с. 775175 (СССР).

При азотировании деталей из инструментальных сталей выдержку в насыщающей среде ведут в течение 30—60 мин, а в инертной атмосфере 20—40 мин при температуре на 100—150 °С выше температуры насыщения, причем выдержку в насыщающей среде и инертном газе последовательно повторяют 2—5 раз и заканчивают обработку в насыщающей среде.

Первоначально в среде насыщающего газа при температуре азотирования 580 °С образуется слой ненасыщенного α -раствора, толщина которого увеличивается со временем. В насыщающей среде изделие выдерживают при температуре азотирования 30—60 мин. При меньшей выдержке времени применительно к штамповым сталям не удастся достигнуть глубины азотирования слоя более 0,12—0,15 мм. Верхний предел времени насыщения выбирают из условия образования на поверхности хрупкой ϵ -фазы, появление которой резко тормозит диффузию азота вглубь. При принятых для инструментальных сталей температурах азотирования образование ϵ -фазы начинается через 60 мин. Следовательно, дальнейшая выдержка в насыщающей среде нецелесообразна, так как глубина упрочненного слоя практически не увеличивается, зато прочность его снижается за счет образования на поверхности хрупкой ϵ -фазы. Поэтому насыщающую атмосферу заменяют инертным газом. Благодаря большой подвижности азота в α -фазе диффузия на этом этапе протекает даже при малой его концентрации.

В инертной среде изделие выдерживают при температуре на 100—150 °С выше температуры азотирования в течение 20—40 мин. Повышение температуры в пределах 100—150 °С наиболее целесообразно, так как повышается коэффициент диффузии в α -фазе примерно в 5—6 раз. При увеличении температуры более

чем на 150 °С возможно снижение твердости диффузионного слоя.

Оптимальная выдержка времени при повышенной температуре в инертной среде составляет 20—40 мин, что обеспечивает увеличение глубины азотированного слоя по сравнению со слоем, полученным после азотирования при температуре 580 °С без последующей выдержки в аргоне, примерно в 2—2,5 раза.

Выдержку в насыщенной среде и инертном газе последовательно повторяют 2—5 раз и заканчивают обработку в насыщающей атмосфере. При этом нитридная сетка из γ - и ϵ -фаз дробится, что ведет к измельчению нитридов и увеличению интенсивности проникновения азота в раствор из насыщающей атмосферы.

Увеличение выдержки до числа более 5 нецелесообразно, так как не способствует существенному возрастанию глубин азотированного слоя.

Пример. Обработке подвергают плоские образцы из стали 4ХЗВМФ в шахтной печи типа СШОЛ. В качестве насыщающей среды используют аммиак, в качестве инертной среды аргон. Азотирование проводят при 580 °С с выдержкой 40 мин. Затем насыщающую среду заменяют аргонem и выдерживают образцы при 680 °С в течение 20 мин. Выдержку в среде насыщающего и инертного газов повторяют 3 раза. Процесс заканчивают в насыщающей атмосфере и охлаждают образцы вместе с печью до 200 °С. Общая длительность процесса составляет около 3,5 ч. Глубина диффузионного слоя равна 0,285 мм, поверхностная микротвердость 950—1000.

Несмотря на сравнительно высокие результаты, достигаемые при использовании приведенного способа газового азотирования инструментальных сталей, он, однако, в принципе не исключает образования хрупкой ϵ -фазы. Образование ϵ -фазы даже в небольшом количестве резко тормозит диффузию азота и препятствует увеличению глубины упрочненного слоя.

С целью интенсификации процесса азотирования и повышения качества азотированного слоя используют способ, изложенный в а. с. 901363 (СССР).

При газовом азотировании деталей из инструментальных сталей выдержку в насыщающей среде и инертном газе, например аргоне, ведут с последовательным умень-

шением длительности поочередно. Причем соотношение между длительностью последующей и предыдущей выдержки поддерживают в пределах 0,5—0,85.

На этапе первой выдержки в насыщающей среде при температуре азотирования 580 °С образуется слой ненасыщенного α -раствора, толщина которого увеличивается во времени. Верхний предел времени насыщения выбирают из условия образования на поверхности хрупкой ϵ -фазы, появление которой резко тормозит диффузию азота. Степень насыщения α -раствора азотом возрастает в период первой выдержки, поэтому длительность последующих выдержек следует уменьшить. В противном случае, т. е. при сохранении равных длительностей выдержек, возможно возрастание степени концентрации азота в α -растворе до величины, соответствующей появлению ϵ -фазы. Кроме того, повышение содержания азота в слое способствует сохранению остаточного аустенита после закалки, что также снижает качество слоя.

Каждую выдержку в насыщающей среде ведут в течение 30—60 мин. Повторяют выдержки 2—5 раз. Если соотношения длительностей последующей и предыдущей выдержки меньше 0,5, то интенсивность азотирования снижается, и за 2—5 выдержек не удастся достичь желаемой глубины азотированного слоя, т. е. 0,25—0,30 мм. Если длительность последующей выдержки снижается незначительно и соотношение длительностей поддерживается выше 0,85, то это приводит к ухудшению качества (снижению микротвердости) азотированного слоя за счет появления ϵ -фазы.

Пример. При обработке инструментальных штамповых сталей типа 4ХЗВМФ азотирование проводят при 580 °С. После замены насыщающей среды аргоном температуру повышают до 680 °С и выдерживают образцы 20 мин. Выдержку в среде насыщающего и инертного газов повторяют 2—3 раза. Процесс заканчивают в насыщающей атмосфере и охлаждают образцы вместе с печью до 200 °С.

Максимальное значение глубины азотированного слоя достигает 0,325 мм. Поверхностная микротвердость равна 1000—1100. Если соотношение длительностей последующей и предыдущей выдержек в насыщающей среде ниже предела 0,5—0,85, то глубина азотированного слоя снижается до 0,178 мм. Ухудшается его качество, так как

24. Сравнительные результаты газового азотирования стали 4Х3ВМФ при различной длительности цикла насыщения

Количество выдержек	Длительность выдержки в насыщающей среде, мин	Соотношение длительности выдержек в насыщающей среде	Длительность выдержки в аргоне, мин	Глубина азотированного слоя, мм	Поверхностная микротвердость
2	50—20	0,4	20	0,178	950
3	50—40—32	0,8	20	0,325	1000—1100
3	40—36—32	0,9	20	0,235	950—980
2	50—35	0,7	20	0,285	1000—1100

поверхностная микротвердость падает до 950 (табл. 24).

Способ позволяет интенсифицировать процесс азотирования в 1,5 раза, достичь большей глубины азотированного слоя без увеличения длительности процесса. Глубина слоя возрастает на 12 % по сравнению с известным способом. Время азотирования равно 120—122 мин. Сокращается общее время выдержки в насыщающей среде, необходимое для получения азотированного слоя заданной толщины. Общее время азотирования сокращается на 30 %.

Дальнейшую интенсификацию процесса азотирования и увеличение твердости азотированного слоя, преимущественно в инструментальных сталях штампового назначения, можно обеспечить осуществляя непосредственно перед закалкой термоциклирование с нагревом до 1200—1250 °С и охлаждением в масло и совмещая отпуск с азотированием [а. с. 821512 (СССР)].

В способе химико-термической обработки инструментальных сталей, включающем закалку с пониженной температуры, отпуск и азотирование, перед закалкой проводят термоциклирование с нагревом до 1200—1250 °С и охлаждением в масло, а отпуск совмещают с азотированием. Закалку с пониженной температуры проводят от 970—1070 °С. Количество циклов при термоциклировании выбирают равным 3—5 в зависимости от марки стали.

Термоциклирование интенсифицирует процесс растворения карбидов и обеспечивает высокую концентрацию легирующих элементов в перенасыщенном α -твердом растворе термообработанной стали. Повышение легированности твердого раствора способствует увеличению раство-

римости азота в α -фазе, что служит одной из основных причин повышения твердости. Повышение растворимости азота в α -фазе тормозит образование на поверхности слоя хрупких высокоазотистых фаз и тем самым способствует повышению прочности.

Термоциклирование увеличивает количество дефектов кристаллической решетки, что облегчает диффузию, активирует процесс азотирования и обеспечивает увеличение толщины диффузионного слоя.

Нагрев до отпускных температур и длительная выдержка в процессе азотирования обеспечивают получение требуемого уровня физико-механических свойств основного металла упрочняемого изделия. В процессе 3—5-кратного термоциклирования происходит полная диссоциация карбидов и насыщение α -твердого раствора легирующими элементами. Например, термоциклирование сталей типа 4Х3ВМФ и 4Х4ВМФС осуществляется с нагревом до 1250 °С в каждом цикле, выдержкой времени 6 мин и охлаждением в масло. После термоциклирования выполняют закалку с нагревом до 970 °С и охлаждением в масло. Затем проводят азотирование в среде диссоциированного аммиака при температуре 560 ± 10 °С в течение 10 ч. В результате указанной обработки глубина диффузионного слоя находится в пределах 278—326 мкм, микротвердость у поверхности *HV* 1168, на глубине 25—30 мкм *HV* 920—824.

Жидкостное цианирование. Такой обработке подвергают технологическую оснастку, в том числе инструмент, изготовленный из быстрорежущей стали Р18, Р9, Р9Ф5, Р9К5, Р6М3 по ГОСТ 19265—73, высокохромистой (легированной) стали Х12, Х12Ф, Х12Ф1, Х12М, Х12ФТ и другой стали, прошедшей окончательную механическую обработку. При цианировании происходит одновременное насыщение поверхностного слоя азотом и углеродом. Различают три вида цианирования: низкотемпературное (540—560 °С), среднетемпературное (820—860 °С) и высокотемпературное (920—960 °С). Цианирование на небольшую глубину (0,15—0,5 мм) осуществляется при 840—870 °С в течение 0,5—2 ч с последующей закалкой непосредственно из цианировочной ванны. На небольшую глубину цианирование проводят при 900—950 °С в течение 2—6 ч. Зачастую для повышения твердости, тепло-

стойкости и противозадирных свойств осуществляют низкотемпературное цианирование при 560—580 °С. Цианирование проводят в соляных печах-ваннах с наружным электрообогревом или в электродных печах-ваннах. Состав ванн приведен в табл. 25, 26, 29, 30, 31.

Цианат натрия готовят из кальцинированной соды NaCO_3 и мочевины $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. Для этого кальцинированную соду смешивают с мочевиной в пропорции 1 : 1,5, засыпают в тигель, предварительно подогретый до 600—700 °С, и расплавляют (температура плавления цианата натрия 550—570 °С). По мере оседания расплава в тигель добавляют сухую смесь. Во избежание выброса не следует насыпать смесь на зеркало ванны и перемешивать ванну до полного ее расплавления. Смесь следует добавлять при выключенной печи и появлении корочки на поверхности

25. Состав ванн для низкотемпературного цианирования

Со- став	Содержание солей, %							Темпе- ратура плавления, °С
	NaCN	KCN	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$	Na_2CO_3	NaCl	KOH	CaCl_2	
1	50	50	—	—	—	—	—	490
2	96—98	—	—	4—2	—	—	—	550
3	60	—	—	40	—	—	—	420
4	50	—	—	32	18	—	—	515
5	30	—	—	45	25	—	—	535
6	—	—	90	—	—	10	—	500
7	—	—	75	—	—	25	—	490
8	—	—	3	—	65	—	32	520

26. Состав бесцианистых ванн для жидкостного азотирования

Состав	Содержание солей, %			Температура плавления, °С	Рабочая температура, °С
	Нитрит натрия NaNO_2	Нитрат натрия NaNO_3	Нитрат калия KNO_3		
1	45	—	55	137	150—500
2	45	55	—	221	250—550
3	—	100	—	317	325—600
4	—	—	100	337	350—600

27. Рекомендуемое время выдержки при низкотемпературном цианировании инструмента из быстрорежущей стали

Инструмент	Диаметр или толщина, мм	Время выдержки, мин
Сверла, зенкеры, развертки	От 3 до 5 » 20 » 30 Св. 30	6 15 От 1 до 23
Метчики	От 5 до 8 » 12 » 20 Св. 30	5 10 От 14 до 18
Протяжки	От 5 до 10 » 20 » 30 Св. 30	8 16 От 20 до 25
Фрезы:		
резьбонарезные с зубьями:		
шлифованными	От 25 до 50 Св. 50	12 15
нешлифованными	От 25 до 50 Св. 50	15 От 18 до 20
червячные и шлицевые с зубьями:		
шлифованными	От 50 до 75 Св. 75	16 От 20 до 35
нешлифованными	От 50 до 75 Св. 75	30 От 40 до 50
цилиндрические, фасонные, тор-	До 50	» 10 » 15
цовые со шлифованными зубьями	Св. 75	» 25 » 30
дисковые	От 1 до 5 » 5 » 15 Св. 15	» 6 » 18 » 12 » 15 » 18 » 23
Фасонные и тангенциальные резцы	—	» 12 » 30

28. Зависимость глубины слоя от времени выдержки и состава ванны низкотемпературного цианирования

Выдержка, мин	Глубина слоя (мм) при массовой доле NaCN, %		
	90	50	30
5	0,008	0,006	0,006
15	0,020	0,018	0,015
30	0,035	0,030	0,030
45	0,037	0,035	0,035
60	0,045	0,043	0,040

29. Составы ванн для среднетемпературного цианирования

Со- став	Массовая доля актив- ных солей, %		Массовая доля неактивных солей, %				Примечание
	NaCN	Циан- плав	NaCl	BaCl ₂	CaCl ₂	Na ₂ CO ₃	
1	55—60	—	25	—	—	15	Поставляется в ви- де готового состава
2	30	—	70	—	—	—	—
3	30	—	40	—	—	30	Допускается при- менять техниче- ский NaCN
4	—	10	35	—	55	—	—
5	—	10	45	45	—	—	—

30. Составы ванн для высокотемпературного цианирования

Состав	Массовая доля активных солей, %		Массовая доля неактивных солей, %			
	NaCN	Циан- плав	NaCl	CaCl ₂	BaCl ₂	Na ₂ CO ₃
1	50	—	15	—	35	—
2	45	—	8	—	47	—
3	10—15	—	25—30	—	55—60	1,0—1,5
4	12—20	—	5—7	—	75—80	—
5	—	10	40	50	—	—

расплава. После расплавления смесь сливают в противни слоем толщиной не более 30—40 мм.

Для закрепления деталей в процессе цианирования и при переносе их для закалки, промывки и других операций применяют приспособления, показанные на рис. 8. Приспособление должно фиксировать детали в положении, при котором получается минимальное коробление, обеспечивать максимальную производительность ванны, не деформироваться под действием массы цианируемых деталей, удерживать детали так, чтобы не затруднялся свободный доступ соли к цианируемой поверхности, обеспечи-

31. Состав высокоцианатных ванн на основе мочевины (карбамида), применяемых для цианирования

Состав ванны в исходном состоянии в момент загрузки, %	Рабочий состав ванны, %	Состав регенерирующей смеси при освежении ванны, %	Температура устойчивой работы ванны, °C	Область применения
55 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 45 K_2CO_3	65—75 KCNO 25—35 K_2CO_3 До 1 KCN	45 K_2CO_3 55 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ Освежение проводят при 350—360 °C	560—580	—
55 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 45 Na_2CO_3	20—40 NaCNO 12—20 NaCN 50—60 Na_2CO_3	15 % свежей смеси карбамида и соды в соотношении 55 : 45 или 10 % цианата натрия (через каждые 8 ч работы) или 4 % карбамида через каждые 2 ч работы	560—580	Для обработки конструкционных сталей
40 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 48 Na_2CO_3 12 NaCl	—	4 % карбамида или 3 % цианата натрия через каждые 2 ч работы	—	Для обработки быстрорежущих сталей
25—35 NaCNO 28—40 KCl 25—35 Na_2CO_3 60—75 KCNO 25—40 K_2CO_3	— — — 60—75 KCNO 25—40 K_2CO_3 До 1 KCN	— — — — — —	— — — — — —	— — — — — — Для обработки конструкционных сталей

Примечание. $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ — карбамид; K_2CO_3 — углекислый калий (поташ); Na_2CO_3 — углекислый натрий; NaCNO , KCNO — цианаты.

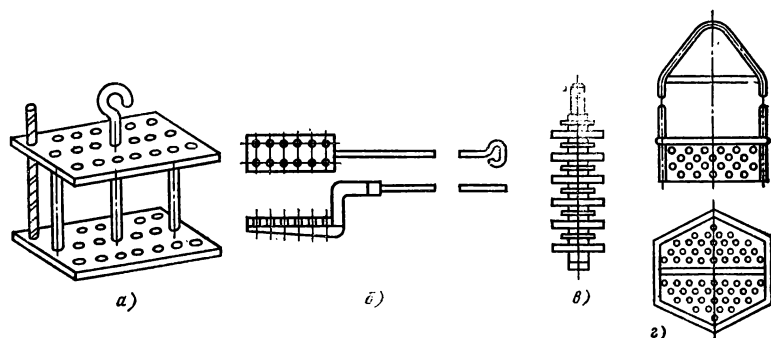


Рис. 8. Приспособления для закрепления и переноса деталей при химико-термической обработке:

a — приспособление для установки деталей стержневой формы с упором в нижнюю плиту; *b* — плита с отверстиями для подвешивания стержневых деталей; *c* — подвеска для цианирования дисков с защитой внутреннего отверстия; *d* — сетчатая корзина для мелких деталей

вать наиболее полное стекание солей при извлечении деталей из ванн, закрепление детали на нужном уровне над ванной при неполном их цианировании. Время выдержки при цианировании устанавливают в зависимости от вида (формы) и размеров инструмента (табл. 27, 28, 32, 33). Перед цианированием технологическую оснастку подвергают обязательному внешнему осмотру. Не допу-

32. Скорость процесса цианирования при 12 %-ном содержании циана в смеси

Температура, °C	Время, ч	Глубина, мм	Температура, °C	Время, ч	Глубина, мм
820	0,5	0,15	900	0,5	0,33
	1,0	0,25		1,0	0,43
	2,0	0,38		2,0	0,60
	4,0	0,60		4,0	0,94
845	0,5	0,20	925	0,5	0,38
	1,0	0,33		1,0	0,51
	2,0	0,45		2,0	0,76
	4,0	0,70		4,0	1,12
870	0,5	0,30	950	0,5	0,4
	1,0	0,38		1,0	0,68
	2,0	0,56		2,0	0,86
	4,0	0,84		4,0	1,35

33. Зависимость глубины слоя от продолжительности выдержки в высокотемпературных цианистых ваннах

Температура ванны, °С	Выдержка, мин	Глубина слоя, мм	Температура ванны, °С	Выдержка, мин	Глубина слоя, мм
900	25	0,20—0,25	950	120	0,80—1,00
	45	0,30—0,50		180	1,00—1,20
	90	0,50—0,80		200—360	1,40—1,60

скается наличие заусенцев, забоин и других дефектов поверхности. Для удаления остатков смазочного материала инструменты промывают и тщательно просушивают, так как попадание воды в ванну вызывает опасный выброс солей.

Перед цианированием рекомендуется подогревать цианируемую технологическую оснастку до 300—400 °С, в результате чего уменьшается коробление, что особенно важно при цианировании инструментов больших размеров и сложной формы. Кроме того, тепловая энергия ванны не расходуется на полный нагрев детали, а следовательно, сокращается время, необходимое для проведения процесса, и увеличивается производительность ванны. Если инструменты перед цианированием подогревают, то указанная в табл. 33 выдержка может быть сокращена в среднем на 25 %.

Поскольку инструмент подвергают цианированию после окончательной обработки, включая заточку и шлифование, необходимо не только тщательно вести технологический процесс, но и осторожно обращаться с инструментом, чтобы не повредить режущие кромки. Для деталей из быстрорежущих сталей температура цианирования 510—550 °С, для деталей из высокохромистой стали типа Х12 510—520 °С. Повышение температуры приводит к снижению твердости и красностойкости закаленной и отпущенной стали. После того как ванна для цианирования будет окончательно подготовлена к работе (очищена от осадков и пены, доведена до требуемой концентрации солей и рабочей температуры), в нее загружают технологическую оснастку, подготовленную для цианирования. Так как верхний слой солей имеет несколько пониженную

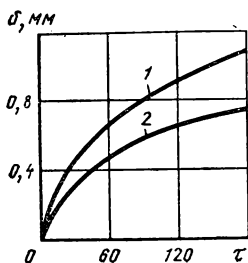


Рис. 9. Зависимость глубины цианирования δ от продолжительности τ процесса при 940 (1) и 860 (2) °C

температуру, то загружать инструменты нужно так, чтобы участки, подлежащие цианированию, были на 15—20 мм ниже уровня жидкости в ванне.

Размер партии заготовок выбирают так, чтобы при ее загрузке температура ванны не снижалась более чем на 50—80 °C. По истечении выдержки, предусмотренной технологическим процессом, инструмент извлекают из ванны и выдерживают над ней некоторое время, чтобы остатки солей стекла в ванну. Охлаждение

инструмента до 60—80 °C следует проводить под колпаком ванны или в вытяжном шкафу для предотвращения попадания в цех испарений остатков солей. Стержневой инструмент рекомендуется охлаждать в вертикальном положении, остальной на подставках и в стеллажах, расположив его таким образом, чтобы исключалось возможное коробление. После охлаждения необходимо обезвредить остатки солей, сохранившихся на поверхности инструмента. Для этого при низкотемпературном цианировании применяют соли щелочных металлов, хорошо растворимые в воде. После охлаждения инструменты вместе с приспособлением погружают в бак с водой, нагретой до 80—90 °C. В нем остатки соли растворяются, после чего инструменты переносят в другой бак, заполненный 7—10 %-ным раствором железного купороса, нагретого до 60—80 °C, где происходит обезвреживание остатков солей. После выдержки в течение 5—10 мин инструменты промывают в проточной воде. Затем их просушивают на воздухе или в сушильном шкафу и смазывают для предохранения от коррозии. На рис. 9 показана зависимость глубины слоя насыщения от продолжительности цианирования в ванне с 20 % NaCN, 20 % NaCl, 60 % BaCl₂.

Твердость цианированной технологической оснастки должна быть не ниже HRC 61, глубина цианированного слоя для метчиков и резьбонарезных фрез 0,001—0,015 мм, для сверл, протяжек и разверток 0,015—0,02 мм, червячных затылованных фрез 0,02—0,03 мм, пресс-форм 0,08—

0,2 мм. Цианированию нельзя подвергать сверла, развертки, зенкеры диаметром менее 3 мм и метчики диаметром менее 5 мм, так как при этом повышается хрупкость их режущих граней.

Для контроля качества цианированной технологической оснастки применяют такие методы: наружный осмотр с целью выявления поверхностных дефектов в виде трещин, забоин, остатков налипших солей (контролю подвергают все обработанные инструменты); определение твердости цианированной поверхности с помощью прибора Виккерса при нагрузке 10—50 Н (1—5 кгс) (2—3 % от партии инструментов); контроль по микроструктуре (2—3 % от партии инструментов); проверка биения концевой инструмента (10—15 % от партии).

Цианирование твердыми карбюризаторами и пастами.

Состав смесей для цианирования в твердом карбюризаторе при температуре 550—570 °С приведен в табл. 34. Состав паст и продолжительность выдержки при цианировании конструкционных сталей приведены в табл. 35, 36.

Ионное азотирование в тлеющем разряде. Способ упрочнения инструмента ионным азотированием (ИА) заключается в обработке заготовки потоком ионов азота. В результате последние проникают в поверхностный слой детали на контролируемую глубину от 100 до 1000 атомных слоев. ИА производят в разреженной азотсодержащей атмосфере с подключением азотируемых изделий к отрицательному электроду (катоде). Анодом является контейнер установки (печи). Между катодом (изделием) и анодом возбуждается тлеющий разряд. Ионы газа,

34. Состав смесей (%) для низкотемпературного цианирования в твердом карбюризаторе

№ смеси	Древесный уголь	Желтая кровяная соль	Карбонаты бария, натрия и калия	Животный уголь, роговая или костяная мука
1	60—80	20—40	—	—
2	40—50	15—20	15—20	20—30
3	40—60	20—25	—	20—40
4	50—70	20—40	5—15	—
5	40—60	—	20—25	20—40

35. Состав паст (%), применяемых при цианировании конструкционной стали

Составляющие	Номер пасты				
	1	2	3	4	
Голландская сажа или мелко-зернистый торфяной кокс	40—50	30—60	35	45	40
Карбонаты:					
бария	—	—	15	20	15
натрия или калия	20—40	20—40	20	20	20
Желтая кровяная соль	5—10	5—10	15	15	20
Щавелево-кислый натрий или калий	—	5—10	—	—	—
Цианплав	5—10	5—10	—	—	—
Муравьинокислый никель или щавелево-кислый кобальт	—	5—10	—	—	—
Феррохром	—	—	15	—	—
Кварцевый песок	—	—	—	—	5

36. Продолжительность выдержки при цианировании деталей пастами (температура 920—930 °C)

Паста 1		Паста 2	
Выдержка,	Глубина слоя, мм	Выдержка ч,	Глубина слоя, мм
0,75	0,85	0,50	0,70
1,00	1,25	0,75	0,80
1,50	1,65	1,00	0,90
2,00	1,80	1,50	1,25
3,00	2,00	2,00	1,60
4,00	2,50	2,00	1,60

бомбардируя поверхность изделия, нагревают ее до температуры насыщения. Для получения нитридных покрытий используют установку, оснащенную герметичной камерой с расположенным в центре электродом-подставкой, на котором устанавливается обрабатываемое изделие. Над электродом-подставкой расположен кольцевой анод. Через камеру прокачивается смесь азота с водородом, причем отношение концентрации N_2/H_2 колеблется в пределах 0,5—2,0. Рабочее давление в камере 0—665 Па,

напряжение разряда 400—800 В, ток 0—1 А, температура нагрева изделия при обработке 300—500 °С. Процесс ионного азотирования выполняют в две стадии: первая — очистка изделий катодным распылением; вторая — собственно насыщение. Катодное распыление проводят в течение 5—60 мин при напряжении 1100—1400 В и давлении 13—26 Па. При катодном распылении температура поверхности азотируемого изделия не превышает 250 °С. Собственно азотирование выполняют при 470—580 °С при разрежении 130—1300 Па и рабочем напряжении 400—1100 В; продолжительность процесса составляет от нескольких минут до 24 ч. При ионном азотировании для защиты поверхностей от насыщения азотом используют гальванические покрытия (например, никелевые толщиной 10—15 мкм) и экраны. ИА проводят в вакууме на оборудовании, аналогичном используемому при электронно-лучевой сварке. Требуемая чистота потока ионов составляет 90 %.

Установка для ИА состоит из вакуумной рабочей камеры, источника высокого напряжения и диффузионного насоса. Отечественная промышленность выпускает печи ионного азотирования типа НШВ — 28.7/6.

Преимущества ИА по сравнению с обычным жидкостным и газовым азотированием состоят в возможности целенаправленного контроля структуры получаемого поверхностного слоя, применении относительно низких температур (до 500 °С) и сокращении продолжительности обработки. Процессы ИА не сопровождаются фазовой перекристаллизацией. Общая толщина диффузионного слоя достигает 0,4—1 мм, причем слой в несколько микрон состоит только из нитридов железа и обладает максимальной твердостью. Длительность ИА колеблется в пределах 0,5—36 ч в зависимости от требуемой глубины упрочненного слоя. ИА позволяет повысить поверхностную твердость и износостойкость у таких сталей, которые обычному азотированию не поддаются.

Ионному азотированию подвергают штампы, деформирующие инструменты различных типов, режущие инструменты, в том числе протяжки, червячные фрезы, метчики, долбяки, детали оборудования для переработки пластмасс, детали машин, работающие на износ в условиях повышенных температур.

НАСЫЩЕНИЕ СОЕДИНЕНИЯМИ БОРА

Борирование. Диффузионное насыщение поверхности металла соединениями бора в виде боридов железа $\text{Fe}_2/\text{В}$ и FeВ применяют для повышения износостойкости и красностойкости изделий, в том числе работающих при повышенных либо пониженных температурах, знакопеременных и ударных нагрузках или в агрессивных и абразивных средах. Борированию можно подвергать любые марки стали, его проводят в смеси борсодержащих порошков, паст, газов или в расплаве солей (табл. 37).

Преимущественно используется для упрочнения металлических поверхностей, работающих на истирание: режущих инструментов из быстрорежущих сталей, штампового инструмента, пресс-форм, деталей дробильных машин, желобов грохотов, башмаков коксовыткатывателей и деталей, работающих при 500—850 °С. Примеры режимов борирования некоторых инструментов приведены в табл. 38.

Борированные детали из углеродистых сталей подвергают ступенчатой закалке в водных растворах селитры или щелочей. Легированные борированные стали, в том числе быстрорежущие, подвергают изотермической закалке. Нагрев борированного инструмента для термической обработки (нормализация, закалка с отпуском) целесообразно выполнять в соляных ваннах состава (%): NaCl 50; KCl 50 (для сталей ХВГ, 45, 40Х, 9ХС, Х, ШХ15, У8А, У10А, 5ХНВ, 6ХВ2С и др.) или NaCl 22; BaCl_2 78 (для сталей, имеющих температуру закалки 1000 °С и выше). Целесообразен нагрев борированных деталей в вакуумных печах или печах с защитной атмосферой.

В результате борирования возможно изменение размеров детали. Поэтому при изготовлении точных и высокоточных деталей целесообразно их обработку выполнять в такой последовательности: предварительная механическая обработка (обдирка); улучшение (закалка и низкий отпуск по режимам, соответствующим маркам сталей); механическая обработка с припуском на доводку, борирование или хромирование, термическая обработка для обеспечения требуемого комплекса свойств основного металла; окончательная доводка размеров упрочненных деталей методами механической обработки (шлифование, полирование).

37. Методы борирования стали

Насыщающая среда	Температура, °C	Продолжительность, ч	Глубина слоя, мм	Примечание
------------------	-----------------	----------------------	------------------	------------

Борирование в порошковых смесях

Порошки аморфного бора, карбида бора или ферробора + 30—40 % глинозема + 1—3 % хлористого аммония	950—1050	3—6	0,1—0,3	Изделия упаковывают в ящики, заполненные боризатором. Применяют борирование в среде водорода и при вакууме
---	----------	-----	---------	--

Электролизное борирование

Расплавленная бура	900—950	2—6	0,1—0,4	Плотность тока на катоде (изделие) 0,15—0,2 А/см ² , анод — графитовый стержень; напряжение 6—24 В
Расплавленная бура + 40—60 % борного ангидрида	900—950	2—4	0,15—0,35	

Жидкостное борирование

Расплавленная бура + 30—40 % карбида бора или ферробора	950—1000	3—5	0,15—0,40	Рекомендуется для изделий сложной формы
Расплавленная смесь (50 % хлористого бария + 40 % хлористого натрия) + 10 % карбида бора или 20 % ферробора	900—1000	1—3	0,05—0,25	

Газовое борирование

Диборан, разбавленный водородом (от 1 : 25 до 1 : 150)	800—850	2—4	0,05—0,20	Позволяет выполнить процесс при низких температурах (500—550 °C)
Треххлористый бор	750—950	3—6	0,05—0,25	Недостаток — токсичность и взрывоопасность

38. Режимы порошкового диффузионного борирования деталей технологической оснастки

Наименование	Сталь	Режимы борирования		Глубина слоя, мм	Микротвердость HV
		Температура, °С	Выдержка, ч		
Пуансоны для гибки деталей в холодном состоянии	У8А	900	3	0,04	18 000
Резьбонакатные плашки	X12М	1050	6	0,08	19 000
Матрицы формовочных штампов	ХВГ	900	4	0,08	19 500
Зажимные цанги	40Х	900	3	0,05	17 500
Слесарный инструмент	9ХС	900	4	0,07	18 500
Молотовые штампы	5ХНВ	900	6	0,09	18 000

При последовательном многокомпонентном насыщении операции улучшения выполняют после цементации перед борированием

Насыщающие смеси — порошки, пасты и т. п. — состоят из боронесущих соединений (карбида бора, бора аморфного, буры, бориды магния, борного ангидрида, тетрафторбората калия, борфтористого калия, окиси бора и др.), активаторов (фтористый натрий, хлористый натрий, фтористый аммоний, хлористый аммоний, сера, фтористый калий и др.) и восстановителей (окись алюминия, фтористый алюминий, алюминий и др.) в различных композиционных сочетаниях. Выбор состава смеси определяется условиями работы упрочняемой поверхности (глубиной диффузионного слоя, твердостью, рабочей температурой, скоростью изнашивания и т. п.), требованиями защиты окружающей среды (токсичностью, теплопроводностью и т. п.) и экономическими соображениями (трудоемкостью, расходом ресурсов, стоимостью ингредиентов) Как правило, насыщающие смеси можно использовать многократно (15—20 раз), без существенного корректирования их состава или с небольшой добавкой активаторов. Процесс осуществляют в герметичных металлических контейнерах или с помощью специальных приспособлений, позволяю-

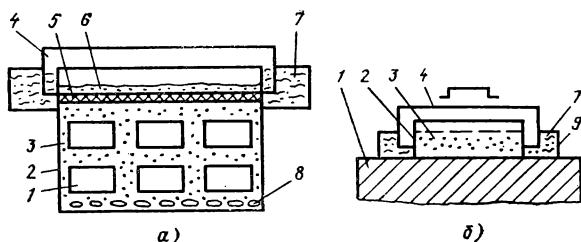


Рис. 10. Схема упаковки деталей при общем или местном борировании в порошке:

а — общее борирование; б — местное борирование; 1 — деталь; 2 — контейнер; 3 — боросодержащий порошок; 4 — крышка; 5 — асбестовый лист; 6 — песок; 7 — нитросиликатное стекло; 8 — парафин; 9 — наружная стенка внешнего контейнера

щих провести местное (зональное) борирование крупногабаритных деталей, совмещенное с процессом нагрева для термической обработки (рис. 10).

На дно контейнера 2 из жаростойкой стали насыпают слой строганного парафина 8, на него слой боросодержащего порошка 3 (толщиной 10—20 мм) и укладывают ряд деталей 1. Аналогично рядами послойно укладывают остальные детали. Верхний ряд засыпают боросодержащим порошком, толщиной слоя 15—20 мм. Сверху укладывают асбестовый лист 5 и насыпают речной песок 6 слоем 5—10 мм. Контейнер закрывают крышкой 4. Зазор заполняют натросиликатным стеклом 7. Контейнер помещают в печь с температурой 950—1000 °С. При нагреве пары парафина вытесняют из контейнеров воздух. По мере дальнейшего повышения температуры натросиликатное стекло плавится, образуется герметичный жидкий затвор.

В результате борирования стойкость штампового инструмента из углеродистых сталей повышается до 10 раз, из легированных инструментальных сталей в 3—4 раза. Общие недостатки процесса борирования поверхностей — выкрашивание при эксплуатационных температурах выше 800 °С, продавливание и откалывание боридных слоев высокой твердости, опирающихся на более мягкую основу, трудность восстановления изношенной поверхности из-за высокой твердости остатков боридных слоев.

Ниже приведены эффективные составы насыщающих смесей и описание способов борирования. Порошкообраз-

ный состав для борирования стальных изделий [а. с. 933801 (СССР)] содержит окись алюминия, карбид бора и активатор — салициловую кислоту — при следующих соотношениях компонентов, %: окись алюминия Al_2O_3 34—36, салициловая кислота $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ 4—6, карбид бора B_4C — остальное.

При нагревании состава салициловая кислота, обладающая низкой температурой разложения, распадается с образованием активных атомов углерода и водорода, а также их соединений, обладающих большей активностью. Эти соединения вытесняют из зоны реакции воздух, отрицательно влияющий на активность смеси, а также восстанавливают активный атомный бор из его соединений.

Все компоненты применяют в виде порошков в обезвоженном состоянии. Состав готовят следующим образом. Навески обезвоженных солей и кислоты тщательно перемешивают на противне. Готовый состав засыпают в контейнер с плавким затвором. В центр контейнера помещают детали, предварительно обезжиренные авиационным бензином. Затем контейнер, закрытый крышкой, помещают в электропечь сопротивления, нагретую до 950°C . Борирование проводят в течение 4 ч. При борировании в этом составе за 4 ч при 950°C формируется слой толщиной 90—110 мкм. Состав нетоксичен.

Состав на основе карбида бора, %: карбид бора — 50, окись алюминия — 43, хлористый натрий — 4, фтороборат калия — 3.

Этот состав также формирует на стальных деталях слой боридов глубиной 90—100 мкм при 950°C и времени выдержки 4 ч, но обладает токсичностью.

Смесь для борирования стальных изделий, обеспечивающая повышение стабильности свойств борированного слоя и увеличение процесса борирования [а. с. 802397 (СССР)], содержит карбид бора, окись алюминия, фтористый алюминий и буру при следующем соотношении компонентов (%): B_4C 6 — 15; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 1—4; AlF_3 0,5—3,5; Al_2O_3 — остальное.

Предпочтителен состав смеси (%): B_4C 8; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 2; AlF_3 2; Al_2O_3 88.

Смесь готовят смешиванием предварительно прокаленных буры и глинозема с высушенными B_4C и AlF_3 . Компоненты смеси подвергают обезвоживанию: Al_2O_3

прокалке при 1000 °С в течение 1 ч, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ при 520 °С в течение 1,5 ч, AlF_3 и B_4C сушке при 300 °С в течение 1 ч. Компоненты смешивают в барабане в течение 3 ч. Борирование проводят при 1000 °С в течение 4 ч в стальных контейнерах в печах с воздушной атмосферой при герметизации контейнеров плавким затвором. Процесс ведут при 950—1050 °С в течение 3—4 ч. Режим процесса определяется маркой обрабатываемой стали и толщиной слоя, которую необходимо получить. В результате борирования получают пластичные боридные покрытия, содержащие только фазу Fe_2B , толщиной 20—100 мкм, не содержащие пор и трещин. Смесь используют без регенерации 3—4 раза, после чего в нее добавляют $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ и AlF_3 в количестве 1 и 0,5 % от массы смеси соответственно. Смесь позволяет реализовать одинаковую скорость процесса борирования и постоянный фазовый состав во всем диапазоне концентраций. При меньшем содержании B_4C , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ и AlF_3 скорость процесса борирования снижается и стабильность процесса падает. При большем в боридном слое появляется фаза FeB , что увеличивает хрупкость получаемого покрытия.

Пр и м е р. Пуансоны из стали X12M размерами 45 и 50 мм, закаленные до *HRC* 58—62, подвергают борированию в смеси состава (%): B_4C 8; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 2; AlF_3 2; Al_2O_3 88 по следующему режиму: при 1000 °С в течение 4 ч; при 1050 °С в течение 0,5 ч.

Процесс проводят в контейнерах из стали X18H69T, герметизированных плавким затвором из крупки натрий-силикатного стекла. Нагрев контейнеров осуществляют в печи с воздушной атмосферой. По истечении времени выдержки контейнеры погружают на $\frac{2}{3}$ их высоты в холодную проточную воду и выдерживают 40 мин. Затем их распаковывают и пуансоны подвергают отпуску при 200 °С в течение 1 ч.

В результате на пуансонах получен слой фазы Fe_2B толщиной 95 мкм, твердость основы *HRC* 56—58. Средняя стойкость борированных пуансонов — 120 000 ударов; серийных, не подвергнутых борированию, — 20 000 ударов.

Безэлектролизное жидкостное борирование. Выполняется в расплавленной буре с добавлением 30—40 % (по массе) карбида бора или 20 % хлористого натрия и 30 % силикомарганца. Процесс осуществляется в тигель-

ных печах-ваннах при 900 °С. За 5 ч глубина боридного слоя достигает 0,2 мм. В отличие от электролизного борирования достаточно равномерный слой можно получить на деталях любой формы. Однако такие ванны быстро истощаются. Добавлять карбид бора в ванну нецелесообразно, так как это приводит к снижению ее жидкотекучести. Повысить жидкотекучесть можно путем введения нейтральной соли. При этом снижается активность ванны. Метод позволяет получить однофазный твердый боридный слой из боридов Fe_2B .

Жидкостное электролизное борирование. В металлическом тигле расплавляют буру, постепенно забрасывая ее в тигель порциями по 8—10 кг. В расплав погружают обрабатываемую деталь и графитовый стержень. Деталь подключают к отрицательному полюсу источника постоянного тока (катод), графитовый стержень к положительному полюсу (анод). Электроды устанавливают после того, как уровень ванны достигнет $\frac{1}{4}$ высоты тигля. Концы электродов должны находиться на расстоянии не менее 100 мм от дна тигля и не менее 30 мм от его стенок. В электрододержатель подается охлажденная вода, включается ток защиты тигля. Процесс обычно осуществляется при плотности тока от 0,15 до 0,20 А/см² борлируемой поверхности и при напряжении 10—14 В. По мере заполнения ванны силу тока повышают до установленного предела. После достижения рабочей температуры процесса (930—950 °С) в ванну плавно загружают детали и выдерживают в ней 2,5—3 ч. Глубина борированного слоя достигает 0,15—0,20 мм. При выдержке до 6 ч можно получить слой толщиной до 0,35 мм. Дальнейшее увеличение выдержки, повышение температуры более 980 °С и плотности тока свыше 0,25 А/см² незначительно увеличивает глубину слоя, повышая его хрупкость. По окончании процесса ток выключают, деталь извлекают из ванны, охлаждают (закачивают) на воздухе или в масле, промывают в кипящей воде 1—2 ч и отпускают по режиму отпуска, принятому для данной стали. Перед борированием поверхность детали следует очистить от следов масла, окалины и других загрязнений.

Для защиты отдельных участков детали от борирования проводят гальваническое меднение или хромирование. Неполное погружение детали в ванну, как метод

местного борирования, непригодно вследствие сильного разъедания металла детали на границе раздела поверхности ванны и воздуха. Недостатки процесса жидкостного электролизного борирования — низкая стойкость тиглей и повышенный расход буры. С течением времени не весь выделяющийся бор участвует в формировании покрытия. Часть бора образует аморфный слой, который «приваривается» к поверхности, ухудшая ее чистоту и препятствуя адсорбции активного бора. Аморфный слой бора уносится из электролита вместе с изделием и частично остается в электролите, загрязняя его. В результате при многократном использовании насыщающей среды в ней накапливается аморфный бор, который внедряется в слой боридов, создает пористость и ухудшает свойства боридного покрытия. Для повышения качества и стойкости покрытия к разрушению под действием динамических нагрузок можно использовать способ электролизного борирования [а. с. 637462 (СССР)]. Электролиз расплавленных борсодержащих сред проводят в две стадии. На стадии I ведут электролиз при плотности тока на катоде $0,07—0,09 \text{ А/см}^2$ в течение $8—10$ мин. На этой стадии образуются центры кристаллизации боридов, которые, сталкиваясь при росте, формируют сплошной слой. На стадии II плавно снижают плотность тока до нуля в течение $1,5—2$ ч в зависимости от химического состава сплава. Происходит «рассасывание» высокобористой фазы, что способствует уменьшению внутренних напряжений и повышению сопротивляемости разрушению под действием динамических нагрузок.

П р и м е р. В предварительно расплавленную в графитовом электролизе борсодержащую среду (бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 20\% \text{ NaF}$) помещают детали или инструмент, подключив положительный полюс источника тока к электролизеру, а отрицательный к насыщаемым изделиям. Электролиз ведут при температуре $700—950^\circ\text{C}$ (в зависимости от состава среды и насыщаемого сплава) при катодной плотности тока $0,07—0,09 \text{ А/см}^2$ в течение $8—10$ мин (I стадия). По истечении этого времени плавно снижают ток в цепи электролиза в течение $1,5—2$ ч до нуля.

В результате борирования стали марки 45 предлагаемым способом в течение 2 ч глубина боридного слоя достигает $120—125$ мкм. Количество фазы Fe_2B составило

90 %, фазы FeB — 10 %. Улучшилась чистота поверхности, возросла сопротивляемость разрушению под действием динамических нагрузок за счет уменьшения содержания высокобористой фазы.

Увеличить толщину боридного покрытия и его износостойкость можно следующим способом [а. с. 773140 (СССР)]. Через 8—10 мин после начала процесса электролиза при 900 °С в расплавленную среду вводят дополнительный электрод, подсоединив к нему отрицательный полюс дополнительного источника тока, а положительный — к насыщаемым изделиям, анодно поляризуют деталь и плавно повышают плотность тока на детали до 0,4—0,07 А/см².

Электролиты, содержащие в своем составе только буру и фтористый натрий, позволяют вести процесс борирования при температуре 700—800 °С. Снижение температуры борирования при улучшении качества диффузионного слоя обеспечивается в электролите при следующем соотношении компонентов (%): фтористый натрий 5—10, бура 30—40, фторборат натрия — остальное. При введении фторбората натрия в электролит изменяется строение расплавленной смеси. За счет ионизации расплава уменьшается концентрация громоздких катионных и анионных группировок. Вследствие этого снижается температура плавления среды для борирования с 694 до 400 °С, что позволяет проводить процесс диффузионного насыщения при температурах начиная с 500 до 600 °С. Электролит готовят следующим образом. Смесь, состоящую из 10 % фтористого натрия и 40 % буры, плавят в графитовом тигле. В расплав вводят фтороборат натрия в количестве 50 %. При борировании в этом электролите, например, быстрорежущей стали Р18 при температуре 560 °С, плотности катодного тока 0,1 А/см² в течение 1 ч, на поверхности формируются качественные покрытия глубиной до 20 мкм и твердостью 1600—1800.

Газовое борирование. Проводят в диборане В₂О₆. При нагреве его выше 500 °С он разлагается на водород и атомарный бор, который диффундирует в поверхность детали. Процесс ведут при температуре 850 °С в газовой смеси, состоящей из 2—4 % диборана и 98—96 % водорода. В течение 4—5 ч можно получить боридный слой глубиной до 0,2 мм. Метод взрывоопасен. Безопасность

39. Составы паст, применяемых для борирования

Состав	Компоненты, %			Связывающий материал
	Карбид	Криолит	Бура	
1	50	50	—	Гидролизированный этилсиликат
2	55	45	—	20 %-ный раствор жидкого стекла в воде
3	84	—	16	20 %-ный раствор клея БФ-4 в ацетоне

метода обеспечивается при использовании в качестве насыщающей среды смеси треххлористого бора (BCl_3) и аммиака или азота.

Борирование пастами. Составы паст, применяемых для борирования, приведены в табл. 39.

Активность борсодержащей пасты можно увеличить [а. с. 404903 (СССР)]. В целях активизации обмазки, повышения качества диффузионного слоя, проведения процесса без применения высокочастотного нагрева применяют пасту при следующем соотношении компонентов (%): карбид бора 40—60; натрий фтористый 40—60.

В качестве связующего используют сульфитно-спиртовую барду. Толщина обмазки 3—5 мм. Образцы с нанесенной обмазкой сушат в течение 2 ч при 50 °С. Борирование проводят при 1000—1100 °С в течение 5—10 мин. Продолжительность выдержки выбирают в зависимости от требуемой глубины диффузионного слоя.

Нагрев борируемых изделий осуществляют как ТВЧ, так и в обычных газопламенных или электрических печах.

При борировании формируются диффузионные слои, состоящие из боридов железа с твердостью HV 1600—2000.

Интенсифицировать процесс борирования стали в порошках и пастах можно за счет повышения насыщающей способности состава [а. с. 685715 (СССР)], который содержит (%): аморфный бор 75—85; буру 10—20; тетрагидробораты щелочных металлов 1—10. При использовании состава в виде порошков или паст получают глубокие борированные слои. Борирование выполняют в течение

4—6 ч при 900—1000 °С. Толщина борированного слоя 0,06—0,25 мм, микротвердость 2000—2300.

Боросульфидирование применяют для повышения стойкости инструмента и технологической оснастки из быстрорежущих, штамповых и других сталей.

Смесь, используемая для боросульфидирования, содержит (%): борный ангидрид 38—42; алюминий 24—31; борфтористый калий 28—33; фтористый аммоний 0,5—1,5; серу 0,5—1,5 [а. с. 885343 (СССР)]. Процесс одновременного насыщения бором и серой ведут при 550—700 °С в герметизированных контейнерах из газов, выделяющихся в результате взаимодействия компонентов. В качестве связующего используют сульфитно-спиртовую барду, гидролизированный этилсиликат, жидкое стекло, раствор клея БФ-2 в ацетоне и другие связующие, крепители, клеи или лаки. При приготовлении смеси используют отдельный вариант, т. е. предварительно проводят восстановление борного ангидрида алюминием. В полученную смесь вводят остальные компоненты, готовят обмазку, наносят на стенки контейнера и сушат. Введение в состав фтористого аммония и серы обеспечивает необходимую газовую среду для протекания процесса газового боросульфидирования в интервале температур 550—700 °С. При низкотемпературном насыщении на обрабатываемой поверхности формируются диффузионные слои, состоящие из боридов Fe_2B , легированного серой. Присутствие серы снижает хрупкость слоя и коэффициент трения, повышает износостойкость и задиростойкость упрочненных изделий. Пасту наносят на стенки контейнера и сушат при 70 °С. После загрузки деталей контейнер герметизируют плавким затвором на основе борного ангидрида.

Газовое низкотемпературное боросульфидирование стали У8 в контейнере, футерованном предлагаемым составом, при 600 °С в течение 2 ч обеспечивает получение диффузионного слоя боридов Fe_2B , легированных серой, толщиной 10 мкм с пониженной хрупкостью (до 2 баллов).

Борохроммирование. Осуществляют для повышения износостойкости деталей, работающих в тяжелых условиях и подвергающихся абразивному изнашиванию, а также для повышения стойкости режущего инструмента. Для борохроммирования предлагается состав, содержащий хром,

титан, фтористый калий и карбид бора при следующем соотношении (%): хром 15—20; фтористый калий 4—5; титан 3—8; карбид бора остальное [а. с. 783359 (СССР)].

Борохроммирование проводят либо в вакуумной печи, либо в герметично закрытом контейнере. Износостойкость деталей после борохроммирования увеличивается в 1,5—1,9 раза по сравнению с борированными деталями. Снижается хрупкость борированного слоя. Стойкость деталей, в частности штампов, можно повысить, используя состав для борирования (борохроммирования) [а. с. 765398 (СССР)]. Состав имеет следующее соотношение компонентов (%): хром 1,4—3,0; бура 1,5—6,0; карбид бора — остальное. Компоненты смеси прокаливают в сушильном шкафу: хром (Cr) при 300—400 °С в течение 2 ч, масса кристаллизационной воды составляет 0,9 %; буру ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) при 300—400 °С в течение 2 ч, масса кристаллизационной воды составляет 44 %; карбид бора (B_4C) при 300—400 °С в течение 2 ч, масса кристаллизационной воды составляет 0,9 %. После прокаливания компоненты взвешивают согласно массовому и процентному содержанию в смеси. Перед употреблением смесь измельчают и тщательно перемешивают. Порошок насыпают в контейнер, укладывают детали. Сверху снова насыпают порошок слоем 20—30 мм, после чего контейнер закрывают крышкой и герметизируют.

При введении хрома в борсодержащую смесь от 1,4 до 3 % улучшаются механические свойства обрабатываемых металлов. Появляется возможность получать диффузионные покрытия сложного состава, обладающие высокими физико-механическими свойствами, высокой коррозионной стойкостью и малой шероховатостью поверхности упрочненных деталей.

Пример. Упрочняют пуансон и матрицу из стали У8 в смеси порошков, состоящей (%) из технического карбида бора 91, буры технической 6 и порошка хрома 3. Борохроммирование осуществляют в течение 5—6 ч. Поверхность упрочненных образцов чистая и качественная, толщина диффузионного слоя 150—170 мкм, слой равномерный, плотный, без пор и трещин. Микротвердость слоя составляет 200—2200. Насыщающая способность смеси без снижения активности — 4—5 циклов. Состав позво-

ляет получить равномерный и плотный диффузионный слой и устраняет налипание смеси к поверхности.

Электролизное диффузионное борохромирование в среде состава (%): борный ангидрид 75 — 80; фтористый натрий 12 — 22; окись хрома 3—8 или окись буры 95—97; окись хрома 3—5; при плотности тока на катоде 0,15—0,2 А/см², температуре 850—900 °С часто сопровождается образованием в прикатодной зоне осадка — шлама, загрязняющего электролит, уменьшающего его жидкотекучесть, электрическую проводимость, насыщающую способность.

В результате на поверхности металлов формируются неравномерные по глубине покрытия. Для исключения указанного недостатка [а. с. 608849 (СССР)] в насыщенную струю, в состав которой входят бура и окись хрома, дополнительно вводят фтористый натрий при следующем соотношении компонентов (%): окись хрома 5—15; фтористый натрий 17—19; бура остальное.

Благодаря введению фтористого натрия изменяется строение расплавленной среды, уменьшаются катионные и анионные группировки за счет ионизации и, как следствие, уменьшается вязкость, увеличивается электрическая проводимость. При предлагаемом соотношении компонентов бура с фтористым натрием образуют эвтектику, плавящуюся при 694 °С и имеющую максимальную электрическую проводимость (при 900 °С удельная электрическая проводимость равна 80 См/м), минимальную вязкость. Введение в электрический расплав окиси хрома менее 5 % нецелесообразно, так как в этом случае процесс химико-термической обработки сдвигается в область борирования, т. е. в покрытие формируются лишь бориды железа FeB и Fe₂B. Введение в эвтектический расплав более 15 % окиси хрома приводит в процессе электролиза к образованию шлама, затрудняющего процесс химико-термической обработки.

Для получения насыщающей среды готовят эвтектическую смесь, состоящую из буры и фтористого натрия, плавят ее в графитовом тигле. Затем вводят окись хрома и перемешивают расплав до полного растворения окиси хрома. В приготовленной таким образом насыщающей среде проводят электролизное борохромирование в течение 2 ч при 900 °С, катодной плотности тока 0,15 А/см²,

удельной электрической проводимости среды 38—55 См/м. В результате формируются покрытия толщиной 100—130 мкм с равномерностью слоя в пределах 5—10 мкм. Шлам на катоде не образуется.

Борохромирование мартенситностареющих сталей. Прочностные характеристики деталей машин элементов пресс-форм для литья под давлением, изготовляемых из мартенситностареющих сталей, повышают борированием и последующим хромированием при температуре 1050—1100 °С в составе, содержащем (%): хром 25—75; окись алюминия 70—20; хлористый аммоний 5. Состав обеспечивает сочетание жаропрочности и износостойкости. Однако при указанной температуре возникает охрупчивание сердцевины. Появляются трещины в слое из-за различия термических коэффициентов линейного расширения слоя и сердцевины. Активность состава и жаростойкость диффузионного слоя могут быть увеличены при использовании [а. с. 668974 (СССР)], следующего состава (%): хром 35—45; ниобий 10—20; цинк 1—3; окись алюминия 30—50; хлористый аммоний 1—5.

Введение порошка цинка в насыщенную смесь позволяет снизить температуру хромирования до 900—950 °С и уменьшить продолжительность процесса до 1—2 ч, способствует диффузии хрома в боридный слой. Такой режим насыщения устраняет возможность образования карбонитридной сетки по границам аустенитного зерна и одновременно не вызывает его роста.

Введение ниобия в смесь приводит к образованию в поверхностном слое не только боридов хрома, но и ниобия и практически устраняет трещины после охлаждения. Общий коэффициент термического линейного расширения диффузионного слоя приближается к коэффициенту термического линейного расширения мартенситностареющей стали, так как образующиеся бориды ниобия и хрома имеют температурные коэффициенты линейного расширения $7,9 - 8,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и $11,1 - 12,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ соответственно.

Пример. После борирования мартенситностареющей стали в смеси карбида бора и буры при 830 °С в течение 2 ч проводят хромирование в контейнере с плавким затвором при 930 °С в течение 1 ч.

Процесс диффузионного борирования может осуществляться не только применительно к стальным деталям, но и к деталям, изготовленным из других металлов, в том числе цветных, в тех случаях, когда существует необходимость повысить износостойкость изделий. Ниже приведено описание состава смеси для борирования титана и его сплавов [а. с. 602602 (СССР)] и способ его выполнения. Смесь состоит из порошка титана, фторида натрия (активатор), окиси бора (боросодержащее вещество) и окиси алюминия, взятых в следующих соотношениях (%): порошок титана 30—40; фторид натрия 2—3; окись бора 30—40; окись алюминия остальное. Процесс насыщения титана и его сплавов проводят 2—6 ч при 750—1000 °С. Боридный слой отличается хорошей связью с основой и состоит из боридов титана TiB , TiB_2 , Ti_2B_5 . Микротвердость борированной поверхности HV 2500—2800.

Приведенные способы позволяют получать в поверхностном слое изделий концентрацию легирующего элемента не более 4—20 % концентрации боридов, содержащихся в поверхностном слое.

Такое содержание легирующего элемента в поверхностном слое является недостаточным для изделий, работающих в особо жестких условиях эксплуатации (работа при повышенной температуре и давлении, при высоком содержании абразива в среде и т. д.). Повысить износостойкость изделий за счет увеличения концентрации легирующего элемента в поверхностном слое и его толщины можно, используя высокотемпературный нагрев и выдержку в порошковой среде, содержащей насыщающий агент — диборид легирующего элемента, активатор и инертный разбавитель. Процесс осуществляют двухступенчато, с выдержкой при 800—900 °С в течение 1 ч и 1000—1050 °С в течение 2 ч. Двухступенчатый нагрев способствует активизации атомов бора на первой ступени нагрева. На этой стадии атомы бора почти полностью диффундируют в поверхностный слой металла обрабатываемого изделия.

Нагрев до температуры второй ступени обеспечивает активизацию атомов легирующего элемента, например, титана, циркония и др., которые начинают проявлять свою диффузионную активность при более высокой температуре, чем атомы бора на первой ступени. При этом

атомы бора не препятствуют проникновению атомов легирующего элемента в поверхностный слой изделия, так как они уже почти полностью диффундировали в него на первой ступени нагрева. Время выдержки на второй ступени нагрева определяет концентрацию легирующего элемента и глубину его проникновения в поверхностный слой.

Пример. Детали, изготовленные из сталей 45Х и ШХ15, обрабатывают в порошковой среде, содержащей 10 % диборида хрома, титана или циркония, 3 % активатора и 87 % инертного разбавителя. Нагрев осуществляют в контейнере по двухступенчатому режиму с выдержкой каждой партии деталей при 800—900 °С в течение 1 ч, а на второй ступени нагрева при 1000—1050 °С с выдержкой 2 ч. Обработка приводит к повышению концентрации легирующего элемента в поверхностном слое на 15—20 % и увеличению толщины слоя в 1,5 раза.

Для интенсивного местного диффузионного борирования поверхностей крупных деталей, работающих в условиях истирания и ударных нагрузок при 500—850 °С, без разборки изделия, непосредственно в период его эксплуатации (например, на деталях дробильных машин, башмаков коксовыталкивателей, желобов грохотов и др.), может быть использован способ, изложенный в а. с. 784798 (СССР). На поверхность металла наносят энерговыделяющую пасту из окиси железа и алюминия в смеси с диффузионно активной борсодержащей составляющей. Паста воспламеняется и в процессе горения происходит борирование. В качестве борсодержащей составляющей используют бор, ферробор или окись бора.

На металлическую поверхность наносят слой пасты, содержащей ферробор или окись бора из расчета 0,9—4,8 % бора в смеси с окисью железа и алюминия. При воспламенении пасты происходит образование ферроборного покрытия, металлургически связанного с основой. Подвергаемая покрытию поверхность может быть образована из черного металла и иметь любую конфигурацию. По периметру обрабатываемой поверхности устанавливают экран из огнеупорного материала. Между поверхностью и экраном помещают энерговыделяющую пасту слоем от 10 до 200 мм.

В ряде случаев сверху экрана помещают графитовые пластины, в одной из которых выполнено отверстие для

ввода заряда. Пластины служат для предотвращения выплескивания вещества заряда, удержания теплоты реакции заряда и более полного ее использования для образования покрытия. Заряд воспламеняют обычными способами.

Другим топливом кроме алюминия могут быть магний, кальций, кремний или сплав кальция с кремнием. Это топливо можно заменять частью алюминиевого порошка. Заряд состоит приблизительно из трех частей окиси железа, предпочтительно Fe_2O_3 (может быть взят другой окисел железа Fe_3O_4). Ферробор вводят в виде дробинки. Покрываемую поверхность целесообразно предварительно нагреть до $780\text{—}1100^\circ\text{C}$. В результате экзотермической реакции образуется плотный металлический слой покрытия, металлургически связанный с основанием. Менее плотный слой шлака собирается сверху металлического слоя.

После завершения реакции графитовые пластины удаляют с огнеупорного экрана. На корку шлака помещают слой песка или другого материала. Материал покрытия затвердевает со дна, и это способствует образованию прочного беспористого слоя. Поверхность изделия может быть охлаждена до того, как твердый поверхностный слой затвердеет. Шлак удаляют разбиванием.

Ферроборное покрытие имеет в основной массе железо, содержащее $20\text{—}90\%$ Fe_2B , предпочтительно $45\text{—}80\%$ Fe_2B , но лучше $60\text{—}80\%$ Fe_2B . Покрытие имеет толщину $2,5\text{—}6,2$ мм.

Покрытие может быть получено не только на стальной поверхности, но и на меди, серебре, никеле, хrome, кобальте, молибдене, латуни, бронзе, различных ферросплавах и легированных сталях.

Боромеднение. Комплексное диффузионное насыщение поверхности металла соединениями бора и меди выполняют для увеличения толщины диффузионного слоя и повышения его пластичности в условиях эксплуатации при температуре до $850\text{—}900^\circ\text{C}$. Процесс используют при упрочнении штампового инструмента для горячей штамповки. Боромеднение проводят до основной термической обработки. Стойкость боромедненных штампов, например, из стали 7ХЗ, в сравнении со стойкостью закаленных штампов повышается до 4 раз.

Состав смеси для боромеднения: 96—98 % B_4C ; 2—4 % Si . Перед приготовлением смеси карбид бора прокалывают при 400—450 °С в течение 1—1,5 ч. Режим боромеднения: температура 910—920 °С, время выдержки с момента достижения рабочей температуры в контейнере 6 ч, охлаждение в печи до 400—450 °С, затем на воздухе до температуры не ниже 50—80 °С. После выгрузки из контейнера детали очищают от следов карбида бора сухой ветошью. Для повышения твердости основы до *HRC* 45—50 боромедненные штампы подвергают термической обработке в режиме: нагрев в безокислительной среде (древесном угле) до температуры 840—860 °С, выдержка в течение 3 ч с последующим охлаждением в масле и немедленный отпуск при 430 °С в течение 3,5 ч (для стали типа 7Х3).

Свойства диффузионного боромедного слоя можно улучшить [а. с. 724602 (СССР)]. Изделие упаковывают в контейнер с насыщающей смесью, состоящей из 85—90 % технического карбида бора и 10—15 % порошка меди, загружают в печь, нагретую до температуры насыщения (900—1050 °С), и выдерживают в течение 2—6 ч. После этого контейнер с изделиями вынимают из печи, охлаждают в воде и распаковывают. В результате на поверхности изделий образуется диффузионный слой толщиной 240 мкм, микротвердостью 1500 ± 50 , с содержанием 0,7 % меди. При этом образец выдерживает до разрушения 8 циклов пластического деформирования. Приготовление предлагаемого состава для боромеднения просто с технологической точки зрения. Спекание состава и припекание его к насыщаемой поверхности не наблюдается, устраняется необходимость дополнительной очистки изделий в кипящей воде.

Состав позволяет при прочих равных условиях увеличить толщину боромедненного слоя в 1,5—2 раза и повысить его пластичность в 1,4—1,6 раза по сравнению с известными составами. Боромедненные изделия подвергают дальнейшей термической и механической обработке.

Бороалитирование. Поверхности металлических деталей, работающие в условиях абразивного изнашивания и трения без смазочного материала, целесообразно упрочнять путем диффузионного насыщения соединениями бора, алюминия и азота [а. с. 581168 (СССР)].

Повышение прочности, износостойкости и сопротивления схватыванию бороалитированных покрытий на изделиях из конструкционных и инструментальных сталей достигается за счет образования нитридов алюминия, содержащих до 1,5 % Al в алюминиде железа и сложных алюмоборидных фазах, составляющих бороалитированный слой, а также дополнительного легирования азотом твердого раствора бора и алюминия в железе.

Способ состоит в следующем. Стальные изделия бороалитируют в расплаве буры с добавкой 10 % окиси алюминия при температуре $930 \pm 10^\circ\text{C}$ и плотности тока электролиза $0,15\text{--}0,20\text{ А/см}^2$ в течение 2—2,5 ч. Затем изделия в зависимости от требуемых свойств сердцевины охлаждают на воздухе или закачивают. После промывки и очистки их помещают в печь для газового азотирования. Процесс азотирования проводят при $510 \pm 10^\circ\text{C}$ в среде диссоциированного аммиака со степенью диссоциации 25—30 % в течение 25 ч.

Образцы из сталей ШХ15, У8А, 40Х и 45, обработанные по указанному режиму, имели глубину упрочненного слоя в пределах 0,25—0,4 мм. Характерное отличие микроструктуры слоя — наличие темно-травящейся зоны непосредственно под слоем. Эта зона твердого раствора бора и алюминия в железе, дополнительно легированного азотом, наиболее отчетливо видна на сталях карбидного класса, например ШХ15.

Азотирование повышает твердость бороалитированных покрытий. Если после бороалитирования твердость поверхности стали ШХ15 не более HV_{10} 950, то после азотирования она увеличивается до HV_{10} 1650.

Бороцирконирование. Насыщение проводят путем электролиза из расплавов системы (бура, криолит, глинозем, двуокись циркония). Однако такой состав пригоден лишь для электролизного бороцирконирования, требует применения дорогостоящего оборудования, использования источников постоянного тока. Он сложен в эксплуатации и затрудняет термическую обработку непосредственно после процесса химико-термической обработки. На практике часто используют состав, содержащий диборид циркония, инертную добавку и активатор (%): диборид циркония (ZrB_2) 47; инертная добавка (окись алюминия Al_2O_3) 50; активатор (фтористый алюминий AlF_3) 3. Про-

процесс диффузионного насыщения проводят в герметичных жаростойких контейнерах. Недостатки этого состава: относительно низкая скорость формирования бороциркурированных диффузионных слоев, необходимость использования дорогостоящей оснастки, невозможность проведения закалки после химико-термической обработки. Можно увеличить насыщающую способность состава и обеспечить возможность проведения процесса в окислительной среде без защитной обмазки [а. с. 685717 (СССР)]. В состав, содержащий порошкообразный диборид циркония, дополнительно вводят карбид бора, в качестве инертной добавки — железную окалину и в качестве активатора — фтористый натрий при следующем содержании компонентов (%): карбид бора 45—60; диборид циркония 5—10; фтористый натрий 5—10; железная окалина 25—40. Для приготовления обмазки применяют следующие компоненты: технический карбид бора, железную окалину — отходы кузнечно-термического производства, натрий фтористый марки Ч, диборид циркония порошкообразный.

Смесь компонентов в виде обмазки наносят на упрочняемые поверхности. Обмазку готовят смешиванием порошкообразных компонентов (размер фракции 0,1—0,2 мм) с гидролизованным этилсиликатом, используемым в качестве связующего. Слой обмазки толщиной 4—5 мм наносят на образцы окунанием. После сушки в течение 10—20 мин при нормальной температуре на воздухе детали помещают в электропечь, нагретую до температуры процесса химико-термической обработки 900 °С, и выдерживают 4—6 ч. Процесс совмещают с нагревом для термической обработки, т. е. закалку проводят с температуры диффузионного насыщения. При закалке обмазка теряет прочность и отделяется от поверхности образца.

Состав позволяет проводить процесс в обычной печной среде при длительных высокотемпературных выдержках (1—20 ч при 900—1100 °С). Глубина диффузионного слоя в сталях 40Х, 45 достигает 95—145 мкм.

НАСЫЩЕНИЕ СОЕДИНЕНИЯМИ ХРОМА

Диффузионное хромирование — процесс насыщения поверхности металла хромом и его соединениями. Процесс диффузионного хромирования может использоваться

40. Составы рабочей смеси для хромирования в порошках на основе феррохрома, %

Состав	Ферро-хром	Окись алюми-ния	Хлористый алюми-ний	Остальное	Назначение
1	25	72	3	—	Для деталей из углеродистых сталей
2	—	70	5	Cr — 25	
3	75	20	5	—	
4	—	26	2	Al — 12 Cr ₂ O ₃ — 60	
5	50	47	3	—	Для деталей из легированных сталей
6	—	45	5	Cr — 50	
7	50	—	5	Cr ₂ O ₃ — 45	Для деталей, которым требуется повышенная твердость
8	45	8	2	Cr ₂ O ₃ — 45	

для повышения жаро-, износо-, кавитационной и коррозионной стойкости деталей машин и инструмента в машиностроительной, химической, приборостроительной и других отраслях промышленности. Хромированные изделия обладают повышенной окислительной стойкостью до температуры 800 °С, высокой коррозионной стойкостью, а при содержании хрома в поверхностном слое 0,3—0,4 % — повышенной твердостью и износостойкостью. Хромированию можно подвергать изделия, изготовленные из любых марок стали. Его проводят в высокотемпературных печах. Составы рабочих смесей на основе феррохрома, рекомендуемые для выполнения процесса хромирования, приведены в табл. 40.

Состав на основе окиси хрома содержит (%): окись хрома 55—60; алюминий 10—15; фтористый алюминий 3—5; окись алюминия остальное.

При последовательном карбохромировании, хромо-нитридации в качестве источника хрома применяют 70 %-ный феррохром ФХ010. Из феррохрома можно отливать плиты, стержни, втулки и другие формы для

неконтактного диффузионного хромирования в вакууме деталей сложной конфигурации или отдельных частей деталей. Для увеличения сублимирующей поверхности феррохром измельчают или гранулируют. Хорошие результаты получены при использовании в качестве источника комплексного насыщения металлического хрома марки Х0.

В процессе хромоалитирования источником хрома и алюминия служит специально выплавленный сплав (80 % Cr + 20 % Al), обеспечивающий равномерное испарение хрома и алюминия

при неконтактном вакуумном способе. Хромоборирование проводят последовательным и непрерывно-последовательным способом. Источником бора служит смесь порошков карбида бора и металлического бора. Приготовление хромирующей смеси осуществляется следующим образом. Взвешивают отдельные составляющие смеси. Взвешенное количество хрома и окиси алюминия (глинозема) смешивают и просушивают при 60—100 °С в течение 1—2 ч, затем все составляющие тщательно смешивают (металлический хром, получаемый в кусках, размельчают в шаровой мельнице до порошка). Хромирующая смесь может быть использована многократно при условии добавки 10 % свежей смеси. Хранят смесь в сухом месте, в ящиках с крышками. Детали, очищенные от коррозии и загрязнений, загружают в нагревательную печь в контейнерах для хромирования с обычной крышкой, уплотняемой обмазкой, или в контейнерах с плавким затвором (рис. 11).

При упаковке изделий в ящики расстояние между стенками ящика и изделиями должно быть не менее 25 мм.

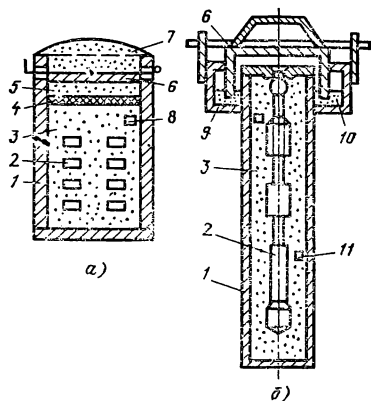


Рис. 11. Контейнер с крышкой, уплотняемой обмазкой (а), и с плавким затвором (б):

1 — контейнер; 2 — обрабатываемые детали; 3 — хромирующий порошок; 4 — асбестовая крышка; 5 — смесь глины и угля; 6, 9 — крышка; 7 — замазка; 8, 11 — образец-свидетель; 10 — плавкий затвор

Перед укладкой изделий на дно ящика насыпают хромирующую смесь слоем 20—30 мм. После укладки изделий и образцов-свидетелей засыпают хромирующую смесь слоем 30—40 мм. Поверхность слоя закрывают листовым асбестом, затем надевают крышку. Герметизацию осуществляют заполнением герметизирующего желоба сухим песком или шамотным порошком.

Ящики загружают в печь при температуре не выше 400 °С. До температуры 600 °С нагрев осуществляют со скоростью 100 °С/ч.

Рабочая температура процесса 950—1100 °С, время выдержки 6—12 ч, скорость хромирования 0,02—0,04 мм/ч. Твердость обработанной оснастки достигает HV 1200 при глубине слоя 0,3 мм.

Хромированные детали подвергают внешнему осмотру. Контроль качества, твердости и глубины слоя проводят по образцам-свидетелям. Качество слоя определяют травлением, глубину слоя — по микрошлифам, твердость измеряют прибором Виккерса при нагрузке 0,6—1 кгс (6—10 Н).

Недостатки хромирующих составов: малая скорость формирования покрытий, применение в процессе насыщения герметичных контейнеров из жаростойкой стали, необходимость повторного нагрева при последующей термообработке хромированных деталей. Интенсифицировать процесс насыщения, отказаться от использования тиглей из жаростойкой стали, совместить процесс хромирования с нагревом под термическую обработку и повысить технологическую и экономическую эффективность процесса можно использованием следующего способа [а. с. 585235 (СССР)]. Эффект достигается введением в хромирующий состав, помимо окиси хрома, порошка алюминия и окиси алюминия, дополнительно хлористого аммония и смеси ацетона с клеем на основе фенолоформальдегидных смол, модифицированных поливинилбутиралем, при следующем соотношении компонентов (%): окись хрома 30—45; порошок алюминия 10—20; окись алюминия 14—24; хлористый аммоний 3—6; смесь ацетона с клеем на основе фенолоформальдегидных смол, модифицированных поливинилбутиралем, — 19—23. В смесь ацетона с клеем на основе фенолоформальдегидных смол, модифицированных поливинилбутиралем, компоненты

41. Режимы хромирования инструментальных сталей

Состав насыщающей среды, %	Режим насыщения		Глубина слоя (мкм) в сталях			
	Температура, °C	Продолжительность, ч	45	У8	ХВГ	Х12Ф1
35 Cr ₂ O ₃ + 15 Al + + 21 Al ₂ O ₃ + + 4 NH ₄ Cl + 25 (ацетон + клей)	1050	4	20	20	25	40
	1050	6	25	25	28	40
	1100	4	25	25	28	60
	1100	6	35	30	35	70

входят в следующем соотношении (%): клей на основе фенолоформальдегидных смол, модифицированных поливинилбутиралем 10—40; ацетон 60—90.

Хромирующий состав наносят на поверхность, подлежащую упрочнению, слоем 1—3 мм. Насыщение ведут при 900—1200 °C в течение 0,5—6 ч. Нагрев может осуществляться как в воздушной атмосфере, так и в соляных ваннах.

Данные о насыщающей способности состава (нагрев в воздушной атмосфере) приведены в табл. 41.

При необходимости увеличить толщину хромированного слоя используют активированный состав для диффузионного насыщения [а. с. 703601 (СССР)]. В состав для хромирования, содержащий окись хрома и активатор, вводят двуокись кремния и силикомишметалл, а в качестве активатора берут фтористый натрий и хлористый аммоний. При этом содержание указанных компонентов должно быть следующим (%): окись хрома 38—42; силикомишметалл 23—25; натрий фтористый 2—3; аммоний хлористый 1—2; двуокись кремния остальное. Все материалы используют в порошкообразном состоянии. Силикомишметалл берут с размером частиц менее 0,05 мм. Обрабатываемые изделия помещают в контейнер и засыпают предварительно восстановленным составом. Предварительное восстановление состава проводят при температуре 850—950 °C. Перед засыпкой в контейнер восстановленного состава в него вновь вводят активатор согласно процентному содержанию компонентов. Диффузионное насыщение проводят с использованием плавкого затвора. В качестве плавкого затвора используют борный ангидрид. При проведении хромирования в указанном составе образ-

цов из стали У8 при 1050 °С в течение 4 ч толщина хромированного слоя равна 35—40 мкм.

Хромирование пастой. Детали покрывают 0,5—1 мм слоем пасты из 75 % порошкового хрома (феррохрома), 25 % криолита, разведенных в гидролизованном этилсиликате. Сушка при температуре 100 °С в течение 1 ч, нагрев ТВЧ до 1050—1200 °С. На деталях из низкоуглеродистой стали за 3 мин образуется слой глубиной до 0,1 мм. При обычном хромировании для получения такого слоя при температуре 1050 °С требуется 8—10 ч. Недостаток способа — ухудшение качества поверхности из-за приваривания к ней частиц обмазки.

Вакуумное хромирование. Основано на том, что твердый хром обладает высокой испаряемостью. Детали и измельченный хром укладывают в металлический тигель, установленный в электровакуумной печи. Создается вакуум 1—0,1 Па. При температуре 1000—1100 °С происходит испарение хрома. Он заполняет рабочее пространство тигля и, контактируя с поверхностью деталей, диффундирует в глубь металла. При температуре процесса 1050 °С за 6 ч в низкоуглеродистой стали глубина хромированного слоя достигает 0,15 мм.

Хромотитанирование. Стойкость твердосплавного инструмента может быть увеличена в 7—10 раз созданием на его поверхности износостойких комплексных карбидных покрытий. Состав для комплексной химико-термической обработки твердосплавного инструмента рекомендован а. с. 779435 (СССР). В состав, содержащий двуокись титана, алюминий и окись алюминия, дополнительно вводят окись ниобия и хлористый аммоний при следующем составе (%): двуокись титана 30—40; окись ниобия 10—20; алюминий 10—24; хлористый аммоний 1—3; окись алюминия остальное. Процесс проводят при 950—1100 °С в течение 1—6 ч в контейнерах без использования вакуума или защитных атмосфер. На поверхности твердосплавного инструмента формируется износостойкое покрытие, состоящее из смеси карбидов титана и ниобия (TiC и NbC) толщиной 7—15 мкм.

Диффузионное хромотитанирование твердосплавных пластин можно проводить в составе, содержащем (%): окись хрома 12,5; окись алюминия 14—21; хлористый аммоний 1—3; алюминий 21; окись титана 36,6. После

обработки на инструменте образуется диффузионный слой толщиной 7—9 мкм с поверхностной микротвердостью 2500—3000. Стойкость пластин повышается в 3—3,5 раза.

Для увеличения толщины диффузионного слоя и повышения износостойкости инструмента может быть использован состав [а. с. 933793 (СССР)] (%): окись хрома 30—35; окись алюминия 14—21; хлористый аммоний 1—3; титан 30—35; железосинеродистый калий 7—10; парафин 1—3. Предпочтителен состав (%): окись хрома 35; железосинеродистый калий 10; титан 30; хлористый аммоний 3; парафин 3; окись алюминия остальное. Процесс проводят при 950—1000 °С в течение 1—4 ч в контейнере без использования вакуума или защитных атмосфер. На поверхности твердосплавного инструмента формируется износостойкое покрытие, состоящее из смеси карбидов хрома и титана, толщиной 10—22 мкм, с поверхностной микротвердостью 2700—3100. Состав позволяет увеличить толщину диффузионного слоя в 2—2,5 раза и повысить стойкость твердосплавного инструмента в 2 раза по сравнению с неупрочненным.

Хромосилицирование. Используется для поверхностного упрочнения деталей машин и инструментов. Состоит в одновременном диффузионном насыщении металлов карбидами хрома и кремнием (силицидами). Может проводиться в смеси порошков феррохрома и ферросилиция. Способ жидкостного хромосилицирования в расплаве [а. с. 250638 (СССР)] предполагает, что процесс насыщения осуществляют из расплава, имеющего следующий состав (%): кремнекислый натрий 65—75; окись хрома 5—15; хлористый натрий 9—11; силикокальций 9—11. Процесс ведут при температуре 1000—1100 °С. Вместо силикокальция можно использовать другие активные восстановители. Процесс проводят в течение 2—6 ч. Время насыщения определяется глубиной диффузионного слоя.

Способ имеет ряд преимуществ по сравнению с известными. Он характеризуется большей производительностью, так как отпадает необходимость в прогреве массивных контейнеров и порошка насыщающей смеси. Скорость формирования диффузионного слоя на 15—20 % выше, чем при насыщении из порошков. Исключается изготовление герметичных контейнеров.

Насыщение при температуре 1100 °С в течение 4 ч на стали 20 создает диффузионный слой толщиной 0,1 мм, состоящий из твердого раствора хрома и кремния в α -железе. Слой обладает высокой жаростойкостью и коррозионной стойкостью в различных агрессивных средах. При насыщении стали У8 по тому же режиму образуется карбидный слой толщиной 20—25 мкм, состоящий из карбида хрома Cr_{23}C_6 , легированного кремнием. Помимо свойств, отмеченных для стали 20, карбидный слой отличается высокой твердостью (HV_{100} 1600) и износостойкостью.

Процесс сложного диффузионного хромосилицирования можно осуществить с использованием порошкообразного сплава «Сормайт», имеющего следующий химический состав (%): углерод 2,5—3,5; кремний 2,8—4,2; марганец 0,5—1,5; хром 25,0—31,0; никель 3,0—5,0; остальное железо.

«Сормайт» в смеси с компонентами [а. с. 582328 (СССР)] позволяет получить, например, в стали У9 диффузионный слой толщиной до 22 мкм (1000 °С, 4 ч) и неоднократно использовать насыщающий состав. В соответствии с его описанием состав содержит (%): хлорид алюминия 0,1—0,9; гидроокись алюминия 0,5—2,0; порошковый сплав «Сормайт» остальное. Хлорид алюминия применяют в виде кристаллогидрата $\text{AlCl}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где $n \leq 6$.

Твердый сплав «Сормайт I» после приготовления покрыт окисной пленкой. В процессе насыщения поверхностей изделий легирующими элементами она замедляет образование активных атомов хрома в реакционном пространстве. Это снижает интенсивность процесса и вызывает такую концентрацию хрома в диффузионном слое, которая способствует образованию преимущественно карбидов хрома твердостью 1200—1300.

Интенсифицировать процесс термодиффузионного легирования в порошкообразном сплаве «Сормайт I» и увеличить твердость диффузионного слоя можно следующим способом [а. с. 450001 (СССР)]. Перед насыщением твердый сплав «Сормайт I» обрабатывают водным раствором состава (%): бура 5—15; борная кислота 15—25; хлористый аммоний 20—30; остальное вода, с последующей сушкой при 280—320 °С.

В процессе сушки окисная пленка, покрывающая твердый сплав «Сормайт I», взаимодействует с компонентами

раствора и разрушается, что способствует возрастанию активности твердого сплава при диффузионном насыщении. Повышение концентрации хрома в диффузионном слое способствует увеличению толщины слоя и образованию преимущественно карбидов хрома твердостью 1600—1800.

Пример. В водный раствор 10 г буры, 20 г борной кислоты и 30 г хлористого аммония добавляют 1 кг порошка твердого сплава «Сормайт I», перемешивают, а затем высушивают при 300 °С в течение 1 ч. Получают офлюсованный твердый сплав «Сормайт I». Затем приготавливают рабочую насыщающую смесь, содержащую 60 % полученного офлюсованного твердого сплава, 39 % шамота и 1 % хлористого аммония, и пересыпают ею обрабатываемые детали. Термодиффузионное насыщение ведут при 1000 °С в течение 4 ч.

При легировании стальных деталей указанным способом толщина диффузионного слоя составляет 23—25 мкм, а его твердость 1600—1800.

Хромоалитирование. Поверхностное упрочнение хромоалитированием пресс-форм из сталей типа 4Х5В2ФС для литья под давлением алюминиевых сплавов (данные АЗЛК) позволяет повысить их стойкость до 15 раз. Штампы холодного и горячего деформирования из сталей Х12М, 3Х2В8Ф, 5ХНМ увеличивают стойкость после хромоалитирования в 3—4 раза (данные ПО "ЗИЛ"). Диффузионное насыщение проводят в смеси состава (%): 38 Cr; 5 V; 7 Al; 5 SiO₂; 2 NH₄Cl; 1 H₃BO₃; 42 Al₂O₃ в контейнерах с плавким затвором при температурах 980 и 1050 °С. Продолжительность процесса 3—10 ч. После стандартной термообработки (закалка при 1050 °С, отпуск при 600 °С) в поверхностном слое на глубине до 20 мкм сохраняются напряжения сжатия. Однако в подслое величина растягивающих напряжений значительно уменьшается и составляет лишь 150 МПа. При совмещении процессов диффузионного насыщения и термообработки глубина поверхностного слоя с сжимающими напряжениями увеличивается с 20 до 50 мкм. Защитные покрытия значительно повышают окалиностойкость (при 700 °С), причем эффект защитного действия сильнее проявляется у низколегированных сталей типа 5ХНМ.

НАСЫЩЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ВАНАДИЯ, ТИТАНА, ЦИРКОНИЯ, ВОЛЬФРАМА, НИОБИЯ, СЕРЫ, АЛЮМИНИЯ, КРЕМНИЯ

Ванадирование. Применяют при изготовлении инструментов из малолегированных быстрорежущих сталей; выполняют в порошковых смесях, содержащих, например, следующие компоненты (%): феррованадий 60; хлористый аммоний 7; окись алюминия остальное.

Недостатком состава является малая глубина диффузионного слоя, не позволяющая производить заточку инструмента. Повышение износостойкости, прочности, пластичности и режущей стойкости инструмента может быть обеспечено использованием состава по а. с. 533670 (СССР). Диффузионное ванадирование проводят в смеси следующего состава (%): древесноугольный карбюризатор 10—20; феррованадий 35—45; хлористый аммоний 0,5—2; окись алюминия остальное.

Упрочнение осуществляют нагревом инструмента до 1040—1050 °С в порошковой смеси, содержащей 16 % свежего карбюризатора, 40 % феррованадия, 1 % хлористого аммония, окись алюминия остальное. Частицы феррованадия размельчают до грануляции 0,1—0,4 мм. Смесь тщательно перемешивают и засыпают в ящик слоем 20—30 мм, на который укладывают инструмент. Насыпают опять слой 20—30 мм, укладывают новый ряд деталей и т. д. Ящик герметизируют шамотной глиной. После окончания выдержки (6 ч) ящик охлаждают на спокойном воздухе до нормальной температуры и затем разбирают. Глубина диффузионного слоя составляет 1,4—1,6 мм. После диффузионной обработки инструмент подвергают закалке с 900 °С и отпуску при 150 °С (режим обработки на первичную твердость). Применительно к быстрорежущим сталям Р18, Р12, Р6М3 свойства слоя: твердость поверхности после насыщения *HRC* 48—51; после закалки при 900 °С *HRC* 67—70; после отпуска при 150 °С *HRC* 67—70. Механические свойства повышаются на 20—40 %, износостойкость на 50—100 %, стойкость режущего инструмента в 2—5 раз.

Применение указанного состава при изготовлении рабочих деталей штампов и пресс-форм из инструментальных углеродистых или инструментальных легированных

сталей не обеспечивает получение необходимого комплекса свойств и, в первую очередь, твердости, износостойкости и эксплуатационной стойкости из-за малой легированности по сравнению с быстрорежущими сталями. Для диффузионного ванадирования таких сталей может быть использован состав [а. с. 692909 (СССР)], содержащий (%): феррованадий 35—45; ферротитан 10—20; хлористый аммоний 0,5—1,5; древесноугольный карбюризатор остальное.

Ферротитан вводят для предупреждения образования карбидов ванадия, так как он является наиболее сильным карбидообразующим элементом. Состав обеспечивает получение глубоких (до 3 мм) диффузионных слоев повышенной твердости, износостойкости и эксплуатационной стойкости на рабочих деталях штампов и пресс-форм.

Пр и м е р. Осуществляют химико-термическую обработку рабочих деталей штампов и пресс-форм в предлагаемом составе при 920—950 °С. Частицы феррованадия, ферротитана и древесноугольного карбюризатора размельчают до грануляции 0,1—0,4 мм. Древесноугольный карбюризатор выполняет одновременно роль наполнителя и изолятора рабочих деталей штампов и пресс-форм, предупреждающего налипание. Просушенный хлористый аммоний растирают и просеивают. Перед употреблением смесь прокаливают при 850—900 °С в течение 2—3 ч. Смесь тщательно перемешивают и засыпают в ящик слоем 20—30 мм, на который укладывают рабочие детали штампов и пресс-форм, насыпают опять слой 20—30 мм, укладывают новый ряд деталей и т. д. Ящик герметизируют шамотной глиной с силикатом натрия. После окончания выдержки ящик охлаждают вместе с печью до 500 °С. Дальнейшее охлаждение проводят до нормальной температуры на воздухе и затем ящик разбирают. Диффузионный слой формируется из расчета 0,15 мм за 1 ч.

После диффузионной обработки детали подвергают закалке с температурой 30—50 °С ниже оптимальной и последующему отпуску на соответствующую твердость. Состав повышает твердость диффузионного слоя до *HRC* 65—68, износостойкость в 5—10 раз и эксплуатационную стойкость в 2—3 раза.

Инструменты из малолегированных быстрорежущих сталей упрочняют диффузионным ванадированием в по-

рошковых смесях, например, состава (%): феррованадий 60; хлористый аммоний 7; окись алюминия остальное. Недостатки состава: небольшая красностойкость и малая глубина диффузионного слоя, не позволяющая производить заточку инструмента. Повышение свойств инструментов, изготовленных из малолегированных инструментальных сталей типа Р6М3, возможно при использовании состава [а. с. 536251 (СССР) 1], содержащего следующие компоненты (%): древесноугольный карбюризатор 5—15; ферромolibден 20—30; феррованадий 10—20; хлористый аммоний 0,5—2; окись алюминия остальное.

Упрочнение осуществляют нагревом при 1040—1050 °С образцов и инструмента в смеси порошков: ферромolibдена 27 %, феррованадия 19 %, карбюризатора древесноугольного 12 %, хлористого аммония 0,5 %, окиси алюминия 41,5 %.

Частицы ферросплавов размельчают до 0,1—0,4 мм и тщательно перемешивают с другими компонентами. Инструмент укладывают в ящик на слой смеси толщиной 20—30 мм, сверху насыпают слой смеси такой же толщины, укладывают новый ряд деталей и т. д. Ящик герметизируют шамотной глиной. После окончания выдержки (6 ч) ящик охлаждают на спокойном воздухе до нормальной температуры и затем вскрывают.

Глубина диффузионного слоя 1,4—1,6 мм, содержание молибдена и ванадия на 2,5—3 и 1,3 % соответственно выше по сравнению с исходным содержанием этих элементов в стали. Содержание углерода по сравнению с исходным повысилось на 0,63 %. После диффузионного насыщения детали следует подвергать закалке с температуры на 50—70 °С ниже обычно принятой для стали данной марки и последующему трехкратному отпуску. Применительно к сталям типа Р18, Р12, Р9К5, Р6М5, Р6М3 свойства упрочненного слоя: глубина слоя 1,4—1,6 мм, твердость поверхности после насыщения *HRC* 48—52, после закалки при 1190 °С *HRC* 38—43, после отпуска при 600 °С 3 раза по 30 мин, *HRC* 66—69, красностойкость 657 °С, режущая стойкость увеличивается в 2—5 раз.

Карбованадийтитанирование. Комплексное диффузионное насыщение карбидами ванадия и титана поверхностей деталей штампов и пресс-форм, изготовленных из инструментальных углеродистых или легированных

42. Механические свойства некоторых сталей после упрочнения

Состав			Кратность использования смеси, раз	Сталь	Физико-механические свойства стали после упрочнения				Увеличение износостойкости после упрочнения, раз
VCl ₂	TiCl ₂	Карбюризатор			Глубина слоя, мм	Твердость поверхности HRC, после			
						насыщения	закалки	отпуска	
20	15	Остальное	65	У8 X12M 4X5MФC	2,5	18—20 20—24 20—25	66—68 66—69 67—69	66—67 65—68 66—68	6—7 8—10 9—10

сталей. Процесс обеспечивает получение в металле глубоких (до 3 мм) диффузионных слоев повышенной твердости, износостойкости и эксплуатационной стойкости [а. с. 759618 (СССР)]. Смесь содержит в качестве ванадийсодержащего компонента хлористый ванадий, в качестве титаносодержащего компонента — хлористый титан при следующем соотношении компонентов (%): хлористый ванадий 20—30; хлористый титан 10—15; древесноугольный карбюризатор остальное. Хлористый ванадий и хлористый титан введены для более полного восстановления ванадия и титана из окислов и карбидов, образующихся в насыщенной смеси, и пополнения количества ванадия и титана при регенерации обедненной смеси, бывшей в употреблении.

Пример. В смеси проводят химико-термическую обработку деталей из сталей У8, Х12М, 4Х5МФС при $1000 \pm 50^\circ\text{C}$. Загружают в печь, нагретую до $600\text{--}700^\circ\text{C}$, и выдерживают в течение 2 ч. Затем повышают температуру до $1000 \pm 50^\circ\text{C}$, выдерживают 12 ч и охлаждают вместе с печью до $500 \pm 50^\circ\text{C}$, далее на воздухе. По окончании процесса производят механическую обработку (снятие припуска до 0,1 мм на сторону), закалку и отпуск. Механические свойства сталей после обработки приведены в табл. 42.

В качестве регенерирующей добавки, вводимой в обедненную изношенную смесь, используют ту же смесь, но свежего приготовления. Регенерирующую присадку

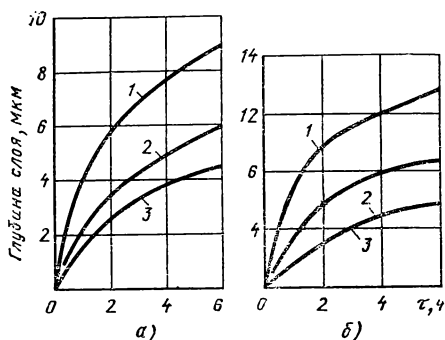


Рис. 12. Влияние температуры и времени насыщения на глубину слоя карбида циркония:

а — на сплаве Т15К6; б — на сплаве ВК8; 1 — 1100 °С; 2 — 1050 °С; 3 — 1000 °С

ность смеси основного количества, позволяя ее использовать до 65 раз. Вследствие активности смеси предупреждается обезуглероживание деталей при насыщении. На поверхности деталей получается диффузионный слой повышенной твердости ($HV\ 900\text{—}1100$) и износостойкости (в 5—7 раз) выше, чем при обычных методах термической обработки.

Циркотитанирование. Применяется для упрочнения твердосплавных инструментов, в частности вольфрамокобальтовых и титановольфрамокобальтовых режущих пластин путем диффузионного насыщения их поверхности соединениями титана и циркония. Карбидные покрытия из циркония, титана и ниобия, нанесенные на поверхность твердых сплавов, улучшают эксплуатационные характеристики инструмента: повышают твердость, жаростойкость, стойкость против образования лунок, снижают адгезию режущего инструмента с обрабатываемым материалом. В результате срок службы инструмента возрастает в несколько раз. Процесс можно осуществить методами диффузии и осаждения из газовой фазы или диффузионным насыщением из твердых порошков. При осаждении из газовой фазы диффузионные слои наносят в замкнутом реакционном пространстве при пониженном давлении. В качестве насыщающей среды используют порошок технически чистого циркония крупностью 100—

(смесь) добавляют после трехкратного использования насыщающей смеси в количестве 3—5 % от первоначальной массы исходной смеси, располагая ее не менее чем в 5 мм от деталей (для исключения налипания).

Добавление небольшого количества регенерирующей смеси сохраняет на одном уровне карболегирующую способ-

150 мкм, четыреххлористый углерод и полиэтилен, вводимый в реакционное пространство для науглероживания образцов в процессе нагревания.

Количество четыреххлористого углерода, полиэтилена и порошка циркония составляет соответственно 11 мл, 23 и 35 г на 1 м² насыщаемой поверхности, включая и внутреннюю поверхность реакционной камеры.

Согласно данным микрорентгеноспектрального анализа, содержание циркония в карбиде циркония не зависит от температуры и времени насыщения и находится в пределах 87—88 %. В карбиде циркония не растворяется вольфрам и кобальт. Глубина проникновения циркония в насыщаемую поверхность достигает 2—3 мкм.

Зависимость толщины слоя на основе карбида циркония на твердых сплавах от температуры и времени насыщения показана на рис. 12. Металлографически слой на поверхности сплавов ВК8 и Т15К6 выявляется в виде светлой нетравящейся зоны толщиной 2—14 мкм. Непосредственно под карбидной зоной не наблюдается обезуглероженной зоны, которая может ухудшить эксплуатационные свойства карбидных покрытий. В формировании покрытия принимает участие не только углерод матрицы, но и углерод, выделяющийся при диссоциации полиэтилена и четыреххлористого углерода, которые входят в состав насыщающих смесей. Микротвердость карбида циркония находится в пределах 2800—2900.

Оптимальным режимом нанесения карбида циркония на поверхность сплава ВК8 следует считать: температуру 1000 °С, время 2 ч; сплава Т15К6: температуру 1050 °С, время 2 ч.

Установлено, что стойкость пластин ВК8 с покрытием на основе карбида циркония в 2—4 раза выше, чем стойкость пластин ВК8 без покрытия, а пластин Т15К6 в 1,5—3 раза по сравнению с серийными.

Циркосилицирование. Применяют для повышения жаростойкости, кислотостойкости и в некоторых случаях износостойкости рабочих поверхностей деталей машин, инструмента и технологической оснастки. Выполняют в порошковых средах, содержащих окислы кремния, циркония, алюминия и хлорид аммония в качестве активатора процесса. Температура процесса 1100 °С, продолжительность 4 ч (применительно, например, к стали 45).

Глубина слоя насыщения — до 100 мкм [а. с. 522280 (СССР)]. Состав содержит хлорид калия и натрия, а в качестве соединений кремния и циркония соответственно метасиликаты натрия, калия и силикоцирконий при следующем соотношении компонентов (%): метасиликат натрия 18—21; метасиликат калия 42—49; хлорид калия 3—7; хлорид натрия 3—7; силикоцирконий остальное.

Силикоцирконий применяют в виде порошка с размером гранул 0,05—1,0 мм. Наиболее приемлемым размером является 0,2—0,5 мм. Процесс химико-термической обработки рабочей поверхности деталей осуществляют погружением в насыщающую ванну и проводят в интервале температур 750—1100 °С в течение 3—8 ч. Продолжительность выдержки зависит от требуемой глубины диффузионного слоя. При этом на стали образуется слой глубиной 170—185 мкм.

Диффузионное насыщение твердых сплавов соединениями циркония и титана из твердых порошков можно осуществить с помощью состава [а. с. 709714 (СССР)], содержащего следующие компоненты (%): окись алюминия 20—45; окись титана 10—30; окись циркония 20—35; титан 10—30. Предпочтительна смесь состава (%): Al_2O_3 — 40; ZrO_2 — 30; TiO_2 — 15; Ti — 15. В зависимости от условий получения твердосплавных пластин на их поверхности имеется свободный углерод, который осаждается преимущественно на выступах, углах, острых кромках, т. е. на рабочей поверхности, и тем самым снижает прочность и износостойкость инструмента. Титан, введенный в покрытие, в процессе диффузионного насыщения при высоких температурах взаимодействует с имеющимся на поверхности свободным углеродом с образованием карбида титана.

При высокоскоростном резании, когда резко возрастает температура на рабочей поверхности, главную роль играет диффузионное изнашивание. В этом случае карбид титана служит диффузионным барьером; препятствуя свариванию пластины со сталью, замедляет образование наростов и лунок, что увеличивает срок службы режущих пластин. Взаимная диффузия титана, вольфрама и углерода в процессе резания при высоких температурах приводит к образованию твердого раствора $TiC - WC$,

химически более инертного, чем WC, обладающего высокой твердостью и очень низкой растворимостью в железе. Имеющиеся в покрытии окислы алюминия, титана и циркония отличаются высокой твердостью и окислостойкостью, что увеличивает износостойкость режущих пластин. В процессе термообработки окислы частично восстанавливаются с образованием карбидов алюминия, титана и циркония. Они, в свою очередь, образуя сложные молекулярные растворы, оказывают положительное влияние на режущие свойства твердосплавных пластин. Смесь порошков, содержащую (%): Al_2O_3 30; TiO_2 20; ZrO_2 32; Ti 18, измельчают в шаровой мельнице в течение 60 ч. На предварительно обработанную режущую поверхность пластин сплавов типа Т15К6 и ВК8 методом окунания наносят слой пасты, приготовленной из мелкодисперсных порошков на этиловом спирте. Затем пластины отжигают в вакууме $0,1 \cdot 10^{-2}$ Па при 1400—1450 °С в течение 3,5 ч. После термообработки образуется покрытие толщиной 10—12 мкм. При обработке изделий из сталей ХВГ; ШХ15 с твердостью HRC 35—48 со скоростью резания в интервале 56—370 м/мин, подачи 1,2—2 мм/об и глубиной резания 2—4 мм стойкость режущих пластин с покрытием в 2—3 раза, а при обработке чугуна в 7—8 раз выше, чем у серийного инструмента.

Эксплуатационную стойкость твердых сплавов; например, неперетачиваемых режущих пластин, изготовленных из сплавов ВК-8, ВК-6, Т15К6, Т5К10, ТТ10К8Б и др., применяемых для оснащения режущих инструментов, можно повысить нанесением на их поверхность диффузионных карбидных покрытий [а. с. 790842 (СССР)]. В процессе нагревания в среде галогенов и (или) галогенидов наносимого металла проводят дополнительную выдержку при температуре 500—950 °С и давлении $13,3—0,1 \cdot 10^{-2}$ Па. Способ позволяет наносить покрытия на основе карбидов, главным образом, тугоплавких металлов и их сплавов, на твердосплавные изделия без использования водорода и углеводородов, что существенно упрощает технологическое оборудование и процесс нанесения покрытий, исключает применение пожаро- и взрывоопасных компонентов используемых газовых смесей.

Пример 1. Получение покрытий карбидами ниобия. Режущие пластины помещают в печь, вакуумируют

установку до получения в камере остаточного давления 0,1—0,01 Па, нагревают контейнер с пентахлоридом ниобия (NbCl_5) до $T_{\text{конт}} = 110\text{—}130^\circ\text{C}$. Затем нагревают печь с изделиями до $600\text{—}700^\circ\text{C}$. Открывают затвор контейнера с NbCl_5 , откуда пары NbCl_5 по паропроводу поступают в реакционное пространство печи. В указанном режиме изделия выдерживают 2 ч, после чего повышают температуру печи до $1000\text{—}1100^\circ\text{C}$ (при неизменных прочих параметрах) и проводят осаждение NbC в течение не более 1,5 ч. Затем прекращают подачу NbCl_5 (закрывают затвор контейнера) и охлаждают печь вместе с покрытыми изделиями. В результате изделия покрываются ровным плотным слоем NbC серебристого цвета толщиной до 30 мкм, прочно сцепленным с основой.

Пример 2. Получение покрытий карбидами титана. Режущие пластины помещают в печь, вакуумируют установку до получения в камере давления 0,01—0,001 Па. Нагревают контейнер с кристаллическим йодом до $40\text{—}50^\circ\text{C}$. Нагревают печь с изделиями до $550\text{—}600^\circ\text{C}$. Затем сопловое устройство с размещенной внутри стружкой титана нагревают до $400\text{—}500^\circ\text{C}$. Открывают затвор контейнера с йодом. Йод, взаимодействуя с титановой стружкой, образует йодиды титана различной валентности. Полученную смесь йода и йодидов титана направляют к изделиям, проводят травление в течение 50 мин, после чего повышают температуру изделий до $1050\text{—}1150^\circ\text{C}$ и проводят осаждение карбида титана в течение 1 ч. Полученные покрытия толщиной 8 мкм имеют хорошую адгезию и повышают стойкость режущих пластин.

Пример 3. Получение покрытий сложными карбидами титана и ванадия. Режущие пластины из сплава Т15К6 подвергают травлению йодом в смеси с йодидами ванадия по методике, указанной в примере 2. Стружку титана, смешанную со стружкой ванадия в соотношении 1 : 5, выдерживают при более высокой температуре $800\text{—}900^\circ\text{C}$ вследствие низкой летучести диiodида ванадия. Осадки толщиной 5—20 мкм, как и в предыдущих примерах, получают равномерными, беспористыми, прочно сцепленными с основой. Они представляют собой сплав карбидов титана и ванадия переменного состава.

С помощью приемов, аналогичных описанным в примерах, наносят покрытия ZrC , TaC и др. В качестве исход-

ных реагентов используют пентахлорид ниобия (NbCl_5), тетраиодид титана (TiI_4), тетрахлорид циркония (ZrCl_4), пентахлорид тантала (TaCl_5), диодид ванадия (VJ_2) и др.

Поверхностно-диффузионная карбидизация сложно-легирующими элементами. Способ предусматривает сочетание процесса диффузионного насыщения поверхностного слоя металла сложными карбидами металлов, например хрома, ванадия, титана, вольфрама и др., с процессом создания карбидного покрытия на поверхности металла. В результате обеспечивается повышение износостойкости, теплостойкости и коррозионной стойкости изделия [а. с. 745961 (СССР)]. По способу, включающему нагрев изделий в порошке карбидообразующего металла, галогенида аммония и окиси алюминия, на поверхность изделий предварительно наносят слой органического материала на целлюлозной или белковой основе. Нагрев ведут при температуре 1200—1400 °С.

Сущность способа заключается в том, что при температуре 1200—1400 °С атомы карбидообразующих металлов (например, хром, ванадий, титан, вольфрам и др.) в присутствии галогенида аммония как активатора и противопригарной присадки — окиси алюминия соединяются с углеродом и другими микроэлементами, входящими в состав органического материала (например, хлопчатобумажной, льняной, шерстяной ткани, кожи, лаков и др.) и образуют сложные карбидные покрытия на поверхности изделий. Одновременно образуется диффузионный карбидный слой в металле изделия, прочно соединенный с природно-легированным карбидным покрытием. Это приводит к повышению износостойкости, теплостойкости и коррозионной стойкости изделий.

Температура ниже 1200 °С недостаточна для протекания процесса образования сложных карбидных покрытий. Температура выше 1400 °С не увеличивает скорость образования покрытий.

Пример 1. Ролики из стали 45 покрывают слоем хлопчатобумажной ткани и помещают в контейнер с порошком, содержащим 50 % феррохрома, 5 % хлористого аммония, 45 % окиси алюминия.

Изделия и насыщающую среду помещают в стальной контейнер с плавким затвором. Контейнер герметизируют

и нагревают до 1300 °С и выдерживают в течение 5 ч. Получают сложные карбохромированные покрытия. При испытании роликов установлено увеличение износостойкости в 2—2,5 раза по сравнению с покрытием, полученным другими способами.

Пример 2. Пластины из стали У8 покрывают слоем шерстяной ткани и слоем шерстяной нити и помещают в контейнер с порошком феррованадия (50 %), йодистого аммония (5 %), окиси алюминия (45 %). Контейнер герметизируют и нагревают до 1350 °С с выдержкой в течение 5 ч. Получают сложные карбованадиевые покрытия. При испытании резцы, оснащенные этими пластинами, показали увеличение стойкости в 3—4 раза по сравнению с покрытием, полученным другими способами.

Ниобирование. Процесс диффузионного насыщения соединениями ниобия поверхностей твердосплавных изделий, особенно режущих инструментов, с целью повышения их эксплуатационной стойкости. Способ ниобирования, отличающийся сравнительной простотой и эффективностью, изложен в а. с. 726209 (СССР). Процесс осуществляется в составе, содержащем окись ниобия, окись алюминия, порошок алюминия и хлористый аммоний (%): окись ниобия 36—56; алюминий 10—24; хлористый аммоний 1—3; окись алюминия остальное. Предпочтительный состав (%): окись ниобия 46; алюминий 17; хлористый аммоний 2; окись аммония 35.

Процесс ниобирования проводят при температуре 950—1100 °С в течение 1—6 ч в контейнерах без использования вакуума или защитных атмосфер. На поверхности твердосплавного инструмента формируется износостойкое покрытие, состоящее из карбидов ниобия (NbC и $\alpha\text{-Nb}_2\text{C}$) толщиной 7—15 мкм.

Пример. Проводят ниобирование деталей из сплава ВК8 при 1100 °С с выдержкой 4 ч в шахтной силитовой печи без использования вакуума или защитных атмосфер. На поверхности твердосплавного инструмента формируется износостойкое покрытие толщиной до 15 мкм.

Преимущества состава: возможность использования типового термического оборудования, обеспечивающего температуру 900—1100 °С; более значительное, по сравнению с известной средой, повышение эксплуатационной стойкости режущего инструмента; повышение стойкости

43. Составы ванн для сульфидирования

Состав	Содержание, %											
	KCN ₅	NaCN ₅	FeS	FeS ₂	Na ₂ S ₂ O ₃	Na ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄	Al ₂ (SO ₄) ₃ × × K ₂ SO ₄ × × 24H ₂ O	K ₄ Fe(CN) ₆	NaCl	BaCl ₂	CaCl ₂
1	—	—	—	16,6	—	—	—	—	3,4	17	25	38
2	—	—	13,2	—	—	3,4	—	—	3,4	17	25	38
3	90	—	—	—	—	—	10	—	—	—	—	—
4	60—85	—	—	—	—	—	—	15—40	—	—	—	—
6	4	—	12	—	—	4	—	—	—	17	25	38
7	75	—	—	—	25	—	—	—	—	—	—	—
8	—	40—43	—	—	10	—	—	—	7—10	22	18	—
8	66	—	—	—	—	34	—	—	—	—	—	—

инструмента в 2,5—4 раза по сравнению с неупрочненным инструментом.

Сульфидирование. Процесс насыщения поверхностных слоев металла серой. Сульфидированию подвергают технологическую оснастку, изготовленную из быстрорежущей стали всех марок и стали типа ХВГ и 9ХС, с целью улучшения антифрикционных свойств поверхностей. В качестве оборудования для сульфидирования применяют тигельные ванны. Технологическую оснастку, поступающую на сульфидирование, предварительно обезжиривают. Составы ванн для сульфидирования приведены в табл. 43. Составы 3, 4, 6, 8 предназначены для обработки технологической оснастки из стали типа ХВГ и 9ХС (рабочая температура 180—200 °С, время выдержки 45—60 мин), составы 1, 2, 5, 7 — для обработки технологической оснастки из быстрорежущей стали (рабочая температура 550—570 °С, время выдержки 45—90 мин).

После выдержки технологическую оснастку охлаждают на воздухе до нормальной температуры, погружают в горячую воду для полного удаления соли. Затем опускают в подогретое масло, из которого через некоторое время выгружают и вытирают ветошью. Поверхность инструмента после сульфидирования серая. Глубина слоя, видимая под микроскопом, 0,10—0,13 мм. Образовавшееся

на поверхности инструмента сернистое соединение приобретает в процессе трения самосмазывающую способность. Благодаря этому уменьшаются силы трения трущихся пар деталей или стружки о поверхность режущего инструмента. В результате сульфидирования износостойкость трущихся пар и инструмента увеличивается.

Контроль качества сульфидирования проводят по образцам-свидетелям.

Сульфоцианирование. Диффузионное насыщение металла углеродом, азотом и серой, сопровождающееся образованием сложных химических соединений — карбидов, нитридов и сульфидов железа и легирующих металлов. В сульфоцианированном слое у поверхности располагается тонкая (5—15 мкм) светлая зона сульфидов. Степень насыщенности зоны серой может превышать 5 %. Ниже расположена темная зона карбонитридов. Глубина зоны 50—100 мкм. Далее следует переходная зона с преимущественным преобладанием структур перлитно-ферритного типа.

Процесс применяется для повышения износо- и задиростойкости деталей, работающих в условиях усиленного трения и недостаточной смазки, например для упрочнения фрикционных дисков. Одновременное насыщение углеродом и азотом повышает износостойкость и сопротивление усталости металла деталей при многократных циклических нагружениях. При небольших скоростях перемещений сульфоцианированные стальные и чугунные детали могут заменить бронзовые детали типа венцов червячных колес, втулок подшипников скольжения, ползунов кулисных механизмов и т. п.

Сульфоцианирование повышает износостойкость режущих инструментов, изготовленных из быстрорежущих или высокохромистых легированных сталей. Применяют для упрочнения инструментов и технологической оснастки, изготовленной из быстрорежущей стали всех марок, стали типа X12, X12M и др., для повышения стойкости и улучшения чистоты поверхности обрабатываемых деталей. Выполняют в твердых смесях, в расплавах солей, в смесях газов. Составы для жидкостного сульфоцианирования в расплавах солей приведены в табл. 44. Поскольку тиосульфат натрия более активный осернитель, чем сернистый натрий, то предпочтительно использование ванны

44. Составы ванн для сульфацианирования

Состав	Содержание, %											
	NaCN	(NH ₂) ₂ CO	K ₄ Fe(CN) ₆	Na ₂ S ₂ O ₃	Na ₂ SO ₃	Na ₂ SO ₄	(NH ₄) ₂ SO ₄	K ₂ S—Na ₂ S	K ₂ CO ₃	KCl	NaOH	Na ₂ CO ₃
1	—	54	—	—	—	—	—	2	44	—	—	—
2	50	—	—	5	—	25	—	—	—	20	—	—
3	—	—	75	12	—	—	—	—	—	—	13	—
4	5	55	—	—	3	—	—	—	37	—	—	—
5	95	—	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—
6	95	—	—	—	5	—	—	—	—	—	—	—
7	95	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—
8	34	—	—	—	7	—	—	—	16	—	27	16

следующих составов (%): 36 карбамида мочевины; 24 поташа; 30 желтой кровяной соли; 10 тиосульфата натрия; или 20 калия хлористого, 25 натрия сернокислого; 5 тиосульфата натрия и 50 натрия цианистого; либо 95 натрия цианистого и 5 тиосульфата натрия. Применительно к первому из составов реакция мочевины с поташем приводит к образованию неядовитой модификации цианистого калия



Тиосульфат натрия, реагируя с цианатом калия, образует роданистый калий (KCNS), являющийся основным осернителем. Цианат калия, диссоциируя, образует соединения, которые, разлагаясь, выделяют азот и углерод, диффундирующие в сталь:



Атомарный углерод выделяется из CO



и вместе со свободным азотом насыщает поверхность, образуя карбонитридный слой.

Процесс ведут в тигельных печах-ваннах. Перед загрузкой детали очищают и обезжиривают, промывая в растворе щелочи, затем в теплой воде. После подсушки их подогревают до 150—350 °C и затем с помощью приспособлений погружают в ванну. Рабочая температура

45. Продолжительность выдержки инструментов при сульфацианировании

Инструмент	Диаметр инструмента, мм	Выдержка, мин	Инструмент	Диаметр инструмента, мм	Выдержка, мин
Сверла	От 10 до 15	12	Резцы: зубострогальные, проходные, канавочные	—	10—12
	Св. 15 » 20	15			
	» 20 » 30	18			
	30 и более	20			
Развертки и зенкеры	От 10 до 15	12	фасонные и тангенциальные	—	15—20
	Св. 15 » 20	15			
	» 20 » 30	18			
	30 и более	20			
Метчики	От 10 до 12	5	Резьбо-нарезные несборные фрезы	От 25 до 30	10
	Св. 12 » 20	8			
	20 и более	10			
Накатные плашки	—	От 5 до 7		Св. 30 » 50	12
Долбяки	—	10			
				50 и более	15

ванны 550—570 °С, время выдержки при сульфацианировании конструкционных сталей 2,5—3 ч. Время сульфацианирования инструментов приведено в табл. 45.

По окончании процесса детали извлекают из ванны и выдерживают над ней до полного стекания раствора солей. Охлаждение деталей на воздухе при температуре до 100—150 °С. Затем детали промывают 10—15 мин в горячей воде, переносят в масло с температурой ванны 100—125 °С и выдерживают 10—15 мин. В результате такой обработки повышается коррозионная стойкость сульфацианированной поверхности. Качество процесса контролируют по образцам-свидетелям, обработанным совместно с деталями. Контролируют состав ванны. Содержание серы должно быть в пределах 0,2—2,0 % (по массе). Для восполнения серы следует перед загрузкой очередной партии деталей вводить в ванну соли (например, гипосульфит Na_2SO_3) в количестве 10—20 % от массы первоначальной загрузки. Сульфацианированные детали имеют равномерный темно-серый цвет.

Алитирование. Диффузионное насыщение металла, преимущественно стали, атомарным алюминием. Сталь-

46. Режимы алитирования стали

Метод алитирования	Насыщающая среда	Температура, °С	Продолжительность, ч	Глубина слоя, мм	Примечание
В порошкообразных смесях	а) 49,5 % порошка алюминия + 49,5 % окиси алюминия + 1,0 % хлористого аммония б) 99 % ферроалюминия + 1 % хлористого аммония в) 48 % ферроалюминия + 48 % кварцевого песка + 4 % хлористого аммония г) 25 % алюминия + 74 % окиси алюминия + 1 % хлористого аммония д) 50 % ферроалюминия + 49 % окиси алюминия + 1 % хлористого аммония е) 74 % ферроалюминия + 25 % окиси алюминия + 1 % хлористого аммония	950—1050	6—12 *	0,25—0,6	Алитирование проводят в железных или никромовых ящиках. Упаковка ведется так же, как при цементации, в твердом карбюризаторе. Смесь употребляют многократно с добавкой 10—15 % свежей смеси

Продолжение табл. 46

Метод алитирова- ния	Насыщающая среда	Темпера- тура, °С	Продол- житель- ность, ч	Глубина слоя, мм	Примечание
В ваннах с расплав- ленным алюминием	Расплавленный алюминий + 8—12 % железа (во избежание растворения металла изделий)	720—750	0,25—1,0	0,1—0,3	На поверхности расплава рекомендуется создавать слой флюса для очистки деталей, удаления налипшего металла и уменьшения разъедания поверхности деталей
Металлиза- ция с по- следующим отжигом	На поверхность изделия напыляют слой алюминия толщиной 0,7—1,2 мм, на который наносится обмазка (50 % серебристого графита, 20 % огнеупорной глины, 20 % кварцевого песка, 10 % жидкого стекла)	900—950	2—4	0,2—0,4	Толщина обмазки 0,8—1,5 мм. Обмазка просушивается при 80—100 °С

* Для снижения содержания алюминия в слое и уменьшения его хрупкости алитированные изделия отжигают при 900—1050 °С в течение 4—5 ч. Глубина слоя при этом возрастает на 20—40 %.

ные алитированные изделия отличаются высокой окислительной стойкостью, хорошей сопротивляемостью коррозии, в том числе в морской воде и атмосфере, низкой износостойкостью. Твердость алитированного слоя достигает *HV* 500. Процесс выполняют в порошкообразных смесях, в расплавах или металлизации с последующим отжигом. Режимы алитирования приведены в табл. 46. Тигли для алитирования в расплавах изготавливают из шамота или магнезита. Для предотвращения растворения обрабатываемых деталей в расплавленном алюминии в состав ванны вводят 6—8 % стальной стружки. Недостатки способа алитирования в расплаве: низкая стойкость тиглей, налипание расплава на поверхность изделия, частичное растворение металла детали и загрязнение ванны. Процесс частично стабилизируется при введении флюсов в ванну с расплавом. Составы флюсов приведены в табл. 47.

47. Составы флюсов для алитирования в расплаве

Компоненты	Содержание (%) для составов		
	I	II	III
Хлористый калий	47	40	40
Поваренная соль	35	40	30
Криолит	12	10	10
Фторид алюминия	6	10	—
Хлористый цинк	—	—	20

Титаноалитирование. Диффузионное покрытие соединениями алюминия и титана поверхности изделий из стали и чугуна [а. с. 722996 (СССР)]. Предварительно на изделие равномерно наносят смесь из 85—90 % Al и 10—15 % Si толщиной до 0,1 мм с последующим отжигом в вакууме при 930—980 °С и выдержке 4—6 ч. Затем проводят титанирование с использованием металлизатора из губчатого титана, титановой стружки или порошка, с добавкой интенсификатора — хлористого или фтористого аммония, взятых в соотношении 100 (0,5—2).

Режим титанирования: разогрев реактора до температуры 860—870 °С, выдержка 0,5 ч, повышение температуры до 950—1000 °С, выдержка 2—3 ч. Вакуум в реакторе 1,3 Па.

Выдержка при 860—870 °С при титанировании способствует образованию эвтектики Ti_2Cu_3 , в результате чего происходит заполнение пор в диффузионном покрытии.

Пример. Изделие из серого чугуна СЧ21 очищают и обезжиривают. На поверхность электрометаллизатором ЭМ-10-66 наносят слой алюминия и меди толщиной 0,1 мм. Отжиг осуществляют в предварительно вакуумированной (1,3 Па) герметичной реторте при 950 °С в течение 4 ч.

При титанировании используют губчатый титан фракции 12—6 мм с фтористым аммонием, в соотношении 100 1. Режим титанирования: реактор разогревают до температуры 860 °С с изотермической выдержкой 30 мин, затем повышают температуру до 1000 °С с последующей изотермической выдержкой 4 ч. Разрежение в реакторе 1,3 Па. Образуется плотное диффузионно-титановое покрытие толщиной до 1,8 мм. Диффузионный слой прочно связан с основным металлом. Концентрация титана на поверхности изделия составляет 86—96 %.

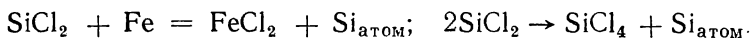
Силицирование. Диффузионное насыщение поверхностного слоя стали кремнием. Силицированный слой обладает повышенной стойкостью против коррозии в морской воде и кислотах, а также повышенной износостойкостью при сравнительно низкой твердости (HV 200—250). Выполняют в порошкообразных смесях, жидких или газовых средах. Режимы силицирования приведены в табл. 48.

Для силицирования в порошкообразных смесях детали упаковывают в металлические ящики, заполненные рабо-

48. Режимы силицирования стали

Насыщающая среда	Температура, °С	Продолжительность, ч	Глубина слоя, мм	Примечание
Силицирование в порошкообразных смесях				
75 % ферросилиция + + 20 % шамота (или окиси алюминия) + + 5 % хлористого аммония	1100— 1200	6—12	0,15— 0,8	—
Газовое силицирование				
Газовая фаза, образующаяся при введении хлора в среду, загруженную изделиями и ферросилицием (или карбидом кремния)	950— 1050	2—5	0,4— 0,8	Процесс ведут в муфельных печах. Количество карбида кремния или ферросилиция — 1/10 массы деталей

чей смесью, и помещают в печь, нагретую до 950—1100 °С. Продолжительность выдержки для получения силицированного слоя заданной глубины зависит от температуры процесса и размеров ящика. Ориентировочно можно считать, что для ящиков средних размеров при температуре 1100 °С за 6 ч глубина слоя достигает 0,15 мм. Силицирование в жидкой среде выполняется в расплаве солей хлористого бария и хлористого натрия (1 : 1) и ферросилиция (20 % от общей массы солей). В таком расплаве при 1000 °С на низкоуглеродистой стали за 2 ч создается силицированный слой глубиной до 0,35 мм. Процесс осуществляется в электродных печах-ваннах. Силицирование в газовых средах проводят в хлоре, смеси хлора и водорода, азота и водорода. Источником атомарного кремния служат ферросилиций, карбид кремния (SiC), тетрахлорид кремния (SiCl₄) и моносилан (SiH₄). Наиболее часто газовое силицирование проводят в среде хлора или смеси хлора и водорода в печи с вращающейся ретортой. В реторту загружают обрабатываемые детали, карбид кремния или ферросилиций. Количество карбида кремния (или ферросилиция) составляет 10 % от массы загруженных деталей. Температура процесса 950—1050 °С. После нагрева до рабочей температуры в реторту подается газ, например, хлор. При введении хлор взаимодействует с кремнием, образуя хлорид кремния (SiCl₂), а затем атомарный кремний



Количество хлора, подаваемого в реторту, влияет на качество обрабатываемых изделий. Избыток хлора приводит к разъеданию поверхности деталей и к возникновению реакций, понижающих давление в рабочем пространстве печи. При нормальном ходе процесса давление в реторте равно 100—500 Па. Ориентировочно можно считать, что на 1 м² поверхности обрабатываемых деталей в рабочем пространстве печи должно быть 10—20 л хлора.

ОБРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ В АТМОСФЕРЕ ПАРА

Окончательно изготовленный инструмент подвергают обработке в атмосфере пара по следующей технологической схеме: обезжиривание в течение 10—15 мин при 70 °С

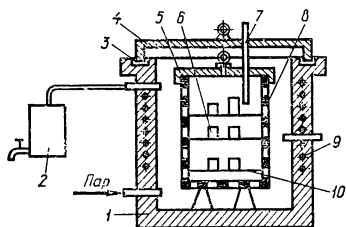


Рис. 13. Схема установки для обработки деталей в атмосфере пара:

1 — электропечь; 2 — водяной конденсатор; 3 — песочный затвор; 4 — крышка печи; 5 — крышка сварного муфеля; 6 — детали; 7 и 9 — термодары; 8 — сварной муфель с отверстиями; 10 — сетка

в ванне следующего состава (кг/л воды): углекислая сода Na_2CO_3 0,02—0,04, каустическая сода NaOH 0,02—0,004; тринатрийфосфат Na_3PO_4 0,02—0,04; промывка в горячей воде; подогрев до 340—380 °С в герметичной камере электропечи с выдержкой 15—30 мин; продувка камеры паром в течение 20—30 мин для полного удаления воздуха; подогрев до температуры 540—560 °С в электропечи с выдержкой 30—40 мин; охлаждение на воздухе до 50—70 °С; обработка в масле при 50—70 °С с выдержкой 5—10 мин. В результате обработки паром на поверхности окончательно изготовленного инструмента образуется черная с синим оттенком пористая оксидная пленка толщиной до 0,006 мм. Она хорошо удерживает охлаждающие и смазывающие жидкости и затрудняет налипание стружки на режущие грани. В производственных условиях для обработки инструмента паром можно использовать шахтную электропечь, оборудованную сварным муфелем и змеевиком (рис. 13). При обработке паром инструмент в зависимости от конфигурации укладывают на сетки или подвешивают. В результате отпуска, проводимого в процессе обработки инструмента паром, снижаются напряжения, образующиеся при шлифовании. Стойкость инструмента, обработанного паром, возрастает в среднем в 1,5 раза; значительно повышается его коррозионная стойкость.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДИФфуЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ

Увеличить толщину карбидных покрытий, снизить температуру и время их формирования можно следующим способом [а. с. 578363 (СССР)]. На упрочняемую поверхность изделия наносят химическим путем никель-фосфорное или кобальтофосфорное покрытие. Затем проводят нагрев обрабатываемых изделий при 800—1000 °С в тече-

49. Характеристика насыщения стали 45 с предварительным химическим покрытием

Предварительная обработка	Режим обработки		Толщина слоя, мкм
	Температура, °C	Время, ч	
Нанесение никель-фосфорного покрытия	800	6	30—35
	950	6	70—80
	950	0,5	25—30
Нанесение кобальтофосфорного покрытия	800	6	25—30
	950	0,5	20—25

ние 1—6 ч в порошковых насыщающих средах. Способ позволяет получить карбидные слои толщиной до 70—80 мкм. Например, при предварительном нанесении никель-фосфорного или кобальтофосфорного покрытия и последующем диффузионном насыщении стали 45 в смеси состава (%): Al_2O_3 38; Al 12; Cr_2O_3 48; NH_4Cl 2 (хромоалитирование) скорость насыщения и толщина слоя в зависимости от температуры насыщения изменяются в соответствии с данными, приведенными в табл. 49.

Скорость диффузионного насыщения карбидами, нитридами, боридами и иными сложными соединениями можно увеличить активным перемешиванием насыщающей среды с помощью ультразвука, пульсирующих потоков инертных газов или газов, содержащих активные вещества.

В соответствии с пат. 2416272 (Франция) (метод диффузионной поверхностной обработки металлических деталей в ванне расплавленных солей) в ванну расплавленных солей погружается полностью или частично обрабатываемая металлическая деталь. Через перфорированные трубы или пористую керамику со дна ванны подается смесь горячих газов (образующих в жидкой соли мелкие пузырьки), активизирующая процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя детали. В зависимости от вида химико-термической обработки (ХТО) — цементации, азотирования, сульфидирования или борирования — в состав активирующих газов могут входить окись углерода, метан, пропан и другие

углеводороды; азот или преимущественно аммиак, а также смесь аммиака с углеводородами; сероводород или хлористая сера; треххлористый бор. В качестве газов-носителей в смесях могут быть использованы инертные или активные газы — азот, аргон, водород или гелий. Из примеров, приведенных в описании к патенту, следует, что метод обеспечивает получение за 2 ч обработки толщину цементованного слоя 0,8 мм, нитроцементованного — 0,6—0,7 мм твердостью *HV* 700, борированного — 20—40 мкм твердостью *HV* 1500. Метод ускоряет процесс ХТО и повышает стабильность качества упрочненного слоя деталей.

Для интенсификации процесса диффузионного насыщения, получения равномерного покрытия при парогазовом насыщении металлических изделий и уменьшения расхода насыщающих веществ на парогазовую смесь дополнительно воздействуют ультразвуковыми колебаниями резонансной частоты, подаваемыми на экран, который предварительно вводят в застойную зону контейнера [а. с. 588259 (СССР)]. Наличие «озвученного» экрана интенсифицирует движение активной парогазовой смеси и соответственно ее взаимодействие с поверхностью детали.

Пр и м е р. Для получения равномерного покрытия на деталях из стали 45 сложной геометрической формы экран помещают в застойной зоне негерметичного контейнера. Над деталью устанавливают пластинчатый экран. С помощью трансформатора скорости ультразвуковые волны направляют на экран и вызывают его колебания. Контейнер помещают в предварительно разогретую до 1000 °С печь. Процесс диффузионного насыщения проходит в течение 3 ч. Рентгенографические и спектральные исследования показывают равномерное (13—14 %) распределение насыщающего элемента по всей поверхности детали. Металлографические исследования определяют равномерный диффузионный слой (420—360 мкм) с однородностью (34—37 %) по всей поверхности детали.

Обработка по предлагаемому методу позволяет без существенных затрат повысить равномерность покрытий при химико-термической обработке деталей и использовать преимущество парогазового насыщения (высокая чистота обрабатываемой поверхности, неизменность размеров деталей) для обработки крупногабаритных деталей

в контейнерах с большими градиентами активной смеси. Эффект складывается из экономии ресурсов при диффузионной обработке деталей и возможной экономии от замены дорогостоящих сплавов, расходуемых для изготовления этих деталей, за вычетом расходов на генерирование ультразвуковых колебаний.

Сокращение времени обработки и повышение стабильности свойств при диффузионном насыщении металла достигается переменным пульсирующим давлением, создаваемым струей насыщающего газа, нагретого до температуры обработки и подаваемого с частотой, пропорциональной отношению температуропроводности материала в глубине насыщаемого слоя [а. с. 815078 (СССР)].

Это обеспечивает максимальный контакт и высокую скорость реакции при взаимодействии насыщающего элемента с поверхностным слоем изделия. При этом происходит ускорение диффузионных процессов в поверхностном слое за счет термоциклирования и приложения переменного пульсирующего давления насыщенного газа.

УПРОЧНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИМИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ И РАСТВОРЕНИЯ

Хромирование. Твердое износостойкое хромирование применяют для повышения износостойкости и восстановления деталей машин, контрольного, измерительного и режущего инструмента, а также формообразующих элементов штампов и пресс-форм, дыропробивных пуансонов и матриц. Типовой технологический процесс хромирования выполняют по схеме: электрохимическое анодное либо химическое обезжиривание; промывка в теплой воде, промывка в холодной воде; декапирование; промывка в холодной воде; анодная обработка; хромирование; улавливание хрома из электролита; обработка в растворе метабисульфита натрия; промывка в холодной воде, сушка; обезводороживание (по мере надобности). Хромируемую поверхность предварительно шлифуют или полируют.

Электрохимическое обезжиривание проводят под воздействием постоянного тока в щелочных растворах следующего состава (кг/л воды): едкий натр 0,025—0,035; сода кальцинированная 0,025—0,035; тринатрийфосфат 0,010—0,020; жидкое стекло 0,003—0,005. Аноды изготавливают из никелированной стали, обычной стали или никеля. Процесс электрохимического обезжиривания следует вести при температуре 80—90 °С, плотности тока 500—1000 А/м² и напряжения источника тока 12 В. Продолжительность обработки на катоде составляет 1,5—3 мин, на аноде 0,5—1 мин. При обработке в барабанах напряжение источника тока устанавливают 16 В; продолжительность обработки на катоде в этом случае составляет примерно 5 мин. Составы растворов для химического обезжиривания и режимы обработки приведены в табл. 1.

Промывку в воде проводят для удаления с деталей продуктов реакции или растворов, оставшихся на поверх-

1. Составы растворов для химического обезжиривания и режимы обработки

Состав	Состав раствора, кг/л воды				
	Едкий натр	Сода кальцинированная	Тринатрий-фосфат	Эмульгатор ОП-7 или ОП-10	Сульфолон
1	0,01—0,02	—	0,01—0,02	0,002—0,004	—
2	0,004—0,06	—	—	0,002—0,004	—
3	—	0,05	—	—	0,05

Состав	Режим обработки			
	Температура, °С	Продолжительность, мин	Давление, МПа	Способ обработки
1	60—70	1—3	0,2—0,3	Струйный
2	60—70	5—10	—	Погружением
3	70—95	5—15	—	То же

ности после электрохимического обезжиривания, декапирования и обработки хромированных деталей в растворе метабисульфита натрия. При повышенном количестве солей жесткости в водопроводной воде (свыше $15 \cdot 10^{-6}$ кг/л) последнюю промывку перед хромированием и перед сушкой следует проводить в конденсате или деминерализованной воде. Детали промывают водяным душем или путем погружения в ванну, оборудованную устройством для перемешивания деталей с помощью воздуха. Допускается применение обоих способов: сначала промывка погружением, затем под душем. При двукратной промывке погружением после декапирования подачу воды следует осуществлять каскадно (противотоком), чистую воду подавать только во вторую промывную ванну, откуда она самотеком перетекает в первую. Спуск воды в канализацию следует производить из первой ванны. Режимы промывки приведены в табл. 2.

Химическое декапирование осуществляют для удаления с поверхности обрабатываемых изделий тонкой пленки окислов. Режимы декапирования указаны в табл. 3. Период между химическим декапированием и хромированием должен быть минимальным.

2. Режимы промывки в воде

Вода	Режим промывки	
	Температура, °C	Продолжительность, мин
Холодная (водопроводная питьевая или деминерализованная)	10—25	0,15—3
Теплая (водопроводная питьевая, конденсат или деминерализованная)	50—60	0,15—3
Горячая (водопроводная питьевая, конденсат или деминерализованная)	80—90	0,15—3

3. Режимы химического декапирования

Содержание кислоты, кг/л воды	Режим обработки	
	Температура, °C	Продолжительность, мин
0,4—0,6 H ₂ SO ₄	18—25	0,25—3
0,09—0,11 HCl		0,25—0,5

Твердое износостойкое хромирование следует проводить в стандартном универсальном разведенном электролите различной концентрации либо в саморегулирующемся. Составы электролитов и режимы обработки приведены в табл. 4.

Скорость хромирования (выход хрома по току) можно ускорить [а. с. 264094 (СССР)]. При хромировании в протоке стандартных электролитов хромирования (например, в обычном сульфатном, тетрахроматном и др.) скорость протока электролита поддерживают в пределах 1—50 м/с при плотности тока 200—2000 А/дм² и соотношении между этими величинами от 1 : 200 до 1 : 40. При этом выход хрома по току составляет 45—60 %, и более чем в 10 раз возрастает скорость осаждения хромового покрытия. Полученные по описанному способу осадки хрома имеют высокое качество и твердость HV 1050—1150.

Перед хромированием изделия необходимо прогревать непосредственно в ванне для хромирования, а затем анодно декапировать в течение 0,5—1 мин при плотности тока 3500—4000 А/м². При хромировании изделий сложной формы следует на 1—2 мин увеличивать плотность тока в 2 раза.

4. Составы электролитов, режимы обработки, материал анодов для алюминия

Электролит	Состав электролита, кг/л					
	CrO ₃	H ₂ SO ₄	K ₂ SiF ₆	SrSO ₄	H ₃ BO ₃	Na ₂ SiF ₆
Разведенный	0,125—0,200	(1,25—2,00) · 10 ⁻³	—	—	—	—
»	0,120—0,150	(1,00—1,50) · 10 ⁻³	—	—	—	—
Универсальный	0,200—0,300	(2,00—3,00) · 10 ⁻³	—	—	—	—
»	0,200—0,250	(2,5—2,5) · 10 ⁻³	—	—	(20—25) · 10 ⁻³	—
»	0,300—0,350	—	—	—	—	(6—8) · 10 ⁻³
Саморегулирующийся	0,250—0,300	—	0,008	6,0 · 10 ⁻³	—	—
То же	0,200—0,300	—	0,018— 0,020	(5,5—6,5) · 10 ⁻³	—	—
»	0,250	—	0,020	6,0 · 10 ⁻³	—	—

Электролит	Режим обработки		Скорость осаднения хрома, мкм/мин	Материал анодов
	Температура, °C	Плотность тока, А/м ²		
Разведенный	45—60	4500—6000	0,6	Сплав свинец—сурьма (Sb до 8 %) или свинец—олово (Sn до 10 %)
	45—55	3000—4000	—	Свинец (для внутренних фигурных анодов), сталь (для внутренних анодов при хромировании узких отверстий)
Универсальный	45—55	2000—5500	0,2—0,7	Сплав свинец—сурьма (Sb до 8 %) или свинец—олово (Sn до 10 %), свинец (для внутренних фигурных анодов), сталь (для внутренних анодов при хромировании узких отверстий)
»	—	—	—	
»	—	—	—	
Саморегулирующийся	55—60	5000—8000	1,0	Сплав свинец—олово (Sn до 10 %)
То же	50—60	5000—8000	—	Свинец (для внутренних анодов)
»	55—65	4000—8000	—	То же

5. Рекомендуемые режимы сушки хромированных деталей

Способ сушки	Температура, °C	Продолжитель- ность, мин
Обдувка сжатым воздухом В сушильном шкафу	18—25 85—100	0,5—3 5—10

Толщина наносимого покрытия для гладких мерительных инструментов составляет 30—100 мкм, для резьбовых калибров 2—20 мкм, для пресс-форм, матриц и пуансонов 40—100 мкм. Износостойкость режущего инструмента в результате хромирования увеличивается в 2—3 раза, контрольно-измерительного инструмента в 5—10 раз. Микротвердость осаждаемого хрома находится в пределах 900—1000.

После хромирования обязательно производят улавливание хрома из электролита путем промывки деталей в ванне с непроточной водой без подогрева в течение 0,15—3 мин. Получающиеся относительно концентрированные растворы постепенно добавляют в ванну хромирования. При накоплении в растворе свыше 0,001 кг/л воды трехвалентного хрома раствор меняют. Водопроводную воду, имеющую жесткость свыше $15 \cdot 10^{-6}$ кг/л воды, для улавливания электролита использовать нельзя; вместо нее можно применять конденсат или деминерализованную воду. Хромированные детали после промывки в ванне для улавливания электролита следует обработать в течение 0,15—1 мин в 15 %-ном растворе метабисульфита (пиросульфита) натрия, который восстанавливает оставшийся на поверхности деталей шестивалентный хром до трехвалентного, в результате чего предотвращается попадание шестивалентного хрома в сточные воды. Для удаления с деталей влаги, которая остается на их поверхности после промывки в воде, проводят сушку. Способы сушки и режимы указаны в табл. 5.

Детали технологической оснастки из легированных сталей подвергают термической обработке для снятия напряжений, возникающих в результате наводороживания. Процесс ведут при температуре 180—200 °C в течение 1,5 ч преимущественно в масляной ванне.

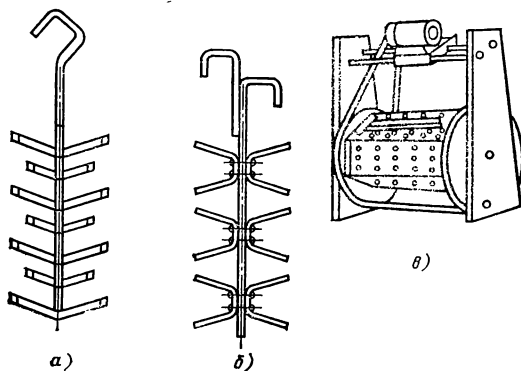


Рис. 1. Контактные приспособления для загрузки деталей в ванну: а — подвеска штыревая; б — подвеска пружинная; в — переносный вини-пластовый барабан с электроприводом

Хромирование проводят в стационарных стальных ваннах, футерованных листовым винипластом. Обрабатываемые изделия служат катодом. В качестве источников тока применяют низковольтные генераторы постоянного тока, вырабатывающие ток напряжением $6\frac{1}{12}$ или 9 В и силой 250—10 000 А. Для питания ванн применяют также селеновые выпрямители, состоящие из понижающего трансформатора и набора селеновых выпрямительных шайб.

Для загрузки изделий в ванну следует применять специальные контактные приспособления (рис. 1). При конструировании и изготовлении подвесок необходимо учитывать следующие основные требования: материал подвесок (электролитическая медь) должен иметь такое сечение, при котором обеспечивается подвод тока соответствующей силы; подвеска должна иметь хороший контакт с покрываемыми деталями и катодной штангой ванны; детали в подвесках должны быть расположены так, чтобы они не экранировали одна другую, а образовавшиеся газы легко удалялись с поверхности деталей, не создавая «газовых мешков»; для устранения возможности покрытия подвески осаждаемым металлом она должна быть покрыта изоляционным материалом, за исключением мест контакта; конструкция подвески должна способствовать рациональному использованию объема ванны; монтаж и демонтаж деталей с подвесок должен выполняться без затруднений.

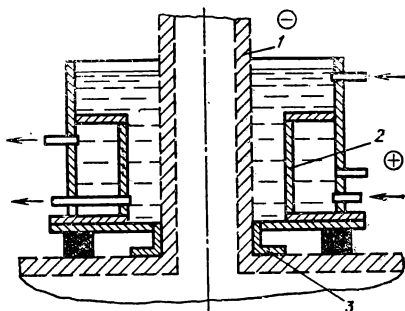


Рис. 2. Схема монтажа анода при хромировании шейки вала:

1 — хромируемая часть вала; 2 — полый цилиндрический анод; 3 — прокладки

вать изношенные поверхности до первоначальных размеров. Для выполнения местного хромирования изготавливают цилиндрический анод из стали X18H10T, который монтируют на вал, подлежащий хромированию. Изоляцию анода от детали выполняют винипластовыми прокладками (рис. 2). В полость, образованную анодом, поверхностью вала и специальным поддоном, заливают электролит, предварительно уложив уплотнения из резины.

Хромирование валов проводят в потоке электролита, который подают из небольшой стационарной емкости через верхний патрубок в полость с помощью кислотостойкого насоса. Слив электролита осуществляют через нижний патрубок. Во избежание перегрева электролита в процессе электролиза анод охлаждают подачей холодной воды противотоком в полость анода со скоростью 0,5 л/мин. При площади хромирования, например, равной 0,2 м², объем полости с охлаждающей водой 15 л, с электролитом 75 л. Перед хромированием рабочую поверхность механически обрабатывают до параметра шероховатости Ra 0,63. Перед нанесением покрытия поверхность обезжиривают бензином и кашицей из венской извести, промывают проточной водой. Устанавливают приспособление на вал, проверяют надежность изоляции между приспособлением и деталью с помощью омметра; вал и приспособление подключают к источнику тока. Окончательно обезжиривают место, подлежащее хромированию, протиркой сад-

В производственных условиях возникает необходимость в местном хромировании безваным способом крупногабаритных деталей (валов, цилиндров, штоков и др.). Способ позволяет исправлять дефекты на хромовом покрытии (сколы, риски, непокрытые участки) без его полного снятия и повторного нанесения, а также восстанавли-

феткой, смоченной спиртом, а затем сухой. Полость между приспособлением и поверхностью вала заполняют электролитом, циркулирующим без наложения постоянного тока. Одновременно нагревают вал до 50 °С подачей горячего воздуха в его внутреннюю полость. Температуру в процессе электролиза поддерживают охлаждением анода.

Перед хромированием проводят анодное декапирование в течение 30—40 с при плотности тока 80 А/дм², затем включают прямой ток (80 А/дм²) на 1—2 мин. Режим нанесения износостойкого хромирования: плотность тока 35—40 А/дм², температура электролита 46—53 °С. Продолжительность хромирования в стандартном электролите устанавливают из расчета осаждения хрома толщиной 1 мкм в течение 2,6 мин.

После хромирования получают гладкий, равномерный, хорошо сцепленный с основным металлом осадок хрома толщиной от 50 до 150 мкм. Для местного хромирования применяют стандартный электролит (250 г/л хромового ангидрита, 2,5 г/л серной кислоты) или электролит следующего состава (г/л): хромовый ангидрид 450—500; сернокислый кобальт 20—25; фтористый кальций 90—100, алюмокалиевые квасцы 8—10.

Хромовое покрытие, осажденное из электролита, беспористое, при толщине слоя 50 мкм имеет хорошую адгезию, легко полируется. Скорость осаждения хрома в электролите 60 мкм/ч. Микротвердость покрытия 537—559. Электролит устойчив в работе, не требует предварительной проработки, достаточно производительен, добавки не дефицитны.

При контроле качества хромированных изделий следует проверять внешний вид, прочность сцепления с основным металлом и толщину покрытия. Твердость и износостойкость контролируют при наличии указаний на чертеже или карте технологического процесса изготовления инструмента. Контроль внешнего вида покрытия выполняют поштучно осмотром деталей невооруженным глазом, используя в отдельных случаях эталоны сравнения. На поверхности деталей не допускается наличие трещин, сколов, сквозных черновин, отслаиваний, дендритов. Допускаются разнотолщинность и разнотонность цвета покрытия на различных участках поверхности.

6. Составы электролитов и режимы никелирования

Электролит	Количество вещества,				
	Серно-кислый никель (никелевый купорос)	Серно-кислый натрий (десяти-водный)	Хлористый натрий	Хлористый никель	Фтористый натрий
Сернокислый (типовой)	175—200	80—160	20	—	—
То же, скоростной	420	150	5	30	—
То же, блестящего никелирования	200—400	—	5—15	—	5
Борфтористоводородный	—	—	—	—	—
Сульфаминовый	—	—	—	250—300	—

Контроль толщины хромовых покрытий следует проводить приборами, не разрушающими покрытия, в местах, наиболее затрудненных для прохождения тока и осаждения на них металла: на центральных участках плоскостей, вогнутых поверхностях, участках, близких к внутренним углам, и т. п. Толщина покрытия на указанных участках должна быть не менее предусмотренной стандартами или техническими требованиями чертежа. Изделия с толщиной покрытия, меньшей допустимой, отправляют на повторное хромирование.

Никелирование. Типовой технологический процесс никелирования состоит из таких операций: обезжиривание в органическом растворителе; сушка или обезжиривание химическое; промывка в теплой воде; обезжиривание электрохимическое; промывка в теплой воде; промывка в холодной воде; декапирование; промывка в холодной воде; никелирование электрохимическое; улавливание, промывка в холодной воде; промывка в горячей воде; сушка; контроль. Никелируемую поверхность предварительно шлифуют или полируют.

Для снятия различных полировальных и шлифовальных паст, масел, смазочных материалов, находящихся на поверхности деталей, проводят обезжиривание в органических растворителях (бензине, уайт-спирите, керосине) путем последовательного погружения в одну — три емко-

г/л воды				Режим работы		
Натриевая соль (дисульфат натриевой кислоты)	Борфтористоводородный никель	Сульфаминовокислый никель	Борная кислота	pH	Температура, °C	Плотность тока, А/дм ²
—	—	—	20	5—5,5	18—25	0,5—1,0
—	—	—	50	2,0—3,5	50—60	До 10
2—4	—	—	30	5,8—6,3	45—55	1—3
—	300	—	30	2,7—3,5	25—50	5—10
2—3	—	250—350	25—30	3,5	25—30	10—15

сти, под душем или протиркой волосяными щетками либо ватным тампоном. После обезжиривания в бензине рекомендуется сушка на воздухе, а после обработки уайт-спиритом — промывка в горячей воде. Для износостойкого никелирования применяют сульфатные электролиты. Составы электролитов и режимы обработки приведены в табл. 6.

Составы электролитов для матового и блестящего никелирования даны в табл. 7, 8. При приготовлении электролита каждый из его компонентов предварительно растворяют в воде, переливают растворы в рабочую ванну и доливают ее водой, затем определяют pH и доводят его до заданного значения, добавляя серную кислоту и углекислый никель. Микротвердость осаждаемого никеля составляет 250—300.

Для повышения износостойкости рабочей поверхности штампов и обеспечения ее постоянной смазки применяют покрытие электролитическим осаждением твердого пористого слоя сплава никеля с кобальтом, с последующими операциями расширения пор и пропитки политетрафторэтиленом. Покрытие имеет твердость *HV* 750, коэффициент трения 0,05. Оно увеличивает срок службы штампов и пресс-форм, защищает поверхность от повреждений и заеданий, устойчиво к кислотам и щелочам, эффективно для штампов горячей и холодной штамповки.

7. Составы электролитов матового никелирования

Состав	Количество вещества, г/л воды							pH
	Никель серно- нокислый	Магний серно- нокислый	Натрий серно- нокислый	Магний хлористый	Натрий хлористый	Аммоний хлористый	Кислота борная	
1	175—200	—	90—100	—	20—25	—	25—30	5,4—5,8
2	130—150	30—50	100—120	—	10—15	—	25—30	5,2—5,6
3	120—240	—	—	—	20—25	—	20—30	4,5—5,5
4	65—70	До 10	—	—	—	32—35	До 10	—
5	140—160	10—20	До 100	20	10—20	—	20—30	4,2—4,6

8. Составы электролитов блестящего никелирования

Со- став	Количество вещества, г/л воды			
	Никель серноокислый	Кислота дисульфатафта- линовая (2,6—2,7 г/см³)	Натрий хлористый	Кислота борная
1	200—250	1—2	20—25	25—30
2	250—300	1—5	10—15	30—40
3	250—300	—	10—15	30—40

Со- став	Количество вещества, г/л воды			pH
	Натрий серно- кислый	Калий (натрий- фтористый)	Прочие	
1	—	5—6	1—2 формалин (40 %)	5,5—5,8
2	50—60	3,5	—	—
3	—	0,5—1,0	2 — паратолуолсульфамид; 0,5—1,0 кумарин; препарат «Прогресс» (0,1—0,5)	4,5—5,5

Пресс-формы и литейные формы (например, из стали 4Х4ВМФС) для литья деталей из алюминиевых сплавов (например, АЛ-2) под давлением рационально упрочнять осаждением 9—12 мкм сплава никель — вольфрам. Отмечается повышение износостойкости поверхности цилин-

дров двигателей и поршневых колец гальваническим нанесением слоя композиционного покрытия, состоящего из никелевой матрицы, содержащей мелкодисперсные частицы карбида кремния. Покрытие имеет твердость около $HV\ 550$ и толщину $30\text{--}70\ \mu\text{м}$. В электролит вводится в виде суспензии от 2,5 до 5 % мелкодисперсных (менее $4\ \mu\text{м}$) частиц карбида кремния (твердость около $HV\ 2500$). Процессы ведут при катодной плотности тока $5\ \text{А/дм}^2$, температуре электролита $60\ ^\circ\text{C}$; материал анодов — никель НПА1. Составы электролитов для комплексного никелирования приведены в табл. 9. Многократное повышение термической стойкости формообразующих элементов пресс-форм при нанесении вольфрамоникелевого покрытия обусловлено аморфной структурой покрытия. Благодаря этому в поверхностном слое по границам зерен не происходит выделения хрупких интерметаллических соединений железа с алюминием, которые являются источником образования разгарных трещин. Не возникает взаимодействия покрытия с содержащимся в смазочных материалах углеродом с образованием хрупких углеродсодержащих соединений, так как никель (металл-растворитель) не является карбидообразующим элементом. Высокие твердость и пластичность вольфрамоникелевого покрытия пресс-форм при литье под давлением деталей из алюминиевых сплавов обеспечивают надежную защиту формообразующих элементов от механического изнашивания, образования сетки разгара и термических трещин.

После никелирования следует производить улавливание никеля из электролита и его обезвреживание. Затем детали сушат. Режимы и способы выполнения этих операций, а также составы ванн для их выполнения аналогичны применяемым при хромировании. Контроль качества никелевых покрытий проводят по следующим основным показателям: внешний вид, толщина покрытия, отсутствие пор и прочность сцепления с основным металлом. Методы контроля аналогичны используемым при хромировании.

Бесцианистые электролиты. Позволяют осуществить электрохимические процессы без применения токсичных веществ. Ниже приведены составы некоторых бесцианистых электролитов и режимы процессов электролитической упрочняющей обработки.

9. Составы электролитов комплексного никелирования

Назначение электролита	Состав	Количество		
		Никель борфтористый	Кислота борная	Никель серно-кислый
Борфтористоводородное никелирование	1	300	30	—
	2	110	30	—
Осаждение сплава никель—кобальт	1	—	20—25	—
	2	—	25—30	140—160
	3	—	25	140
	4	—	30	200
Осаждение сплава никель—вольфрам	1	—	—	20
	2	—	—	15

Аммиакатно-уротропиновый электролит цианирования. Состав электролита (г/л): окись цинка 40—60; хлористый аммоний 240—260; уротропин 40—60; мездровый клей 2—4; водный аммиак 100—120.

Режим работы: температура $20 \pm 5^\circ\text{C}$, катодная плотность тока 1—2 А/дм², рН 8,0—8,4.

Скорость осаждения при плотности тока 1 А/дм²: 1 мкм за 3,5 мин.

Электролит обеспечивает большую рассеивающую способность, чем распространенные в промышленности хлораммиакатные электролиты, достаточно высокую плотность тока (1—2 А/дм²) и выход по току 95—98 %, прост в приготовлении, стабилен в работе.

Сульфатно-аммониевый электролит кадмирования. Состав электролита (г/л): сернокислый кадмий 40—60; сернокислый аммоний 240—260; диспергатор НФ-Б 50—100 мл/л, уротропин 15—20, вещество ОП-10 0,7—1,2.

Режим работы: катодная плотность тока 0,8—1,2 А/дм², температура $20 \pm 5^\circ\text{C}$, рН 4—6. Скорость осаждения при плотности тока 0,8 А/дм² 1 мкм за 3 мин. Катодный и анодный выходы металла по току составляют примерно 100 %. Покрытия, полученные из данного электролита, мелкозернистые, плотные, с высокой коррозионной стойкостью. Диспергатор НФ-Б

вещества, г/л				рН
Кобальт серно-кислый	Калий хлористый	Натрий вольфраматовокислый	Прочие	
—	—	—	—	2,7—3,5
—	—	—	40 кислота борфтористоводородная	2,3—3,5
110—120	10—15	—	130—140 никель хлорный	4—5
100—108	13—15	—	—	4,8—5,2
100	—	—	—	—
19	—	—	15 натрий хлористый	—
—	—	50	70 кислота лимонная	8
—	—	100	45 щавелевокислый аммоний	9

(ГОСТ 6848—79) представляет собой конденсат бета-сульфокислоты нафталина с формальдегидом, нейтрализованный аммиачной водой.

Сульфатно-трилоновый (нитрилотриуксуснокислый) электролит кадмирования. Состав электролита (г/л): сульфат кадмия 40—50, трилон А 100—110, едкий калий 100—110. Режим работы: катодная плотность тока 1—4 А/дм², температура 50—55 °С, рН 11—11,5. Скорость осаждения при плотности тока 1 А/дм² — 21 мкм/ч. Загрузку деталей производят под током.

В растворах оптимальных составов и режимов электролиза в этих электролитах осаждаются высококачественные кадмиевые покрытия в широком интервале плотностей тока от 1 до 8 А/дм² с выходом по току, приближающимся к 100 %. По рассеивающей способности электролит не уступает цианистому.

Электролит пирофосфатного цинкования (г/л): сернокислый цинк, кристаллогидрат 60—70, пирофосфорнокислый калий, кристаллогидрат 350—380, фосфорнокислый аммоний двузамещенный 45—55, сульфониловая кислота 0,2—0,8, рН 8,5—9,5. Катодная плотность тока при температуре электролита 18—25 °С 1—2 А/дм², при температуре 35—40 °С 2—4 А/дм². Время осаждения 1 мкм цинка составляет 2,2 мин при плотности тока

2 А/дм², либо 1,1 мин при плотности тока 4 А/дм², рН 8,5—9,5.

Этилендиаминовый электролит меднения. Состав электролита (г/л): сернокислая медь 100—125; этилендиамин (100 %) 50—60; сернокислый натрий 50—60; сернокислый аммоний 50—60. Режим работы: температура 20 ± 5 °С, рН 8,2—8,5; катодная плотность тока 0,5—1,0 А/дм², отношение анодной поверхности к катодной 2 : 1. Выдержка до получения осадка толщиной 3—4 мкм. Доразщивание необходимой толщины медного покрытия производится из сернокислого электролита. Для улучшения качества сцепления осадка с основой выполняется операция предварительного меднения в тартратном электролите состава (г/л): сернокислая медь 3—5, едкий натр 80—100, сегнетова соль 30—50. Режим работы: температура 20 ± 5 °С, катодная плотность тока 4—6 А/дм². Детали выдерживают в указанном составе без тока в течение 20—30 с, затем под током в течение 1—1,5 мин.

Рекомендуется также железистосинеродистый электролит меднения состава (г/л): сернокислая медь (в пересчете на металл) 15—30; железистосинеродистый калий 180—250; едкий калий 7—25; сегнетова соль 90—100. Режим работы: температура 55 ± 5 °С, катодная плотность тока 1,5—2,0 А/дм², отношение анодной поверхности к катодной 6 : 1. Скорость осаждения при плотности тока 2 А/дм² 1 мкм за 1,5 мин.

В последнее время при покрытии стальных деталей применяют покрытие «биникель», которое позволяет исключить подслои меди. Процесс никелирования по схеме «биникель» заключается в последовательном нанесении полублестящего и блестящего никелевого покрытий из растворов состава, I и II (г/л):

I. Сернокислый никель 250—350, борная кислота 30—40, хлористый натрий 10—20, 1,4-бутиндиол 0,08—0,12 мл/л, формалин 0,1 мл/л. Режим работы: температура 40 ± 5 °С, рН 5,1—5,4, катодная плотность тока 2—3 А/дм². Скорость осаждения при плотности тока 2 А/дм² 1 мкм за 2,5 мин.

II. Сернокислый никель 250—300, хлористый натрий 10—15, фтористый натрий 1—2, борная кислота 30—40, 1,4-бутиндиол 0,5—1,0 мл/л, формалин 0,03—

0,35 мл/л, хлорамин Б 1—2 мл/л. Режим работы: температура $55 \pm 5^\circ\text{C}$, pH 4—4,5, катодная плотность тока 3—5 А/дм². Скорость осаждения при плотности тока 5 А/дм² · 1 мкм за 1 мин.

Двойное никелевое покрытие почти в 2 раза коррозионно-устойчивее однослойного такой же толщины. Для увеличения коррозионной стойкости крепежных деталей применяют защитные гальванические покрытия в сочетании с различными пропитками и тонкопленочными ингибированными покрытиями. В Институте химии и химической технологии АН Литовской ССР разработан ряд составов пассивирования — Ликонда: голубое пассивирование — Ликонда 22; радужное — Ликонда 23, Ликонда 1, Ликонда 2; зеленое — Ликонда 41; прямое черное — Ликонда 31. Высокопроизводительный процесс блестящего цинкования выполняют с помощью Ликонды ZnSR. Гальванические осадки цинка, полученные по этому процессу, пластичные, выровненные с бледно-голубым пассивированием. Раствор содержит цинк, хлористый аммоний и блескообразователи Ликонда ZnSR—А, Ликонда ZnSR—В, Ликонда ZnSR—С. Выпуск составов Ликонда освоен в промышленном масштабе и внедрен для получения преобразующего покрытия на оцинкованных и кадмированных изделиях.

Высокой коррозионной стойкостью обладают следующие покрытия: в особо жестких условиях — кадмиевое, пропитанное в растворе оливкового цвета, танина, а также в растворе, содержащем Ликонду 41; в жестких условиях — цинковое, пропитанное танином, цинкфосфатное в сочетании с тонкопленочным покрытием Мовиль. Коррозионная стойкость покрытий усиливается ингибированными смазками УСП, СЗГ-1, ХБГ-3. Составы электролитов и режимы осаждения покрытий приведены в табл. 10.

Электрофоретическое упрочнение. Метод получения композиционных покрытий с металлической или полимерной матрицей, армированной дисперсными частицами. Осуществляется осаждением порошковых покрытий на рабочие поверхности стальных деталей сложной конфигурации, например, деталей пресс-форм, штампов, мерительного инструмента, гидрораспределительных устройств, различной технологической оснастки. Технологи-

10. Состав электролитов и режимы антикоррозионной обработки

Покрытие	Состав электролита, г/л	Режим обработки
Кадмиевое	Серноокислый кадмий 50, серная кислота 50, серноокислый натрий 50, гидролизный спирт 10, столярный клей 5	Плотность тока 5 А/дм ² ; температура 20 °С
Цинковое	Серноокислый цинк 60, хлористый аммоний 240, борная кислота 20, столярный клей 1	Плотность тока 1,5 А/дм ² , температура 20 °С
Цинковое Ликонда	Хлористый цинк 100, хлористый аммоний 200, Ликонда-А — 50 мл/л, Ликонда-В — 5 мл/л	Плотность тока 1 А/дм ² , температура 20 °С
Цинкфосфатное	Серноокислый цинк 120, хлористый аммоний 250, борная кислота 25, фосфорнокислый двузамещенный натрий 65, ортофосфорная кислота 30	Плотность тока 0,6 А/дм ² , температура 25 °С
Тонкопленочное ингибированное	НГ-216А НГ-216Б Мовиль	Температура 98 °С

ческий процесс нанесения покрытия безвольфрамового твердого сплава на основе карбида хрома с никель-фосфорной связкой состоит из двух основных операций: электрофоретического осаждения смеси порошкообразных компонентов покрытия и припекания электрофоретического осадка к стальной подложке, осуществляемого при 1160—1180 °С в защитной безокислительной среде или в вакууме.

Покрытие имеет высокую адгезию к подложке; разрушение покрытия при деформации происходит раньше, чем отслоение его от подложки. Ввиду того, что коэффициенты термического расширения материала покрытия

Дополнительная обработка		
Вид	Состав, г/л	Режим
Хромирование оливкового цвета	Бихромат натрия 30, азот- нокислый натрий 30, му- равьиная кислота 50 мл/л, ледяная уксусная кислота 40 мл/л, формалин 15 мл/л 10 %-ный раствор	pH 1,4—2,7, темпе- ратура 25 °С, время 5 с
Танином	—	Температура 25 °С, время 5 с То же
В растворе Ли- конда 41	—	—
Хромирование оливкового цвета	Тот же, что для кадмия	pH 1; 4—2,7, темпе- ратура 25 °С, время 5 с
Танином	10 %-ный раствор	Температура 25 °С, время 5 с
В растворе Ли- конда 41	—	То же
Осветление с хро- мированием	Хромовый ангидрид 150, азотная кислота 100, сер- ная кислота 20	Температура 20 °С, время 3 с
—	—	—
—	—	—

и стали приблизительно одинаковы, в случае необходимости можно проводить термическую обработку деталей с покрытием по обычным режимам, не опасаясь растрескивания покрытия. Это, а также высокая жаростойкость покрытий позволяет использовать их для защиты деталей, испытывающих одновременное воздействие механических нагрузок, высокой температуры и абразивной среды. Максимальная толщина электрофоретического карбидохромового покрытия составляет 120—150 мкм. Многократным нанесением можно довести толщину покрытия до 400—500 мкм. Карбидохромовое покрытие в 7 раз превосходит по износостойкости при трении без

смазочного материала инструментальную сталь ХВГ

Для нанесения покрытия можно использовать тонкий порошок титана, карбида титана, гидрата титана или смеси на основе одного из этих веществ с добавлением до 20 % карбида молибдена, до 30 % карбидов тантала, ниобия, гафния, циркония, хрома, ванадия и 0—50 % металла из группы железа или его сплава. При упрочнении изделий из всех материалов, кроме порошковых, в основной порошок добавляется порошок угля. Из порошка, измельченного в шаровой мельнице влажным способом и высушенного, готовят суспензию на основе воды или углеводородов.

В ванну с суспензией погружают изделие и металлическую пластину, которые соединяют с различными полюсами источника постоянного тока напряжением от десятков до сотен вольт. В ванне происходит электрофорез, под действием которого порошок из суспензии осаждается на изделие, образуя покрытие толщиной от единиц до сотен микрон. В суспензию можно добавлять вещество, способствующее образованию коллоидного ионогенного соединения, например, альгинат натрия, кальция, магния или аммония, нитрат алюминия или другие соли азотной и серной кислот. Добавка таких веществ позволяет при низком напряжении электрофореза (несколько десятков вольт) получить покрытие с повышенной адгезией. После осаждения покрытия изделие извлекают, высушивают на воздухе и помещают в печь, где выдерживают при 1200—1300 °С в вакууме (1,3 Па), восстановительной или нейтральной атмосфере, в результате чего в зоне перехода от покрытия к изделию образуется слой сплава.

Электрофоретическое осаждение системы карбид вольфрама—кобальт-бор выполняют при постоянном токе в суспензии состава (масс. долей): твердосплавная WC—Co—B 350—380; хлористый алюминий 0,25—0,3; ацетилацетон 0,8—3,0; этиленгликоль 100—120; этилцеллюлоза (3—5) 10^{-4} . Напряженность электрического поля 250—300 В/см; скорость осаждения до 23—24 мкм/с или 17 м²/(с·см²), время осаждения 30—180 с, температура 20—100 °С. Концентрация порошка твердого сплава ВК-15 20—70 %. Состав дисперсной фазы по плотности (кг/м³): WC — 15,63·10²; Co 8,8·10²; B 2,34; размер частиц (мкм): WC 1—5; Co 1; B 1,0.

Электрохимическое полирование. Один из наиболее эффективных методов повышения стойкости инструментов путем уменьшения шероховатости поверхности, снижения коэффициента трения инструмента об обрабатываемые детали и стружку, исключения прижогов поверхности. Сущность процесса — анодное растворение металла в электролите. При шлифовании поверхностей деталей часто наблюдается появление прижогов и микротрещин, что вызывает местные напряжения и преждевременный выход детали из строя.

Дефекты могут быть устранены электрохимическим полированием, снимающим поверхностный дефектный слой и формирующим поверхность повышенной чистоты. Преимущество метода — высокая производительность, не зависящая от физико-механических свойств обрабатываемого материала и формы изделия. Статические характеристики металла — предел текучести, относительное удлинение, относительное сужение — практически не изменяются. Основное отличие поверхности, полированной электрохимическим путем, от механически обработанной — отсутствие следов деформации, прижогов и структурных изменений. Растворение гребешков металла улучшает поверхность на 1—2 численных значения параметра и изменяет характер микрорельефа. При сопряжении электрополированных поверхностей величина фактической опорной поверхности возрастает, что оказывает положительное влияние на работу деталей в условиях трения. Электрохимическое полирование способствует стабилизации коэффициента трения, уменьшает время приработки трущихся поверхностей в 5—6 раз, повышает стойкость металла к коррозии, увеличивает срок службы деталей.

Электрохимическое полирование повышает стойкость сверл на 30—35 %, зенкеров на 10—20 %, разверток на 20—25 %, метчиков до 70 %, концевых фрез до 100 %.

Упрочняемые инструменты укладывают на медную сетку, соединенную с положительным полюсом источника постоянного тока, и погружают в электролитическую ванну, через которую пропускают электрический ток при напряжении 8 В в течение 20—45 с. Время выдержки зависит от размера упрочняемого инструмента и марки материала. Выделяющиеся в процессе работы газы отса-

сывают при помощи системы вентиляции. Электролит периодически очищают от шлама.

Перед полированием детали и инструмент термически обрабатывают. После обезжиривания промывают в горячей и холодной воде, декапируют, вновь промывают и погружают в ванну травления. Для травления стали типа 65Г и 40Х применяют сернокислый раствор состава: серная кислота 18—20 %, присадка ЧМ 0,8 г/л (основание хинолинового ряда). Температура раствора 50—60 °С, время травления 15—20 мин. После травления детали промывают. Процесс выполняют в растворе состава (%): 45 ортофосфорной кислоты; 39 серной кислоты; 4 хромового ангидрида; остальное вода. Плотность раствора 1,7—1,74 г/дм³, температура 70—80 °С; продолжительность выдержки 6 мин (катоды свинцовые). Затем инструмент промывают в горячей и холодной проточной воде. Для полного удаления следов кислот проводят нейтрализацию в растворе углекислого натрия — 20—30 г/л — в течение 0,15—3 мин, после чего инструмент снова промывают в холодной и горячей проточной воде и сушат.

Для полирования инструментов из быстрорежущих и углеродистых сталей можно применить двухкомпонентный электролит состава: ортофосфорная кислота 88 % ($\gamma = 1,6$ г/см³), хромовый ангидрид 10 %, остальное вода. Электрохимическое полирование осуществляется в специальных ваннах с паровым подогревом, электропитание — от источника постоянного тока напряжением до 36 В.

Электролиты для электрополирования не универсальны, их полирующая способность к различным металлам ограничена. Подбор электролитов и режимов электрополирования для многокомпонентных легированных сталей выполняют с учетом содержащихся в них присадок металлов, вызывающих значительные отклонения электрохимических параметров анодной обработки по сравнению с чистым железом. Это приводит к избирательному растворению участков металла, различных по своим свойствам.

На качество полирования влияют микроскопические неоднородности, возникающие из-за наличия в металле нескольких кристаллических фаз и особенно неметаллических включений. Оптимальные режимы электрополи-

рования предварительно определяют потенциостатическим методом в стеклянной электрохимической ячейке на потенциостате П-5848. Для электрода сравнения используют стандартный хлорсеребряный электрод, в качестве вспомогательного — платиновую пластинку. Рабочим электродом служит деталь. Например, в состав твердой заэвтектидной инструментальной стали ХВСТ, применяемой для изготовления мелкоразмерных плашек и метчиков, входят углерод, хром, вольфрам, кремний, марганец (по 1 %), ванадий (0,1 %), никель (не более 0,35 %), сера и фосфор (не более 0,03 %). Одна часть этих элементов образует с углеродом карбиды, другая твердый раствор в железе. При электрополировании этой стали в результате влияния указанных включений возникают локальные гальванические элементы, которые обычно являются катодами по отношению к основной фазе. Это приводит к растворению основной фазы вокруг частиц катодной фазы, которые, выкрашиваясь, оставляют на полированной поверхности оспины (питтинг).

Высокое качество полирования сталей такого типа достигается в электролите, содержащем 25 % хромового ангидрида и 75 % ортофосфорной кислоты при температуре 80—100 °С и плотности тока 100—200 А/дм². Работа при такой высокой плотности тока осложняет проведение процесса в производственных условиях. Для снижения плотности тока и увеличения электрической проводимости электролита в раствор вводят серную кислоту и воду. Введение 17 % серной кислоты и 4 % воды повышает электрическую проводимость в 2 раза по сравнению с исходным раствором. При таком содержании дополнительных компонентов рабочая плотность тока имеет минимальные значения.

Оптимальный состав электролита и режим электрополирования плашек из стали ХВСТ (%) :

	Оптимальный состав	Допустимые пределы
Ортофосфорная кислота	60	60—65
Серная кислота	17	15—20
Хромовый ангидрид	18	15—20
Вода	5	2—6
Анодная плотность тока, А/дм ²		40—60
Температура, °С		80—100
Время полирования, мин		5—10

Электролит не нуждается в корректировании по основным компонентам, если количество пропущенного через него электричества не превышает $240 \text{ А} \cdot \text{ч/л}$ при условии периодического добавления воды до исходного уровня. Дальнейшее увеличение количества электричества связано с необходимостью корректирования и регенерации электролита путем удаления железа и окисления трехвалентного хрома до шестивалентного. Для осаждения железа предварительно восстанавливают Fe^{3+} до Fe^{2+} на свинцовом катоде при плотности тока $0,8\text{—}1 \text{ А/дм}^2$. Анодное пространство отделяют от катодного пористой диафрагмой. Следующая операция — охлаждение раствора до температуры $-4 \dots +4^\circ\text{C}$. Соли двухвалентного железа кристаллизуются и выпадают в осадок. После охлаждения солей железа проводят окисление Cr^{3+} до Cr^{6+} на свинцовом аноде при плотности тока $2\text{—}4 \text{ А/дм}^2$.

При старении электролита наблюдается уменьшение блеска полируемых деталей, что связано с понижением растворимости продуктов анодного растворения. Поэтому после отработки $240 \text{ А} \cdot \text{ч/л}$ электролит следует заменять. Полированные детали нейтрализуют, промывают в холодной и горячей воде и сушат. Способы устранения возможных дефектов при электролитическом полировании стали приведены в табл. 11.

Электрохимическое полирование изделий из коррозионно-стойких сталей. Предварительно поверхность подвергают виброабразивной обработке (на установках типа УВГ-100) с использованием твердого абразивного наполнителя по режиму: частота колебаний $36,6\text{—}38 \text{ Гц}$, амплитуда $1,8\text{—}2 \text{ мм}$, время 4 ч .

Заготовки загружают в барабан, представляющий собой шестигранник со стороной 300 мм и длиной 1000 мм . В качестве твердого наполнителя используют бой фарфора, керамики и осиновые кубики. Жидкий наполнитель — раствор 75 %-ного хозяйственного мыла, кальцинированной соды и воды. Концентрация раствора $0,3\text{—}0,5 \%$. Продолжительность обработки $18\text{—}20 \text{ ч}$. Электрохимическое полирование осуществляют в стальных ваннах, футерованных свинцом или винипластом. Состав электролита: ортофосфорная кислота 70 %, серная кислота 30 %, уротропин $3\text{—}4 \text{ г/л}$. Плотность электролита $1,745\text{—}1,755 \text{ г/см}^3$, температура электрополирования 44—

11. Способы устранения возможных дефектов при электрополировании стали

Вид дефекта	Причина возникновения	Способ устранения
Точечное травление поверхности, питтинг	Присутствие в электролите мельчайших частиц хромового ангидрида	Прогреть электролит при 80—90 °С до полного растворения хромового ангидрида
Неглубокие язвы различных очертаний	Наличие на поверхности деталей окалины и коррозии	Протравить детали в серной кислоте; в дальнейшем принять меры к недопущению появления на деталях окалины и коррозии
Непрозрачные пленки различного цвета	1. Состав электролита не оптимальный 2. Плохая промывка деталей после полирования 3. Высокая температура электролита	1. Сделать химический анализ электролита и откорректировать его 2. Обеспечить тщательную промывку 3. Снизить температуру до оптимальной
Слабый блеск и недостаточное сглаживание шероховатости Полосчатость	Низкая плотность тока Высокая плотность электролита	Плотность тока повысить до оптимального значения Довести плотность электролита до 1,75—1,8
Травление поверхности металла	1. Низкое содержание окислителя (хромового ангидрида) 2. Накопление железа в электролите 3. Низкая плотность тока	1. Содержание хромового ангидрида довести до оптимального значения 2. Железо из раствора удалить или разбавить электролит свежеприготовленным 3. Плотность тока повысить до оптимального значения
Пятна в месте контакта Черный налет на поверхности детали	Плохой контакт детали с подвеской Низкая окислительная способность электролита	Обеспечить надежный контакт Увеличить содержание хромового ангидрида до оптимального значения

47 °С, время обработки 5 мин, плотность тока 50—55 А/дм². Корректирование электролита (при работе в две смены) производят один раз в неделю. Замену осуществляют после пропускания 250 А/ч на 1 л раствора.

Технологический процесс обеспечивает получение блестящей коррозионно-стойкой поверхности.

УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ РАСТВОРОВ

Фосфатирование. Процесс нанесения фосфатной пленки на поверхность сложного фасонного режущего инструмента типа протяжек, разверток, фрез, долбяков, спе-

12. Подготовка к фосфатированию

Операция	Состав раствора		Режим обработки	
	Компоненты	Количество, г/л воды	Температура, °С	Выдержка, мин
Обезжиривание	Керосин	81	18—25	3—4
	Олеиновая кислота	6,6	18—25	3—4
	Триэтаноламин	3,4	18—25	3—4
	Тракрезол	9,0	9,0	3—4
Двукратная (каскадная) промывка	Проточная вода	—	80—90	1—2
	Непроточная дистиллированная вода	—	80—90	15

13. Составы растворов для фосфатирования и режимы обработки

Состав, г/л воды			Режим обработки	
Zn(H ₂ PO ₄) ₂	Zn(NO ₃) ₂	H ₃ PO ₄	Температура, °С	Выдержка, мин
40	55	15	93—98	10—15
40	58		94—96	29

Примечание. Кислотность раствора — 60—80 точек. Числом точек называется количество, мл 0,1 н. раствора, необходимого для титрования 10 мл фосфатирующего раствора в присутствии фенолфталеина.

14. Технология обработки фосфатной пленки

Операция	Среда	Режим обработки	
		Температура, °C	Выдержка, мин
Двукратная (каскадная) промывка	Проточная вода	80—90	1—1,5
Сушка	Воздух	80—90	3—4
Обработка в масле	Масло И-12	100—115	3—4
Подсушивание для стока излишнего масла	Воздух	Нормальная	3—4

циальных резцов, сверл, зенкеров, метчиков, плашек и деталей, работающих на истирание, для защиты от коррозии и повышения износостойкости.

Оборудование для фосфатирования: ванна для обезжиривания — 1 шт.; ванна для двукратной (каскадной) промывки — 2 шт.; ванна для промывки — 1 шт.; ванна для обработки в масле — 1 шт.; сушильный шкаф — 1 шт.

Технология подготовки деталей к фосфатированию приведена в табл. 12, составы растворов для фосфатирования в табл. 13. Для корректирования фосфатирующего раствора на каждую недостающую «точку» на 100 л раствора добавляют раствор следующего состава: $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 48 г; $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 49 г; H_3PO_4 22 г; дистиллированная вода остальное (до объема 108 мл). Для уменьшения испарения фосфатирующего раствора при работе поверхность ванны заполняют кусочками полиэтилена, пенопласта или покрывают слоем пушечного сала толщиной 3—5 мм. С целью повышения защитных свойств фосфатной пленки, нанесенной на поверхность инструментов, проводят специальную обработку, технология которой приведена в табл. 14.

Стальные детали можно обезжиривать в растворе состава (г/л): пирогосфорнокислый натрий 20 ± 5 ; техническая кальцинированная сода 10 ± 2 ; кремнекислый натрий 8 ± 1 . Режим работы: температура 60 ± 10 °C, время обработки 15 ± 2 мин.

Сильно загрязненные детали обезжиривают в растворе состава (г/л): технический едкий натр 80 ± 10 ; техническая кальцинированная сода 60 ± 10 ; тринатрийфосфат

35 ± 5 ; натриевое жидкое стекло 15 ± 5 ; сульфенол НП-3 $15 \pm 1,5$. Режим работы: температура $85 \pm 10^\circ\text{C}$, время обработки 15 ± 2 мин.

Технология фосфатирования деталей сепараторов и шайб подшипников с предварительной подготовкой поверхности состоит из следующих операций.

1. Монтаж деталей на подвески.

2. Обезжиривание в растворе состава (г/л): технический едкий натр 80 ± 10 ; техническая кальцинированная сода 60 ± 10 ; тринатрийфосфат 85 ± 5 ; жидкое натриевое стекло 15 ± 5 ; сульфенол НП-3 $5 \pm 1,5$. Время обработки 15 ± 2 мин, температура $85 \pm 10^\circ\text{C}$. Заменяют раствор обезжиривания раз в неделю.

3. Промывка в горячей ($70\text{--}80^\circ\text{C}$) проточной воде.

4. Промывка в холодной проточной воде.

5. Травление раствором: 160 ± 10 г/л технической серной кислоты и 40 ± 10 г/л хлористого натрия. Время обработки 20 ± 5 мин, температура $50 \pm 5^\circ\text{C}$. Замену раствора травления производят раз в месяц.

6. Промывка в холодной проточной воде.

7. Химическая активизация. Для получения качественной фосфатной пленки с высокими противокоррозионными свойствами рекомендуется после обезжиривания и травления проводить дополнительную обработку деталей в течение $1\text{--}1,5$ мин в растворе щавелевой кислоты 20 ± 2 г/л при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Замену раствора производят раз в месяц. После химической активизации детали без промывки поступают в ванну фосфатирования.

8. Фосфатирование раствором 1 или 2. Состав раствора 1 (г/л): фосфорноокислый однозамещенный цинк 50 ± 5 ; азотноокислый цинк 50 ± 5 ; ортофосфорная техническая кислота 14 ± 3 ; щавелевоокислый двухводный цинк $0,1\text{--}0,2$. Режим работы: температура $60 \pm 5^\circ\text{C}$, время обработки 20 ± 5 мин, общая кислотность $90\text{--}100$ точек, свободная кислотность $10\text{--}15$ точек, коррозионная стойкость фосфатной пленки $7\text{--}8$ мин. Состав раствора 2 (г/л): препарат «Мажеф» 60 ± 5 ; азотноокислый цинк 90 ± 10 ; фтористый технический натрий 3 ± 1 . Режим работы: температура $40 \pm 5^\circ\text{C}$, время обработки 30 ± 5 мин, общая кислотность $80\text{--}85$ точек, свободная кислотность $4\text{--}6$ точек, коррозионная стойкость фосфат-

ной пленки 9—10 мин. Фосфатные пленки, полученные при обработке деталей данными растворами, имеют мелкокристаллическую структуру с минимальной пористостью, обладают высокой коррозионной стойкостью и прочностью сцепления с основным металлом. В процессе эксплуатации фосфатирующий раствор необходимо ежедневно проверять на общую и свободную кислотность и при необходимости корректировать.

Защитное покрытие крепежных деталей низкотемпературным фосфатированием. Перед фосфатированием детали подвергают электрохимическому обезжириванию, промывке в горячей и холодной воде и декапированию в растворе соляной кислоты 1 : 1. Состав раствора фосфатирования (г/л): 35—60 соли «Мажеф»; 60—80 азотнокислого цинка; 3—4 фтористого натрия. Температура раствора 50—60 °С; время обработки деталей 20 мин.

После фосфатирования на поверхности деталей образуется мелкокристаллическая фосфатная пленка светлосерого или серого цвета, обладающая хорошей коррозионной стойкостью.

Для приготовления раствора расчетное количество соли «Мажеф» засыпают в отдельную емкость, заливают горячей водой (с температурой 80—90 °С) и выдерживают в течение 2—3 ч. Затем раствор сливают в рабочую ванну. В отдельных емкостях растворяют расчетное количество азотнокислого цинка и фтористого натрия. Полученные растворы также сливают в рабочую ванну.

В приготовленном для фосфатирования прозрачном растворе обрабатывают случайные детали до получения раствора мутного цвета. Общая кислотность проработанного раствора должна составлять 70—100 точек, а свободная — 5—10 точек.

Корректирование раствора для фосфатирования проводят по кислотности из расчета на одну точку 1 г/л соли «Мажеф» и 3 г/л азотнокислого цинка. Фтористый натрий досбавляют 2 раза в неделю из расчета 3 г/л.

Химическое фосфатирование с последующей пропиткой дисульфидомolibденовой смазкой ВНИИНП-229 выполняют в растворе состава (г/л): 35 монофосфата цинка; 35 азотнокислого цинка; 15 ортофосфорной кислоты. Температура раствора 95—98 °С, время выдержки 5 мин. Перед фосфатированием поверхность обезжиривают. За-

тем на нагретый до 100 °С фосфатированный инструмент наносят дисульфидмолибденовую смазку ВНИИНП-229 и выдерживают его в электрошкафу 2—3 ч при температуре 150—200 °С.

Технологический процесс одновременного обезжиривания, травления и фосфатирования. В раствор на основе препарата «Мажеф» вводят азотнокислый цинк в качестве ускорителя, борную кислоту для обеспечения стабильности раствора и увеличения прочности пленки, оксалат цинка (щавелевокислый цинк) для уменьшения шламообразования и нитрат кальция для придания пленке мелкокристалличности и повышения эластичности покрытия.

Состав раствора (г/л): препарат «Мажеф» 100 ± 10 ; азотнокислый цинк 240 ± 25 , фосфорнокислый однозамещенный аммоний 60 ± 5 ; борная кислота 30 ± 2 ; сульфенол НП-3 $2,5 \pm 0,5$; азотнокислый кальций $3,5 \pm \pm 0,5$, щавелевокислый аммоний $0,15 \pm 0,02$, стальная стружка (стали 30, 40, 50) 5 ± 1 . Режим работы: температура 50 ± 2 °С; время выдержки 20 ± 5 мин; общая кислотность точек 190—210, свободная кислотность точек 12—18, отношение общей кислотности к свободной 11—15, коррозионная стойкость фосфатной пленки 10—12 мин.

Раствор для одновременного обезжиривания, травления и фосфатирования готовят в деминерализованной конденсационной или умягченной воде (последнюю готовят добавлением 2—2,5 г/л углекислой соды в водопроводную воду, кипячением в течение 1—1,5 ч, отстаиванием и удалением осадка).

Способ приготовления оказывает существенное влияние на шламообразование, долговечность раствора и коррозионную стойкость покрытия. Основную емкость заполняют на $\frac{1}{2}$ объема водой, растворяют рассчитанное количество фосфорнокислого однозамещенного аммония, сульфенола НП-3 и стальной стружки. Затем раствор подогревают до 60 °С и выдерживают в течение 3 ч. В отдельной емкости азотнокислый цинк смешивают с препаратом «Мажеф», смачивают водой, перемешивают и оставляют на 3—4 ч. После этого смесь азотнокислого цинка с препаратом «Мажеф» помещают в основную емкость, добавляют рассчитанное количество борной кис-

лоты, азотнокислого кальция и щавелекислого аммония. Раствор доводят до рабочего объема, нагревают до 50 °С в течение 1 ч. После прогрева раствора определяется общая и свободная кислотность, которая должна соответствовать величинам 190—210, 12—18.

Для повышения общей кислотности на одну точку необходимо на 1 л раствора ввести выдержанную не менее 1 ч сухую смесь из расчета 1,5 г препарата «Мажеф» и 3 г азотнокислого цинка. Для понижения свободной кислотности на одну точку необходимо на 1 л фосфатирующего раствора ввести 1 мл 0,1 н. раствора едкого натра.

Технологический процесс фосфатирования. Монтаж деталей на подвески или загрузка в барабан, обработка их в кипящей воде с выдержкой 4—5 мин (при незначительном загрязнении); предварительная очистка в растворе с тринатрийфосфатом и мыльным спиртом; фосфатирование в растворе одновременного обезжиривания, травления и фосфатирования при 50—55 °С с выдержкой 20 мин; промывка фосфатированных деталей в теплой проточной воде при 50—60 °С, затем в горячей проточной воде при 70—80 °С трех-четыrehкратным погружением; сушка горячим сжатым воздухом. Температура 70—80 °С, продолжительность выдержки 8—10 мин; пропитка маслом. Для пропитки деталей для увеличения антикоррозионных свойств используют УКРИНОЛ-11 с концентрацией 40—100 г/л. Температура 65—75 °С, время обработки 3 ± 1 мин.

При наличии на деталях сильных загрязнений (жирная металлическая пыль, окалина, коррозия и т. п.) проводят предварительную очистку в растворе тринатрийфосфата 50 ± 5 г/л и мыльного спирта 4 ± 1 мл/г при температуре 50 ± 5 °С; время обработки 8 ± 2 мин.

Технология позволяет сократить продолжительность обработки стальных деталей в 2,5—3 раза, уменьшить число операции; при этом сокращается расход воды, электроэнергии и материалов примерно в 2,5 раза.

Износостойкость азотированных поверхностей может быть увеличена последующим фосфатированием [а. с. 926070 (СССР)]. Проводят фосфатирование в растворе препарата «Мажеф» с концентрацией 30—40 г/л при 90—100 °С в течение 20—30 мин (для получения развитой

поверхности, хорошо удерживающей смазочный материал), а затем изотермическую выдержку в течение 10—40 мин при 100—150 °С в индустриальном масле, содержащем 5—10 % дисульфида молибдена.

Температура изотермической выдержки зависит от марки масла. Чем выше температура вспышки масла, тем выше температура изотермической выдержки. Например, концевые фрезы диаметром 6 мм из быстрорежущей стали Р6М5 азотируют по двухстадийному режиму. Нагрев до 530 °С и первые 20 мин выдержки проводят в атмосфере чистого аммиака. На второй стадии азотный потенциал снижают за счет разбавления аммиака азотно-водородной смесью в соотношении 50 % NH_3 и 50 % ($\text{N}_2 + \text{H}_2$) в течение 40 мин. В результате на инструменте получают азотированный слой, состоящий из α -твердого раствора азота в сплаве и поверхностной ϵ -фазы с содержанием 7 % азота. Затем фрезы подвергают фосфатированию в растворе препарата «Мажеф» с концентрацией 40 г/л при 95 ± 5 °С в течение 30 мин, после чего проводят изотермическую выдержку в индустриальном масле 20 мин при 100 °С, добавках 5—10 % дисульфида молибдена и выдержке 10—40 мин. После такой обработки стойкость фосфатированного инструмента на 15—20 % выше стойкости инструмента, упрочненного только диффузионным азотированием. Чистота обрабатываемой поверхности улучшается. Отпадает необходимость в консервации готового инструмента.

Никель-фосфатирование. Улучшение режущих свойств и стойкости инструментов обеспечивает покрытие режущих частей инструментов из быстрорежущих сталей износостойкими пленками никель-фосфора. Выполняют способом химического осаждения пленки в аммиачно-никелевой цитратной ванне состава (г/л): хлористый никель 30; гипофосфат натрия 10; хлористый аммоний 100. Для поддержания кислотности в пределах рН 8—9 добавляют аммиак. Процесс химического осаждения осуществляют в ванне. При температуре 85 °С в течение 30 мин на поверхности режущего инструмента осаждается слой никель-фосфора толщиной 5 мкм.

Технологический процесс нанесения покрытия: промывка и обезжиривание химическим способом, химическое осаждение никель-фосфорного покрытия, термиче-

ская обработка инструмента с нанесенным никель-фосфорным покрытием, нагрев до температуры 400—450 °С с последующим охлаждением на воздухе.

Никель-фосфорное покрытие уменьшает силу трения при резании, резко снижает температуру резания, облегчает выход стружки, обеспечивает высокую износостойкость инструмента. Высокая твердость режущей кромки инструмента *HRC* 65—68 сохраняется при температуре выше 600 °С. Покрытие особенно ценно для упрочнения и восстановления инструментов сложной геометрической формы, перезаточку которых производят по задней поверхности (например, сверла диаметром 8—35 мм).

Никель-борирование. Применяют для повышения износостойкости, твердости и коррозионной стойкости металла. Выполняют в растворе состава (г/л): никель хлористый 80—100; этилендиамин 114—120; едкий натр 40—50; боргидрид натрия 0,8—0,9; фенантролин 0,02—0,25. Покрытия обладают высокой коррозионной стойкостью, износостойкостью и твердостью, фактически беспористые при толщине слоя 5—7 мкм. Другой состав раствора (г/л): никель хлористый 30; этилендиамин 60; едкий натр 40; боргидрид натрия 0,6; таллий азотнокислый 0,1.

В случае, когда никель-борное покрытие используют для изготовления паяных деталей, можно применить состав [а. с. 740860 (СССР)], который содержит (г/л): никель хлористый 10—20; этилендиамин 20—40; едкий натр 20—30; боргидрид натрия 0,9—1,1; азотнокислый таллий 0,09—0,11; гидразин серноокислый 0,9—1,1; маннит 5—15.

Введение в раствор гидразина серноокислого и маннита обеспечивает получение светло-серого покрытия с малым содержанием бора, обладающего высококачественной пайкой. Применяют следующие компоненты: никель хлористый $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; этилендиамин — 70 %-ный водный раствор $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2$; едкий натр NaOH ; боргидрид натрия NaBH_4 ; таллий азотнокислый TlNO_3 ; гидразин серноокислый $\text{N}_2\text{H}_4\text{SO}_4$; маннит $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$.

Приготовление раствора. В $\frac{1}{3}$ объема дистиллированной воды, нагретой до 30—40 °С, растворяют хлористый никель и добавляют этилендиамин. В отдельной емкости растворяют едкий натр, часть его добавляют в раствор хлористого никеля с этилендиамином, а в другой части

растворяют восстановитель — боргидрид натрия, дают раствору остыть и сливают его в основной раствор, содержащий хлористый никель, этилендиамин и едкий натр, при перемешивании. Затем вводят сернокислый гидразин и маннит. Раствор тщательно размешивают и выдерживают сутки.

Нанесение покрытия из раствора осуществляют при $95 \pm 2^\circ\text{C}$, (рН 12—13), при плотности загрузки $1,6\text{—}3,2\text{ дм}^2/\text{л}$ и периодическом встряхивании в течение 30 мин. Скорость осаждения покрытия $8,7\text{—}9,2\text{ мкм/ч}$, толщина покрытия $6\text{—}10\text{ мкм}$.

Перед нанесением покрытия осуществляют обычную предварительную подготовку в зависимости от типа покрываемого материала.

Никель-кобальт-фосфатирование. Выполняют в целях повышения износостойкости и антифрикционных свойств стальных деталей сложной конфигурации (пресс-формы, измерительный инструмент, крышка клапана, поршень и др.), работающих в условиях трения, при повышенных температурах.

Шероховатость поверхности пресс-формы, на которую наносят никель-кобальт-фосфорное покрытие, должна быть $Ra\ 0,040\text{—}0,32\text{ мкм}$, так как при этом воспроизводится геометрия поверхности детали. Технологические операции по нанесению никель-кобальт-фосфорного покрытия выполняют в порядке, описанном ниже.

1. Химическое обезжиривание в щелочном растворе следующего состава (г/л): едкий натр 45 ± 5 ; кальцинированная сода 65 ± 5 ; тринатрийфосфат 25 ± 5 ; стеклонатриевое жидкое 7 ± 2 . Температура $70 \pm 5^\circ\text{C}$, продолжительность обработки $30 \pm 3\text{ мин}$.

2. Промывка в горячей ($70\text{—}80^\circ\text{C}$) проточной воде.

3. Промывка в холодной проточной воде.

4. Обезжиривание окисью магния. Окись магния смешивают с холодной водой до консистенции негустой кашицы и волосяной щеткой тщательно протирают пресс-формы до полного смачивания поверхности.

5. Промывка в холодной проточной воде до полного удаления окиси магния.

6. Сушка пресс-формы горячим ($70\text{—}80^\circ\text{C}$) сжатым воздухом, если следующей операцией будет изолирование непокрываемых участков. Если же пресс-форма подвер-

гается покрытию полностью, сушка исключается. Изолирование участков поверхности пресс-формы, не подлежащих покрытию, производят эмалью ХВ-124, которую наносят кистью. Сушка при нормальной температуре в течение 30 мин, затем 2 ч при температуре 80—120 °С.

7. Электрохимическое обезжиривание на катоде в щелочном растворе состава (г/л): едкий натр 30 ± 5 , кальцинированная сода 30 ± 5 ; тринатрийфосфат 20 ± 5 ; стекло натриевое жидкое 10 ± 5 . Температура 70 ± 5 °С; плотность тока 7 ± 3 А/дм²; продолжительность обработки 5 ± 1 мин. Анодами при обезжиривании служат пластины из катодного никеля Н-2. Состав щелочных растворов для химического и электрохимического обезжиривания контролируют не реже одного раза в неделю при односменной работе.

8. Промывка в горячей (70—80 °С) проточной воде.

9. Промывка в холодной проточной воде последовательно в двух ваннах. Смену воды в промывочных ваннах осуществляют со скоростью 0,7—1 объем в ч. Очистку ванн следует проводить не реже одного раза в месяц.

10. Декапирование в растворе серной кислоты (100 г/л). Температура 23 ± 3 °С, продолжительность 2 мин.

11. Промывка в холодной дистиллированной воде последовательно в двух ваннах.

12. Нанесение химического никель-кобальт-фосфорного покрытия. В состав раствора входят следующие компоненты (г/л): хлористый никель 15; сернокислый кобальт 15; лимонная кислота 20; хлористый аммоний 50; едкий натр 50; фосфорноватисто-кислый натрий — гипофосфат 20. Температура 85 ± 2 °С, рН раствора 9—10, скорость осаждения 16—18 мкм/ч, плотность загрузки 1 дм²/л.

Для получения никель-кобальт-фосфорных покрытий толщиной более 18 мкм осаждение проводят в стационарной ванне с переносом пресс-формы через 1 ч из отработанного раствора в свежеприготовленный или откорректированный по данным химического анализа. Из указанного выше раствора осаждается сплав никель—кобальт—фосфор следующего состава (%): никель 70—75; кобальт 10—15; фосфор 10—15. Компоненты раствора для получения химического никель-кобальт-фосфорного покрытия следует растворять каждый отдельно в теплой дистилли-

рованной воде (50—60 °C), едкий натр и гипофосфит натрия — в воде нормальной температуры. Через фильтр из марли и ваты растворы солей сливают в последовательности: раствор хлористого никеля и сернокислого кобальта; затем в него растворы лимонной кислоты, хлористого аммония и едкого натра. Полученный раствор нагревают до температуры 60—65 °C и вводят растворенный в минимальном количестве воды гипофосфит натрия. Температуру раствора доводят до 80 °C и загружают деталь. Подвеску для загрузки деталей изготавливают из стальной проволоки.

Ванна для химического никель-кобальт-фосфорного покрытия пресс-форм может быть изготовлена из керамики, фарфора, стекла. Можно использовать в качестве ванн чугунные котлы, а также эмалированные бачки. В процессе нанесения покрытия интенсивно выделяется водород. Для получения покрытия без питтинга необходимо встряхивать, покачивать пресс-форму или перемешивать раствор с помощью сжатого воздуха.

13. Промывка в проточной воде нормальной температуры.

14. Промывка в горячей (70—80 °C) проточной воде.

15. Сушка горячим (70—80 °C) сжатым воздухом.

16. Термическая обработка.

Для увеличения износостойкости никель-кобальт-фосфорного покрытия его необходимо подвергнуть термической обработке в электрической печи. Пресс-формы с покрытием выдерживают при температуре 325—350 °C в течение 1 ч, а затем охлаждают вместе с печью при открытой дверце. В результате прочность сцепления покрытия с основой превышает прочность сцепления никелевого и хромового покрытия, полученного электролитическим способом. При нагреве покрытых пресс-форм до температуры 325—350 °C образуется двухфазная система, состоящая из Ni_3P и CO_2P . Структурные превращения сопровождаются увеличением твердости покрытия от $HV\ 500$ — 600 (до термообработки) до 1000 — 1100 (после термообработки), т. е. покрытие по твердости приближается к электролитическому хромовому. Пористость покрытия при толщине 16—18 мкм и более не выявлена. Пресс-формы, покрытые сплавом никель—кобальт—фосфор, используют для пресования пластических масс и резин. При пресовании

резин прилипания поверхности прессуемой детали к поверхности пресс-формы не наблюдалось.

Ванну для фосфатирования изготавливают из стали и оборудуют теплоизоляционным покрытием, нагревателем и вытяжной вентиляцией. Во избежание взмучивания осадка фосфатов на расстоянии 100—150 мм от дна ванны устанавливают перфорированную перегородку. Перед началом эксплуатации новой ванны необходимо покрыть ее внутреннюю поверхность фосфатным слоем и лишь после этого начинать фосфатирование. Сушку технологической оснастки после фосфатирования проводят в сушильном шкафу, оборудованном вытяжной вентиляцией.

При обезжиривании, промывке и фосфатировании технологической оснастки применяют корзины из тонкой проволоки или перфорированной листовой стали и подвески различных конструкций.

Качество фосфатной пленки определяется плотностью, зернистостью, шероховатостью, защитными свойствами и коррозионной стойкостью. Покрытие должно быть плотным, гладким, мелкозернистым; цвет пленки может быть от светло-серого до черного. Не допускается наличие коррозии и налета взмученного осадка, а также черного налета, оставляющего следы на руках или хлопчатобумажной салфетке. Допускается наличие пятен и непокрытых точек в местах контактов с подвесным устройством на нерабочей поверхности технологической оснастки. Внешнему осмотру после фосфатирования подвергают всю партию деталей. Детали с неудовлетворительным качеством пленки выбраковывают. Наличие фосфатной пленки проверяют визуально, царапая поверхность оснастки, протирая ее мелкозернистой абразивной шкуркой или соскабливая.

Для определения защитных свойств фосфатной пленки пользуются капельным методом. Метод заключается в том, что на заданный участок поверхности при температуре 15—25 °С наносится одна капля контрольного раствора. Продолжительность времени в минутах между моментом нанесения капли и изменением ее цвета (капля становится темно-коричневой, почти черной) служит характеристикой стойкости пленки.

Продолжительность испытания
до изменения цвета капли, мин

1

1—2

2—5

5

Оценка защитных свойств. Низкая Пони- Средняя Высокая
женная

При капельном методе испытания контроль проводят на двух-трех образцах-свидетелях, взятых от партии. Состав контрольного раствора: 0,4М раствор CuSO_4 — 40 мл; 10 %-ный раствор NaCl — 20 мл; 01М раствор HCl — 0,8 мл.

Для контроля коррозионной стойкости фосфатной пленки технологическую оснастку подвешивают на шелковых или капроновых нитях в 3 %-ном растворе NaCl при температуре 20 °С выдержкой 5—15 мин, после чего промывают водой и оставляют на воздухе в течение 25—30 мин. Если в результате испытания пленка не изменилась, то ее качество считается удовлетворительным. Контроль проводят на двух-трех образцах-свидетелях от партии. Образцы-свидетели должны быть термически обработаны и изготовлены из стали той же марки, что и фосфатируемая технологическая оснастка.

Обработка стального инструмента ангидридом молибдена выполняется с целью повышения стойкости стальных режущих инструментов [а. с. 277501 (СССР)]. После обработки на инструменте образуется антифрикционный и антикоррозионный слой повышенной твердости, состоящий из интерметаллических железомолибденовых соединений; стойкость слоя до 700 °С.

Окончательно обработанный инструмент предварительно очищают и обезжиривают в следующем порядке:

1. Промывка в воде. 2. Обезжиривание в горячем растворе (75—90 °С) в течение 15—60 мин в зависимости от степени загрязнения инструмента. Состав раствора (г/л): едкий натр 10—15; сода кальцинированная 30—40; тринатрийфосфат 30—70; жидкое стекло 2—3. 3. Промывка в воде. 4. Декапирование в 5—10 %-ном растворе соляной кислоты 0,5—2 мин. 5. Промывка в воде. 6. Кипячение в течение 25—30 мин в 100—150 г/л водном растворе ангидрида молибдена. Промывку выполняют в горячей проточной, а затем в холодной проточной воде.

Химическое никелирование. Осадок химического никеля восстанавливают из раствора, содержащего 30 г/л сернокислого никеля; 10 г/л уксуснокислого натрия; 10 г/л гипофосфита натрия; 0,007 г/л тиосульфата натрия; 2 мл/л уксусной кислоты; хромовокислый свинец — до

насыщения. Кислотность раствора рН 4,2—4,8; температура 90—92 °С; плотность загрузки 1 дм²/л. Скорость осаждения осадка 6—9 мкм за 30—40 мин; толщина покрытия 15—18 мкм. После никелирования инструмент подвергают термообработке в течение 1 ч при температуре 350—400 °С.

Слой твердого никеля можно осадить химическим способом из состава (г/л): серноокислый Ni кристаллический 80; фосфорноватистокислый Na 24; уксуснокислый Na 12; борная кислота 8; хлористый Na 6. Пористость в слое получают травлением в течение 20 с — 1 мин в ванне, содержащей фтористый аммоний и плавиковую кислоту. Способ позволяет повысить стойкость пресс-форм для литья под давлением, штампов, лезвийных инструментов (сверла, метчики, развертки и др.).

Если в никельсодержащий раствор ввести мелко-дисперсные твердые вещества типа алмаза, карбидов или нитридов бора, вольфрама, кобальта, хрома, ванадия и др., то при восстановлении никеля из суспензии образуется комплексный осадок, обладающий высокой износостойкостью. Например, покрытие алмазным порошком, закрепляемым химически осаждаемым слоем никеля, применяют для упрочнения колец уплотнения газовых турбин и насосов высокой подачи, нагревательных барабанов, фрикционных дисков, нитеводителей, пресс-форм для изготовления бакелитовых деталей, шнеков для термопластавтоматов, а также рабочих поверхностей калибров, микрометрических и других измерительных приборов.

Метод химического нанесения слоя позволяет точно контролировать его толщину. Применяемые в этом случае никель-фосфорные сплавы могут быть после нанесения подвергнуты термической обработке (например, 24 ч при 270 °С или 1 ч при 400 °С), что обеспечивает повышение твердости до *HV* 1000. Рекомендуемые параметры алмазного защитного слоя: объемное содержание алмазов 20—25 % (допустимо до 40 %); толщина слоя покрытия 25—50 мкм; твердость никелевой основы *HV* 1000—1200; коэффициент трения 0,08—0,2 на синтетическом волокне.

Износостойкость металлических пресс-форм, предназначенных для изготовления изделий из пластмассы,

бакелита, фарфора и электрофосфора, повышают химическим нанесением многослойного композиционного покрытия, в котором первый слой представляет собой химическое никелевое покрытие, а последующие из никеля, содержащего окислы, карбиды, металлы, алмазный порошок, бориды, нитриды и др. Для улучшения обработки инструмента в наружных слоях осаждают более мягкие компоненты, например, электрокорунд, а во внутренних более твердые, например, карбид бора. После нанесения всех слоев покрытие подвергается термической обработке при 200—750 °С 15 мин — 48 ч. Износостойкость многослойных покрытий выше, чем однослойных. Изношенное покрытие может быть удалено химическим путем и после предварительной подготовки поверхности восстановлено.

Эпиламирование выполняют в эпиламирующих составах. Эпиламирующие составы — поверхностно-активные вещества, снижающие количество поверхностной энергии, степень адгезии контактирующих материалов, локализирующие поверхностные микротрещины и ограничивающие возможность их роста. Основная особенность веществ этого класса — высокая адсорбционная способность, в результате которой на обрабатываемой поверхности образуются разделительные барьерные пленки с очень низким запасом поверхностной энергии — эпиламы. Представляют собой раствор высокомолекулярных фторсодержащих поверхностно-активных веществ во фторсодержащих растворителях — хладоне 113, смеси хладонов 112 и 113, хладоне 114В2 и др. Из раствора адсорбируется на поверхности в виде мономолекулярного или близкого к нему по своим свойствам слоя, резко снижая микротвердость поверхностного слоя и, следовательно, поверхностное напряжение и запас энергии. Бесцветная подвижная жидкость, негорючая, малотоксичная, плотность 1570—1590 кг/м³, вязкость $1 \cdot 10^{-3}$ — $1,20 \cdot 10^{-3}$ Па. Нерастворим в углеводородных растворителях. Смазочные масла, внесенные в эпиламированные узлы трения, прочно удерживаются в их рабочей зоне. Штамповый инструмент после эпиламирования смазывают минеральным маслом.

Режущие инструменты используют с применением СОЖ или с введением любого минерального масла в зону резания.

Технология обработки составом проста, не требует специального оборудования, высокопроизводительна, может быть использована непосредственно на рабочем месте в производственных условиях при температуре окружающей среды. Эпиламирующие составы — высокоэффективный способ упрочняющей обработки. Разработка эпиламирующих составов отмечена Государственной премией СССР. Применяют с целью повышения износостойкости поверхностей деталей машин и особенно для увеличения стойкости инструментов всех типов, используемых в различных отраслях промышленности при обработке металлов резанием, вытяжке, прокатке, штамповке, прессовании, в том числе деталей из органических материалов, а также при формообразовании и вулканизации изделий из резины и каучука и т. п. Изнашивание трущихся поверхностей снижается от 2 до 40 раз (в зависимости от характера работы узла). Износостойкость режущих инструментов, инструментов для обработки металлов давлением повышается до 20 раз.

Технологический процесс эпиламирования. 1. Обезжиривание в хладоне 113, спирте, ацетоне, бензине или подобных растворителях. Детали или инструменты погружают в емкость с хладоном, либо тщательно протирают тампоном, смоченным в растворителе. Механические примеси удаляют с поверхности до обезжиривания. 2. Сушка на воздухе 5—8 мин. 3. Эпиламирование. Детали погружают в эпиламирующий раствор на 5—7 мин при температуре окружающей среды. Раствор желательно периодически перемешивать. Емкость с раствором закрывают для предотвращения испарения растворителя. Состав можно наносить тампоном на обезжиренные поверхности 2—3 раза. 4. Сушка эпиламированных деталей на воздухе 5—10 мин. При необходимости длительного хранения детали после эпиламирования покрывают слоем консервирующего смазочного материала. Во избежание улетучивания растворителя состав хранят при температуре не более 30 °С, вдали от нагревательных приборов и действия прямых солнечных лучей, в герметичной таре — бутылках, бочках, бидонах и т. п. Особых условий транспортирования раствора не требуется.

Работы по обезжириванию хладоном 113 и обработке эпиламирующим составом следует проводить, соблюдая

меры безопасности, соответствующие требованиям, предъявляемым к работе с хладоном 113. Хладон 113 относится к малотоксичным соединениям 4-го класса опасности. Предельно допустимая концентрация хладагента 113 в рабочей зоне производственных помещений — до 3000 мг/м³. Хладон 113 негорюч, невзрывоопасен. Под действием открытого огня разлагается с образованием высокотоксичных веществ, поэтому в помещении, где проводятся работы с хладоном 113 или эпиламирующими составами, запрещается курить и проводить работы с открытым огнем.

Упрочнение твердыми смазками. Стойкость режущих, волочильных, штамповых и других инструментов может быть увеличена покрытием их плотно прилегающими твердыми смазками, снижающими коэффициент трения между режущей кромкой инструмента и обрабатываемой деталью и улучшающими стружкообразование. На стабильность получаемых результатов существенное влияние оказывает геометрия различных инструментов, наличие или отсутствие СОЖ, давление СОЖ, метод нанесения покрытий, обрабатываемый материал. Состав покрытий на основе алюминиевого фосфата и трехоксида хрома, в которых содержатся субмикронные частицы дисульфида молибдена, приведен в табл. 15.

Водородный показатель составов 1 и 2 равен 1,5; плотность 1,37 и 1,22 соответственно. Отношение отвержденной смазки к связке для состава 1 составляет 3 : 2, для состава 2 3 : 1. Составы и покрытия из них характеризуются отсутствием взаимодействия с СОЖ, в частно-

15. Состав молибденовых твердых смазок для упрочнения инструментов

Компоненты	Количество компонента, %	
	1	2
Раствор моноалюминиевого фосфата (52 %)	24,7	12,35
Трехокись хрома	1,3	0,65
Дисульфид молибдена	20,0	20,0
Алкиловый феноло-полиглюколовый спирт	0,4	0,1
Вода	53,6	66,5

сти с горячим маслом; хорошими адгезионными свойствами к различным металлам; высокими абразивными износостойкостью и твердостью, высокой теплостойкостью.

Стойкость инструментов после покрытия твердой смазкой увеличивается в среднем в несколько раз: фрезы — 2,65; метчики — 2,76; сверла — 1,60; фрезы червячные — 1,31; пластины твердосплавные — 1,5; холодновысадочный инструмент — 3,6; вырубной инструмент — 2,0. Твердые смазки для инструментов должны обладать высокой прочностью при растяжении и скручивании, хорошей смачиваемостью. Специфические свойства алкилового полиглюколового спирта, используемого в качестве диспергирующего агента и поверхностно-активного вещества: жидкое неионное поверхностно-активное вещество; точка помутнения 33 °С; активный уровень 100 %, точка затвердения 5 °С; плотность 1,055 г/см³ (при 25 °С). Дисульфид молибдена как смазывающий пигмент имеет следующую характеристику: диаметр частиц 0,75 мкм; нерастворимость аммиака 2,0 %; водородное число min 3, max 8; отсутствие абразивности; отсутствие коррозии к медной пластинке. Покрытия с содержанием 20—90 % дисульфида молибдена имеют минимальный коэффициент трения. Состав 1 применяют при работе инструментов с СОЖ, состав 2 — при работе без СОЖ. Влияние дисульфида молибдена на свойства покрытия приведено в табл. 16.

Инструмент перед нанесением покрытия твердой смазкой промывают растворителем и обезжиривают. Покрытие наносят кистью, окунанием или распылением. Перед

16. Влияние дисульфида молибдена на свойства покрытия

Отношение смазка : связ- ка	Пористость	Смачиваемость	Условия работы	
			без СОЖ	с приме- нем СОЖ
9 : 1	Высокая Незначи- тельная	Плохая	Плохие	Плохие
4 : 1		Прекрасная	Хорошие	Хорошие
3 : 1	Нет	Хорошая	Отличные	»
1,5 : 1		Отличная	Хорошие	Отличные
0,25 : 1		»	»	Хорошие
0,11 : 1	»	»	Плохие	Плохие

нанесением и в процессе нанесения состав нужно тщательно перемешать. При любом методе нанесения толщина покрытия приближенно равна 0,005 мм. Возможно и более тонкое покрытие, если материал разжижен водой. Увеличение толщины покрытия максимально до 0,025 мм возможно при многослойном покрытии, при этом необходимо промежуточное просушивание. Рекомендуется просушивание 10 мин на воздухе или 2—3 мин при 60 °С. Покрытие при просушивании меняет цвет с темно-серого на светло-серый. Во время покрытия изделие должно иметь температуру 15—30 °С. Состав может быть нагрет и до 60—80 °С, если необходимо прочное многослойное покрытие. Для отверждения покрытия после нанесения его можно выдержать 1 ч при температуре 200—250 °С или 3 ч при минимальной температуре 180 °С. Для нанесения покрытия методом распыления используют обычные краскопульты.

Твердая паста [пат. 51103 (СРР)] для нанесения на режущую кромку и переднюю поверхность режущих инструментов в зоне износа содержит (%): дисульфид молибдена 30—50; графит 2,0—10,0; сульфид сурьмы 0,5—2,5; органическую связку (парафин, пчелиный воск и т. п.) 37,5—67,5. В сосуде соответствующей вместимости расплавляют 525 г органической связки, добавляют 60 г графита и тщательно размешивают, после чего вводят 400 г дисульфида молибдена и 15 г сульфида сурьмы и перемешивают до полного затверждения. Из пасты вырезают столбики-карандаши толщиной 10 и длиной 80 мм. После выдержки в течение 24 ч при пониженной температуре карандаши закругляют с одного конца и погружением второго конца окрашивают краской на основе нитроцеллюлозы. Нанесение пасты на режущую кромку осуществляют, когда кромка чуть нагрета после заточки.

Использование твердых смазок при упрочнении стальных деталей механическими методами. При упрочнении деталей поверхностным пластическим деформированием возможно возникновение на поверхности различных дефектов: прижогов, схватывания материала инструмента и детали, поверхностного отпуска и др. Повышение износостойкости и контактной выносливости поверхности возможно предварительным нанесением твердой смазки [а. с. 791777 (СССР)]. Перед пластическим упрочнением, на-

пример, стальными щетками, вводится предварительная обработка, состоящая из 15-минутной выдержки детали в кипящем водном растворе, содержащем 20—30 г/л боровольфрамовокислого кобальта, и последующего нагрева в масле, например, вазелиновом, при 160—180 °С в течение 50—60 мин. На поверхности образуется модифицированный слой, являющийся твердой смазкой, которая, снижая коэффициент трения, создает благоприятные условия для протекания пластической деформации в поверхностном слое при последующем упрочнении щетками, способствует повышению качества поверхности, увеличению контактной выносливости и износостойкости детали при ее дальнейшей эксплуатации.

УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Лазерная закалка перспективна для изделий, долговечность которых лимитируется износостойкостью и сопротивлением усталости, особенно, если закалка другими методами затруднена вследствие сложности конфигурации детали и возможности ее значительного коробления. Поверхностное упрочнение лучом лазера характеризуется рядом особенностей: упрочнение локальных (по глубине и площади) объемов материала обрабатываемых деталей в местах их износа с твердостью, превышающей на 15—20 % и более твердость после термической обработки существующими способами; локальное упрочнение в металлических деталях поверхностей труднодоступных полостей, углублений и т. п., куда луч лазера может быть введен с помощью несложных оптических устройств; создание «пятнистого» поверхностного упрочнения значительных площадей деталей; получение при необходимости заданной микрошероховатости упрочненных поверхностей деталей; получение определенных физико-механических, химических и других свойств поверхностей обрабатываемых деталей путем их легирования различными элементами с помощью лазерного излучения; отсутствие деформаций обрабатываемых деталей, обусловленное локальностью термической обработки, что позволяет полностью исключить финишное шлифование; простота автоматизации процесса обработки лучом лазера по контуру, в том числе деталей сложной формы, определяемая бесконтактностью лазерного нагрева.

Применяется для повышения стойкости деталей штампов, пресс-форм и режущего инструмента и деталей, имеющих рабочие поверхности, доступные для обработки лучом лазера, в том числе с использованием оптических и управляющих систем.

Упрочнению подвергают стали: углеродистые, малоуглеродистые и легированные У8А, У10А, 45, ХВГ, 9ХС и др.; высоколегированные Х12, Х12М, Х12Ф, ХВГ, ШХ15, Х, 5ХВ2С; низкоуглеродистые (цементованные) 20, 12ХН3А; хромистые коррозионно-стойкие 4Х13; быстрорежущие Р18, Р12, Р5, Р6М5, Р9.

Поверхностной лазерной обработке подвергают инструмент, прошедший термическую обработку, окончательное шлифование и заточку.

Метод основан на использовании явления высокоскоростного разогрева металла под действием лазерного луча до температур, превышающих температуру фазовых превращений AC_1 , но ниже температуры плавления, и последующего высокоскоростного охлаждения за счет отвода тепла с поверхности в основную массу металла.

При обработке лазерным лучом, как и в случае обычной закалки, образуются мартенсит и остаточный аустенит.

Микротвердость в зоне обработки повышается с 650—800 до 850—1100. Высокая твердость стали после обработки лучом лазера обусловлена образованием более мелкозернистого мартенсита в результате быстрого нагрева и охлаждения. Глубина упрочненной зоны достигает 0,2 мм.

Лазерную обработку проводят в воздушной атмосфере и в атмосфере защитного газа аргона. Шероховатость после лазерной закалки не изменяется.

Средняя производительность термоупрочнения в аргоне до 500 мм²/мин, на воздухе до 800 мм²/мин. Лазерное упрочнение обеспечивает повышение стойкости технологического инструмента в 2 раза и более.

Критическими режимами лазерного упрочнения считаются те, при которых воздействие излучения оптического квантового генератора (лазера) не приводит к нарушению шероховатости поверхности, а глубина упрочненного слоя максимальна. При лазерном воздействии в режиме свободной генерации глубина упрочненного слоя

$$z \approx \sqrt{\alpha \tau},$$

где α — коэффициент температуропроводности; τ — длительность импульса лазерного воздействия.

С уменьшением длительности импульса уменьшается глубина упрочненного слоя. Критическая энергия лазерной закалки уменьшается с уменьшением диаметра «пятна закалки». При этом наблюдается некоторое уменьшение глубины упрочненного слоя. В ряде практических случаев, например, для упрочнения вырубных пуансонов диаметром 2—3 мм, требуется проводить лазерное упрочнение при разных диаметрах «пятен закалки». Значения критической плотности энергии лазерного излучения (E , Дж), глубины упрочненного слоя (z , мкм) некоторых марок сталей при разных диаметрах «пятен закалки», а также микротвердость до и после упрочнения приведены в табл. 17.

Выбор критической энергии лазерного излучения при обработке с разным диаметром «пятна закалки» проводят следующим образом. При фиксированном диаметре «пятна закалки» выполняют лазерную термообработку поверхности исследуемых образцов при различной энергии излучения ОКГ. Та энергия, превышение которой приводит к нарушению шероховатости поверхности, считается критической. Лазерную закалку проводят в различных газовых средах, чаще в среде аргона, предохраняющего от обезуглероживания поверхность зоны лазерного воздействия. Для получения равномерного по глубине упрочненного слоя поверхности перед обработкой лазером детали подвергают травлению реактивом состава: хлорное

17. Режимы лазерной закалки инструментальных сталей

Сталь	E, Дж					z, мкм					HV ₁₀₀ исходная	HV ₁₀₀ после упрочнения
	Диаметр «пятна закалки»											
	2 мм	3 мм	3,6 мм	4 мм	4,5 мм	2 мм	3 мм	3,6 мм	4,0 мм	4,5 мм		
У8	9	23	31	41	54	108	117	126	132	136	708	1070
ХВГ	8	22	30	39	51	103	114	121	127	131	734	976
9ХС	8	21	29	37	49	98	112	117	124	129	708	1023
Х12М	7,5	20	28	35	46	91	103	112	115	119	764	934
Р6М5	7	18	26	32	43	82	91	103	107	113	794	871

18. Режимы лазерной закалки инструментальных сталей на установке «Квант-16»

Показатели режима	Сталь						
	У8	У10	9ХС	ХВГ	ШХ15	Х12	Х12М
$E_{\text{аргон}}, \text{Дж/см}^2$	310	300	300	300	300	280	280
$E_{\text{возд}}, \text{Дж/см}^2$	200	190	190	190	190	180	180
$z_{\text{аргон}}, \text{мкм}$	125	120	120	120	120	105	105
$z_{\text{возд}}, \text{мкм}$	135	130	130	130	130	115	115
HV_{10}	1030	1000	980	1000	980	960	960

железо 10 г; кислота соляная 15 см³, вода 15 см³. Затем упрочняемую деталь, имеющую ровный темно-серый цвет, устанавливают и фиксируют на столе механизма перемещения лазерной установки.

Значения оптимальной плотности энергии E , глубины z упрочненного слоя и микротвердости HV_{100} при лазерной закалке инструментальных сталей некоторых марок в

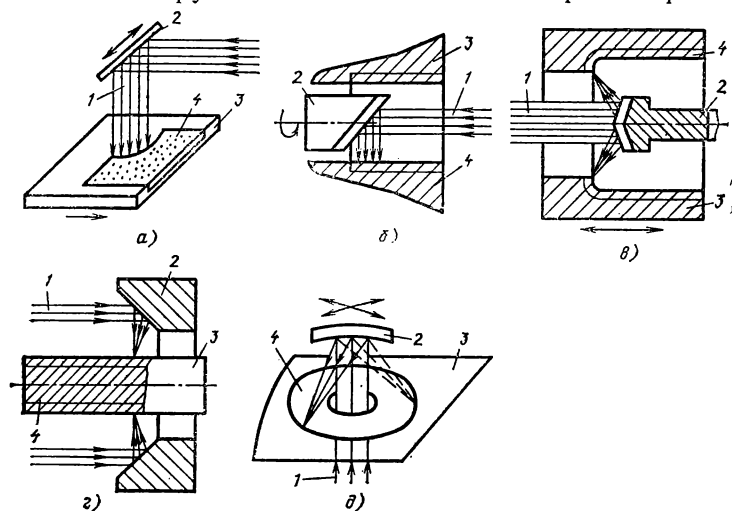


Рис. 3. Схемы управления перемещением лазерного луча в пространстве. Обработка плоскости (а), отверстия (б), внутреннего торца (в), наружного цилиндра (г), криволинейной поверхности с центральным отверстием (д):

1 — световой поток; 2 — зеркало; 3 — деталь; 4 — зона упрочнения

различных средах на установке «Квант-16» при площади пятна закалики $0,1 \text{ см}^2$ приведены в табл. 18.

Плотность падающей энергии при лазерной закалке на воздухе меньше, чем в среде аргона. Уменьшение связано с тем, что нагрев металлов лазерным излучением на воздухе приводит к уменьшению коэффициента отражения света в результате дополнительного поглощения энергии образующейся окисной пленкой. Шероховатость поверхности после лазерной закалки в оптимальном режиме не ухудшается.

Лазерную закалку можно применять как окончательный вид обработки при изготовлении инструмента и деталей технологической оснастки для упрочнения рабочих поверхностей, подвергающихся интенсивному изнашиванию; для упрочнения протяженных кромок инструмента и деталей технологической оснастки; для упрочнения рабочих поверхностей, подвергающихся интенсивному изнашиванию. Для лазерного упрочнения протяженных кромок инструмента и деталей технологической оснастки применяют 50 %-ное перекрытие пятен закалики. Его определяют как отношение разности диаметра D обработки и шага S обработки к диаметру зоны лазерного воздействия:

$$K_{\pi} = \frac{D - S}{D}.$$

Коэффициент перекрытия пятен закалики определяют как отношение шага S обработки к диаметру D зоны лазерного воздействия. Поперечное сечение зоны лазерного воздействия имеет форму сегмента. Глубина упрочненной зоны по диаметру пятна закалики изменяется от 0 до $z_{\max}$.

При 50 %-ном перекрытии пятен закалики глубина упрочненной зоны практически одинакова по всей длине упрочненного слоя. Дальнейшее увеличение коэффициента перекрытия «пятен» закалики нецелесообразно, так как уменьшается производительность обработки. Схема управления перемещением лазерного луча в пространстве при упрочняющей обработке приведена на рис. 3. Оптимальные режимы упрочнения типовых инструментальных сталей на установке «Квант-18» даны в табл. 19.

Лазерное упрочнение стеллита. Ответственные детали, работающие в условиях повышенных и высоких давле-

19. Оптимальные режимы упрочнения инструментальных сталей на установке «Квант-18»

Сталь	Энергия излучения, Дж							
	Обработка в атмосфере при размерах пятна закалки, мм		Обработка в аргоне при размерах пятна закалки, мм		Глубина упрочненного слоя, мм		Микротвердость HV ₁₀₀	
	D = 8	3 × 11	D = 6	2 × 8	Обработка в атмосфере	Обработка в аргоне	исходная	упрочненного слоя
45	106	71	104	72	160	140	560	890
У8	105	70	103	71	160	140	708	1023
ХВГ	100	67	98	67	150	130	730	976
Х12М	99	66	96	66	140	120	754	976
ШХ15	103	69	101	69	150	130	708	934

ний, агрессивных сред, газов и паров, отличающиеся малой площадью поверхности контакта, например, клапаны, распределители, седла и другие детали трубопроводной арматуры, изготовленные из высокохромистых аустенитных сталей, например 1X17H2, X18H10T, наплавляют кобальтовыми стеллитами. Различие в закономерностях изменения коэффициента линейного расширения исключает применение обычных видов термообработки, основанных на резком изменении температур (например, закалки), для повышения твердости, контактной прочности наплавленного материала. Последнее обстоятельство определило выбор лазерного излучения в качестве источника импульсного локального термического воздействия на наплавленный материал для его упрочнения. Наплавку стеллита ведут дуговым, кислородно-ацетиленовым или аргонодуговым методами. Наилучшее качество наплавленного стеллита достигается при аргонодуговой наплавке. Структура стеллита представляет собой твердый раствор на основе кобальта, расположенный на фоне эвтектики. Химический состав наплавленного стеллита (%): С 1,6—2,3; Si 1,5—2,5; Cr 26—32; Co 59—65; W 4—5; Fe остальное. Наплавку стеллита производят на детали, предварительно подогретые до 750—800 °С.

Наплавленные детали охлаждают медленно вместе с печью. Предварительный подогрев и замедленное охлаждение вызваны разностью коэффициентов линейного расширения наплавленного металла и металла основы. Упрочненная зона образуется последовательными пятнами фокусирования лазерного облучения с перекрытием $0,75d$ (d — диаметр пятна), шириной 0,6 мм, расположенными по контактной поверхности детали (например, контактной окружности золотника трубопроводного клапана). Оптимальные режимы лазерного упрочнения стеллита на установке СЛС-10-1: напряжение накачки $U_n = 980$ В, что соответствует энергии импульса $E = 8$ Дж, длительность импульса $\tau = 4$ мс; количество импульсов в фокальном пятне $n = 1-8$, фокусное расстояние фокусирующей оптики $F = 37$ мм, смещение поверхности образца относительно фокальной плоскости $\Delta F = 0,05 \div 0,1$ мм. При этих режимах обработки диаметр зоны проплавления составляет 0,4—0,6 мм. Лазерный нагрев приводит к повышению микротвердости на 210—240 единиц по сравнению с исходной структурой и увеличению твердости материала до $HRC\ 49-50$ при исходной твердости $HRC\ 40$.

Комплексное лазерное и криогенное упрочнение. Выполняется последовательным лазерным нагревом (закалкой) упрочняемой поверхности и последующим охлаждением всей детали в среде жидкого азота или иного криоагента, обеспечивающего охлаждение стали данной марки до температуры ниже точки мартенситного превращения. При криогенной обработке уменьшается содержание аустенита в поверхностном слое, что приводит к повышению микротвердости поверхностного слоя и уменьшению изнашивания его по сравнению с лазерной закалкой. При комплексном применении лазерной закалки и криогенной обработки не происходит растрескивания образцов после извлечения из жидкого азота, а также в процессе испытаний. Применение криогенной обработки после лазерной закалки приводит к дополнительному повышению твердости и износостойкости поверхностного слоя инструментальных сталей, а также к повышению стойкости инструмента для резания и давления, изготовленного из них. Комплексную лазерную закалку и криогенную обработку выполняют по оптимальным режимам,

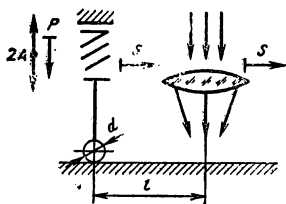


Рис. 4. Схема процесса комплексного лазерного и ультразвукового упрочнения

описанным выше.

Примеры изменения микротвердости некоторых инструментальных сталей, термообработанных по обычной схеме (закалка—отпуск), после дополнительного упрочнения лазером и комплексной лазерно-криогенной обработки приведены в табл. 20.

20. Микротвердость инструментальной стали после комплексного лазерно-криогенного упрочнения

Сталь	Микротвердость HV_{100} после упрочнения		
	Исходная (закалка—отпуск)	Лазерная закалка	Лазерная закалка + криогенная обработка
У12	734	976	1070
ХВГ	734	976	1110
Р6М5	834	934	1070

Комплексное лазерное и ультразвуковое упрочнение. Выполняется локальным нагревом лазерным лучом зоны обработки и ее последующим или совмещенным ультразвуковым упрочнением. Объединение методов позволяет получать высокие скорости местного нагрева (10^{10} град/с), охлаждения (10^6 — 10^8 град/с) и деформации ($\epsilon = 1400$ i/c). Схема процесса показана на рис. 4.

Совместное действие температуры, давления и скоростного охлаждения приводит к возникновению мелкодисперсной структуры («белого слоя») в поверхностном слое металла, отличающейся высокой микротвердостью. Так, если микротвердость после ультразвуковой обработки достигнет HV_{100} 400—450, после лазерной HV_{100} 700—800, лазерной и последующей ультразвуковой HV_{100} 800—950, то совмещение методов позволяет получить HV_{100} 1200—1300 при исходной микротвердости HV_{100} 250.

Сочетание высокой энергии в импульсе и скоростной деформации приводит к снижению шероховатости поверхности. С уменьшением расстояния l ($l = 1,6$ мм) шероховатость поверхности снижается. Например, при исходной шероховатости $Ra = 0,63$ мкм значения шероховатости равны: после лазерной обработки (на указанных ниже режимах) $Ra = 2,5$ мкм, последовательной ультразвуковой и лазерной $Ra = 1$ мкм, совмещенной $Ra = 0,25$ мкм.

Комплексное лазерное и ультразвуковое упрочнение можно выполнить на следующих режимах: энергия импульса $E = 5 \div 10$ Дж; длительность импульса $\tau = 0,4 \div 7$ мс, диаметр пятна закалки 2—3 мм; частота механических колебаний $f = 20$ кГц, статическое усилие $P = 10 \div 200$ Н, диаметр шара $d = 5 \div 10$ мм, подача $S = 0,1$ мм/дв. ход (0,1 мм/об); расстояние между центрами пятна контакта и пятна закалки $l = 1,6 \div 2,8$ мм; скорость вращения (для тел вращения) $v = 35 \div 55$ м/мин; смещение инструмента $2A = 25 \div 30$ мкм; толщина упрочненной зоны (с зоной термического влияния) до 0,25—0,3 мм.

УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

В процессе резания возникает высокая температура, и существует постоянный контакт между инструментом и обрабатываемым материалом, каждый из которых обладает специфическими физико-механическими свойствами. Фактически инструмент и обрабатываемый материал, взаимодействуя в процессе резания, образуют термопару, состоящую из взаимно перемещающихся разнородных элементов. Разность температур в зоне резания и вне ее создает условия для возникновения электрических потенциалов на разноименных концах инструмента и заготовки. ТермоЭДС оказывает влияние на процесс резания и эксплуатационную стойкость инструмента, особенно при обработке стали невысокой твердости, с небольшим содержанием углерода и легирующих примесей.

Процессы, связанные с возбуждением термоЭДС в зоне резания, еще достаточно не изучены. Их проявления в общем виде сводятся к следующему.

1. В зоне резания возникает эрозия металлов, т. е. разрушение их поверхностей импульсами слабых электрических разрядов, подобно процессу, действующему в электроэрозионных станках для обработки металлов. В зависимости от полярности термических токов в цепи инструмент—станок—заготовка эрозия в большей или меньшей степени разрушает лезвие и поверхность инструмента, создает множественные очаги концентрации напряжений и развития разрушений.

2. В зоне резания возникает кавитация газов и паров, вызывающая разрушение поверхности инструментов взрывами весьма малых парогазовых пузырьков, образующихся при испарении жидкостей и материалов, попавших в зону. Совокупные действия эрозии и кавитации усиливают разрушительное влияние эрозии, поскольку кавитационные вихри дополнительно выполняют роль рабочей жидкости в эрозионном процессе.

3. Под влиянием термоЭДС в зоне резания возникает электромагнитная индукция, характеризующаяся напряженностью магнитного поля. Поскольку термоЭДС обладает постоянной направленностью, то и индуцируемое ею магнитное поле также имеет постоянную полярность. Магнитная и электрическая полярность определяются в каждом конкретном случае сочетанием свойств материалов инструмента и заготовки, влиянием внешних магнитных, электрических и тепловых полей, действием ряда других факторов. Однако при любой полярности влияние магнитного поля приводит к накоплению пылевидных микрочастиц металла в зоне резания, их намагничиванию и поляризации. Поляризованные частицы металла налипают на поверхности инструмента и заготовки, заряженные обратной полярностью, и действуют как абразивные микропорошки. Они создают в зоне резания эффект абразивного изнашивания и разрушения. Влияние этого эффекта распространяется на металл заготовки и инструмента. Его проявления на поверхности заготовки совпадают с целью процесса резания. Напротив, эффект налипания микрочастиц на лезвие инструмента приводит к увеличению силы трения и к абразивному изнашиванию его поверхности. В результате стойкость инструмента снижается.

4. Сочетание процессов эрозии, кавитации и абразивного изнашивания ухудшает условия отвода теплоты из зоны резания. Возникает дополнительное количество теплоты. Увеличивается разность температур на концах термопары инструмент—заготовка. Соответственно растет разность потенциалов и значение термоЭДС. Возрастает напряженность индуцированного ею магнитного поля. Усиливаются условия для появления и действия эрозии, кавитации и абразивного налипания. Возрастает сила их совокупного действия на контактируемые по-

верхности. Таким образом, явления, возникающие в зоне резания в результате влияния магнитного поля, вызывают рост напряженности этого поля, что, в свою очередь, усиливает разрушительную силу описанных выше процессов. Следовательно, эффект разрушения лезвия инструмента под действием индуцированного магнитного поля постоянно усиливается. Развиваясь по восходящей кривой, он достигает максимального значения, характеризующегося точкой катастрофического разрушения, т. е. моментом выхода инструмента из строя.

Явления, подобные описанным, в той или иной степени возникают не только в паре инструмент—заготовка, но и в любой трущейся паре металлических деталей. Нельзя утверждать, что эти явления служат единственной или преобладающей причиной разрушения поверхностей инструмента или детали при резании металла или при работе трущейся пары. Однако они оказывают существенное влияние на скорость и характер протекания таких процессов.

Защиту металлических поверхностей от действия термоЭДС выполняют для их упрочнения и увеличения эксплуатационной стойкости инструмента. Наиболее часто используют методы разрыва цепи термопары или компенсации термоЭДС. Последний сводится к тому, что в зону контакта инструмента с деталью от постороннего источника тока вводят электродвижущую силу, полярность которой противоположна, а величина равна соответственно полярности и величине термоЭДС, возникающей в зоне резания.

Разрыв цепи термопары осуществляют электроизоляцией инструмента или одной из трущихся поверхностей. Электроизоляцию наносят покрытием, напылением или окунанием непосредственно на изолируемую поверхность. При возможно малой толщине слоя покрытие должно обеспечить сохранение жесткости системы станок—приспособление—инструмент—деталь и высокое сопротивление прохождению малых электрических токов. Сопротивление изолирующего слоя должно быть не менее 3 МОм, прочность на сдвиг не менее 20 МПа. Слой должен быть долговечным и не хрупким. В наибольшей степени этим требованиям отвечают эпоксидные клеи К-153, фенольно-каучуковый клей ВК-32-200 и герметик (эла-

стомер) марки ГЭН-150, представляющий собой продукт смешивания нитрильного каучука СКН-40 со смесью типа ВДУ. Можно использовать фенольно-каучуковые клеи ВК-3, ВК-4, фенольно-поливинилацеталевый клей БФ-2, полиуретановый лак горячего отверждения УЛ-1, бакелитовый лак или шеллак. Лучшими качествами для указанных целей обладает герметик ГЭН-150. В зависимости от конструкции и формы поверхности, а также требуемой точности обработки толщину покрытия выполняют в пределах 20—80 мкм. Наилучшие результаты достигают окунанием в ванну. Изолируемую поверхность перед окунанием или напылением следует очистить от забоин, заусенцев, следов коррозии и остатков прежнего электроизоляционного покрытия. Перед нанесением покрытия поверхность тщательно обезжиривают и сушат. Места, не требующие покрытия, смачивают любым маслом или пластичным смазочным материалом либо заклеивают бумагой. Для получения равномерного слоя покрытия инструмент или деталь следует медленно вращать, а плоскую поверхность перемещать возвратно-поступательно. Для сушки покрытия инструмент или деталь нужно подвесить. После полного отверждения (полимеризации) слоя на него наносят следующий до получения нужной толщины.

Электроизоляцию можно осуществить с помощью переходных установочных элементов—втулок, подкладок, призм и т. п., изготовленных из электроизоляционного материала. Такие элементы можно изготовить достаточно точно, что позволяет увеличить точность обработки инструментом или сопряжение деталей.

Для эффективного разрыва цепи термоЭДС инструменты или шпиндели станков или инструментальные оправки изготовляют клеесборными, используя для этих целей клеи, перечисленные выше. Однако все виды механической защиты напылением, смачиванием или с использованием установочных и клеесборных элементов обладают общими существенными недостатками. Они недолговечны, не обеспечивают требуемую точность сопряжения, сравнительно трудоемки в изготовлении. Использование установочных элементов, кроме того, связано с необходимостью изготовления и большой номенклатурой их типоразмеров, что требует организации

производства, учета, хранения, реставрации и т. п.

Процесс компенсации термоЭДС можно упростить [а. с. 742037 (СССР)]. Предварительно размагниченный режущий инструмент или деталь намагничивают так, чтобы полярность электродвижущей силы электромагнитной индукции, возникающей при относительном перемещении намагниченного инструмента и обрабатываемой детали, была противоположна полярности термоЭДС, а значение остаточной магнитной индукции выбирают из условия возможного равенства ЭДС индукции и термоЭДС.

Способ основан на явлении возникновения электродвижущей силы индукции при перемещении электропроводящих тел в магнитном поле. В частности, при вращении намагниченного инструмента возникает ЭДС униполярной индукции, а при вращении детали в магнитном поле инструмента ЭДС электромагнитной индукции, которая может быть рассчитана по формуле

$$U = \frac{\omega R^2}{2} Bd,$$

где U — ЭДС индукции, В; ω — угловая скорость инструмента или детали, рад/с; R — радиус инструмента или детали, м; Bd — остаточная магнитная индукция инструмента, Т.

Исходя из значения термоЭДС, режима механической обработки и размера инструмента, значение остаточной индукции, необходимое для компенсации термоЭДС, рассчитывают по формуле

$$Bd = \frac{2E}{\omega R^2},$$

где E — термоЭДС, В; ω — угловая скорость инструмента или детали, рад/с; R — радиус инструмента или детали, м.

Используя зависимость $Bd = f(H)$ для конкретного инструмента, по рассчитанному значению остаточной индукции определяют напряженность H необходимого намагничивающего поля. Расчетные значения напряженности намагничивающего поля следует экспериментально проверять сравнением стойкости инструментов—образцов, обработанных при различных полярности поля и времени выдержки.

При обработке углеродистой стали намагниченными резцами из быстрорежущей стали лучшие результаты достигаются инструментами, режущая кромка которых является северным полюсом магнита. Увеличение тока намагничивания, а следовательно, степени намагниченности до предела магнитного насыщения, приводит к возрастанию стойкости резцов. Влияние намагничивания на изнашивание резцов особенно заметно при работе с малыми значениями подачи (до 0,14 мм/об) и скорости резания до 15 м/мин. Намагничивающей обработке подвергают стальные режущие инструменты: резцы, сверла, развертки, метчики, плашки и др., а также ножи, матрицы и пуансоны разделительных штампов для холодной штамповки.

УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ НАПЛАВКИ ЛЕГИРУЮЩИМИ МЕТАЛЛАМИ

Выполняют для увеличения износостойкости, жаропрочности и эксплуатационной стойкости поверхностей деталей, работающих в условиях больших знакопеременных нагрузок, высоких температур и давлений, в абразивных и агрессивных средах, а также в целях замены дефицитных и дорогостоящих металлов.

Детали, подлежащие наплавке, тщательно очищают от грязи, масла, коррозии и краски. Если технологическим процессом наплавки предусмотрен предварительный подогрев, экономически целесообразно сочетать с ним очистительный отжиг, обеспечивающий быстрое выгорание масла не только с поверхности детали, но и из пор, раковин и трещин. После отжига окислы, образовавшиеся на поверхности детали, удаляют металлической щеткой. Наплавляют металл на очищенную поверхность. Канавки, пазы и отверстия на поверхности, которые необходимо сохранить, заделывают медными, графитовыми или угольными вставками. Ненаплавляемые поверхности закрывают сухим или мокрым асбестом. На ненаплавляемых переходных плоскостях и кромках делают фаски либо канавки шириной не более 15—16 мм и глубиной не более 6—8 мм по форме, показанной на рис. 5.

Детали из легированных и конструкционных сталей, содержащих более 0,3 % углерода, перед наплавкой подогревают. Для деталей небольших размеров доста-

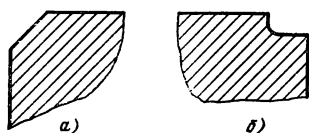


Рис. 5. Форма разделки фасок под наплавку:

а — открытая; б — закрытая

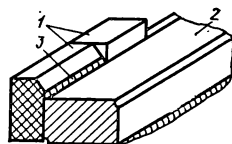


Рис. 6. Формы, применяемые при наплавке ванным способом:

1 — графитовые разборные формы; 2 — наплавляемая деталь; 3 — наплавленный металл

точно подогреть только участок начала наплавки

до температуры, устанавливаемой в зависимости от марки стали и электродов. Штампы для холодной листовой штамповки, холодной и горячей обрезки, наплавляемые электродами ЭН-60М, подогревают до 300—400 °С, молотовые и высадочные формообразующие штампы до 400—500 °С. Прошивные, калибровочные пуансоны, матрицы прессования, наплавляемые электродами ОЗН-1, ОЗН-3, подогревают до температуры 400—500 °С, а наплавляемые электродами УОНИ-13/85 — до 300—400 °С. Все закаленные детали перед наплавкой необходимо подогревать. Чугунные детали наплавляют без подогрева. Предварительный подогрев деталей проводят в печах, индукторах. Допускается местный подогрев газопламенными горелками. Рекомендации по предварительному подогреву приведены на с. 250. Наплавку необходимо выполнять непрерывно, так чтобы температура подогрева деталей не снижалась более чем на 100 °С. При необходимости допускается повторный общий или местный подогрев. Отдельные валики наплавляют рассредоточенно обратноступенчатым способом или «горкой». Толщина многослойной наплавки может быть 3—12 мм, количество слоев в зависимости от марки применяемых электродов: ОЗН-1 1—3 слоя, ОЗШ-1 1—5 слоев, ЭН-60М 2—5 слоев, ОЗН-3 1—3 слоя. Наплавку больших объемов металла проводят ванным способом на постоянных режимах тока с применением медных и графитовых форм (рис. 6), в результате чего значительно повышается качество наплавки, увеличивается ее производительность и уменьшается коробление детали.

При многослойной наплавке наиболее ответственных мест в штампах, особенно молотовых, наплавленные ва-

21. Условия наплавки стали в зависимости от толщины наплавляемого слоя

Толщина наплавляемого слоя, мм	Условия наплавки		
	Диаметр электрода, мм	Число слоев наплавки	Сила тока,
До 1,5	3	1	80—100
» 5	4—5	1—2	130—180
Св. 5	5—6	2 и более	180—240

22. Режимы наплавки стали под флюсом

Сталь	Проволока	Диаметр проволоки, мм	Флюс	Сила тока,
30ХГСА	Св-18ХГСА	2,0—4,0	АН-348А	300—320
3Х2В8	ПП-2Х3В10ГТ	2,5—2,6	АН-348А	До 220
4ХНВ	ПП-3Х2В8	3,2—3,6	АН-20	240—260
4ХНВ, 3Х2НВ	ПП-5Х4В3Ф	2,5—2,6	АН-200	280—300

Напряже- ние, В	Скорость, м/ч	Шаг, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Вылет электрода, мм
27—29	35	5—6	153	25—30
До 28	19—22	4—5	77—90	До 20
26—28	30	5—6	156	20—25
28—30	25	3	77	20—25

23. Зависимость режима автоматической наплавки стали под флюсом от толщины наплавленного слоя

Толщина наплавки, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила тока, А	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Скорость наплавки, м/ч	Напряжение на дуге, В
2—3	2	160—220	101—12	20—25	30—32
3—4	2	340—350	191	25	32—34
4—5	3	360—460	91,5	20—25	32—34
5—6	5	650—700	191—256	24—30	34—36

24. Режимы электрошлаковой наплавки стали проволочными электродами

Толщина наплавляемой детали, мм	Сила тока на один электрод, А	Напряжение в ванне, В	Число электродов, шт.	Диаметр электрода, мм	Расстояние между электродами, мм	Скорость поперечного движения электродов, м/ч
30	350—370	32—34	1	2,5	—	—
70	650	47	1	2,5	—	31
100	600—610	42—16	2	2,5	45—50	26—32
150	450—500	44—50	2	3	65	26—31
200	550	46—18	2	3	90	36
250	500—350	50—55	2	3	125	31
300	400—150	46—48	3	3	110	31—36
350	400—150	46—48	3	3	110	31—36
450	200	26—28	9	3	50	—

Скорость подачи электрода, м/ч	Выдержка у ползунов, с	Зазор, мм	Скорость наплавки, м/ч	Глубина шлаковой ванны, мм	Сухой вылет, мм
172	—	30	0,9—1,0	20—25	40—45
371—100	5	26—30	1,0—1,0	60—65	90—95
300	4—6	24—27	1,6	50—70	60—80
220—240	5	25—28	0,8—0,9	40—50	60—70
250	5	32	0,5	50	60—70
230—250	5	28—32	0,4—0,5	45—50	60—70
200—220	5	30	0,35	45—50	60—70
200—220	5	30—33	0,30	45—50	60—70
60—80	5	30—33	0,60	40—45	50—70

лики проковывают непосредственно после наплавки отдельных валиков в горячем (по возможности пластическом) состоянии ручным пневматическим молотом. При послойной наплавке отдельные валики тщательно очищают от шлака и брызг. Наплавку ведут на постоянном токе обратной полярности короткой дугой и с неглубоким проплавлением в нижнем и вертикальном положениях.

Чугунные детали наплавляют рассредоточенно, медленно, не допуская перегрева. Многослойные наплавки (более трех слоев) для чугуна не рекомендуются. Лучшее качество наплавки получают при ширине валика, равной 2,5 диаметра электрода. Валики накладывают так, чтобы

каждый последующий перекрывал предыдущий на $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ ширины. Припуск на механическую обработку после наплавки должен составлять 2—3 мм. Необходимо следить, чтобы впадины между валиками находились выше линии обработки поверхности после наплавки. Соотношения между толщиной слоя наплавки, диаметром электрода, числом слоев в наплавке и силой тока приведены в табл. 21; режимы автоматической наплавки под флюсом в табл. 22 и 23; режимы электрошлаковой наплавки проволочными электродами в табл. 24. Силу тока при ручной дуговой сварке определяют по формуле $I = Kd_{эл}$, где I — ток наплавки, А; K — коэффициент, равный 35—40; $d_{эл}$ — диаметр электрода, мм.

Наплавленные детали, которые могут быть обработаны абразивами, сразу после наплавки подвергают отпуску в течение 1—2 ч для снятия внутренних напряжений.

Детали, рабочие кромки и поверхности которых необходимо обработать режущим инструментом, после наплавки отжигают, а после механической обработки закалывают и отпускают.

Упрочнение и восстановление малогабаритных вырубных, прошивных и разделительных штампов со сложной гравюрой рабочей части методом наплавки дисперсионно-твердеющими сталями. Обеспечивает увеличение стойкости в 3—6 раз по сравнению со стойкостью термически обработанного ненаплавленного инструмента. Выполняют плавящимися электродами типа ОЗИ-4, ОЗИ-5, ХАДИМ-1. Тип наплавленного металла — Х5М5В6К15Ф (электрод ОЗИ-4), Х2М10В11К18Ф (электрод ОЗИ-5), 5Х12В8МФ (электрод ХАДИМ-1).

После наплавки получают металл с низкой твердостью, обычно не превышающей HRC 30—40, что позволяет производить механическую обработку обычными резцами, фрезами, сверлами. После окончательной механической обработки наплавленные штампы подвергают нагреву при температурах, обеспечивающих развитие процессов дисперсионного твердения в стандартных термических печах.

При нагреве во всем объеме наплавленного металла выделяются интерметаллидные упрочняющие фазы, что вызывает повышение твердости до требуемого уровня: HRC 49—56 для штампов горячего и HRC 60—64 для

штампов холодного деформирования. В процессе эксплуатации твердость наплавленного металла фактически не изменяется, что обуславливает увеличение стойкости штампов.

Технологический процесс изготовления штампов с применением наплавки предусматривает последовательное выполнение следующих операций: предварительная механическая обработка детали по контуру с припуском 0,20—0,23 мм под окончательную механическую обработку; термическая обработка по режимам, рекомендованным для применяемых марок сталей, для обеспечения твердости основного металла в пределах $HRC\ 49—54$; наплавка слоя высотой 12—14 мм (например, по торцу рабочей части пуансона) с припуском под механическую обработку по периметру наплавленного слоя до 2 мм; предварительная механическая обработка наплавленного слоя с припуском под окончательную механическую обработку; окончательная механическая обработка наплавленного слоя с припуском под окончательную механическую обработку; окончательная механическая обработка по всему контуру детали.

Пр и м е р. Пуансоны, изготовленные из стали 6ХВ2С для горячей прошивки круглых (диаметром 13,4—17,5 мм) и квадратных (сечением $13,4 \times 13,4$ мм) отверстий в заготовках толщиной 28 мм, наплавляют электродами диаметром 4 мм с защитно-легирующим покрытием, обеспечивающим получение наплавленного металла Х2Н8М12ВФ. Сила сварочного тока 120—140 А, напряжение дуги 27—30 В. Наплавку ведут короткой дугой обратной полярности.

Рабочую часть заготовок пуансонов выполняют на 10 мм короче, что предотвращает смещение основного и наплавленного металла в зоне рабочего торца пуансона.

Наплавку выполняют в составных медных формах (рис. 7). Дальнейшую механическую обработку осуществляют режущим инструментом, армированным твердосплавными пластинами.

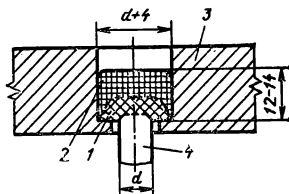


Рис. 7. Разъемная форма для наплавки торца пуансона:

1 — зона смещения наплавленного и основного металлов; 2 — наплавленный металл; 3 — медные полуформы; 4 — рабочая часть пуансона

25. Режимы наплавки порошковой проволокой и сложнолегированными электродами

Тип наплав- ленного материала	Диаметр элек- трода, мм	Напря- жение на дуге, В	Сварочный ток, А	Скорость подачи элек- тродной проволоки, м/ч	Число наплав- ляемых слоев
ПП-АН 170	3,2	30—40	320—380	158	3
ИН-1	5	24—28	150—180	—	4

Упрочнение и восстановление аргонодуговой наплавкой рабочих поверхностей сложных фасонных геометрических фигур штампов, валков, пресс-форм, пресс-матриц и подобных инструментов для горячего прессования, изготавливаемых из сталей типа 3Х2В8Ф. Восстанавливаемый и упрочняемый инструмент предварительно очищают от загрязнений в пескоструйной камере. Глубокие трещины разделяют. Трещины глубиной до 2 мм могут быть оплавлены аргонодуговой горелкой без присадочного материала. Перед наплавкой и оплавлением инструмент, например, из стали 3Х2В8Ф, нагревают в электропечи до 750—800 °С. Режим наплавки: сварочный ток 100 А, полярность прямая, расход аргона 5—10 л/мин. Присадочный материал: наплавочная проволока диаметром 3 мм из инструментальной стали мартенситно-карбидного класса типа 65Х3В10МФГТ.

Способ позволяет получить беспористый слой износостойкого материала, сократить трудоемкость слесарно-водоочных работ, повысить стойкость инструмента.

Наплавка порошковыми проволоками и легированными электродами в ряде случаев позволяет заменить инструментальные стали, например, 5ХВ2С, Р6М5 конструкционной сталью Ст3 и многократно восстановить изношенные детали.

Режимы наплавки приведены в табл. 25. Наплавку порошковой проволокой ПП-АН 170 осуществляют на полуавтомате А-765.

Заготовки перед наплавкой подогревают до 300—350 °С, а после наплавки подвергают высокому отпуску при 650 °С в течение 2 ч для снятия внутренних напря-

**26. Химический состав металла, наплавленного
порошковой проволокой и сложнولهгирующими электродами**

Тип наплавленного материала	Химический состав наплавленного металла, %				
	C	Mn	Si	Cr	W
ПП-АН 170 ИН-1	0,5—0,7 0,3—0,4	0,4—0,6 0,8—1,0	0,4—0,5 0,6—0,7	18—22 2,1—2,4	2,5—2,9 6,8—8,2

Тип наплавленного материала	Химический состав наплавленного металла, %				Твердость HRC наплавленного металла
	V	Ti	S	P	
ПП-АН 170 ИН-1	— 0,2—0,3	0,2—0,4 —	0,04 0,04	0,04 0,04	54—58 52—54

жений и термофиксации размеров. Наплавленный металл обрабатывают абразивным инструментом.

Химический состав наплавленного металла приведен в табл. 26. Срок службы наплавленных ножей увеличивается в 2—2,5 раза по сравнению с ножами из инструментальных сталей.

Восстановление изношенных поверхностей деталей, работающих при умеренной ударной нагрузке при добыче и переработке минералов. Перед наплавкой на восстанавливаемую поверхность детали наносят слой толщиной 6 мм порошковой смеси угольно-металлических порошков C—Cr—Fe, C—Cr—B—Fe, C—Cr—W—Fe на связующем — натриевой карбон-метил-целлюлозе. Высушивают в течение 8 ч при нормальной температуре. Наплавку производят угольным электродом диаметром 10 мм при отрицательной полярности сварочным током 250 А.

Повышение стойкости режущих инструментов из быстрорежущих сталей. На переднюю поверхность резца вблизи вершины главной режущей кромки наносят порошки карбидов вольфрама, титана, тантала и других металлов или, например, окислов, нитридов, боридов, в том числе кубического нитрида бора зернистостью 10—300 мкм, с последующим оплавлением их при помощи источников высоких энергий: плазменного луча, элек-

тронного луча и т. д. диаметром 0,03—0,1 мм и образованием ванночек расплава. Наилучшие результаты дает расположение ванночек расплавленных составов на расстоянии 0,3—1 мм от вершины резца. Сравнение с обычным инструментом из быстрорежущей стали показало, что резец, на который наплавлен карбид вольфрама, имеет более высокую стойкость: при высоких скоростях — в 25 раз, при средних — в 8 раз, при низких — в 3 раза. Резцы, на которые нанесен карбид титана в тантале, имеют стойкость в 2 раза большую, чем резцы с карбидом вольфрама; кубический нитрид бора еще больше повышает стойкость. Особое значение имеет необходимость расположения ванночек расплава на расстоянии 0,3—1 мм от вершины резца. Способ повышения стойкости инструмента прост и дает значительный экономический эффект.

Метод скоростной наплавки твердых сплавов. Подлежащий наплавке участок детали включают в цепь тока высокой частоты (50—10 000 кГц). Одновременно в нем индуцируют ток индуктором. За счет прямого и индуцированного тока поверхностный слой участка детали быстро (до 3 с) нагревается до расплавления, после чего в него засыпают порошок твердого сплава карбида вольфрама, окиси алюминия, нитрида кремния, карбида кремния и др. зернистостью менее 0,25 мм. Находясь в жидком металле, порошок после отверждения металла прочно в нем удерживается и образует износостойкое покрытие. Для наплавки детали на заданной длине индуктор с контактами плавно перемещают вдоль детали, непрерывно посыпая порошок расплавленную часть слоя. В результате получают равномерный слой покрытия. Высокая скорость наплавки достигается за счет большой плотности энергии (например, 20 кВт/см²) на небольшом участке поверхности детали. Расстояние от проводника индуктора до поверхности наплавляемой детали зависит от частоты тока и толщины нагреваемого слоя и равно 0,05—1 мм. Индукторный проводник, обычно выполняемый из медной трубки, охлаждается изнутри водой.

Наплавка хромоникелевого покрытия с включениями распределенных карбидов вольфрама. Область применения — кондукторные втулки, клапанные уплотнения, распылители и другие детали из инструментальной или легированной стали. Поверхность очищенной детали покры-

вают слоем консистентной густой смазки, состоящей из клея, порошка Ni—Cr-сплава с раствором борной кислоты в дистиллированной воде. Размер зерен порошка не должен превышать нескольких мкм. Влажный клей посыпают WC-порошком и высушивают при 176—204 °С до полного выпаривания влаги. После охлаждения детали до нормальной температуры вновь наносят слой клея описанного состава, а на влажный клей — слой Ni—Cr-порошка. Деталь с нанесенным покрытием толщиной 0,15—0,20 мм высушивают при 176—204 °С до полного выпаривания влаги; охлаждают до нормальной температуры и помещают в вакуумную печь с температурой 1040—1097 °С на 3—5 мин. В печи порошок Ni—Cr-сплава плавится и заполняет промежутки между WC-зернами. Заключительными операциями являются закалка и отпуск детали. Затем поверхность детали подвергают механической обработке. Окончательная толщина покрытия составляет приблизительно 0,08 мм. Стальная деталь с покрытием по твердости не уступает детали, целиком изготовленной из WC, и в то же время сохраняет коэффициент расширения, характерный для стали, что позволяет избежать хрупкости, присущей WC.

Поверхностное легирование крупногабаритных деталей (типа прокатных валков) методом локальной электроконтактной наплавки порошками из легирующих элементов можно выполнить способом [а. с. 865974 (СССР)], по которому поверхность, подлежащую легированию, вначале предварительно обрабатывают резанием — точением или шлифованием — с заданными параметрами шероховатости и необходимым объемом впадин, образованных микронеровностями. В полученные впадины насыпают порошок из легирующих элементов (хром, вольфрам, молибден и т. д.) и одновременно проводят обработку поверхности изделия давящим инструментом, например, обкатывают твердосплавным роликом. Через контакт давящего инструмента с изделием пропускают электрический ток низкого напряжения.

Изменением шероховатости (величины R_z) поверхности, т. е. размеров (объема) впадин микронеровностей, образуемых предварительной обработкой резанием, достигают заданной степени (насыщенности) легирования поверхностного слоя и расхода легирующих элементов.

Другими словами, возможно управление процессом поверхностного легирования.

Локальный нагрев изделия совместно с порошком легирующих элементов только в зоне контакта давящего инструмента с изделием происходит без наличия окисляющей среды. Получается гладкая и чистая, без окислов и окалины, упрочненная поверхность с плотным поверхностным слоем, обладающим повышенной термической и механической стойкостью.

Пример. Легирование рабочей поверхности прокатного вала осуществляют на токарном станке, в центрах которого устанавливается изделие. Перед легированием рабочую поверхность предварительно обтачивают, обеспечивая заданную шероховатость. Затем в резцедержатель станка взамен резца устанавливают и электрически изолируют давящий инструмент, например, ролик из твердого сплава марки Т15К6. Спереди давящего инструмента устанавливают и вводят в контакт с рабочей поверхностью порошкоподающее устройство. Его закрепляют на суппорте токарного станка. Осуществляют обработку вала поверхностным пластическим деформированием с электроконтактным подогревом.

Электроконтактный нагрев металла с легирующими элементами происходит только в зоне контакта давящего инструмента с изделием путем включения их в цепь вторичной обмотки понижающего трансформатора.

Сила прижатия давящего инструмента в процессе выглаживания или обкатывания 500—1000 Н, напряжение 1,5—2 В, плотность тока 400—600 А/мм², скорость выглаживания $v = 12 \div 15$ м/мин, подача $S = 1,0$ мм/об (для инструмента с тороидальной поверхностью $R = 30$ мм, $r = 5$ мм).

Во время обработки поверхностным пластическим деформированием в зоне деформирования металл с легирующими элементами нагревается до пластического состояния. Создаются благоприятные условия для диффузирования легирующих элементов в поверхностный слой изделия. Засыпка легирующего порошка во впадины шероховатости производится в процессе обработки изделия поверхностным пластическим деформированием. Порошок, засыпанный во впадины шероховатости, надежно удерживается в них благодаря наличию на поверхностях впа-

дин ультрамикронеровностей и остаточного магнетизма, образующегося после обработки резанием. В зоне контакта давящего инструмента с изделием на поверхности осуществляется металлургический процесс в закрытых условиях под давлением при высокой температуре без доступа окисляющей среды. В результате образуется легированный поверхностный слой с плотной структурой и повышенной твердостью. Получается гладкая упрочненная поверхность с высокой термической и механической стойкостью.

Детонационный метод нанесения порошковых покрытий. Основан на использовании энергии детонации в газах.

Металлический или металлизированный порошок наносится с помощью взрыва ацетиленокислородной смеси, обеспечивающего скорость частиц порошка 800—900 м/с.

Прочное соединение распыленных частиц порошка с подложкой обеспечивается за счет микросварки. Образование газовой-порошковой смеси и ее взрыв происходят в специальной камере, куда порошок подается струей азота.

Подложка при взрыве совершает поступательное или вращательное движение. Материал порошков: карбиды вольфрама, титана, окислы алюминия, хрома; металлы: хром, кобальт, титан, вольфрам. Каждый взрыв, продолжающийся 0,23 с, образует слой толщиной 7 мкм. Многослойное покрытие может иметь толщину 0,02—0,4 мм. Покрытия из этих порошков имеют большую твердость и очень высокую износостойкость. В результате напыления образуется слой покрытия с высокими эксплуатационными характеристиками, высокой прочностью сцепления и малой пористостью, в большинстве случаев не превышающей 1 %.

Существенным преимуществом метода является умеренный нагрев обрабатываемой детали — не выше 250 °С.

Технологические возможности детонационного способа позволяют наносить покрытия на внешние цилиндрические поверхности диаметром до 1000 мм, внутренние цилиндрические поверхности диаметром более 15 мм, плоские поверхности сложной конфигурации. Наиболее

эффективно нанесение детонационных покрытий на детали, работающие в условиях повышенных давлений и температур, износа, агрессивных сред.

Например, детонационно-газовые твердосплавные покрытия наносят на рабочие поверхности гибочных штампов, изготовленных из стали типа X12M, термически обработанных до твердости *HRC* 56—60. Исходный материал для напыления — механическая твердосплавная смесь ВК-15. Детонационное покрытие, получаемое напылением этой смеси, отличается высокой износостойкостью и способностью воспринимать ударные нагрузки.

Перед напылением рабочую форму штампа следует очистить от загрязнений и создать на ее поверхности шероховатый рельеф, например, методом струйной обработки абразивными порошками. После окончания процесса напыления поверхность, покрытую твердосплавными порошками, дополнительно шлифуют или полируют алмазными пастами. Метод технологически доступен и экономически эффективен, в том числе в условиях единичного многономенклатурного производства.

Плазменное напыление композиционных порошковых материалов, состоящих из твердой тугоплавкой основы и легкоплавкой связки. Перспективным методом нанесения покрытий, в том числе порошковых, является плазменное напыление, получившее распространение в различных отраслях техники. Эксплуатационные свойства таких покрытий зависят от физико-механических свойств порошковых материалов, температурных и газодинамических параметров плазмы и подготовки поверхности под напыление. Например, упорные центры и оправки к насадным зенкерам подвергают напылению порошковыми композициями, обеспечивающими создание износостойких слоев на рабочих поверхностях инструментов, подверженных трению. Состав композиций подбирают, исходя из общей оценки условий работы поверхности, в том числе с учетом возможности отвода тепла, свойств сопрягаемых материалов трущейся пары, требований к качеству поверхности и точности ее начальных размеров и т. п.

Структура нанесенного слоя состоит из хромоникелевого раствора и карбидной фазы, включающей зерна

релита и упрочняющие частицы связки— карбиды и бориды хрома.

Метод плазменного напыления композиционных порошковых материалов применяют для создания упрочняющих покрытий на трущихся поверхностях деталей типа поршневых колец, втулок цилиндров и шеек коленчатых валов, двигателей внутреннего сгорания, плунжерных пар насосов, направляющих колонок и втулок штампов и пр.

Метод термонапыления. Заключается в бомбардировке обрабатываемой поверхности (например, упорных центров, оправок к гидрокопировальным станкам, гибочных и раскатных роликов, направляющих оправок к насадному инструменту, борштанг, прессовых оправок и др.) частицами порошка, разогретыми до пластического состояния. Передача тепловой и кинетической энергии частицам порошка осуществляется плазменным (за счет введения порошковых материалов в плазменную струю) и газопламенным (с введением порошков в газовую смесь) способами.

Для устойчивой работы плазмотрона электрическая дуга должна быть сформирована и стабилизирована вдоль продольной оси плазмотрона.

Используются порошки самофлюсующихся сплавов системы $Ni-Cr-B-Si-C$, марок СНГН, ПГХН80СР, ВСНГН, с температурой плавления $1050^\circ C$, зернистостью 20—150 мкм, обеспечивающие твердость $HRC\ 35-62$.

Недостатками плазменно-напыленных покрытий являются низкие прочность сцепления с основой, адгезионная прочность и термостойкость покрытия, что связано с различными коэффициентами температурного расширения покрытия и основы. Обладая значительной пористостью, плазменно-напыленные покрытия не защищают поверхность от окисления, что приводит к ускоренному разрушению (отслаиванию) покрытия.

Увеличить адгезионную прочность, термостойкость и стойкость покрытия в окислительных средах можно следующим способом [а. с. 676641 (СССР)]. На металлическую поверхность изделия наносят газотермическим напылением порошковое покрытие, а затем подвергают ее азотированию любым из известных способов до образования нитридной прослойки.

Так как порошковое покрытие пористое, то оно не препятствует диффузии атомов азота к поверхности защищаемого металла. Наоборот, за счет усиления адсорбционных и абсорбционных процессов ускоряется насыщение поверхности азотом и образование на ней нитридов тех элементов, которые входят в состав защищаемого металла (железа, хрома, вольфрама, титана, алюминия и др.). Поскольку нитриды имеют плотность меньшую, чем металлы (плотность окислов 3—5 г/см³, а плотность стали 7,8 г/см³), то при своем образовании они заполняют микропоры порошкового покрытия, увеличивая тем самым сцепляемость по типу механического зацепления. Одновременно повышается термостойкость покрытия, так как образовавшиеся нитриды играют роль прослойки с коэффициентом термического расширения, близким к порошковым материалам на основе окислов. Нитридная прослойка обеспечивает также коррозионную стойкость защищаемого металла.

Применение методов наплавки и напыления износостойких и прочных слоев металла на рабочие поверхности деталей машин и технологической оснастки позволяет не только осуществить их упрочнение, но и решить связь технических и экономических задач, направленных на сбережение ресурсов.

К таким задачам относятся снижение удельной металлоемкости изделия и его элементов путем повышения их прочности и уменьшения массы, применения объемно- и поверхностноупрочненных материалов. Восстановление изношенных поверхностей, например, шеек коленчатых валов, элементов гравюр, штампов для горячей штамповки и т. п. методами наплавки и напыления позволяет совместить процессы создания новых слоев металла взамен изношенных и их упрочняющей обработки.

Методы широко используются для восстановления отработавших деталей автомобилей, тракторов, сельскохозяйственной техники, подвижного железнодорожного состава.

УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ

Применяют для повышения износостойкости и твердости поверхности деталей машин, работающих в условиях повышенных температур в инертных газах; жаростойкости и коррозионной стойкости поверхности; долговечности металлорежущего, деревообрабатывающего, слесарного и другого инструмента; создания шероховатости под последующее гальваническое покрытие; облегчения пайки обычным припоем труднопаяемых материалов (нанесение промежуточного слоя, например, меди); увеличения размеров изношенных деталей машин при ремонте; изменения свойств поверхностей изделий из цветных металлов. Создает возможность значительно изменять исходные физические и химические свойства поверхностного слоя (твердость, износостойкость, жаростойкость и т. д.) как быстрорежущей, так и других инструментальных сталей. Заключается в легировании поверхностного слоя металла изделия (катода) материалом электрода (анода) при искровом разряде в воздушной среде (рис. 8).

В результате химических реакций легирующего металла с диссоциированным атомарным азотом и углеродом воздуха, а также с материалом детали в поверхностных слоях образуются закалочные структуры и сложные химические соединения (высокодисперсные нитриды, карбонитриды и карбиды), возникает диффузионный износостойкий упрочненный слой.

Упрочненный слой имеет высокую твердость и износостойкость. Твердость слоя, измеренная методом Виккерса на приборе ПМГ-3, составляет $HV\ 1000-1400$ и зависит от материала электрода. Общий слой электроискрового упрочнения состоит из верхнего белого нетравящегося слоя и нижнего переходного диффузионного слоя с переменной концентрацией легирующих примесей и карбида, с сильно измененной исходной структурой, постепенно переходящей в структуру основного металла. В большинстве случаев нижний слой по глубине несколько больше верхнего. В связи с наличием диффузионного слоя в структуре упрочненного металла возможно многослойное упрочнение, в том числе с образованием разнолегированных слоев. Применение последующего воздей-

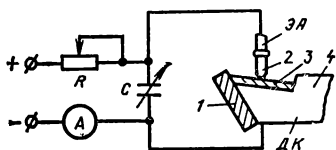


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема устройства для электроискровой обработки:

ЭА — электрод-анод; ДК — деталь-катод на контактной пластине; 1 — графитовая пластинка; 2 — упрочняющий электрод; 3 — упрочняемая поверхность; 4 — корпус инструмента

ствия лазерным излучением улучшает свойства упрочненной поверхности, легированной электроискровым методом, снижает степень ее шероховатости.

Электроискровому упрочнению подвергаются поверхности деталей машин типа кулачков, направляющих, фиксаторов, прижимов, толкателей, клиньев и других, поверхности шпоночных пазов, шлицев, отверстия корпусных деталей, изготовленных из конструкционных легированных и углеродистых сталей.

Рекомендуемая номенклатура инструментов и технологической оснастки, подлежащих электроискровому упрочнению:

Сталь типа

Резцы, сверла диаметром более 5 мм, зенкеры, развертки, фрезы, протяжки

P18, P9, P6M5, P18Ф2,
P18K5Ф2, P9K5, P9K10,
P10K5Ф5

Штампы для холодной и горячей штамповки, гибочные, вытяжные

У8, У10, У12, ХВГ, 5ХНМ,
5ХВ2С, Х12Ф1, Х12М, ХВ5

Подающие и зажимные цанги, оправки, вкладыши, кондукторные втулки, втулки направляющих колонок

65Г, 60Г, 60С2А

Процесс целесообразен для указанных ниже рабочих поверхностей.

Наименование
технологической оснастки

Упрочняемая поверхность

Резцы:

проходные, подрезные,
отрезные, расточные,
строгальные и др
фасонные

Задняя и передняя грани, главная режущая кромка, радиус закругления, переходные и вспомогательные кромки

Спиральные сверла

Передняя грань

Задняя грань и перемычка, переходные уголки на передней грани

Зенкеры

Задняя грань и заборная часть

Фрезы с зубьями:

простыми
затылованными

Задняя грань

Передняя грань

Круглые протяжки

Задняя поверхность на режущих зубах

Зубонарезные долбки

Передняя грань

Штампы

Рабочие грани

Инструмент, подлежащий последующим переточкам по заданным поверхностям (резцы токарные и фасочные, сверла, фрезы шпоночные и концевые и т. д.), подвергают упрочнению после каждой переточки. Вспомогательный и штамповый инструмент, изготовленный из инструментальных и конструкционных сталей, упрочняют после окончательной подготовки к эксплуатации. В цангах и вкладышах к цангам упрочняют поверхности рабочих отверстий на длине не менее 30 мм от торца; в направляющих шпоночных протяжках — опорную поверхность направляющего паза по ширине и длине; в копирах гидрокопировальных станков — обкатываемую поверхность копира; в упорных центрах и полуцентрах — центры упорные с конусом Морзе 3—6 после шлифования рабочего конуса и последующих перешлифовок; поверхность рабочего конуса на $\frac{1}{3}$ длины образующей от вершины конуса. После упрочнения поверхность рабочего конуса подлежит доводочному шлифованию припуска 0,01—0,015 мм. В матрицах и пуансонах разделительных и формоизменяющих штампов упрочняют рабочие поверхности матриц и пуансонов, по которым в процессе эксплуатации происходит наибольшее изнашивание.

Технологические рекомендации для выполнения электроискрового упрочнения. Детали, инструменты и технологическую оснастку, подвергаемые электроискровому упрочнению, предварительно подготавливают: затачивают режущий инструмент, удаляют грязь, пыль, коррозию и заусенцы с упрочняемых поверхностей и кромок деталей. Параметр шероховатости упрочняемой поверхности R_z не должен быть выше 80 мкм. Перед началом работы вибратор и аппарат регулируют в соответствии с принятыми режимами обработки. После включения аппарата электроды вводят в соприкосновение друг с другом и затем перемещают упрочняющий электрод относительно упрочняемой поверхности, поддерживая постоянным давление на вибратор.

Перемещение электрода по обрабатываемой поверхности следует выполнять круговыми движениями по небольшому кругу с одновременным продвижением в сторону, либо зигзагом с небольшой амплитудой и продвижением в сторону.

При выполнении операции электроискрового упрочнения следует как можно реже отрывать упрочняющий электрод и прерывать плавное его перемещение вдоль упрочняемой поверхности. Отрыв электрода вызывает разряд конденсатора контура. Если упрочняющий электрод был отведен от упрочняемой поверхности на некоторое расстояние, а затем вновь приближен к ней, то первый разряд между вновь сближенными электродами возникает в ионизированном воздухе при разности потенциалов, близкой к напряжению источника питания зарядного контура. Такой разряд может вызвать значительную эрозию поверхности упрочняемого изделия или даже прижог на ней.

При упрочнении режущего инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали или ее заменителей, можно допустить на смежной грани наличие первого из цветов побежалости — светло-желтого. При электроискровом упрочнении инструмента и штампов, изготовленных из углеродистой стали, режимы и технология упрочнения должны обеспечивать полное отсутствие цветов побежалости на смежных гранях.

Смазывание упрочняемых поверхностей маслом снижает чистоту обработки. Искровой разряд в жидкой среде приводит к увеличению выброса металла с поверхности электродов, а тепловое воздействие не успевает распространиться на большую глубину, вследствие чего толщина упрочненного слоя не увеличивается. Шероховатость и сплошность нанесенного покрытия зависят от степени шероховатости исходной поверхности; при этом чем ниже шероховатость, тем выше качество поверхности с нанесенным покрытием.

После упрочнения инструмента рекомендуется выглаживать его поверхность алмазными кругами либо шлифовальной шкуркой. Вместо алмазного выглаживания можно применять доводку поверхности электродом из электрографита ЭГ-4. В точном инструменте достаточно упрочнить только передние грани вдоль режущей кромки и ленточки.

Упрочнение металлорежущего инструмента следует начинать по передним граням режущей кромки и ленточки, а затем по задним граням, чем обеспечивают качественное покрытие и уменьшают опасность возникновения коротких замыканий.

Для механической обработки деталей, не требующих высокой чистоты и точности, упрочнение инструмента можно производить на высокопроизводительных грубых режимах обработки. Электроискровому упрочнению подвергают поверхность грани инструмента шириной около 3 мм (для штампов — более 5 мм). Чтобы не повредить режущие кромки упрочняемого инструмента и штампов, рекомендуется специально защищать режущую кромку графитовой пластинкой, прижимаемой к смежной грани технологической оснастки. Рекомендации по выбору режима электроискрового упрочнения приведены в табл. 27.

Электроискровое упрочнение проводят на мягких, средних и жестких режимах по току в сети и напряжению на электродах. Мягкие режимы обеспечивают получение тонкого мелкодисперсного плотного слоя упрочняющего металла. Для образования упрочненного слоя при работе на мягких режимах требуется больше времени, чем при использовании жестких режимов. Жесткие режимы позволяют получить более толстые слои упрочняющего металла, однако не обеспечивают его однородность, плотность и мелкодисперсность. Характеристика режимов электроискрового упрочнения на установке ЭФИ-46А приведена в табл. 28.

Электроискровое упрочнение осуществляют вибрирующим электродом вручную. Основным недостатком ручного упрочнения является неустойчивость и зависимость результатов упрочнения от квалификации и навыков рабочего. Кроме того, ручная работа малопроизводительна.

Скорость перемещения электрода при ручной обработке не должна превышать 0,07—0,09 м/мин. При более высокой скорости качество покрытия снижается. Следует соблюдать перпендикулярность расположения электрода по отношению к упрочняемой поверхности. Установки с ручными вибраторами не позволяют полностью реализовать все преимущества процесса. Целесообразно механизировать процесс, использовать для этих целей механизмы перемещения рабочих столов и суппортов металло-режущих станков.

При электроискровом легировании, в результате термического воздействия разряда, наблюдается значительный рост зерен в поверхностном слое основного металла, что приводит к уменьшению его прочности. Нагрев тон-

27. Режимы электроискрового упрочнения технологической оснастки

Технологическая оснастка		Электрод	
Наим.	Сталь	Материал	Марка
Резцы, сверла, зенкеры, фрезы, развертки, протяжки	P18, P9, P6M5	Угли спектральные Графит Твердый сплав	В-3 ЭГ-2, ЭГ-4 ВК-2, ВК-3
Штампы для холодной и горячей штамповки гибочные, вытяжные	У8, У8А, У10, У10А, У12, ХВГ, 5ХНМ	Феррохром Твердый сплав	ФХ100Н ВК-8, Т15К6
Подающие и зажимные цанги, вкладыши, кондукторные втулки, втулки направляющих колонок	65Г, 60Г, 60С2А	Феррохром Твердый сплав	ФХ100Н Т15К6

28. Характеристика режимов электроискрового упрочнения (применитель

Режим	Напряжение (при напряжении сети 220 В), В		Ток (при напряжении сети 220 В), А		Время t обработки 1 см ² по- верхности, мин
	вспомо- гатель- ный ход	рабочее	корот- кого за- мыкания	рабочий	
Мягкий	15	9—13	3,5	0,8—1,2	4,0—16,0
	25	10—18	3,7	1,2—1,5	3,0—8,0
Средний	40	21—33	4,5	1,5—2,0	2,0—8,0
	75	30—48	4,3	2,0—2,5	2,0—7,0
Жесткий	135	35—58	4,2	2,0—2,5	1,0—6,0
	190	48—68	5,5	2,2—2,8	0,5—5,0

* Расход Q материала электрода определяют по формуле $Q = F \lambda$.

Диаметр, мм	Режим обработки		Упрочненная поверхность		
	Ток короткого замыкания $I_{к.з.}$, А	Рабочий ток I_p , А	Толщина нанесения слоя, мм	Сплошность покрытия, % площади	Параметр шероховатости R_a , мкм
4	3,6—4,4	1,2—1,5	0,001	80	2,5
4 3					
4 4	3,9—4,7	2,0—2,5	0,1	80	2,5
4	3,6—4,4	1,2—1,5	0,01	70	2,5

но к установке ЭФИ-46А)

Количество (мг) сплава Т15К6, перенесенного на 1 см ² за время τ при 220 В, не менее	Продолжительность процесса, с/мм ²	Удельный расход λ (г/см ²) материала электродов *		
		Феррохром	Сплав Т15К6	Титан
3,0	1,5	0,009	0,006	0,002
3,9	1,3	0,030	0,025	0,010
8,0	1,2	0,050	0,045	0,024
15,0	1,1	0,070	0,060	0,036
12,0	1,0	0,085	0,080	—
9,0	0,7	0,110	0,100	—

где F — площадь упрочнения, см².

ких поверхностных слоев основного металла, примыкающих к износостойкой оболочке, сопровождающийся одновременным интенсивным отводом тепла массой холодного изделия, вызывает образование микротрещин в поверхностных слоях. Трещинообразование тем значительней, чем ниже прочность поверхностных слоев основы. Это ухудшает сцепление наносимого слоя с основным металлом.

Улучшить контакт наносимого износостойкого покрытия с основным металлом можно способом, изложенным в а. с. 833424 (СССР). Перед электроискровым легированием изделие подвергают воздействию ультразвука. Затем выполняют рекристаллизационный отжиг. Его можно совместить с процессом нагрева изделия под закалку.

Эффект достигают в результате воздействия ультразвука на дислокационную структуру кристаллической решетки металла. При поглощении акустической энергии происходит рост плотности дислокаций, активация малоподвижных дислокаций, разориентация субзерен и разрушение субграниц, образование ячеистой структуры, двойникование и образование других структурных несовершенств. При последующем рекристаллизационном отжиге в металле с высокой плотностью структурных несовершенств скорость образования зародышей больше, чем скорость их роста. Это предопределяет образование мелкого зерна при рекристаллизации и сохранение его в конечной структуре после закалки.

Образование двойников, по границам которых при нагреве выделяются мелкодисперсные карбиды, повышает допустимый уровень перегрева аустенита. В результате повышается прочность материала основы, и при последующем электроискровом легировании уменьшается возможность трещинообразования поверхностных слоев основы, улучшается сцепление с наносимым слоем.

Пример. Матрицу обрезаемого штампа изготавливали из стали 5ХВ2С. После механической обработки материал изделия подвергали воздействию ультразвука с амплитудой колебаний 0,00065 мм и частотой 80 кГц. Рекристаллизационный отжиг проводили при 690 °С, выдерживали 70 мин и затем нагревали под закалку до 880 °С. После закалки в масле изделие отпускали при 270 °С до твердости *HRC* 50—52.

Электроискровое легирование выполняли на установке ЭФИ-46А по режиму: рабочее напряжение 50 В, сила рабочего тока 2,3 А, толщина наносимого слоя 0,1—0,15 мм. Поверхностное пластическое деформирование проводили накаткой роликом с усилием 1,5 кН.

Электроды для электроискрового упрочнения. Максимальная глубина и высокая твердость упрочненного слоя получаются при использовании электродов на хромовой основе (феррохромовых, хромомарганцевых) и из чистого хрома. В случае применения твердосплавных или металлических электродов поверхностный слой получается твердый, износостойкий, но большой толщины (до 0,12 мм), в результате чего увеличиваются размеры изделия. При использовании электродов из графита не происходит увеличения габаритных размеров изделия, сохраняется

29. Рекомендации по выбору материала упрочняющего электрода

Упрочняемые изделия	Материал упрочняющего электрода и его марка	Эксплуатационные особенности
Развертки, зенкеры, сверла, протяжки, фрезы и другой режущий инструмент	Графит ЭГ-2, ЭГ-4	Сохраняет заданные чертежом размеры и шероховатость поверхности инструмента
	Твердый сплав ВК-2, ВК-3	После упрочнения требует доводочного шлифования
Пуансоны, матрицы, кондукторные втулки, втулки направляющих колонок, адаптеры протяжных станков	Твердый сплав ВК-3, ВК-8, Т15К6, Т60К6, Т30К4	Возможно многократное восстановление с последующим шлифованием
Инструмент и детали машин, работающие в условиях высоких контактных напряжений и абразивного изнашивания	Твердый сплав Т15К6, хром Хр5, Хр6, белый чугун	То же
Поддающие и зажимные цапги, детали типа вал—подшипник	Литой карбид вольфрама	
Измерительные инструменты, детали с повышенными требованиями точности	Графит ЭГ-2, ЭГ-3, ЭГ-4, КП-6	Сохраняет первоначальные геометрические размеры и форму обработанной поверхности

исходная шероховатость упрочняемой поверхности, но не обеспечивается выполнение повышенных требований к твердости и износостойкости упрочненного слоя, образуемого в результате одновременного науглероживания и закалки. Рекомендации по выбору материалов электрода приведены в табл. 29. При отсутствии пластинок требуемых форм и размеров, а также для более полного использования твердого сплава возможно применение электродов, изготовленных напайкой или приваркой твердосплавных пластинок к стальной державке.

Рабочая часть электрода должна иметь форму конуса или пирамиды, с затуплением вершины радиусом 1,6—2,0 мм, что способствует получению качественной поверхности упрочненного слоя.

УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

Применяют для повышения износостойкости инструментов, рабочих элементов штампов, пресс-форм, приспособлений, а также ответственных стальных деталей машин, работающих в условиях адгезионного и диффузионного изнашивания при высоких температурах сопрягаемой среды. Выполняют преимущественно в вакуумных установках. Вещество осаждаемого металла в вакууме последовательно превращают в газ, пар, ионизированный пар и плазму и осаждают в атмосфере реакционного или нейтрального газа в виде конденсата на упрочняемую поверхность. Покрытие получают способами термического испарения, катодного или ионно-плазменного распыления, либо путем бомбардировки поверхности ионами осаждаемого вещества. В качестве реакционного газа используют азот или углеводород. Соответственно покрытие состоит из нитридных или карбидных соединений тугоплавких металлов. Способ термического испарения можно осуществить в безокислительной атмосфере нейтральных газов или в воздушной среде. Существенное отличие методов состоит в различном качестве создаваемой плазмы; наличии в плазме нейтральной или заряженной ионизированной составляющей.

Основные факторы, определяющие работоспособность поверхностей с покрытиями: материал основы, обеспечи-

вающий прочность, сопротивление тепловому удару и деформации; сцепление между покрытием и основой; материал покрытия: самыми распространенными являются карбид титана TiC , нитрид титана TiN и окись алюминия Al_2O_3 ; толщина покрытия: слишком тонкое покрытие плохо сопротивляется изнашиванию, слишком толстое может скалываться; качество подготовки поверхности.

Химическое осаждение покрытия из газовой фазы при термическом испарении. Из газообразной смеси бензола, хлорида титана, аргона и водорода на пластинки твердых сплавов химически осаждают слой TiC . Параметры осаждения: скорость потока смеси (55—70 л/мин); температура пластин 1030—1060 °C; температура смеси (900—1100 °C). Наибольшей износостойкостью обладает слой TiC толщиной 4—8 мм; слой толщиной менее 2 мкм быстро изнашивается, а износостойкость слоя толщиной более 8 мкм уменьшается с увеличением толщины слоя.

Твердые покрытия толщиной 5—10 мкм — однослойные из TiN или TiC или двухслойные $TiN + TiC$ — осаждают на поверхность деталей из газовой фазы при температуре 800—1000 °C. Твердость покрытия TiN составляет HV 2000; TiC , $TiN + TiC$ — HV 3000 (в то время, как твердого хрома HV 1200). Покрытия могут быть нанесены на детали из твердых сплавов, углеродистой и легированной стали, стеллита, коррозионно-стойкой аустенитной стали, инконеля, монель-металла, нейзильбера, а также на покрытие из твердого хрома. Применяют для повышения износостойкости и коррозионной стойкости режущих и других инструментов, коленчатых валов, деталей насосов, дизелей и других деталей, подвергающихся изнашиванию и коррозионному воздействию. Для осаждения покрытий используют герметизированные камеры-печи и вакуумные установки с автоматизированным регулированием температуры. Химическое осаждение карбидов титана из смеси $TiCl_4$, водорода и углеводорода при температуре 1000 °C дает возможность получить покрытия малой толщины. При толщине покрытия менее 10 мкм уменьшается опасность его отделения от основы, имеющей другой коэффициент температурного расширения. Нитрид титана обладает меньшей химической активностью, чем карбид титана. Двойное покрытие

хорошо защищает инструмент от диффузионного изнашивания (TiN) и изнашивания по задней поверхности (TiC). Перспективно покрытие окисью алюминия, которое на атомарном уровне осаждается на предварительно нанесенный на основу слой карбидов. Благодаря низкой активности окиси алюминия режущие свойства пластин могут быть значительно (до 5 раз) выше, чем у обычных твердых сплавов.

Слой Al_2O_3 , препятствующий диффузии, можно наносить непосредственно на твердый сплав и затем на него износостойкие слои TiC, TiN, TiCN. Покрытия наносят в печи методом осаждения из газовой фазы. Режим нанесения покрытий при давлении 6,56 кПа следующий. В потоке (40 л/мин) смеси 92,5 % H_2 , 3 % $AlCl_3$ и 4,5 % CO_2 при 1027 °C за 15 мин осаждают слой Al_2O_3 толщиной 0,2—0,3 мкм. В печь вводят H_2 до атмосферного давления. В потоке смеси (80 л/мин) 88 % H_2 , 5 % TiCl и 7 % CH_4 за 150 мин осаждают слой TiC толщиной 5—6 мкм. Давление снижают до 13,3 кПа. В потоке смеси (70 л/мин) 90 % H_2 , 4 % $AlCl_3$ и 6 % CO_2 за 120 мин осаждают слой Al_2O_3 толщиной 1,5—2 мкм. Для формирования слоев TiN и TiCN в смесь вводят N_2 . Износостойкость твердосплавного инструмента с многослойными покрытиями намного выше, чем с покрытием TiC.

Штампы с двухслойным осажденным покрытием из карбида и нитрида титана способны отформовать 80 000—120 000 головок винтов со шлицем вместо 25 000. Отдельные штампы работают до замены, обеспечивая изготовление 180 000 винтов. Высокая твердость карбида и нитрида титана (соответственно 3000 и 2000 HV) предотвращает абразивное изнашивание штампов, а химическая инертность этих неметаллических покрытий снижает вероятность микроадгезии между обрабатываемым металлом и штампами, что уменьшает адгезионное изнашивание штампов.

Слой TiC можно наносить методом высокочастотного напыления в вакуумной камере с вращающейся платформой, обеспечивающей последовательное покрытие нескольких инструментов. До напыления поверхность очищают ультразвуком или струей распыленного аргона. Травление распыленным аргоном перед напылением существенно для качественной адгезии напыленного слоя TiC

и базового твердого сплава и улучшает режущую способность инструмента.

Износостойкость инструмента из твердых сплавов повышают путем нанесения многослойного покрытия при протекании химической реакции в газовой фазе при 850—1200 °С. Покрытие имеет не менее трех слоев. Первый, примыкающий к поверхности, состоит из карбидов Hf или Ti. Наружный состоит из окислов Hf, Zr или Al. Промежуточный образуют нитриды или оксикарбиды Hf, Zr или Ti. Если средний слой состоит из нитридов, рекомендуется между ним и слоем карбидов наносить слой карбонитридов. Толщина каждого слоя 0,5—20 мкм. При обработке резанием изнашивание инструмента с трехслойным покрытием более чем в 2 раза меньше изнашивания инструмента с двухслойным и в 18 раз меньше изнашивания незащищенного инструмента.

В соответствии с пат. 56-25960 (Япония) для увеличения адгезии между износостойким покрытием и основой режущей пластины из быстрорежущей стали на ее поверхность наносят слой чистого титана толщиной до 2 мкм, затем несколько (или один) слоев соединений титана типа TiC, TiN, TiCN, TiCNO, TiCO толщиной от 0,5 до 10 мкм.

Многослойные покрытия режущей части инструментов слоями различной твердости и толщины из-за хрупкости покрытия (слои в покрытии выполнены убывающими по толщине) часто не обеспечивают требуемую стойкость металлорежущего инструмента.

Увеличить прочность покрытия можно следующим способом [а. с. 607659 (СССР)]. Для повышения стойкости инструмента слои с более высокой твердостью, порядка 2600—3600, чередуются со слоями, твердость которых плавно изменяется от 600—900 до 2600—3600. Причем толщина твердого слоя составляет 1—3 мкм, а общая толщина покрытия не превышает 25 мкм. Такое покрытие на металлорежущем инструменте может быть получено путем распыления металла в вакуумной камере. Создание слоев с различной твердостью и плавное изменение твердости достигаются за счет изменения параметров процесса напыления.

Слои с уменьшенной твердостью препятствуют выкрашиванию твердого слоя при работе в условиях вибрации и ударных нагрузок, так как более мягкие слои деформи-

руются и допускают тем самым некоторый прогиб твердого слоя.

Стойкость сопрягаемых взаимно перемещающихся поверхностей можно увеличить путем нанесения на них покрытий, отличающихся по своим физико-механическим свойствам, но в комплексе обеспечивающих повышение износостойкости трущейся пары [а. с. 778873 (СССР)]. На поверхность направляющей колонки наносят пленку на основе нитрида титана толщиной 0,005—0,007 мм. Поверхность втулки покрывают пористой твердосплавной оболочкой толщиной 0,12—0,15 мм.

Пример. Направляющую колонку изготавливают из стали 38Х2МЮА и наносят на ее рабочую поверхность пленку на основе нитрида титана путем конденсации титана в вакууме с плотной бомбардировкой. Толщина полученной пленки составляет 0,006 мм. Направляющую втулку изготавливают из стали 20. На ее рабочую поверхность наносят твердосплавное покрытие детонационным методом твердосплавным порошком марки ВК15, с величиной зерна 15—20 мкм. Толщина покрытия 0,14 мм.

Износостойкость направляющих элементов штампов с покрытиями рабочих поверхностей, нанесенными этим способом, превышает в 18—20 раз износостойкость элементов, изготовленных из высокопрочных легированных сталей, прошедших термическую обработку, и в 4—5 раз элементов, армированных твердым сплавом. Предварительная очистка поверхности подложки возбуждением тлеющего разряда в непосредственной близости от очищаемой поверхности часто недостаточно эффективна, особенно в высоковакуумных напылительных установках [а. с. 211265 (СССР)]. Поверхность подложки очищают с помощью пучка электромагнитных волн, генерируемых, например, оптическим квантовым генератором, используя для этой цели эффект фотодесорбции. Способ обеспечивает более качественную очистку поверхности подложки перед началом или, в случае нанесения многослойных покрытий, непосредственно в процессе напыления, повышают тем самым качество напыляемых пленок.

Преобладающий вид изнашивания режущего инструмента связан главным образом с температурой рабочей поверхности. При низкой скорости резания изнашивание определяется адгезионными процессами. При высокой

температуре возникает диффузионное изнашивание и истирание. Покрытие TiN наиболее эффективно в условиях изнашивания по передней поверхности, а TiC — при изнашивании по задней поверхности.

Износостойкие покрытия из нитрида титана наносят на дисковые долбяки, червячные и дисковые резцы, осевые инструменты, изготовленные из быстрорежущей стали, а также на инструменты, оснащенные твердым сплавом.

На стандартные неперетачиваемые твердосплавные пластины из сплавов типа ТК целесообразно наносить покрытие нитрида титана равномерной толщиной 5—7 мкм, с твердостью *HV* 2500. Стойкость твердосплавных пластин возрастает в 1,5—1,8 раза при увеличении скорости резания на 25—30 %. Для инструмента из быстрорежущих сталей типа P18, P9, P6M5, P6M3 толщина покрытия должна быть в пределах 3—5 мкм при микротвердости *HV* 2600÷2800.

Многослойные покрытия. Прочность и износостойкость покрытия увеличивают созданием в нем слоев различного химического состава и физико-механических свойств. Например, двухслойное износостойкое покрытие может состоять из карбидов титана TiC (нижний слой) и боридов титана TiB₂ (верхний слой). В качестве подложки используют твердый сплав на основе WC и Co с относительно высокой прочностью и микротвердостью *HV* 1800, которая в диффузионной зоне повышается до *HV* 2200.

Режущие пластины с трехслойным покрытием TiN имеют слои: первый — толщиной 2—3 мкм TiC, второй — смесь TiC и TiN, третий — 2—3 мкм TiN.

Многослойное покрытие из карбонитридов и карбида титана при общей толщине слоя до 10 мкм может состоять из нескольких очень тонких слоев. Наружный слой состоит из чрезвычайно износо- и диффузионно-стойкого карбонитрида титана. Под ним располагается несколько промежуточных слоев из карбонитридов титана различного состава. Нижний слой из карбида титана обеспечивает прочное сцепление с основным сплавом. Наружный слой придает покрытию золотистый оттенок.

Тонкий защитный слой, наносимый на поверхность твердосплавной режущей пластины, обладает низкой

теплопроводностью и снижает трение на поверхности контакта инструмент—стружка. Это приводит к снижению температуры рабочей поверхности и, следовательно, уменьшению диффузионного изнашивания. Кроме того, защитный слой выполняет роль барьера, препятствующего диффузии и уменьшающего схватывание металлов инструмента и стружки. Степень уменьшения изнашивания зависит от материала защитного слоя. Изнашивание по задней поверхности более заметно снижается при применении защитного слоя из TiC по сравнению с защитным слоем из TiN. Многофазное защитное покрытие, в котором каждый отдельный тонкий слой имеет определенное назначение, обеспечивает улучшение вязкости и износостойкости режущих пластин.

Осаждение покрытия способом катодно-ионной бомбардировки в вакууме (КИБ). Выполняют для упрочнения деталей машин, технологической оснастки и инструментов, изготовленных из конструкционных и инструментальных материалов, в том числе твердых сплавов и быстрорежущих сталей, путем осаждения на них тонкопленочных износостойких покрытий.

Сущность способа состоит в распылении тугоплавкого металла катода, образовании ионов в низкотемпературной плазме и бомбардировке ими упрочняемой поверхности. Материал катода (напыляемый материал) испаряется в виде высокоскоростных струй (скорость 1×10^6 см/с), содержащих как заряженные, так и нейтральные частицы. Струи представляют собой плазменные потоки атомов и ионов с высокой степенью ионизации.

Деталь (анод) помещают на пути плазменных потоков. На нее подают отрицательный потенциал, ускоряющий поток ионов. Выбитые из катода атомы разгоняются до высоких энергий. Они с большой скоростью бомбардируют поверхность анода, очищают ее, внедряются в кристаллические решетки поверхностного слоя и, накапливаясь, образуют на поверхности микропенку осаждаемого (конденсируемого) вещества.

Способ позволяет создавать металлические и износостойкие покрытия, состоящие из химических соединений — карбидов, нитридов, оксидов, карбонитридов, тугоплавких металлов Ti, Mo, Cr, W, V и др., а также многослойные и многосоставные (композиционные) покрытия.

Принципиальная особенность способа по сравнению с другими способами получения покрытий в вакууме — термического испарения, катодного и ионно-плазменного распыления — в том, что в условиях электродугового разряда вещество катода превращается в потоки плазмы, и конденсат образуется за счет как нейтральной, так и заряженной компонент плазмы. Процесс начинается с того, что перед осаждением покрытия поверхность детали, помещенной в вакуумированную камеру установки, очищают путем интенсивной бомбардировки ее ионами осаждаемого вещества, имеющими энергию 1 кэВ и выше. Одновременно происходит нагрев детали до температуры конденсации, которая обеспечивает высокую адгезию покрытия.

В процессе осаждения на деталь подают отрицательный потенциал 150—200 В, который и поддерживает необходимую температуру конденсации. Очистка и термомеханическое активирование поверхности подложки способствуют адгезионной сцепляемости основы и пленки, закрытию («залечиванию») поверхностных микротрещин и частичному упрочнению поверхности твердосплавной или стальной подложки. Для получения износостойкого покрытия в вакуумную камеру вводят реакционный газ. Реагируя с распыленным материалом катода, он создает соответствующее упрочняющее покрытие в виде химического соединения (нитридов, карбидов и др.), обладающее хорошей адгезией с основным материалом подложки. Покрытие можно наносить не только при высоких, но и при относительно низких температурах плазмы, что расширяет диапазон упрочняемых материалов. Способ позволяет наносить покрытия на инструмент из закаленной быстрорежущей стали без применения последующей термообработки. В процессе нанесения покрытия материал, образующий его, приобретает новые физико-механические свойства, существенно отличающиеся от исходных.

Микротвердость покрытия можно изменять регулированием параметров процесса, что создает возможность осаждать пленку с заранее заданными свойствами. Процесс выполняют при температуре 400—600 °С, без разупрочнения подложки из твердых сплавов или быстрорежущих сталей.

Покрyтия отличаются параметрами шероховатости, достигающими $Ra = 0,08 \div 0,32$ мкм. Толщину покрyтий можно изменять в зависимости от условий работы инструмента, оснастки или детали. Обычно толщина покрyтия 5—20 мкм.

Способ дает возможность образовать слоистый конденсат, состоящий из чередующихся твердых слоев, например, нитрида Мо либо Ti ($HV\ 3000\text{—}3600$), и мягких — из чистого Мо либо Ti ($HV\ 600$).

Покрyтие из нитрида титана обладает высокой микротвердостью, пониженным коэффициентом трения, низкой химической активностью. Комплекс свойств приводит к снижению усилий резания, уменьшению температуры в зоне резания и сокращению интенсивности изнашивания режущих инструментов. Преимущества способа в сравнении с методами химико-термической обработки: возможность получения на рабочих поверхностях износостойкого покрyтия высокой микротвердости ($HV\ 2600\text{—}3800$); более высокая (в 2—6 раз) производительность технологического процесса упрочнения; возможность проведения технологического процесса осаждения покрyтия при температурах нагрева подложки, не превышающих температуру ее отпуска на высокую твердость; возможность упрочнения прецизионных режущих инструментов и деталей без дополнительной последующей размерной механической обработки; высокие стабильные значения износо-, окалино- и коррозионной стойкости покрyтия.

Технологический процесс осаждения покрyтия разделяют на этапы: прогрев, очистка, напыление.

Основные операции типового технологического процесса: подготовка упрочняемой детали или инструмента (обезжиривание поверхности); загрузка детали или инструмента на позиции напыления в камеру установки; вакуумирование камеры до рабочего давления; очистка поверхности в тлеющем разряде (бомбардировка упрочняемых поверхностей тяжелыми ионами легирующего газа); ионная бомбардировка и нагрев упрочняемой детали или инструмента; конденсация продуктов плазмохимической реакции на рабочие упрочняемые поверхности; охлаждение детали или инструмента в среде газообразного азота; выгрузка упрочненных деталей или инструментов из установки.

Прогрев камеры выполняют с целью предотвращения конденсации паров воды и для их удаления с поверхности стенок, дегазации этих поверхностей в процессе откачки и вакуумирования камеры. Прогрев выполняют горячей водой (60 °С) по трубам, приваренным к стенкам рабочей камеры. Очистку поверхности подложки (анода) от загрязнений обеспечивают ионным облучением («травлением») перед напылением. Для этого напыляемому изделию сообщают высокий отрицательный потенциал. Ионы металла катода, возникающие в результате электродугового разряда, ускоряются под действием потенциала до энергии, позволяющей выбить с поверхности изделия атомы поверхностного слоя. В режиме напыления происходит испарение материала катода (например, Ti) и «обдув» поверхности изделия (анода) ионизированным паром металла катода и реакционным газом (например, азотом). В результате на поверхности изделия возникает покрытие нитридом титана.

УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВНЕШНЕГО ТЕПЛА

Упрочнение выполняется с целью повышения сопротивления усталости и твердости поверхностного слоя металла и формирования в нем направленных внутренних напряжений, преимущественно напряжений сжатия, а также регламентированного рельефа микронеровностей на поверхности.

Упрочняющую обработку поверхностным пластическим деформированием эффективно применяют на финишных операциях технологического процесса изготовления деталей машин взамен операций окончательной обработки резанием лезвийным или абразивным инструментом. При обработке нежестких в сечении тонкостенных деталей наиболее пригодна динамическая обработка пластическим поверхностным деформированием инструментами ударного действия, ультразвуковое или импульсное обкатывание.

Поверхностное пластическое деформирование, выполняемое без использования внешнего тепла и обеспечивающее создание указанного комплекса свойств поверхностного слоя, называют наклепом. Слой металла, в котором проявляются эти свойства, соответственно называют наклепанным.

В результате наклепа повышаются все характеристики сопротивления металла деформации, понижается его пластичность и увеличивается твердость. Упрочнение металла в незакаленной стали происходит за счет структурных изменений и изменений структурных несовершенств (плотности, качества и взаимодействия дислокаций, количества вакансий и др.), дроблением блоков и наведением микронапряжений. При упрочнении закаленных сталей, помимо этого, происходит частичное превращение остаточного аустенита в мартенсит и выделение дисперсных карбидных частиц.

Поверхностная деформация приводит к образованию сдвигов в зернах, упругому искажению кристаллической решетки, изменению формы и размеров зерен.

Интенсивность наклепа тем выше, чем мягче сталь; на незакаленных сталях в результате поверхностного деформирования можно получить увеличение твердости более 100 %, а у закаленных только на 10—15 %. Прирост твердости определяется структурой деформируемой стали. Наибольшее повышение твердости наблюдается в сталях со структурой аустенита, феррита и мартенсита (рис. 1), наименьшее — со структурой перлита и сорбита. Абсолютный прирост твердости в результате наклепа составляет для мартенситных структур HV 180—320, а для сталей, содержащих избыточный феррит, HV 60—120. Существенное увеличение твердости мартенситных структур объясняется тем, что, помимо упрочнения пластическим деформированием, происходит частичное превращение аустенита в мартенсит и выделение высокодисперсных карбидных частиц.

Наклеп выполняют бомбардированием ее струей стальной или чугунной дроби, шариков либо суспензии, содержащей абразивные частицы; обкатыванием роликами, шарами или ротационным инструментом; чеканкой. Дробеструйный наклеп обеспечивает неглубокую пластическую деформацию до 0,5—0,7 мм. Применяют для обработки поверхностей небольших деталей сложных форм, а также деталей малой жесткости типа пружин, рессор, мембран и др.

Применяют преимущественно стальную дробь (реже литую чугунную) диаметром 0,8—2 мм. Глубина наклепа при дробеструйной обработке не превышает 0,8 мм.

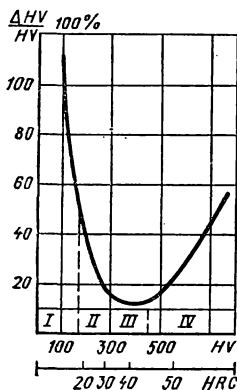


Рис. 1. Относительное увеличение твердости углеродистых и легированных сталей при пластическом деформировании в различных структурных состояниях при степени деформации $d/D = 0,5$: I — феррит и феррит + перлит; II — перлит; III — сорбит; IV — троостит и мартенсит

Поверхность детали приобретает некоторую шероховатость и последующей обработке не подвергается. Режим обработки определяется скоростью подачи дробы (до 70—90 м/с), расходом дробы в единицу времени и экспозицией — временем, в течение которого обрабатываемая поверхность находится под ударами дробы. Режимы обработки устанавливают экспериментально. Поверхность детали должна быть полностью покрыта следами — вмятинами. Обычно экспозиция равна 0,5—2 мин на обрабатываемую поверхность.

Обкатку роликами или шариками осуществляют с использованием различных приспособлений к токарным или строгальным станкам. Приспособления изготовляют одно- или многороликовыми. Давление роликов или шариков создают механическим (пружинным) или гидравлическим способом. Пружинящие элементы тарируют, что дает возможность нормировать пределы давления на ролики. Обкатку роликами или шариками применяют для обработки деталей типа осей, валов и других, имеющих форму тел вращения, реже — плоские поверхности. Режим упрочняющей обкатки роликами устанавливают по следующим параметрам: давление на ролик, форма и размеры ролика, величина продольной подачи, скорость обкатки.

Поверхностная твердость обрабатываемого материала и глубина пластической деформации зависят от режимов упрочнения, физико-механических свойств, структуры и химического состава материала. Наибольшее влияние на поверхностную твердость оказывает удельное давление деформирующего элемента в контакте с обрабатываемой деталью и кратность приложения этого давления. Значение удельного давления определяется усилием обкатывания, геометрией деформирующего элемента и детали, а также физико-механическими свойствами обрабатываемого материала. Кратность приложения давления зависит от величины подачи, длины линии контакта, числа проходов и деформирующих элементов.

Соотношение между значением давления (нагружения) и кратностью ее циклического приложения можно определить по формуле

$$\frac{l}{S} i \leq \left(\frac{\sigma_R}{kHVB} \right)^t$$

где l — длина контакта инструмента с изделием в направлении подачи с учетом упругой деформации; S — подача; i — число проходов; t — показатель кривой усталости, определяемый углом наклона прямой в логарифмических координатах; σ_v — временное сопротивление материала; k — коэффициент, характеризующий напряженное состояние и зависящий от природы материала; f — коэффициент трения; HB — твердость по Бринеллю

$$HB = \frac{4P}{\pi d^2}.$$

Значение давления на деформирующий элемент можно ориентировочно считать равным

$$P = 2a^2\sigma_T,$$

где σ_T — предел текучести упрочняемого металла; a — глубина наклепа. Обычно $0,02R_3 \leq a \leq 0,1R_3$; R_3 — радиус поперечного сечения упрочняемой детали.

С увеличением усилия и кратности его приложения степень наклепа возрастает примерно прямо пропорционально только до предельно допустимого давления для данной геометрии деформирующего ролика. Превышение этого давления или числа циклов нагружения сопровождается остановкой роста твердости и ее снижением в связи с перенаклепом, т. е. разрушением поверхностного слоя металла, возникающим в результате наступившего предела пластического деформирования его кристаллической решетки. График соотношений между значением нагрузки и числом циклов ее приложения (например, применительно к условиям обкатывания шаром поверхности стали типа 15Х28 при $t = 10$ и $\sigma_v = 3,10$ ГПа) имеет вид, приведенный на рис. 2, и характеризует режимы, позволяющие получить максимальную степень упрочнения (зона ниже кривой). Область, расположенная выше кривой, определяет режимы обработки, вызывающие перенаклеп.

Необходимая степень упрочнения может быть достигнута применением одного из множества сочетаний HB , l , S , i . Конкретные значения указанных параметров должны определяться, исходя из конструктивных особенностей обрабатываемой детали, производительности процесса и т. п.

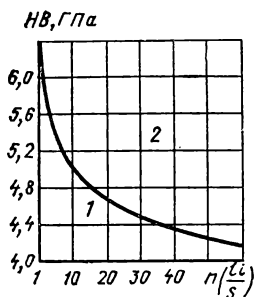


Рис. 2. График оптимальных режимов, обеспечивающих максимальную степень упрочнения:

1 — область режимов неполного наклепа; 2 — область режимов, вызывающих перенаклеп; HB — удельная нагрузка; $n \left(\frac{l}{l_0} \right)$ — кратность приложения нагрузки

При упрочняющем обкатывании шаром степень пластической деформации $\epsilon = d/D \leq 0,4-0,5$, где d — диаметр лунки на поверхности; D — диаметр вдавливаемого шара. Повышение степени деформации свыше $0,4-0,5$ практически не обеспечивает увеличения твердости деформируемого металла.

При обкатке роликом степень деформации определяют из соотношения $\epsilon = b/(2r) \leq 0,4-0,5$, где b — ширина единичной канавки, возникающей как след от обкатки роликом; r — профильный радиус ролика.

Профильный радиус обкатывающего ролика должен быть возможно меньшим для заданной глубины наклепа. Если при обкатывании наблюдается шелушение поверхности, то размер профильного радиуса ролика следует увеличить. Для упрочнения деталей малой жесткости необходимо использовать деформирующие элементы с малым профильным радиусом, что позволит получить максимальное увеличение твердости при незначительных усилиях.

При обкатке роликами достаточно одного прохода роликов по упрочняемой поверхности. Последующие проходы не создают дополнительного увеличения глубины и степени наклепа.

Формулы для расчета режима упрочнения методом обкатывания роликами и шариками приведены в табл. 1, 2.

Рекомендуемые значения давления на обрабатываемую поверхность применительно к некоторым методам упрочнения поверхностным пластическим деформированием с наклепом приведены в табл. 3.

Упрочнение режущих поверхностей инструментов методом обкатывания роликами. Упрочнению подвергают развертки, зенкеры и фрезы, изготовленные из сталей Р18 и Р9, после термообработки и шлифования. В качестве деформирующих элементов используют ролики высокой

1. Формулы для расчета усилий пластического деформирования поверхности методами обкатывания

Инструмент	Схема обработки	Формула
Ролик		$P = \frac{DB_1q^2}{0,126E (D/d + 1)}$
		$P = \frac{DB_1q^2}{0,18E (D/d - 1)}$
Шарик		$P = \left(\frac{dq}{0,045E} \right)^2 q$ при $D/d \geq 10$
		$P = \left[\frac{Dq}{0,054E (D/d - 1)} \right]^2 q$

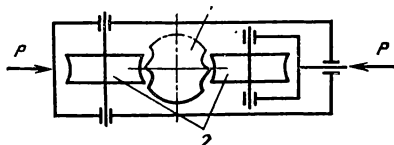
Обозначения: P — усилие обкатывания, Н; q — максимальное давление обкатывания, Па; D — диаметр обкатываемого изделия, мм; d — диаметр ролика или шарика, мм; b_1 — ширина контакта ролика с обрабатываемым изделием, мм; E — модуль упругости обрабатываемого материала, Па.

твердости (из стали ХВ4) с прямолинейной или криволинейной образующей.

Упрочняемый инструмент зажимают в центрах. Приспособление с одним или двумя (рис. 3) роликами устанавливают на резцедержателе токарного станка. Поворот

Рис. 3. Схема упрочнения режущего инструмента в самоустанавливающемся двухроликовом приспособлении:

1 — упрочняемый инструмент;
2 — ролики



2. Формулы для расчета режима обкатывания

Параметры	Формулы	Обозначения
Скорость v м/мин: для станков с вращательным движением (токарных, револьверных, расточных, сверлильных, фрезерных и др.) то же, для станков с возвратно-поступательным движением (строгальных, долбежных и др.)	$v = \frac{\pi D n}{1000}$ $v = \frac{L n (1+m)}{1000}$	D — диаметр обрабатываемой детали, мм; n — число оборотов шпинделя станка, мин L — длина рабочего хода детали или накатного ролика (шарика) в направлении рабочего движения, мм; n — число двойных ходов, мин; m — отношение скорости рабочего хода к скорости холостого хода
Подача на один ролик (шар) при обработке многороликовыми обкатками $S_{\text{ш}}$, мм/об	$S_{\text{ш}} = S/z$	S — подача на оборот или двойной ход, мм; z — число роликов или шариков в обкатке (раскатке)

инструмента на шаг между зубьями производят с помощью делительного приспособления. Фиксирующим устройством, расположенным на заднем центре, удерживают инструмент от проворота. Развертки и зенкеры упрочняют по задней поверхности режущей и калибрующей частей и обратного конуса. Фрезы упрочняют по задней поверхности зубьев. Оптимальным можно считать $P = 750 + + 1000$ Н при диаметре роликов 35 мм. Диаметр разверток в процессе упрочнения изменяется на 0,05—0,08 мм. Под упрочнение разверток, предназначенных для обработки отверстий с параметром шероховатости $Rz = 80 \div \div 40$ мкм, необходимо оставлять припуск 0,04—0,06 мм.

Время доводки развертки оставляет 3—5 мин. На упрочнение развертки при использовании однороликового приспособления затрачивается 8—10 мин, а при использовании двухроликового — 4—5 мин. Таким обра-

3. Давление на поверхность при некоторых методах упрочнения поверхностным пластическим деформированием с наклепом

Материал	Предварительная обработка поверхности			Рекомендуемое давление, ГПа				
	Метод	Подача, мм/об (мм/дв. ход)	Высота неровностей Rz, мкм	Статическое сдвливание неровностей	Перемещение инструмента		Накатывание	
					поперек риска микропрофиля	вдоль риска микропрофиля	роликом	шариком
Сталь 10, 20, 35	Обтачивание	0,45—1,1	80—320	90—130	0,70—1,1	0,40—0,75	0,80—0,11	0,75—0,10
	Растачивание	0,2—0,45	40—80	70—110	0,40—0,75	0,30—0,45	0,60—0,80	0,55—0,95
	Строгание	(До 0,2)	10—40	40—70	0,25—0,20	0,20—0,35	0,30—0,60	0,25—0,55
	Шлифование	(Грубое)	6,3—10	50—80	0,30—0,60	0,20—0,35	0,40—0,70	0,35—0,65
	Развертывание	Чистовое	До 6,3	20—50	0,22—0,40	0,20—0,35	0,20—0,45	0,20—0,40
Сталь 45, 50Г	Обтачивание	0,45—1,1	80—320	130—160	0,75—0,10	0,35—0,70	0,12—0,14	0,11—0,13
	Растачивание	0,2—0,45	40—80	110—140	0,50—0,80	0,30—0,40	0,10—0,12	0,90—0,11
	Строгание	(До 0,2)	10—40	80—100	0,30—0,60	0,20—0,35	0,50—0,80	0,40—0,70
	Шлифование	(Грубое)	6,3—10	60—90	0,35—0,75	0,25—0,40	0,50—0,80	0,40—0,70
	Развертывание	Чистовое	До 6,3	40—60	0,25—0,40	0,25—0,40	0,35—0,50	0,30—0,40
Латунь Л-62	Обтачивание	0,45—1,1	80—320	85—120	0,70—0,100	0,45—0,75	0,80—0,11	0,75—0,115
	Растачивание	0,2—0,45	40—80	70—100	0,40—0,70	0,40—0,65	0,60—0,80	0,55—0,75
	Строгание	(До 0,2)	10—40	40—65	0,25—0,50	0,25—0,45	0,35—0,55	0,30—0,55
	Развертывание	Чистовое	До 6,3	20—45	0,20—0,40	0,20—0,35	0,20—0,45	0,20—0,40
Чугун СЧ12	Обтачивание	0,45—1,1	80—320	90—125	0,75—0,11	0,50—0,80	0,85—0,11	0,80—0,10
	Растачивание	0,2—0,45	40—80	75—110	0,45—0,75	0,45—0,70	0,60—0,80	0,55—0,80
	Строгание	(До 0,2)	10—40	45—70	0,30—0,55	0,30—0,50	0,30—0,60	0,25—0,55
	Шлифование	(Грубое)	6,3—10	45—65	0,30—0,60	0,30—0,55	0,40—0,70	0,35—0,65
	Развертывание	Чистовое	До 6,3	25—50	0,25—0,45	0,20—0,35	0,20—0,45	0,20—0,40

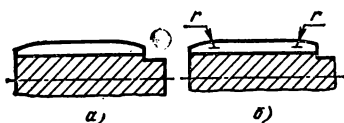


Рис. 4. Геометрия неупрочненных (а) и упрочненных (б) зубьев развертки в продольном сечении

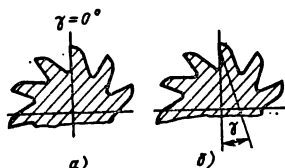


Рис. 5. Геометрия неупрочненных (а) и упрочненных (б) зубьев развертки в поперечном сечении

зом, время, затрачиваемое на доводку и упрочнение разверток, примерно одинаково, но в последнем случае повышаются качество обрабатываемой поверхности и стойкость инструмента, что обуславливает экономический эффект применения метода упрочнения.

В результате упрочнения параметры шероховатости инструмента улучшаются от $Ra\ 0,63$ до $Ra\ 0,040$ мкм, твердость поверхностного слоя возрастает. Количество остаточного аустенита в нем значительно уменьшается.

В процессе упрочнения возникает скругление (радиус r на рис. 4) при переходе режущей части в калибрующую, что является положительным фактором, так как предотвращает быстрое изнашивание. Изменяется геометрия передней поверхности инструмента (рис. 5); образуется передний угол $\gamma = 8 \div 10^\circ$, который увеличивается при возрастании усилия P . Радиус скругления режущих кромок в этом случае получается несколько меньшим, чем при шлифовании, и составляет 15—20 мкм. Указанные изменения геометрии инструмента оказывают благоприятное воздействие на процесс резания.

Обработка инструмента и деталей технологической оснастки методом алмазного выглаживания. Применяют для упрочнения изделий с твердостью до $HRC\ 65$. Может заменить операции окончательного шлифования, полирования, доводки и суперфиниширования поверхности. Метод широко универсален. Рационален для обработки стальных закаленных или термически не упрочненных деталей, с поверхностными покрытиями и без них, а также деталей из цветных металлов, их сплавов, высокопрочных чугунов. Выполняют специальными инструментами — выглаживателями, оснащенными сфероидальными, трапецевидными или конусообразными деформирующими

элементами, изготовленными из синтетических сверхтвердых материалов — карбонада, гексанида-Р, эльбора-Р и других, реже — из природных алмазов или твердых сплавов.

В инструментальном производстве используют при обработке колонок и направляющих втулок штампов для холодной штамповки, пуансонов, вкладышей прессформ, формообразующих поверхностей вытяжных штампов, зубьев круглых деформирующих, уплотняющих протяжек, прошивок, калибров-пробок. Износостойкость выглаженной поверхности увеличивается в 2—3 раза по сравнению со шлифованной и на 20—40 % по сравнению с полированной; износостойкость и контактная выносливость выглаженной хромированной поверхности на 35—50 % выше полированной.

Гидроабразивное упрочнение. Наклеп поверхностного слоя струей суспензии (жидкость + абразивные частицы) применяют для случаев, когда требуется небольшая глубина упрочненного слоя. Подача абразивной суспензии к соплам установок для гидроабразивной обработки может осуществляться в зависимости от конструктивных особенностей и типа установки самотеком, эжекцией сжатым воздухом или под давлением с помощью насоса.

Гидроабразивное упрочнение стальных и твердосплавных инструментов. Поверхности и грани твердосплавных пластин и инструментов после спекания могут обладать рядом специфических дефектов. Наиболее характерные дефекты — рваные кромки, заусенцы (наплывы), микротрещины и микропоры, неравномерность химического состава, окисные пятна, неравномерность распределения твердости («пятнистость»), ликвация и зоны высокой концентрации металлов, используемых в качестве наполнителя и связки и отличающихся повышенной вязкостью (например, кобальт). По этим причинам могут возникать «вторичные» дефекты — внутренние напряжения, вспучивания, искривления геометрических форм и т. п. Дефекты снижают прочность поверхностного слоя, увеличивают силу трения, создают условия для возникновения нежелательного эффекта «схватывания» металла стружки с вязкими участками на поверхности твердого сплава. Они служат очагами концентрации напряжений и цен-

трами разрушений, преобладающей причиной поломок и преждевременного изнашивания твердого сплава при эксплуатации инструмента. Поверхности стальных, окончательно обработанных инструментов, также обладают большинством перечисленных дефектов. Кроме того, поверхностный слой металла закаленного инструмента часто содержит в себе скрытые пороки — зашлифованные прижоги, растягивающие внутренние напряжения, зоны водородного насыщения, зоны повышенной концентрации аустенитных структурных включений.

Гидроабразивная обработка поверхностных слоев инструментальных материалов позволяет ликвидировать большинство из указанных дефектов и тем самым увеличить стойкость инструментов на 25—40 %. Процесс выполняют на гидроабразивных установках либо с помощью центробежно-планетарных машин. В качестве рабочих сред применяют абразивные гранулы, бой абразивных инструментов, фарфоровые, стеклянные или стальные закаленные шарики, кварцевый песок. Для обработки пластин твердого сплава успешно применяют абразивный порошок зеленого карборунда марки КЗ 160. Состав рабочего раствора (г/л): триэтаноламин 6—8, калий хромовокислый 9—10 или жидкое стекло 3—4, остальное вода.

Длительность процесса обработки в центробежно-планетарных машинах — 40—60 мин. Целесообразно разделять цикл процесса на два этапа: предварительной и финишной обработки. На первом этапе (10—15 мин) при частоте вращения рабочей кассеты $n = 200$ об/мин притупляются острые кромки на ребрах и вершинах пластин, частично снимается дефектный поверхностный слой. Окончательную обработку выполняют в течение 40—50 мин при $n = 300—500$ об/мин. На этом этапе обеспечивают скругление режущих кромок до радиуса 15—50 мкм и полное снятие дефектного поверхностного слоя. В процессе обработки обеспечивается создание упругих деформаций сжатия, оказывающих положительное влияние на стойкость инструмента. Процесс доступен и экономически эффективен даже при малых партиях упрочняемого инструмента.

Упрочнение чеканкой — упорядоченное ударное воздействие на упрочняемую поверхность. Выполняют спе-

циальными бойками с помощью механизированного инструмента — пневматического, электрического или механического.

Применяют инструменты с единичным бойком и многобойковые ротационные — шариковые и роликовые. Ударные бойки — шары или ролики — расположены в гнездах дисков-роторов. При их вращении в контакте с обрабатываемой поверхностью бойки поочередно наносят удары, создавая эффект наклепа. Ротационную чеканку¹⁰ используют для упрочнения деталей с малой жесткостью или для обработки внутренних поверхностей.

Вибрационно-упрочняющая обработка (чеканка). Разновидность метода чеканки деформирующими бойками, роликами или шариками. При вибрационной отделочно-упрочняющей обработке происходит многократное соударение частиц рабочей среды с деталью, вызывающее поверхностное упругопластическое деформирование. Выполняют в среде вибрируемых стальных закаленных шаров или роликов. Применяют для получения наклепа и образования в поверхностном слое детали сжимающих остаточных напряжений с целью повышения износостойкости и сопротивления усталости.

Наибольшие значения глубины наклепа и остаточных сжимающих поверхностных напряжений достигаются при виброобработке стальными роликами. При обработке деталей с исходным параметром шероховатости поверхности свыше $R_z 20$ мкм возможно ухудшение поверхности и увеличение ее шероховатости.

Лучших результатов достигают при обработке в среде стальных закаленных полированных шаров диаметром 2—16 мм. Шероховатость поверхности можно снизить на два—четыре интервала числовых значений параметра шероховатости.

В процессе отделки и упрочнения поверхности деталей в среде закаленных тел типа шаров происходит улучшение шероховатости поверхности, наклеп и образование сжимающих остаточных напряжений. Глубина наклепа и величина напряжений при этом меньше, чем при обработке в среде роликов. После вибрационной обработки в среде стальных закаленных шаров можно получить параметры шероховатости поверхности детали от $Ra 0,63$ до $Ra 0,040$ мкм. Достигаемые параметры шероховатости

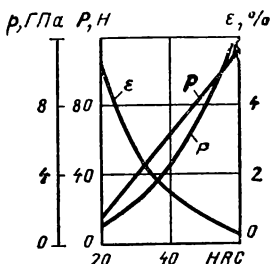


Рис. 6. Зависимость силы P удара, контактных давлений p , степени деформации ε от твердости HRC обрабатываемой стали при вибрационной обработке

детали. Сила P микроудара при обработке деталей, закрепленных в вибробункере со свободно перемещающимися шарами или роликами (вибросредой), может быть определена по формуле

$$P_{\text{зак}} = \frac{m_1 v_1^2}{2} \frac{4R}{r^2} \left(1 - \frac{3}{8} K^2\right).$$

В случае свободной загрузки деталей, т. е. если детали не крепятся к корпусу вибробункера и могут свободно перемещаться в вибросреде, силу микроудара P можно рассчитать по формуле

$$P_{\text{св}} = \frac{m_1 v_1^2}{2} \frac{4R}{r^2} \left\{ \frac{5}{8} \left[1 - (1 + K) \frac{m_2}{m_1 + m_2} \right]^2 + (1 - K^2) \frac{m_2}{m_1 + m_2} \right\},$$

где m_1 и m_2 — приведенная масса частицы рабочей среды и обрабатываемой детали соответственно; v — скорость частицы рабочей среды при ударе; R — радиус частицы рабочей среды; r — радиус отпечатка на обработанной поверхности после удара частицы; K — коэффициент восстановления при ударе.

Контактные давления определяют по формуле $p = P/(\pi r^2)$; степень деформации принимают равной $\varepsilon = r/R$, где R — радиус инструмента (шара или ролика).

поверхности зависят от исходной шероховатости и твердости материала обрабатываемой детали.

Практика показывает, что продолжительность вибрационной обработки не должна превышать 200 мин. Продолжительность можно уменьшить путем увеличения частоты и амплитуды колебаний, изменения характера рабочей среды и искусственного увеличения массы детали (крепление на специальные оправки; обработка нескольких деталей, жестко связанных одна с другой). Наиболее интенсивен процесс обработки при неподвижном закреплении

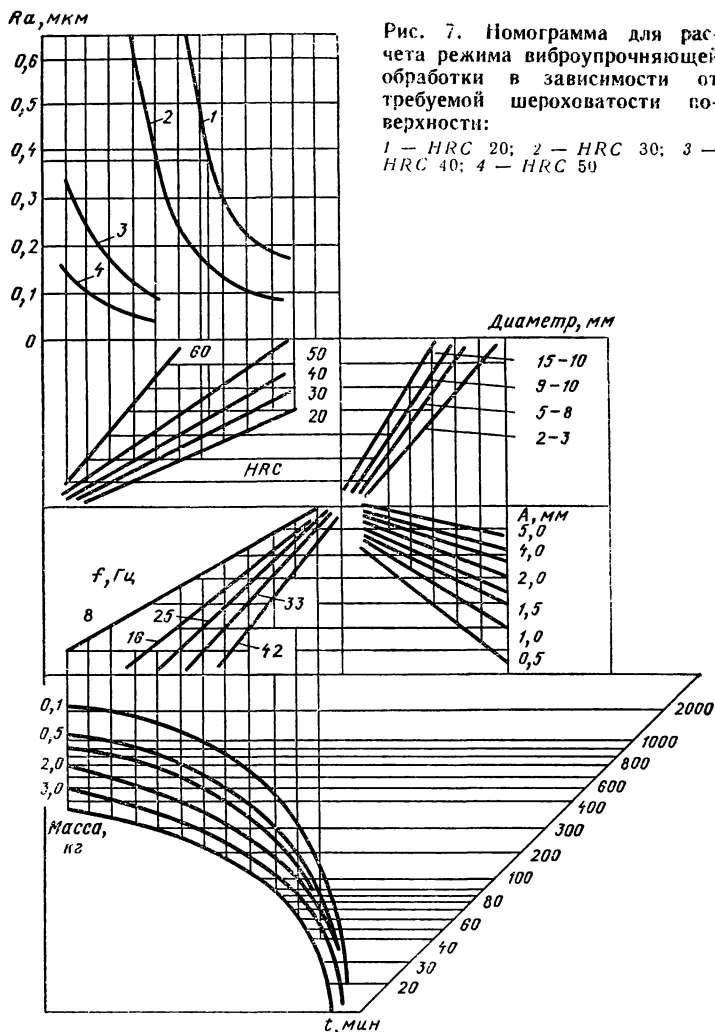
Режим виброупрочняющей обработки зависит от твердости и вязкости обрабатываемого металла. Например, для стали марки 40X с увеличением ее твердости от *HRC* 20 до *HRC* 60 степень деформации уменьшается с 5 до 0,5 %; сила удара увеличивается с 8 до 900 Н; контактные удельные давления увеличиваются с 0,5 до 12 ГПа (рис. 6).

Режим виброупрочняющей обработки можно определить по номограммам в зависимости от требуемой шероховатости поверхности и глубины наклепа. С учетом исходной шероховатости и твердости, характера частиц рабочей среды, частоты и амплитуды колебаний камеры, массы детали определяют продолжительность обработки.

По номограмме на рис. 7 устанавливают режим виброупрочняющей обработки, выполняемой с целью изменения шероховатости поверхности детали. На номограмме приведены данные для обработки деталей с исходными параметрами шероховатости $Ra = 2,5 \div 0,16$ мкм, однако можно обрабатывать детали и с большими параметрами шероховатости.

По номограмме на рис. 8 определяют режим обработки, осуществляемой для получения заданной глубины наклепанного слоя. Глубина наклепа значительно зависит от твердости обрабатываемого материала. Для сталей твердости *HRC* 50—60 глубина наклепа при всех условиях и режимах обработки не превышает 0,1 мм. С уменьшением твердости стали глубина наклепа увеличивается (при одинаковых условиях обработки) и при твердости *HRC* 20 достигает 0,3 мм. При рекомендуемых условиях обработки степень наклепа достигает 30—60 %.

В номограммах приведены данные для расчета режимов виброупрочняющей обработки в среде частиц типа шаров и роликов различного размера, изготовленных из закаленной стали ШХ15 (*HRC* 60—65), деталей из углеродистых и легированных сталей различной твердости и различных структурных состояний: твердостью *HRC* 20 (структура феррит и феррит + перлит); твердостью *HRC* 30 (перлит); твердостью *HRC* 40 (сорбит); твердостью *HRC* 50—60 (мартенсит и троостит). На расчетных режимах проводят виброупрочняющую обработку с постоянной промывкой 3 %-ным водным раствором кальцинированной соды.



Рекомендуемые амплитуды в вертикальной плоскости лежат в пределах 0,5—6,0 мм; диапазон частот: 8, 16, 25, 33 и 42 Гц. Нецелесообразно проводить обработку с частотой колебаний свыше 42 Гц, так как в этом случае нарушается нормальная работа вибрационной установки. При обработке нужно учитывать массу деталей, закреп-

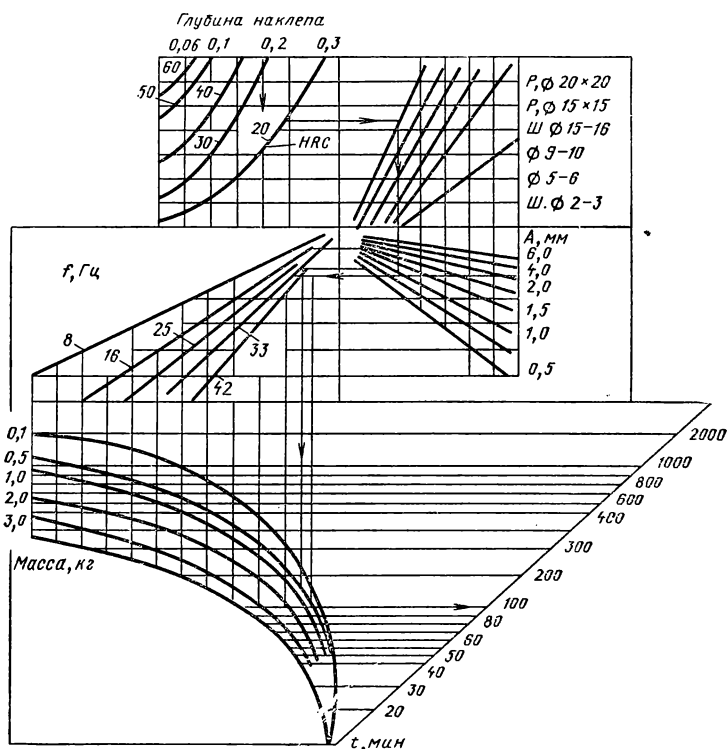


Рис. 8. Номограмма для расчета режима виброупрочняющей обработки в зависимости от глубины наклепанного слоя (P — ролик, Ш — шарик, A — амплитуда колебаний)

лечь их неподвижно. На номограммах приведена масса деталей (0,1—3,0 кг).

Порядок расчета по номограммам: по требуемой шероховатости или глубине наклепа с учетом исходной шероховатости и твердости стали определяют характер рабочей среды, частоту и амплитуду колебаний камеры вибрационной установки. После этого, зная массу детали, определяют значение необходимой продолжительности обработки на установленных режимах.

Вибрационное упрочнение твердых сплавов. Для виброупрочнения твердых сплавов наиболее эффективный вариант — виброабразивная обработка с последующим

виброупрочнением в среде, где в качестве наполнителя используются твердосплавные шарики. Виброабразивную обработку выполняют в абразивных средах, состоящих из порошков и боя абразивных кругов белого и хромистого электрокорунда, черного карборунда, отработавших пластин минералокерамики (например, марки ЦМ332). При виброупрочнении твердосплавных изделий несложной конфигурации форма обрабатываемых тел не оказывает существенного влияния на эффективность обработки. Использование твердосплавных цилиндрических тел дает такой же эффект, как и применение твердосплавных шариков. Производительность виброобработки, качество обработанной поверхности и эксплуатационные свойства твердосплавных изделий зависят от режимов обработки (частота и амплитуда колебаний контейнера, продолжительность процесса) и от природы обрабатываемых сред. Виброупрочнение твердосплавных изделий выполняют при амплитуде колебаний вибробункера равной 2—3 мм, частоте 1500 кол/мин. Время виброабразивной обработки колеблется от 2 ч (для сплавов типа ВК6, ВК8) до 3 ч (для сплавов типа ВК15). Продолжительность виброупрочняющей обработки соответственно равна 3—4 и 1,5—2 ч. В результате виброобработки твердого сплава повышаются его ударная вязкость, предел прочности при изгибе, твердость, снижается шероховатость поверхности. Виброупрочнение — эффективный метод увеличения эксплуатационной стойкости твердосплавных инструментов, особенно тех, где используются механические способы крепления рабочих твердосплавных элементов — режущих пластин, фильер, матриц, калибрующих колец протяжек и т. п.

УПРОЧНЕНИЕ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА

Энергией взрыва можно повысить износостойкость при истирании, твердость поверхностного слоя, пределы прочности и текучести, статическую прочность (сварных соединений в результате сквозного наклепа сварного шва и зоны термического влияния), циклическую прочность (из-за повышения пределов прочности и текучести материала), улучшить качество поверхностного слоя металла. Упрочнение при импульсных нагрузках взрывом суще-

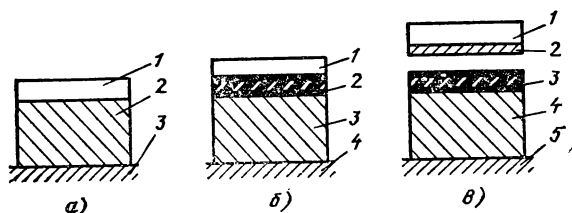


Рис. 9. Схемы процесса упрочнения с помощью взрыва:

а — с укладыванием взрывчатого вещества на поверхность; б — с использованием передающей среды; в — с метанием пластины на поверхность; 1 — заряд; 2 — деталь; 3 — опора; 4 — среда; 5 — пластина

ственно отличается от упрочнения в обычных условиях. При ударе с большой скоростью, свойственной взрыву, эффект упрочнения возрастает по мере увеличения скорости удара. В металле могут возникать высокие локальные температуры, вызывающие фазовые превращения в локальных участках. Одновременно действуют процессы, присущие упрочнению при обычных скоростях деформирования, такие, как двойникование, сдвиги, фрагментация. Упрочнение энергией взрыва осуществляют по схемам, показанным на рис. 9, в зависимости от конструкции и назначения упрочняемого изделия.

Схему упрочнения наложением заряда взрывчатых веществ на упрочняемую поверхность применяют для упрочнения деталей большого сечения в том случае, если к ним не предъявляется высоких требований в отношении шероховатости поверхности и если существует припуск на обработку поверхности, повреждаемой взрывом. Схема эффективна при упрочнении деталей, выполненных методом горячего проката, литья, горячей штамповки (железнодорожные рельсы, звенья цепей экскаваторов, траки гусеничных машин). Ее можно использовать для упрочнения деталей большого сечения, к которым предъявляются высокие требования к точности размеров и шероховатости поверхности. В этих случаях важно определить место упрочняющей обработки в технологическом процессе, предусмотреть припуск на окончательную обработку. Припуск должен быть достаточным для устранения поверхностных дефектов и быть меньше толщины наклепанного слоя. Окончательная обработка резанием не должна сопровождаться появлением высоких

температур и разупрочнением поверхности. Упрочнение по этой схеме используют для повышения износостойкости при трении, статической и циклической прочности.

Схему упрочнения взрывом в передающей среде применяют для упрочнения точных и высокоточных деталей, в том числе деталей сложных геометрических форм. Передающая среда служит защитой обрабатываемой поверхности от повреждений в результате действия взрывчатого вещества. Она передает импульс взрыва взрывчатого вещества и воздействует на обрабатываемую поверхность; регулирует давление и время действия импульса.

Изменением плотности и толщины слоя среды регулируют глубину и степень наклепа материалов различной прочности. Плотность среды должна быть тем большей, чем большую нужно получить глубину и степень наклепа. Чем выше прочность обрабатываемого металла, тем большей должна быть плотность передающей среды.

В качестве передающих сред используют воздух, воду и другие инертные вещества. При использовании воды в качестве передающей среды следует иметь в виду, что в результате неполной смачиваемости на поверхности могут скапливаться мельчайшие пузырьки воздуха. Под действием высокого давления ударной волны происходят микровзрывы пузырьков воздуха, что приводит к значительному повреждению поверхности. Во избежание этого обрабатываемую поверхность покрывают специальными смазочными материалами, обеспечивающими полную ее смачиваемость, или удаляют пузырьки тонкой волосяной щеткой. Стабильность результатов упрочнения во многом зависит от постоянства температуры воды, примененной в качестве передающей среды.

Технологические параметры процесса упрочнения: вид взрывчатого вещества, масса заряда, дистанция взрыва, передающая среда, ее плотность.

Основными источниками энергии при упрочнении металлов взрывом служат гексоген (флегматизированный) и тротил (прессованный и сыпучий). Иногда для получения основного заряда используют детонирующие шнуры, укладываемые соответственно форме детали. Детонирующий шнур ДШ-А — высокобризантное взрывчатое вещество, помещенное в хлопчатобумажную оплетку. Внутри сердцевины по всей длине шнура проходят направляющие нити.

4. Взрывчатые вещества, применяемые при упрочнении металлов

Взрывчатые вещества	Консистенция	Область применения
Гексоген	Флегматизированный	Основной заряд
Тротил	Прессованный	То же
Тротил	Порошкообразный	»
PETN	Пластический	»
ТЭН	В детонирующем шнуре	»
Электродетонатор	—	Вспомогательный заряд Иницирующий заряд
Аммонит	Порошкообразный	То же Основной заряд

Сверху шнур покрыт парафиновой изоляцией. Это позволяет использовать его в воде. Детонирующий шнур создает скорость детонации не менее 6500 м/с. Шнур легко и безопасно можно резать острым ножом на деревянной доске; изготовляют отрезками по 50 м, свернутыми в бухты. Основные характеристики взрывчатых веществ даны в табл. 4.

При необходимости получения малых импульсов энергии в качестве основного заряда используют электродетонаторы различных конструкций. В качестве основного заряда часто применяют так называемые пластические взрывчатые вещества — консистентную пасту, получаемую при смешивании твердых взрывчатых веществ с воском или парафином.

Форма заряда — один из важнейших факторов. Она определяет форму ударной волны и продолжительность воздействия давления на заготовку. Для упрочнения взрывом используют заряды сферической, цилиндрической и плоской формы.

Детонирующую способность заряда цилиндрической формы определяет диаметр заряда.

Инициирование заряда осуществляется с помощью специальных электродетонаторов или через промежуточный (пассивный) заряд, в качестве которого наиболее часто применяется детонирующий шнур ДШ-А.

Расчет зарядов, их подготовку, хранение, монтаж и использование для целей упрочнения металлов пластическим деформированием осуществляют в соответствии со специальными правилами.

УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Электромеханическая обработка (ЭМО) — способ обработки металла термомеханическим местным воздействием на поверхностный слой. При электромеханическом способе упрочнения в процессе обработки детали через место контакта инструмента с деталью пропускают ток большой силы и низкого напряжения (рис. 10). Возникает сильный нагрев неровностей и поверхностного слоя металла, снижаются его прочность и твердость. Давлением инструмента обеспечивают деформацию и сглаживание поверхности, придают ей новые прочностные свойства.

Особенности процесса: тепловое и силовое воздействия на поверхностный слой осуществляются одновременно, а не последовательно. Нагрев при этом сопровождается действием значительных удельных давлений; нагрев поверхностного слоя металла происходит от действия двух источников тепла: внешнего (теплота трения) и внутреннего (теплота, выделяемая при прохождении тока). Особенность второго источника: теплота от него создается одновременно и мгновенно во всем поверхностном слое; длительность нагрева и выдержки в зависимости от поверхности контакта и скорости обработки весьма кратковременна (сотые и тысячные доли секунды); высокая скорость охлаждения из-за интенсивного отвода теплоты от тонкого поверхностного слоя вовнутрь холодной детали. Поверхностный слой подвергается многократным термомеханическим воздействиям в зависимости от числа проходов.

В зависимости от степени влияния на структуру и свойства поверхностного слоя различают следующие виды упрочнения: чистовой скоростной режим с малой глуби-

ной упрочнения; режим со средней глубиной упрочнения; высокий режим с более значительной глубиной упрочнения.

При высоких (интенсивных) режимах упрочнения в поверхностном слое (на значительной глубине) образуется светлая зона. В переходном слое отсутствует значительная пластическая деформация. Режим характеризуется наличием фазовых превращений в структуре стали. Обработка на средних режимах приводит к возникновению в поверхностном слое металла однородной (темной или светлой) зоны. Нижележащий переходный слой сильно деформирован. Режим характеризуется частичным возвратом к зоне однородного поверхностного слоя. При этом если температура нагрева выше A_{c3} , то образуется светлый слой, связанный с фазовыми превращениями, а если ниже A_{c3} , то образуется темный слой. Режимы упрочнения приведены в табл. 5.

Указанные в табл. 5 значения тока и скорости выбирают в соответствии с требованиями к глубине упрочнения. При этом следует иметь в виду, что предельные значения

5. Режимы упрочнения среднеуглеродистых конструкционных сталей

Вид упрочнения	Инструмент	Сила тока, А	Скорость, м/мин	Подача, мм/об	Параметр шероховатости R_a	Глубина упрочненного слоя, мм	Число проходов
Чистовой скоростной режим: с малой глубиной упрочнения	Пластина	350—450	80—130	0,2—0,3	0,63—0,16	0,02—0,03	1—2
	То же	480—600	8—15	0,2—0,3	0,63—0,16	0,06—0,10	2—3
	Ротик	800—1200	8—10	0,2—0,3	2,5—0,63	0,15—0,30	1—2
	То же	480—600	8—15	0,2—0,3	0,63—0,16	0,06—0,10	2—3

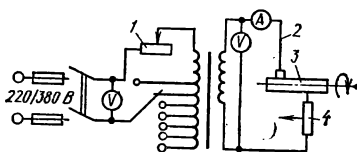


Рис. 10. Принципиальная схема устройства для электропластической обработки:

1 — реостат; 2 — вторичная обмотка; 3 — деталь; 4 — инструмент

этих параметров рассчитаны на типовую геометрию инструмента ($R = 30$ мм, $r = 15$ мм) при обработке деталей средних диаметров (30—60 мм).

При обработке деталей сложной конфигурации или при обработке роликовым инструментом его геометрия может существенно изменяться. В этих случаях необходим расчет площади контакта инструмента с деталью. Плотность тока выбирают для первого режима 200—250 А/мм², для второго 270—320 А/мм², для третьего 400—600 А/мм². Для больших обрабатываемых поверхностей следует выбирать меньшее значение плотности тока.

Глубину упрочнения рассчитывают по формуле

$$\delta = \frac{K\mu(0,24\eta JU + Pvf/42,7)}{cv\rho T_{\phi}},$$

где K — коэффициент, учитывающий количество поглощаемой теплоты; в зависимости от принятых режимов обработки $K = 0,23 \div 0,26$, среднее значение коэффициента при укрупненных расчетах $K_{\text{ср}} = 0,234$; μ — коэффициент, определяющий количество теплоты, создаваемой в зоне контакта и отводимой в упрочняемую деталь; увеличение силы тока приводит к увеличению коэффициента μ , увеличение скорости сглаживания и давления способствует его понижению, для более высоких режимов $\mu \approx 0,6$, для менее высоких $\mu \approx 0,5$; η — коэффициент, учитывающий потери во вторичной цепи трансформатора; для средних условий ЭМО коэффициент η приближенно можно принять равным 0,42; J — сила тока вторичной цепи (см. табл. 5); U — напряжение тока во вторичной цепи, $U = 2 \div 6$ В; p — нормальное давление при сглаживании. При обработке конструкционных сталей p находится в пределах 0,3—0,5 ГПа; v — скорость сглаживания, см/с (см. табл. 5); f — коэффициент трения. Приближенное значение коэффициента трения для среднеуглеродистой стали при средних условиях ЭМО находится в пределах 0,65—0,75; c — удельная теплоемкость металла, Дж/(г·°С); B — ширина контакта, мм; ρ — плотность, г/мм³; T_{ϕ} — температура фазового превращения металла (точка A_{c3}), °С.

На значение усилия электромеханического сглаживания влияют площадь поверхности контакта инструмента с изделием и физико-механические свойства поверхност-

6. Значения коэффициента ω

Скорость рабочего органа машины, м/мин	Температура обработки, °C		
	Ниже 0,5 T	Выше 0,5 T при неполной горячей деформации	Выше 0,5 T при горячей деформации
16—42	1,1	1,4—2,4	1,2—1,6
42—125	1,15	2,4—3,0	1,6—2,0
Более 160	1,25	3,5	2,5

Примечание. T — абсолютная температура плавления.

ного слоя. В свою очередь, поверхность контакта зависит в основном от исходной шероховатости и кривизны контактирующих поверхностей детали и инструмента. В случае, если давление p будет ниже расчетного, то шероховатость поверхности увеличивается. Если давление p будет выше расчетного, процесс сглаживания начинает переходить в процесс высадки и появляется так называемая вторичная шероховатость.

Давление p можно рассчитать по формуле

$$p = \omega K_{\pi} \sigma'_b F \left(\frac{Rz}{Rz - a} \right)^m$$

где ω — коэффициент скорости; K_{π} — коэффициент пропорциональности; σ'_b — предел прочности нагретого металла; F — площадь поверхности контакта; Rz — параметр шероховатости сглаживаемой поверхности; a — сближение инструмента и детали при сглаживании; m — показатель политропы сжатия.

Значения коэффициента ω приведены в табл. 6.

Мощность процесса сглаживания неровностей и упрочнения поверхности электромеханической пластической обработкой можно рассчитать по формуле (пренебрегая величиной работы, совершаемой при подаче инструмента)

$$N_s = Pfv / (60 \cdot 120) \text{ кВт.}$$

При выборе метода упрочнения электромеханической пластической обработкой и установлении ее режимов

следует учитывать состояние исходной структуры металла, его дисперсность и химический состав. Мелкозернистая структура, обладая большим сопротивлением, способствует более интенсивному выделению теплоты, лучшей растворимости легирующих элементов, карбидов, нитридов и более глубокой прокаливаемости поверхностного слоя. Мелкозернистая структура одного и того же металла, обладая большей суммарной поверхностью раздела, отличается меньшей электрической проводимостью. По мере увеличения температуры отпуска электрическая проводимость закаленной стали повышается, что связано с понижением дисперсности ее структуры.

Отдельные составляющие структуры поликристаллов, например, перлит, феррит и цементит, обладают различным сопротивлением прохождению тока. Наибольшее сжатие силового потока и наиболее высокая температура возникают по границам включений или пор. Это обстоятельство имеет важное практическое значение для обработки поверхностных слоев, образованных при восстановлении деталей наплавкой и металлизацией и содержащих много пор и других объемных дефектов.

Если обработку проводят на режиме, при котором отсутствуют фазовые превращения и поверхностный слой имеет темный цвет, то температуру обработки принимают ниже $0,5T_{\phi}$. В том случае, когда обработку проводят с фазовыми превращениями, поверхностный слой светлый, но переходный слой имеет ярко выраженную завихренность (текстурированность), температуру обработки можно принять выше $0,5T_{\phi}$ при неполной горячей деформации. При наличии фазовых превращений в поверхностном слое и резком переходе к исходной структуре без заметной завихренности температура обработки должна быть выше $0,5T_{\phi}$ (горячая деформация). При высоких температурах и значительных давлениях ЭМО можно ожидать появления растягивающих остаточных напряжений в светлом поверхностном слое, несмотря на мартенситное строение его структуры. При умеренных температурах ЭМО ниже точки A_{c3} и небольших давлениях можно ожидать в мартенситной структуре появления сжимающих остаточных напряжений.

При высокотемпературной деформации, когда температура выше A_{c3} , возникает горячий наклеп металла. В ре-

зультате деформированные зерна приобретают мелко-дисперсное строение, уплотняются и срастаются между собой. Поверхностный слой принимает темный цвет. Такой слой металла характеризуется уменьшением объема и, следовательно, появлением растягивающих остаточных напряжений. Давление обрабатываемой пластины при ЭМО создает тангенциально направленную силу трения, которая способствует вытягиванию наружных слоев металла, возникновению растягивающих остаточных напряжений. Избежать этого можно применением вращающегося ролика вместо пластины.

Многократное термомеханическое воздействие на поверхностный слой способствует получению более мелкой, однородной и плотной структуры. При многократном воздействии, характеризующемся числом проходов инструмента по упрочняемой поверхности, показатель поллитропы сжатия можно рассчитать по формуле

$$m = lN/S,$$

где l — длина контакта инструмента с деталью, мм; N — число повторных проходов; S — подача, мм/об.

Твердость упрочненного поверхностного слоя зависит от числа проходов инструмента, скорости сглаживания (скорости пластического деформирования), давления на поверхность в точке (зоне) контакта, а также от физико-химических особенностей металла обрабатываемой детали. При прочих равных условиях твердость возрастает с увеличением количества углерода в стали, числа проходов инструментом, давления на инструмент. Наибольшей твердостью обладает поверхностный слой глубиной 0,02—0,1 мм. Зависимость значения твердости поверхностного слоя стальных деталей после упрочнения электромеханической обработкой от перечисленных факторов иллюстрируется примерами графиков (рис. 11).

Упрочнение методом электромеханической пластической обработки можно выполнить жестко закрепленным инструментом или принудительно вращающимся роликом (рис. 12).

В качестве неподвижного жестко закрепленного инструмента применяют пластины или ролики твердого сплава Т15К6 с двойным радиусом скругления торца;

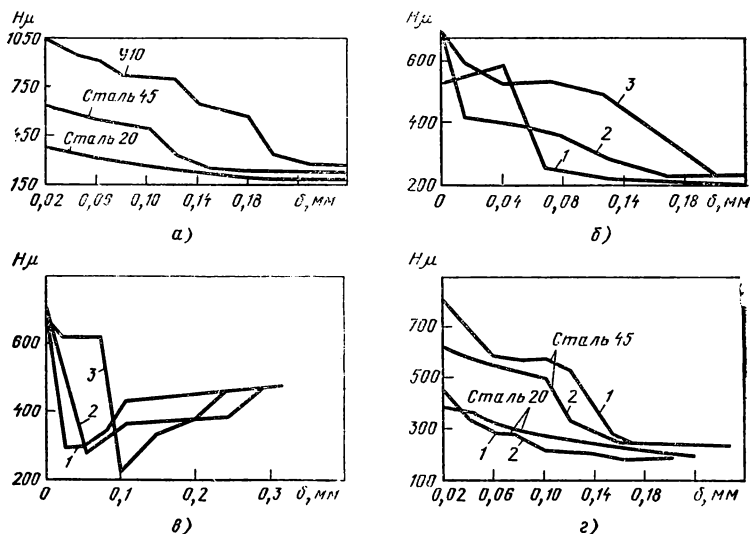


Рис. 11. Зависимость твердости поверхностного слоя от содержания углерода в стали (а), числа проходов инструмента (б), скорости сглаживания (скорости упрочняющей пластической деформации) (в), давления на инструмент (г):

а — $p = 700$ Па, $J = 600$ А, $v = 3,2$ м/мин, $S = 0,195$ мм/об; б — сталь 40X, $HV 318$, $J = 710$ А, $v = 8$ м/мин, $S = 0,2$ мм/об; в — сталь 40X, $HV 536$, $J = 470$ А, $p = 500$ Па, $S = 0,2$ мм/об (1 — $v = 82,2$ м/мин; 2 — $v = 54,1$ м/мин; 3 — $v = 13,6$ м/мин); г — $J = 600$ А, $v = 3,2$ м/мин, $S = 0,195$ мм/об (1 — $p = 100$ Па; 2 — $p = 700$ Па)

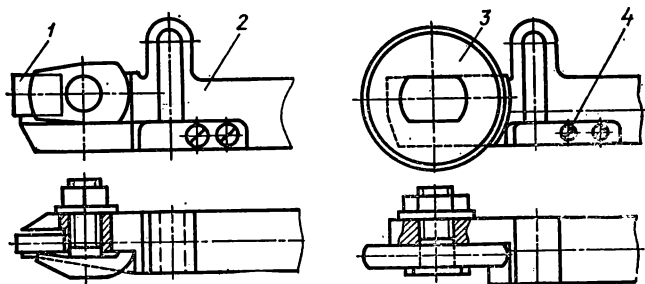


Рис. 12. Примеры конструкций единичных деформирующих инструментов:

1 — давящая твердосплавная пластина; 2 — пружинная однопетлевая державка; 3 — давящий неподвижный твердосплавный ролик; 4 — боковые упоры

например, $R = 25 \div 40$ мм, $r = 15$, где R — радиус в плане; r — радиус профиля пластины (ролика).

При одинаковых режимах ЭМО глубина упрочненного слоя выше при сглаживании неподвижным инструментом. В этом случае имеет место трение скольжения, что приводит к образованию завихренной текстуры поверхностного слоя и более интенсивному измельчению его структуры. Детали, упрочненные неподвижным инструментом, по сравнению с деталями, упрочненными подвижным инструментом, обладают большей выносливостью и износостойкостью. При работе неподвижным инструментом, имеющим радиусный профиль, на нем быстро образуется площадка. Поэтому на радиусе нужно выполнить поясok шириной 0,5 мм, что в несколько раз увеличивает стойкость инструмента. Перед каждой очередной операцией инструмент-ролик поворачивают на угол $10\text{--}15^\circ$ для обновления поверхности контакта.

К недостаткам неподвижного инструмента относится его сравнительно небольшая стойкость. Поэтому он находит применение при обработке небольших поверхностей типа шеек валов. При упрочнении валов диаметром 60—100 мм из среднеуглеродистых нормализованных сталей с параметрами шероховатости до $Ra = 0,63 \div 0,08$ мкм профильный радиус ролика диаметром 45 мм может быть принят равным 15 мм. Режим обработки: сила тока $J = 400 \div 450$ А, подача $S = 0,21$ мм/об, усилие $P = 500 \div 700$ Н.

Упрочнение колец диаметром 60—100 мм, изготовленных, например, из отожженной стали 40Х, можно осуществить неподвижной пластиной из твердого сплава Т15К6 с геометрией $R = 30$ мм, $r = 15$ мм при следующем режиме обработки: $J = 400$ А, $v = 6,5$ м/мин, $S = 0,2$ мм/об, $P = 200$ Н.

Для повышения стойкости инструмента подача при ЭМО не должна совпадать с подачей, применяемой при резании. Целесообразно применять при этом охлаждение сжатым воздухом, эмульсией или любой пожаробезопасной охлаждающей средой. Например, предварительную обточку под сглаживание выполняют при режиме резания $v = 120 \div 130$ м/мин, $t = 0,3$ мм, $S = 0,17$ мм/об резцом из сплава Т15К6, имеющим следующую геометрию: $\gamma = 5^\circ$; $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 30^\circ$, $r = 0,5$ мм. После пред-

варительной токарной обработки параметры шероховатости поверхности соответствуют $R_z = 40 \div 10$ мкм.

При чистовой обработке нежелательно схватывание контактируемых материалов, так как это ведет к образованию нароста на твердом сплаве и резкому увеличению шероховатости поверхности. Поэтому при изготовлении деформирующего инструмента твердые сплавы типа ВК, обладающие большой склонностью к схватыванию, следует заменять сплавами типа ТК.

Преимущества вращающегося ролика: высокая стойкость, возможность упрочнения деталей на большую глубину. Вращающийся ролик применяют при обработке больших поверхностей, когда не предъявляют высоких требований к волнистости, а также во всех случаях при обработке чугуна.

Процесс электромеханической пластической обработки выполняют при постоянном токе. Источниками постоянного тока могут быть мощные низковольтные выпрямители, электромашинные преобразователи, генераторы постоянного тока, сварочные трансформаторы, трансформаторы машин для точечной и контактной сварки и др. При выборе мощности трансформатора следует учитывать продолжительность его включения. При ЭМО она может достигать 30—50 %, что неизбежно отразится на увеличении необходимой номинальной мощности. Для многих процессов упрочнения электромеханической пластической обработкой, в особенности при одновременном использовании нескольких инструментов, а также при обработке крупногабаритных деталей требуется большая мощность источника тока. Необходимая сила тока во вторичном контуре может достигать 2000—3000 А и выше. В этих случаях наиболее подходящими являются трансформаторы для контактной сварки мощностью 25—50 кВт. Диапазон их регулирования при установлении режима процесса может быть расширен введением в первичную цепь трансформатора напряжения 220/380 В. Более плавное регулирование силы тока может быть осуществлено установкой реостата в первичную цепь трансформатора. В генераторах постоянного тока регулирование силы тока можно производить реостатом, включенным в цепь возбуждения.

При использовании выпрямителей регулирование силы тока может быть осуществлено введением в питающую сеть специального автотрансформатора или с помощью мощного ступенчатого реостата, включаемого последовательно в низковольтную цепь (например, от 0,015 до 2 Ом).

Упрочнение быстрорежущих и высоколегированных инструментальных сталей методом электромеханической пластической обработки. Выполняют для поверхностей инструментов, например, сверл, фрез, разверток, зенкеров и других, изготовленных из быстрорежущих и легированных инструментальных сталей, а также инструментов, например, пуансонов, матриц, ножей, изготовленных из высоколегированных инструментальных сталей.

Упрочнению подвергают закаленный, окончательно обработанный инструмент или детали. Электромеханическую пластическую обработку режущих инструментов выполняют по задним поверхностям режущих зубьев. Сложнопрофильные инструменты, например, долбяки, фрезы червячные, резьбонарезные гребенки, резцы зубострогальные и другие, обрабатывают по передней поверхности. Детали типа пуансонов, матриц, ножей и т. п. упрочняют по образующим и торцовым (передним и задним) поверхностям. Электромеханическая обработка инструментальных, в том числе быстрорежущих сталей позволяет создать однородную структуру поверхностного слоя металла на глубину до 0,15 мм, с микротвердостью в 1,3—1,6 раза выше исходной. Стойкость упрочненных режущих инструментов, например, сверл, изготовленных из быстрорежущих сталей типа Р9, в среднем в 1,7—2,1 раза выше, чем у инструментов, не подвергавшихся такому упрочнению.

При установлении режима упрочнения инструментальных сталей электромеханической пластической обработкой нужно учесть следующие особенности — необходимость создания мелкодисперсной структуры поверхностного слоя, обладающей высокой твердостью и износостойкостью, сохранения этих свойств в процессе резания и при повторной заточке, доводке, шлифовании.

В результате электромеханической обработки в поверхностном слое закаленных инструментальных сталей происходят фазовые структурные превращения с образованием мелкодисперсной структуры, обладающей высокой

твердостью и отличающейся высокой отражающей способностью света («белый слой»). На основные характеристики упрочненного слоя влияют электрические, механические и временные параметры режима процесса упрочнения. С ростом силы тока возрастают микротвердость и толщина упрочненного слоя. Увеличение усилия пластического деформирования способствует росту количества дислокаций, и следовательно, созданию мелкодисперсной структуры в поверхностном слое. Дисперсность структуры определяет глубину фазовых превращений и увеличение микротвердости упрочненного слоя.

Вместе с тем в конкретных условиях обработки существует предельное значение силы тока (например, при упрочнении сверл диаметром 20 мм, изготовленных из стали Р9, при электромеханической обработке на режиме $P = 900$ Н, $U = 6$ В, $v = 10,2$ м/мин, $S = 0,2$ мм/об предельное значение силы тока $I = 1000$ А). Превышение предельной силы тока сопровождается выделением такого количества теплоты, которое не успевает отводиться в тело детали. Так как быстрорежущие и подобные им высоколегированные стали обладают малой теплопроводностью, то в результате возникновения большого количества теплоты происходит отпуск закаленной стали и снижение характеристик упрочняемого изделия.

Увеличение давления снижает электрическое сопротивление в зоне контакта, что уменьшает количество выделяемой теплоты. Оптимальное значение радиального усилия при электромеханической обработке пластическим деформированием быстрорежущих сталей для основной номенклатуры инструментов и их типоразмеров находится в интервале 800—1100 Н. Время контакта определяется скоростью обработки. Продолжительность процесса влияет на количество теплоты, выделяющейся в зоне контакта инструмента с деталью. Превышение предельно допустимой продолжительности процесса вызывает появление избыточной теплоты, и, вследствие этого, возникает отпуск закаленной стали, ухудшение качества изделия. Критическую продолжительность процесса следует установить пробной обработкой. Так, для сверл, принятых выше в качестве примера, время обработки на указанных выше режимах, но при силе тока $I = 700$ А не должно превышать 0,09 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов Ю. А. Электроискровое легирование сталей твердосплавными электродами. — Технология и организация производства, 1978, № 3, с. 45.
2. Анельчик Д. Е., Полевой С. И., Евдокимов В. Д. Ремонт: восстановление и испытание инструмента и технологической оснастки. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Техника, 1981. 200 с.
3. Аршинов В. А., Алексеев Г. А. Резание металлов и режущий инструмент. М.: Машиностроение, 1977. 440 с.
4. Аскинази Б. М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 184 с.
5. Бабичев А. П., Устинов В. П. Оптимальные режимы вибрационной отделочно-упрочняющей обработки в бункерах. — Вестник машиностроения, 1975, № 8, с. 64.
6. Баженов М. Д., Байчман С. Г., Карпачев Д. Г. Твердые сплавы: Справочник. М.: Металлургия, 1978. 184 с.
7. Барсов А. И. Технология инструментального производства. 4-е изд. М.: Машиностроение, 1975. 272 с.
8. Бельский Е. И. Упрочнение литых и деформированных инструментальных сталей. Минск: Наука и техника, 1982. 280 с.
9. Бобровский В. А. Электродиффузионный износ инструмента. М.: Машиностроение, 1970. 246 с.
10. Болтарович А. В. Технология нанесения химического никель-кобальт-фосфорного покрытия. — Технология и организация производства, 1983, № 4, с. 36.
11. Болтарович А. В., Луценко С. В. Бесшламное антикоррозионное фосфатирование стальных деталей. — Технология и организация производства, 1981, № 2, с. 47.
12. Болтарович А. В., Луценко С. В. Совмещенный метод фосфатирования стальных деталей. — Технология и организация производства, 1981, № 1, с. 47.
13. Болтарович А. В., Черняк Н. В. Прогрессивная технология фосфатирования стальных деталей. — Технология и организация производства, 1982, № 2, с. 45.
14. Борисенко А. П., Дубко В. Д., Прокопец А. Л. Химико-термическая обработка режущего инструмента из быстрорежущей стали. — Технология и организация производства, 1977, № 3, с. 38.
15. Бродянский А. П., Анельчишина Е. А., Бунда И. А. Упрочнение инструмента на установке «Булат». — Технология и организация производства, 1977, № 2, с. 54—55.

16. Быргазов В. А. Электрополирование деталей из нержавеющей сталей. — Технология и организация производства, 1978, № 3, с. 55.

17. Великих В. С., Гончаренко В. П., Картавцев В. С. Лазерное упрочнение инструментальных сталей. — Технология и организация производства, 1976, № 11, с. 45.

18. Виль В. И. Сварка металлов трением. Л.: Машиностроение Ленингр. отд-ние, 1970. 175 с.

19. Владимиров В. М. Изготовление штампов, пресс-форм и приспособлений. 3-е изд. М.: Высш. школа, 1981. 431 с.

20. Воробьев С. А., Курьеров В. Н., Шевченко В. И. Применение режущего инструмента, упрочненного на установке «Булат». — Технология и организация производства, 1982, № 3, с. 35.

21. Востриков Г. Г., Проскуркин Г. А. Пути повышения стойкости и долговечности инструмента и технологической оснастки. — Тракторы и сельхозмашины, 1977, № 5, с. 39—41.

22. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. 526 с.

23. Геллер Ю. А. Современные инструментальные стали для режущих инструментов и их термическая обработка. М.: Машиностроение, 1972. 47 с.

24. Гладилин А. Н., Малевский Н. П. Справочник молодого инструментальщика по режущему инструменту. 3-е изд. М.: Высш. школа, 1973. 320 с.

25. Гольдберг Б. Удар холодом. — Изобретатель и рационализатор, 1977, № 3, с. 32—33.

26. Гольдштейн М. И., Фарбер В. М. Дисперсионное упрочнение стали. М.: Металлургия, 1979. 208 с.

27. Горбунов Ю. А., Климухин Ю. И., Верхотуров А. Д. Механизированная установка для электроискрового легирования режущего инструмента. — Технология и организация производства, 1980, № 1, с. 40.

28. Горохов В. А. Отделка жаропрочных сплавов поверхностным пластическим деформированием. — Технология и организация производства, 1977, № 3, с. 24.

29. Грибенкин А. Г., Вахитова Н. М. Повышение стойкости режущего инструмента. — Химическое и нефтяное машиностроение, 1977, № 8, с. 29—30.

30. Гринченко И. Г. Упрочнение деталей из жаропрочных и титановых сплавов. М.: Машиностроение, 1971. 120 с.

31. Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали: Справочник. М.: Машиностроение, 1975. 272 с.

32. Дибнер Л. Г. Развитие твердых смазок для покрытия инструмента. — Режущие инструменты. Экспресс-информ., ВИНТИ, 1980, № 4.

33. Жигалко Н. И. Проектирование и производство режущих инструментов. 2-е изд. Минск: Высшейш. школа, 1975. 399 с.

34. Затуловский Д. М., Сафронов В. В. Электромеханическая обработка инструментальных сталей. — В кн.: Исследование процессов производства и проектирование изделий машиностроения. Орел: Приокское кн. изд-во, 1978.

35. Изготовление прессово-штампового инструмента, упрочненного наплавкой/Ю. А. Алимов, Н. А. Падун, В. А. Стражников, Н. Е. Скопенко. — Технология и организация производства, 1981, № 3, с. 33.
36. Инструментальные стали/Л. А. Позняк, С. И. Тишаев, Ю. М. Скрипченко и др. М.: Металлургия, 1980. 244 с.
37. Исследование износостойкости быстрорежущей стали после карбонитрации/Б. Г. Колмаков, Д. А. Прокошкин, В. Г. Грицай и др. — В кн.: Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Минск: Высшейш. школа, 1977, с. 196—197.
38. Кадкевич О. В. Низкотемпературное фосфатирование деталей из углеродистых сталей. — Химическое и нефтяное машиностроение, 1977, № 12, с. 33.
39. Каледин Б. А., Чепан П. А. Повышение долговечности деталей поверхностным деформированием. Минск: Наука и техника, 1974. 231 с.
40. Каменичный И. С. Пособие термисту инструментального цеха. Киев: Техника, 1982. 135 с.
41. Киберев Г. Н., Богодухов С. П. Оптимизация режимов термической обработки сверл из стали Р6М5К5. — Технология и организация производства, 1976, № 12, с. 37—39.
42. Коваленко В. С., Головкин Л. Ф., Забелин В. А. Повышение износостойкости металлорежущих инструментов с помощью лазерного излучения. — Технология и организация производства, 1982 № 2, с. 49.
43. Коваленко В. С., Приходько Н. И., Стрижок А. И. Поверхностное упрочнение деталей с помощью лазера. — Технология и организация производства, 1975, № 7, с. 47.
44. Кокора А. Н., Зулаев В. Б., Коряев Е. Н. Лазерное поверхностное упрочнение деталей оборудования, инструмента. — Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. 1978, с. 127—135.
45. Корсанов В. Д. Справочник мастера по штампам. М.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1972. 191 с.
46. Котомина А. А., Шарлай А. Э. Новые защитные покрытия для крепежных деталей в морской атмосфере. — Технология и организация производства, 1981, № 3, с. 51.
47. Лившиц М. И., Харламов Ю. А. Повышение стойкости матрицы гибочного штампа детонационно-газовым напылением. — Технология и организация производства, 1980, № 2, с. 32.
48. Лоскутов В. Ф., Хижняк В. Г., Пальшин Г. И. Нанесение карбида циркония на поверхность сплавов Т15К6 и ВК8. — Технология и организация производства, 1979. № 3, с. 30.
49. Лошак М. Г. Упрочнение твердых сплавов. Киев: Наукова думка, 1977. 147 с.
50. Мартынов И. Н., Руденко И. А. Установка для упрочнения инструмента. — Машиностроитель, 1980, № 10, с. 24—25.
51. Материалы и методы упрочнения для инструмента полугорячего выдавливания стальных поковок/А. М. Рогалев, А. П. Штаков, А. С. Крыжановский, Т. И. Зенченко. — В кн.: Поверхностное упрочнение деталей и штампов кузнечно-прессовых машин. Воронеж: 1979, с. 76—96.

52. Муханов И. И., Синдеев В. И. Упрочняюще-чистовая обработка стальных деталей лучом лазера и ультразвуковым инструментом. — В кн.: Новые методы упрочнения и обработки металлов. Новосибирск: НЭТИ, 1979. 218 с.
53. Наплавка ножей измельчителей полимерных материалов/ А. П. Чистяков, Ю. Д. Мышко, В. Г. Нечипоренко, С. В. Погорельский. — Химическое и нефтяное машиностроение, 1977, № 8, с. 28.
54. Настасюк И. Г., Глазов Ю. Г. Повышение стойкости инструмента электроискровым легированием. — Технология и организация производства, 1978, № 3, с. 49—50.
55. Определение режимов лазерной термообработки инструментальных сталей/В. С. Великих, В. П. Гончаренко, В. С. Картацев и др. — Технология и организация производства, 1979, № 1, с. 32.
56. Павленко В. Ф. Повышение стойкости пресс-форм путем нанесения вольфрамоникелевого покрытия. — Технология и организация производства, 1983, № 2.
57. Павловская К. К., Романенко Л. Ф. Перспективы замены цианистых электролитов бесцианистыми. — Технология и организация производства, 1974, № 6.
58. Папшев Д. Д., Пронин А. М. Влияние соотношения технологических факторов на степень упрочнения при обработке методами поверхностного пластического деформирования. — В кн.: Новые методы упрочнения и обработки металлов. Новосибирск: НЭТИ, 1979. 218 с.
59. Папшев Д. Д., Пронин А. М. Фрикционно-контактная усталость поверхностей при обработке методами поверхностного пластического деформирования: Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции «Теория трения, износа и смазки». Ч. III. Смазочное действие. Контактные задачи при трении. Ташкент, 1975.
60. Папшев Д. Д., Човнык Л. Н., Маслова Л. Э. Повышение износостойкости режущего инструмента модифицированием поверхностного слоя с упрочнением. — В кн.: Новые методы упрочнения и обработки металлов. Новосибирск: НЭТИ, 1979. 218 с.
61. Певзнер В. Х., Комисаренко Р. И. Упрочнение инструмента плазменным напылением. — Технология и организация производства, 1976, № 11, с. 48—49.
62. Пемехов Г. К., Перпери М. М. Повышение стойкости инструмента и техоснастки электроискровым легированием. — Технология и организация производства, 1978, № 3, с. 51—52.
61. Перняк В. Ф., Шаров А. Д., Голубец В. М. Электроэрозионное упрочнение ковных штампов. — Технология и организация производства, 1974, № 1, с. 49.
64. Повышение износостойкости режущего инструмента из стали Р6М5/М. С. Борушко, В. Н. Барков, В. М. Береснев, С. А. Тихонов. — Технология и организация производства, 1978, № 2.
65. Повышение износостойкости штампов методом электроискрового упрочнения/В. И. Андреев, Н. И. Беда, Б. И. Гинзбург и др. — Технология и организация производства, 1974, № 7, с. 53.
66. Повышение стойкости инструмента вакуумным напылением/ Г. П. Богачев, В. П. Гончаренко, А. И. Маслов, А. Т. Суслов. — Технология и организация производства, 1976, № 11, с. 47—48.

67. Полевой С. Н., Евдокимов В. Д. Обработка инструментальных материалов. Киев: Техника, 1980. 150 с.

68. Применение лазерной закалки для поверхностного упрочнения инструментальных сталей/Е. В. Бративник, В. С. Великих, В. С. Картавцев, А. И. Маслов. — Технология и организация производства, 1980, № 1, с. 42.

69. Редько С. Г., Басков Л. В., Герасимов А. А. Повышение стойкости быстрорежущего инструмента. — Станки и инструмент, 1975, № 1, с. 24.

70. Режущие свойства инструментов с износостойкими покрытиями и их применение в автостроении/П. А. Брахман, А. И. Григоров, М. Д. Киселев, Ю. А. Лопухин. — Технология автомобилестроения, 1980, № 1, с. 10—13.

71. Романенко А. А., Яценко Н. Н., Кудря Г. А. Особенности технологии электроискрового упрочнения инструмента. — Технология и организация производства, 1977, № 3, с. 52—54.

72. Савчак К. А., Некрасов В. М. Повышение износостойкости штампов холодного деформирования. — Технология и организация производства, 1979, № 4, с. 31.

73. Сац Е. Ф. Применение способа местного хромирования при ремонте оборудования. — Технология и организация производства, 1982, № 4, с. 52.

74. Смольников Е. А., Ткаченко В. И. Влияние обработки в жидком азоте на стойкость режущего инструмента. — Станки и инструмент, 1980, № 6, с. 22—24.

75. Смольников Е. А., Шевченко А. Н., Ткаченко В. И. Особенности термической обработки прецизионного зуборезного инструмента. — Станки и инструмент, 1977, № 4, с. 27—29.

76. Тарасов А. Н. Химико-термическая обработка шлицевых и отрезных фрез из быстрорежущих сталей. — Технология и организация производства, 1978, № 2, с. 41.

77. Тимошенко В. А., Иванов В. И., Коваль Н. П. Оптимизация параметров поверхностного слоя инструмента, формируемого электроискровым легированием. — Электрофизическая обработка металлов, 1979, № 5, с. 82.

78. Ткаченко Ю. Г., Парканский Н. Я., Юрченко Д. З. Износостойкость покрытий, полученных электроискровым нанесением порошков в электрическом поле. — Электронная обработка материалов, 1980, № 2, с. 31—33.

79. Увеличение долговечности ведущих дисков гидрокоробки автобуса ЛАЗ/В. Ф. Булич, Н. Я. Шевченко, А. И. Величко, З. В. Лисогорова. — Технология и организация производства, 1978, № 3, с. 39.

80. Упрочнение инструментальных сталей на лазерной установке «Квант-18»/Е. Ц. Браславский, В. П. Гончаренко, В. С. Картавцев и др. — Технология и организация производства, 1983, № 1, с. 51.

81. Федюкин В. Ф., Труш Н. А., Дмитриев П. А. Применение электроискрового упрочнения инструментов из быстрорежущих сталей. — Технология и организация производства, 1975, № 9, с. 54.

82. Фиргер И. В. Термическая обработка сплавов. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982. 304 с.

83. Футорянский Ю. В. Эффективные методы упрочнения стальных изделий. Куйбышевск. кн. изд-во, 1978. 88 с.

84. Хромирование шеек крупногабаритных валов/Г. С. Волкова, Э. Н. Картошкин, К. М. Гланцева, В. Е. Хабенко. — Технология и организация производства, 1977. № 3, с. 58.

85. Шельвинский Г. И., Клинов А. А. Гидродробеструйное упрочнение штампов холодной штамповки. — В кн.: Поверхностное упрочнение деталей машин и инструментов. Куйбышев, 1976.

86. Шилов П. М., Руденко В. А., Банатов А. П. Упрочнение стальных деталей при электромагнитной обработке. — Технология и организация производства, 1980, № 4, с. 45.

87. Электрохимическое полирование изделий из инструментальной стали/В. В. Орехова, Ф. К. Андрущенко, А. Г. Мозговая и др. — Технология и организация производства, 1979, № 1.

88. Юдицкий А. И., Дорофеева А. И. Повышение стойкости металлорежущего инструмента из быстрорежущей стали. — Технология и организация производства, 1976, № 9, с. 38—39.

89. Юрасов С. А., Кариман М. Г., Соколова Н. Х. Износостойкое диффузионное покрытие на инструментальных сталях. — В кн.: Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Минск: 1977, с. 184—185.

90. Юртенсон А. А. Азотирование в жидких средах. — Металловедение и термическая обработка, 1974, № 3, с. 42.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Азотирование — Режимы 116, 117, 120, 134, 135 — Сущность процесса 114, 121, 125, 133
— газовое 115, 120
— ионное в тлеющем разряде 133

Алитирование — Режимы 179, 181 — Составы флюсов 181 — Сущность процесса 178

Б

Борирование — Методы 137 — Назначение 136 — Режимы 137, 138
— Составы насыщающих сред 137, 140—145 — Сущность процесса 136

— безэлектролизное 147
— газовое 137, 144
— жидкостное 137, 142
— пастами 145
— порошками 137, 138
— электролизное 137

Бороалитирование — Режимы 153, 154 — Составы среды 154

Боромеднение — Режимы 153 — Составы среды 154

Боросульфидирование — Режимы 146 — Составы среды 146

Борохромирование — Назначение процесса 146 — Режимы 147 — Составы среды 146, 148
— электролизное 148 — Режимы 149

Бороциркониование — Назначение процесса 154 — Режимы 155 — Составы среды 154, 155

В

Ванадирование — Назначение

процесса 164 — Режимы 164, 165, 167 — Составы среды 164 — 167

Вибрационно-упрочняющая обработка — Назначение процесса 289, 94 — Режимы 290—293
— твердых сплавов 293, 294

Г

Гидроабразивное упрочнение — Назначение процесса 287 — Режимы 288 — Составы среды 288 инструментальных сталей 288, 289
— твердых сплавов 287

Д

Диффузионное насыщение поверхности соединения — См. также под названием каждого метода, например: *Азотирование*, *Борирование* и др.

— азота 114
— бора 136
— сложными 164
— хрома 155

З

Закалка

— в двух жидких средах 24
— изотермическая 14, 22
— инструментальных сталей 45
— несквозная 24
— полная 14
— светлая 25
— с непрерывным охлаждением 14
— с обработкой холодом 26
— с ограниченным пребыванием в охлаждающей среде 24
— с подстуживанием 15

- с самоотпуском 24
- ступенчатая 14, 23

И

Ионно-плазменная обработка — Многослойные покрытия 273 — Сущность процесса 268, 275 — осаждение из газовой фазы при термическом испарении 269 — осаждение способом катодно-ионной бомбардировки в вакууме 274

К

Карбидизация сложнолегирующими элементами — карбованадийтитанирование 166

- карбониобирование 171
- карбонитрирование 109

Контроль

- качества термической обработки 68
- люминесцентный 68
- сплошности 68
- твердости 68
- тепловой 67
- ультразвуковой 69

Криогенные методы упрочняющей обработки — Влияние элементов 74 — Восстановление размеров инструментов 80 — Источники криогенных температур 83 — Приборы для измерения криогенных температур 83 — Режимы 78 — Свойства после обработки 74 — Стабилизация размеров и формы деталей 80 — Структурные превращения после криогенной обработки 72 — Технологические процессы 75

Л

Лазерная закалка — Назначение процесса 231 — Режимы 232—237 — Технологические рекомендации 232, 233, 234, 235 — Управление процессом 234

Лазерно-криогенная обработка — Назначение процесса 237 — Технологические рекомендации 237, 238

Лазерно-ультразвуковая обработка — Назначение процесса 238 — Режимы 239 — Технологические рекомендации 238, 239

Лазерное упрочнение стеллита — Назначение процесса 235, 236 — Режимы 236, 237 — Технологические рекомендации 236, 237

М

Метод упрочнения воздействием магнитного поля — Назначение процесса 241 — Режимы 243, 244 — Сущность процесса 239—241 — Технологические рекомендации 241—243

Н

Наплавка

- легирующими металлами — Назначение процесса 244, 248, 251 — Режимы 246, 247, 250 — Состав наплавленного металла 251 — Технологические рекомендации 244, 245, 247, 248 — твердыми сплавами 252

Напыление порошками

- детонационное — Назначение процесса 255 — Режимы 255 — Сущность процесса 255 — плазменное — Назначение процесса 256 — Режимы 256 — Технологические рекомендации 257

Ниобирование — Назначение 174 — Режимы 174

Нитроцементация

- в твердых смесях 106
- высокотемпературная 102
- газовая 99, 104
- низкотемпературная 99
- пастами 106

Нормализация — Сущность процесса 13 — Температурный режим 13

О

Обработка паром инструментов из быстрорежущих сталей — Назначение процесса 184 — Режимы 184 — Состав среды 184

— Технологические рекомендации 184

Отжиг

- диффузионный 11
- изотермический 10
- инструментальных сталей 9
- на зернистый перлит 10
- неполный 10
- низкотемпературный 10
- полный 9
- рекристаллизационный 9

Отпуск — Виды процесса 40 — Назначение процесса 39 — Режимы 15, 45 — Технологические рекомендации 40—42, 44 — Цвета побежалости 41

Очистка деталей после термической обработки

- абразивными зернами 69, 71
- металлическим песком 69
- ультразвуком 70

П

Правка после термической обработки — Способы правки 65 — в горячем состоянии 66 — в холодном состоянии 67 — с подогревом 67 — в штампах и приспособлениях 66

С

Силицирование — Назначение процесса 182 — Режимы 182 — Составы среды 182 — Технологические рекомендации 183

Старение — Назначение процесса 46 — Режимы 44 — Составы среды 44

Сульфидирование — Назначение процесса 175, 176 — Режимы 175 — Составы среды 175 — Технологические рекомендации 175

Сульфацирование — Назначение процесса 176 — Режимы 178 — Составы среды 177 — Технологические рекомендации 177, 178

Т

Термическая обработка — Техно-

логические рекомендации 47—56

— в контролируемых атмосферах 63

— зенкеров 49

— калибров 56

— метчиков 49

— плашек 54

— протяжек 55

— резцов из быстрорежущих сталей 51

— сверл 47

— шаблонов 56

— штампов 57

Титаноалитирование — Назначение процесса 182 — Режимы 181 — Составы среды 181

У

Улучшение — Назначение процесса 44 — Режимы 46 — Технологические рекомендации 46

Упрочнение металлов — Классификация методов 5—7 — См. также под названием каждого метода, например: *Азотирование*, *Борирование* и др.

Упрочнение

— пластическим деформированием — Назначение процесса 278 — Расчет усилий и давления на деформируемый элемент 281, 283 — Режимы 280—285 — Твердость упрочненной поверхности 279

— роликами 282

— чеканкой 288

Х

Химическое никельборирование — Назначение процесса 219 — Режимы 220 — Составы растворов 219, 220 — Технологические рекомендации 219, 220

— никелирование — Назначение процесса 225, 226 — Режим 225, 226 — Составы растворов 224, 225 — Технологические рекомендации 225, 226 — Улучшение с использованием твердых наполнителей, вводимых в ни-

келевое покрытие 225
— никель-кобальт-фосфатирование — Назначение процесса 220 — Определение качества 223, 224 — Режимы 220, 221, 225 — Составы растворов 220—222, 224 — Технологические рекомендации 220—223 — никель-фосфатирование — Назначение процесса 218, 219 — Режимы 218 — Составы растворов 218 — Технологические рекомендации 218
— молибденирование — Назначение процесса 224 — Режим 224 — Составы растворов 224 — Технологические рекомендации 224
— твердыми пастами 228 — Назначение процесса 238 — Составы паст 228—230 — Стойкость инструментов после молибденирования пастами 229 — Технологические рекомендации 229—231
— фосфатирование — Назначение процесса 212 — Подготовка поверхности 212 — Режимы 213, 214 — Составы растворов и технологических сред 213—216 — Технологические рекомендации 212—215, 217 — Технологический процесс одновременного обезжиривания, травления и фосфатирования 216
Хромоалитирование — Назначение процесса 163 — Режимы 163 — Составы рабочих смесей 156, 157, 163 — Технологические рекомендации 157
Хромирование диффузионное — Назначение процесса 155, 156 — Режимы 158, 159 — Составы рабочих смесей 156, 158, 159 — Технологические рекомендации 157—159
— в вакууме 160
— пастами 160
— в порошках 156
Хромосилицирование — Назначение процесса 161 — Режимы 161 — Состав рабочей смеси

161 — Технологические рекомендации 161

Хромотитанирование — Назначение процесса 160 — Режимы 160, 161 — Состав рабочей смеси 160, 161 — Технологические рекомендации 160, 161

Ц

Цементация — Режимы, составы рабочих смесей, технологические рекомендации 85, 93—95
— газовая 95
— в жидкой среде 94
— пастами 93
— твердыми карбюризаторами 85

Цианирование — Контроль качества 133 — Режимы 130, 131 — Составы рабочих сред 129
— высокотемпературное 128
— в пасте 133
— в твердых смесях 133
— низкотемпературное 126
— среднетемпературное 128

Циркосилицирование — Назначение процесса 169 — Режимы 169, 170 — Составы среды 169—171 — Технологические рекомендации 169—172

Циркотитанирование — Назначение процесса 168 — Режимы 169 — Составы рабочей среды 169 — Технологические рекомендации 168, 169

Э

Электроискровая обработка — Назначение процесса 259, 260 — Режимы 264—266 — Технологические рекомендации 261—265 — Электроды 267, 268

Электролитическое биникелирование — Назначение процесса 202, 203 — Режимы 202, 203 — Составы рабочей среды 202, 203 — Технологические рекомендации 203

— кадмирование — Назначение процесса 200 — Режимы 200 — Составы рабочей среды 200, 201
— меднение — Режимы 202 —

Составы рабочей среды 202 — Технологические рекомендации 202

— никелирование — Назначение процесса 196—198 — Режимы 196—198 — Составы рабочих сред 196—198 — Технологические рекомендации 196, 197, 199

— полирование — Назначение процесса 207 — Режимы 208, 210, 212 — Составы рабочих сред 208—210 — Технологические рекомендации 207—210 — Устранение дефектов 211

— хромирование — Назначение процесса 188 — Режимы 189—192, 195 — Составы рабочих смесей 188—191, 195 — Технологические рекомендации 188—196

— цианирование — Режим 200 — Состав рабочей среды 200 — Технологические рекомендации 200

— цинкование — Режим 201, 202 — Состав рабочей среды 201
Электромеханическая пластическая упрочняющая обработка — Назначение процесса 298 — Расчет 301, 303 — Режимы 299, 302, 307, 308

— твердость 303

— пластинчатыми инструментами 303—305

— роликами 305, 306

Электрофоретическое упрочнение — Назначение процесса 203, 204 — Режимы 204, 206 — Составы рабочих сред 204, 205 — Технологические рекомендации 204—206



Сталин Наумович Полевой, Вадим Дмитриевич Евдокимов

УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Редактор Е. В. Медведева
Художественный редактор С. С. Водчик
Технический редактор Н. М. Харитонова
Корректоры А. П. Озерова и О. Е. Мишина

ИБ № 4627

**Сдано в набор 15.04.85. Подписано в печать 02.12.85. Т-22903. Формат 84 × 108¹/₃₂.
Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 16,8. Усл. кр.-отт. 16,8. Уч.-изд. л. 18,15.
Тираж 24 500 экз. Заказ 127. Цена 1 р. 30 к.**

**Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение»,
107076, Москва, Стромынский пер., 4.**

**Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10.**