

В. Д. ЕВДОНИМОВ
С. Н. ПОЛЕВОЙ

ОТ МОЛОТКА ДО ЛАЗЕРА



Искусство
Москва

**В. Д. ЕВДОКИМОВ
С. Н. ПОЛЕВОЙ**

ОТ МОЛОТКА ДО ЛАЗЕРА

**Издательство «ЗНАНИЕ»
Москва
1987**

Авторы: ЕВДОКИМОВ Вадим Дмитриевич, родился в 1931 г., в 1955 г. окончил Одесский политехнический институт. Доктор технических наук, профессор, работает в Одесском технологическом институте; ПОЛЕВОЙ Сгалии Паумович, родился в 1929 г., в 1952 г. окончил Одесский политехнический институт. Кандидат экономических наук.

Рецензенты: В. Н. Лозовский — доктор технических наук, профессор; Н. В. Олейник — доктор технических наук, профессор; А. В. Якимов — доктор технических наук, профессор.

Евдокимов В. Д., Полевой С. Н.

Е 15 От молотка до лазера.— М.: Знание, 1987.— 192 с.— (Наука и прогресс).

40 коп.

60 000 экз.

Орудия труда — с их созданием началось шествие человека по ступеням исторического развития. Особая роль здесь досталась инструментам, с помощью которых люди, чтобы удовлетворить свои материальные и духовные потребности, превращали природный материал в необходимые для жизни предметы. Какими эти инструменты были, как они совершенствовались и видоизменялись — об этом и рассказывает книга. В центре внимания авторов инструменты, предназначенные для обработки металлов, и их последующее разделение на ручные и машинные.

Для широкого круга читателей.

Е $\frac{2101000000-014}{073(02)-87}$ 40-87

ББК 3

ВВЕДЕНИЕ

Перед вами лежит книга. Как следует из названия, в ней должна пойти речь и о молотке и о лазере. И молоток, пришедший к нам из глубины каменного века, и лазер — гордость современной науки, применяются в настоящее время для обработки материалов. Однако не только молоток или лазер использует человек в своей трудовой деятельности. Существуют еще и другие разнообразные инструменты, которые заполняют «дистанцию огромного размера» между молотком и лазером. Таких инструментов очень много. С помощью одних осуществляют обработку резанием со снятием стружки. К ним относятся, например, резцы, сверла, фрезы и шлифовальные круги. Другие же стружку не образуют, но зато деформируют исходную заготовку по заданной форме. Это штампы. Они позволяют быстро получить готовую деталь, точно выдержав все размеры. Но есть и такие, которые по своему принципу действия настолько отличаются от обычных механических инструментов, тех же резцов и штампов, что порою их даже как-то неприлично назвать инструментами.

Совсем не похожи на механические инструменты луч лазера, электрическая искра или вода, но и они находят свое все большее применение при обработке материалов.

Инструменты — орудия труда. С их созданием началось шествие человека по историческим ступеням развития. Первые каменные топоры, молоты, тесла и другие орудия сыграли исключительно важную роль в становлении человека. Они провели грань между человеком и остальным животным миром. Посмотрите вокруг себя, отвлекитесь на мгновение от повседневных забот, обратите внимание на окружающие предметы и задайте себе вопрос, с помощью чего они сделаны. И окажется, что все они, от ложки и иголки до автомобиля и океанского лайнера, изготовлены с участием тех или иных инструментов. Инструменты стоят у истоков цивилизации. Им принадлежит самая деятельная роль в ее развитии.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили инструменты механического, силового действия, которые в общем плане можно разделить на ручные и машинные. Первые человек непосредственно дер-

жит в руке и осуществляет с их помощью полезную работу. Вспомните молоток, напильник или ручную пилу. Однако труд становится более производительным и менее утомительным, когда на помощь приходят станки, которые выполняют требуемые для обработки движения. Для машинных инструментов обязательно необходимы станки. Без таких инструментов любые, даже самые умные и сложные станки превращаются в дорогие бездейственные экспонаты, а сами инструменты становятся ненужными предметами. Кстати, без специальных устройств, приборов, станков не проявят свою мощь ни луч лазера, ни электрическая искра.

Сделать инструменты нелегко, да и правильно и рационально их использовать не так уж просто. Здесь тесно переплстаются задачи инструментальной промышленности и многие проблемы других производств, где инструменты находят свое каждодневное применение. Кроме того, инструменты, как и органически связанные с ними разнообразные методы обработки материалов, постоянно совершенствуются. Возникают и новые прогрессивные решения. Вполне очевидно, что без научного поиска, конструкторских разработок и новаторства в деле создания или улучшения инструментов невозможно обойтись. Поэтому в нашей стране так нужны рабочие, техники, инженеры и ученые, страстно влюбленные в профессию, обладающие большим багажом специальных знаний и умением воплощать задуманное в действительность. Но этого мало. Молодое пытлиное поколение находится в поиске своего пути в жизни. Оно жадно впитывает и потребляет информацию, особенно имеющую отношение к выбору профессии. А выбрать профессию мучительно тяжело, тем более техническую, которая не каждому по плечу и даже пугает весьма преувеличенным ореолом сложности. Чтобы в определенной степени облегчить задачу выбора профессии, заинтересовать широкий круг читателей, испытывающих склонность к технике, и даже в какой-то мере расширить кругозор производителей, учителей и преподавателей, авторы и задумали написать популярную книгу об инструментах.

Итак, прочтя книгу, вы познакомитесь с самыми разнообразными инструментами, которые применяются для обработки материалов. Это в настоящее время приобретает особое значение, когда развернута большая работа

по политехнизации школы, трудовому обучению и выбору специальности молодежью; когда жизненно необходимо, чтобы каждый человек нашей Родины участвовал в трудовой деятельности или готовил себя к ней, особенно в сфере производства; когда свершение наших грандиозных планов зависит только от нас самих.

ПРИШЕЛЬЦЫ ИЗ КАМЕННОГО ВЕКА

Не всем, конечно, но, можно надеяться, многим удалось когда-нибудь побывать в археологическом музее. Там среди экспонатов каменного века часто размещают искусно выполненную фигуру первобытного человека. Не заметить ее нельзя. Коренастый, сутулый, изрядно покрытый волосами, с низким лбом, с приплюснутым носом и тяжелым подбородком, уж очень он напоминает человекообразную обезьяну — орангутана, гориллу или шимпанзе. А в руке он держит массивную округлую гальку, палку или даже каменный топор. И не просто держит. Весь его облик говорит о том, что это не случайно найденный предмет, а скорее всего орудие труда, защиты и нападения.

Впрочем, обезьяна ведь тоже может держать камень или палку и даже совершать с их помощью определенные целенаправленные действия. Однако «ни одна обезьянья рука не изготовила когда-либо хотя бы самого грубого каменного ножа... Труд начинается с изготовления орудий» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч.—Т. XX. С. 487, 491). Создание самого примитивного орудия провело грань между человеком и животным и стало исходной определяющей вехой в историческом развитии человека.

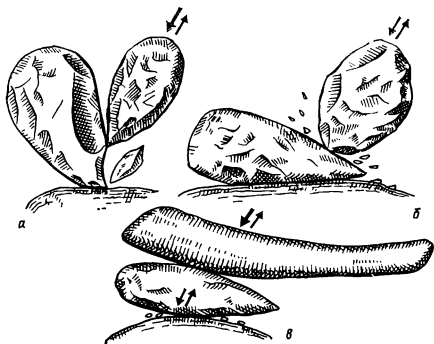
Наиболее древнему человеку нашей Земли — питекантропу (от греческого «питекос» — обезьяна и «антропос» — человек), части скелета которого были впервые раскопаны на острове Ява в 1891 г. и, скорее, давали представление об обезьяноподобном существе, чем о человеке, было свойственно изготовление грубых каменных орудий. Питекантропы жили около одного миллиона лет назад. Следующее звено в становлении челове-

ка — синантроп. Его останки были найдены в 1927 г. при раскопках древнего становища в пещере близ Бейпина (Пекина). Название «синантроп» произошло от Sina (Китай) и греческого *ánthropos*. В этой пещере были обнаружены не только каменные орудия, но и следы использования огня. Близким по развитию к синантропу был гейдельбергский человек, нижнюю челюсть которого обнаружили в 1907 г. в Германии у Гейдельберга. И наконец, неандерталец. Останки этого человека найдены при работах в Неандертале близ Дюссельдорфа в 1856 г. Хотя неандерталец был обнаружен раньше питекантропа и синантропа, но по уровню развития он стоял выше их и больше приближался к современному человеку. Определенное представление об этом дают данные о вместимости черепа, или об объеме мозга. Так, горилла имеет объем 600—685 см³, питекантроп — 800—900, синантроп — 1000—1100, неандерталец — 1100—1600 и современный человек — 1200—1700 см³.

По сравнению с современным человеком неандерталец был с виду несколько неуклюжим и массивным, с более примитивными чертами лица. И если его можно было бы одеть в современный костюм и поместить среди пассажиров автобуса, то, как считают ученые, он не привлек бы к себе особого внимания. При этом он смог бы, если ему толково объяснить, разобраться в мелких монетах. Но вот питекантропа, даже одетого в самый изысканный костюм, все поспешили бы скорее оставить в пустом автобусе: предки предками, а своя жизнь, что ни говорите, все-таки дороже...

Среди экспонатов каменного века в музеях бережно хранят каменные орудия. Не спешите с равнодушием и превосходством человека XX в. пройти мимо. Остановитесь, вслушайтесь в далекую тишину веков... И камни оживут: они уже не безмолвные экспонаты музея, а единственное орудие в руках древнейшего человека, величественные свидетели и самые непосредственные участники его борьбы за выживание.

Слышатся далекие удары камня о камень... Снова удары камня о камень... И хотя все в объемной музейной панораме пещеры вместе с фигурой первобытного человека неподвижно, представляются неторопливые движения его руки с камнем, а по сосредоточенному виду становится ясной важность и сложность совершаемо-



Р и с. 1. Путем удара в каменном веке осуществляли изготовление каменных орудий: а — сколом крупных кусков; б — ударной ретушью; в — контрударной ретушью

го... Удары камня по камню, снова удары... Идет процесс изготовления каменных орудий.

Непросто отколоть от массивного куска кремня пластинки и сделать ручное рубило порядка 25 см длиной. Оно должно иметь острую рабочую часть и удобный округлый захват для руки. Лучше всего для этой цели подходит большая удлиненная галька. Вода и песок в бесконечном своем движении ее уже отполировали. Остается только осуществить необходимые сколы, чтобы сделать камень с одной стороны острым. С куском кремня в виде булыжника работы побольше. Сразу не все получается. Или кремь дает сколы не в требуемом направлении, или ударный камень раскалывается. Но настойчивость, диктуемая необходимостью борьбы за существование, и приобретаемый навык в конце концов дают свой положительный результат.

Ручные рубила и отщепы в раннем палсолите около миллиона лет назад были весьма грубо сделаны. Однако со временем техника обработки камня совершенствовалась. Помимо больших сколов, стали применять так называемую ретушь. Ее осуществляли легкими ударами. В

результате от камня откалывались небольшие пластинки. Такая обработка не только делала орудие более удобным в работе, но и упрочняла его, особенно вблизи заостренной части. Орудия синантропа, стоящего на более высокой ступени развития, чем питекантроп, изготавливались уже с использованием ударной ретуши. Затем, в конце раннего палеолита, появилась контрударная ретушь. Она позволяла откалывать от почти готового каменного орудия не пластинки, как при ретуши, а совсем маленькие чешуйки. Прямым ударом каменного ударника по каменному орудю очень мелкую ретушь получить трудно. Вот и придумал человек каменного века более совершенную технологию. Орудие прижималось к каменной наковальне, а затем по нему наносились слабые и частые удары деревянной палкой. При многократных отскоках и ударах о каменную наковальню с поверхности орудия, обращенной к наковальне, отслаивались чешуйки. Попробуйте это проверить сами. Может быть, получится.

Удары камня по камню, сколы, снова удары камня по камню... камни, зажатые в руках... А рядом лежит древко с утолщением на конце.

Чего проще, скажет любой из нас, соединить камень и палку и сделать... топор или молот.

Постойте! Давайте вместе поразмыслим об этом «чего проще...»

Чего проще, например, перенести отверстие с тупой стороны иглы на противоположную сторону, поближе к его острию? Очень просто! Но это простое решение было предложено сравнительно недавно, в прошлом веке, и только оно позволило создать первую швейную машину «Зингер», перейти от ручного шитья к машинному, вызвать бурный рост швейно-машинного производства. А ведь иглами для шитья человечество пользуется много тысяч лет...

Чего проще сделать колесо? Любой мальчик изготовит его быстро. В центр круглого диска он вставит ось и... колесо готово! Однако высокоразвитые древние цивилизации Центральной Америки и Юкатана — тольтеков, майя и ацтеков, которые прокладывали в джунглях и в горах широкие каменные дороги, строили храмы высотой более 60 м из массивных каменных блоков, имели высокоточные календари и серьезные познания в математике, не знали колеса. Это простое, но важное для раз-

вития техники и общества конструкторское решение так и не было ими найдено...

Чего проще придумать действующую модель планера или вертолета по детскому конструктору? Как сделать, в нем все описано, надо только потрудиться. А ведь великий механик, строитель, ученый и художник эпохи итальянского Возрождения Леонардо да Винчи, предложивший впервые в XV в. идею вертолета и сделавший чертежи, так никогда и не запустил его в воздух...

Любопытный психологический парадокс: сделано оригинальное изобретение, предложено полезное конструкторское решение, но проходит какое-то время, и мы удивляемся. Оригинальное? Да что тут оригинального! Так все просто, так очевидно, ничего особенного, любой бы смог придумать... За тем, что стало уже привычным, обыденным, мы перестаем видеть прежнюю новизну, движение творческой мысли. Предположим, вам понадобился молоток. Вы идете в магазин, но там по какой-то причине готового к употреблению молотка не оказалось. Лежат отдельно на прилавке головка и рукоятка. Ну что ж, вас это нисколько не смущает, потому что вы знаете: нет ничего проще, чем взять эту головку и насадить ее на рукоятку. Вам в эту минуту и в голову не приходит, что за вашим знанием стоит опыт поколений, он достался вам в наследство. И началось накопление опыта с тех давних-предавних времен, когда какому-то сообразительному первочеловеку пришлось в голову соединить вместе камень и палку, чтобы получилось удобное орудие для охоты.

В марте 1910 г. «Одесские новости», откликаясь на полеты русского летчика Михаила Ефимова, писали: «Наши дети и внуки, для которых летание людей по воздуху будет таким же обычным делом, каким для нас является езда в трамвае, не поймут наших вчерашних восторгов. Потому, что в вещах, ставших повседневными, чудесного никто не замечает...» Что верно, то верно: так уж мы устроены...

Вернемся, однако, к камню и палке. Нашему предку предстояло соединить их вместе, чтобы получился либо первый молоток, либо первый топор. Как он мог это сделать?

Можно привязать уже обработанный камень к дереву и получить орудие более сложное, чем отдельные его составляющие. И не только более сложное, но и более

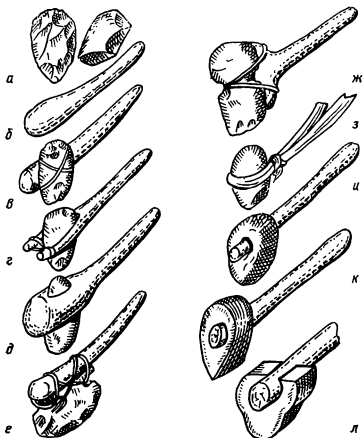


Рис. 2. Не так уж и легко прикрепить обработанный камень к деревянной рукоятке и создать надежное орудие труда. Вот как это делали в каменном веке: сначала обработанный камень (а) и отдельно от него палка-дубинка (б); камень привязан сбоку (в); зажат рогатиной (г); вбит в древко с утолщением (д); камень с двумя обработанными канавками для фиксации ремня (е); камень привязан в рукоятке с ее торца (ж); просто обвязан жгутом (з); в каменной или деревянной ударной головке сделано круглое отверстие (и); отверстие продолговатое (к); коническое и со срезом по плоскости (л)

эффективное. Надо только додуматься до такого решения и к тому же научиться вязать узлы. Попутно заметим, что современные люди в значительном большинстве знают всего один-два узла. А их существует много, что подтверждают, в частности, моряки и работники швейных фабрик. Камень, привязанный сбоку древка, не очень-то удобен в работе. Он соскальзывает, проворачивается вокруг деревянной рукоятки. Вот если его вста-

вить в рогатину и концы ее плотно стянуть веревкой, обвязав при этом и сам камень, то крепление станет надежнее.

Иначе поступали древние шинги. Они вбивали заостренный камень в утолщенное древко. При ударах таким топором рубило с обратным клином еще больше проникало в дерево, что повышало надежность крепления. Аналогичный способ применяли и племена с берегов Боденского озера. С тем отличием, что рукоятка была меньше по диаметру, то есть не имела большого утолщения на конце, да и камень в нее проникал не насквозь. Интересное крепление было придумано древними перуанцами. В ударной головке они делали две глубокие выборки, а на рукоятке — небольшую плоскость. Через эти выборки пропускали полосу из кожи, с силой притягивая ударную головку к рукоятке. И опять прочные узлы... А вот индейцы Северной Америки привязывали ударную головку, пожалуй, более оригинальным способом. В камне также были две выборки. Но в одну из них входил упор молоткообразной деревянной рукоятки. Он ограничивал смещение ударной головки. Полагаем, что такое крепление отличалось достаточной надежностью. Во всяком случае в техническом смысле оно превосходит простое обвязывание ударного камня лианой или полоской кожи животного без использования древка, которое применяли древние австралийцы.

Как видите, в показанных выше решениях каменная ударная головка закреплялась на рукоятке без применения отверстия. Человек каменного века научился сверлить отверстие не сразу. Но все же в палеолите появились топоры и молоты с отверстиями для рукоятки. Сначала отверстие делали круглым, а затем продолговатым. В продолговатом отверстии деревянная рукоятка не проворачивалась, хотя камень имел возможность с нее сползать в осевом направлении. Эта малоприятная «особенность» современных топоров и молотков всем нам хорошо знакома. Так вот, отверстие в массивном каменном орудии делали с двух сторон, то есть сверлили навстречу друг другу. По используемой тогда технологии отверстия получались конические: чем глубже в камень, тем диаметр меньше. Поэтому отверстие в каменном орудии как бы состояло из двух конусов. Хорошо это или плохо? Как «издержки» технологии — плохо, а для повышения надежности крепления ударной каменной головки к

деревянной рукоятке — хорошо. Почему хорошо? Ответим на вопрос песколько позже.

А сейчас посмотрите на топор, найденный археологами в Греции. С тыльной части его ударной головки вдоль оси отверстия снята лыска. Коническое отверстие оказалось раскрытым. Для чего это сделано мастерами каменного века? Возможно, для удобства получения одного конуса с внутренней шлифовкой через образовавшуюся щель. А может быть, эта щель позволяла забивать в рукоятку каменный или деревянный штифт, чтобы расклинить ее, или сама рукоятка имела крепкий сучок, препятствовавший провороту головки относительно рукоятки? Впрочем, это не более чем наше предположение.

Итак, отверстие для крепления ударной головки топора или молота к рукоятке является достоянием каменного века. Последующий за ним бронзовый, а затем и железный век ничего более существенного и надежного в эту конструкцию не внесли. И это несмотря на то, что техника обработки металлов достигла достаточно высокого уровня.

Бронзовые насадки, например, у кельтских топоров имели углубления в виде карманов. В них плотно забивали изогнутую часть древка. Скорее всего это был крепкий сучок. Чтобы насадка не соскакивала, ее снабжали проушиной. Веревка притягивала насадку к древку. Делали и кольцевое крепление, которое мало чем отличалось от кармана. Археологи находят «кельты» бронзового века и с загнутыми проушинами. А медный топор шумеров, живших некогда на юге Месопотамии, делался из цельного листа путем кузнечной обработки. Он имел гнутый профиль и специальную отбуртовку, предохраняющую стягивающую веревку от соскальзывания. Заметим, что в момент удара все усилие приходилось на место стяжки, а не на цельный металл.

Нельзя сказать, что не было попыток обойтись вообще без отверстия в ударной части молотка. Примером может служить молоток из железа московских ремесленников, относящийся к началу XVII в. Его ударная часть откована заодно со стержневым держателем. Для удлинения на стержень с зазубринами набивали деревянную ручку. Но все же большее предпочтение отдавалось отверстию. А у топоров оно делалось треугольной формы, как у современных. Даже бородки на обухе то-

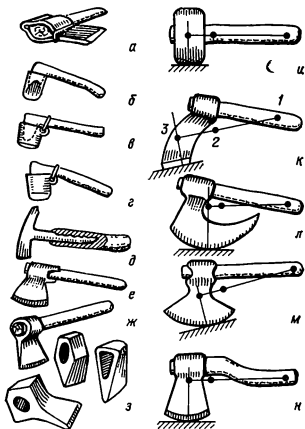


Рис. 3. Бронзовые и железные топоры: а — шумерский медный топор; б — г — бронзовые «кельты»; д — железный молоток московских ремесленников XVI—XVII вв.; е — проушенный топор XVII в.; ж, з — железные топоры древности с разной формой отверстия и ударной части; и — каменный топор-молот; к — бронзовый топор (1 — центр удара; 2 — центр тяжести; 3 — точка удара); л, м — разновидности древнерусских железных топоров; н — топор с изогнутой формой рукоятки XIX—XX вв.

пора, которые предохраняют деревянную рукоятку от прямых ударов, поломок и улучшают крепление, пришли к нам из глубины веков.

Ударный камень применялся от эолита до конца бронзового века. В соединении с деревянной ручкой он превращается в топор, молот, молоток. Однако наиболее универсальным орудием считают не молот, а топор. Его даже относят к первичному инструменту. Несмотря на то что оба эти инструмента при работе требуют обязатель-

ного удара, тем не менее они существенно различаются по результатам действия. Лезвие топора расклинивает, расслаивает, режет, рубит, расчленяет материал за счет своей остроты и повышенной твердости. Молоток так же отдает свою кинетическую энергию для производства полезной работы. Забить, выбить, переместить, согнуть, пластически деформировать, разбить, раздробить, отдать энергию другому инструменту — вот для чего служит молоток.

Работая таким вроде бы простым инструментом, как топор, многие, естественно, не думают о его эффективности. Между тем у этого «простого инструмента» не все так просто. К нему, как и к самой сложной современной машине, приложимо понятие «коэффициент полезного действия». Он, как известно, определяется отношением полезной работы ко всей затраченной. В любом случае где-то теряется какая-то часть энергии. Даже на преодоление сопротивления воздуха при движении топора, генерирование звуковых колебаний и пр. Коэффициент полезного действия всегда меньше единицы. В идеальном случае он равен единице. От чего же зависит коэффициент полезного действия топора или молота? Оказывается, от положения центра тяжести. Чем ближе к линии удара расположен центр тяжести, тем больше этот коэффициент. Получается, что ручное рубило, зажатое без древка в ладони первобытного человека, имело наибольший коэффициент полезного действия! При подъеме, взмахе дело обстоит именно так. Вы сами, вероятно, заметили, что поднять вверх топор тем легче, чем ближе к обуху взяли за рукоятку. Другое дело при опускании, так сказать, при рабочем движении топора. Тут уж любой старается использовать всю длину рукоятки. Вот здесь и проигрывает ручное рубило в сравнении с топором. Получается, что при работе с топором или молотком, с одной стороны, надо держаться поближе к ударной головке, обуху, с другой — подальше. Вот и выберите золотую середину.

Посмотрите теперь на расположение центра тяжести (2), точки удара (3) и центра удара (1) у каменного, бронзового, железного древнерусского топора и современного. Коэффициенты полезного действия у них соответственно равны 0,90; 0,84; 0,94 и 0,80—0,94. Получается, что современные топоры имеют коэффициент полезного действия меньше, чем топоры XV—XVIII вв., и не

очень-то далеко «оторвались» в этом отношении от топоров каменных. Мягко даже сказано. Некоторые имеют и худшие показатели. В чем же дело? Не ошибемся, если скажем, что в далеком прошлом топор был центральной фигурой, главнейшим орудием, инструментом. Его делали мастера своего дела, вкладывая в работу душу, опыт предков и смекалку.

К инструментам всегда относились с почтением, а в древности даже с суеверием. Особенно много суеверий было вокруг каменных орудий первобытного человека. Так, римский полководец Гальба верил, что каменные топоры обладают предсказательной силой. В книге К. Вейлэ «Элементы человеческой культуры», выпущенной Госиздатом в 1923 г., рассказывается, будто 12 таких топоров нашли на дне вычерпанного по приказу Гальбы озера в Калабрии.

Случайно обнаруженные каменные орудия служили талисманами; их носили на груди для храбрости; ели в перетертом виде с пищей, чтобы самому быть здоровым; подсыпали пудру из каменных топоров и молотков в вино и пищу врагам и недругам, чтобы их одолел недуг и чтобы от них отвернулось счастье; клали топор под крышу дома, чтобы не было пожара. По утверждению Плиния Старшего, наличие каменного талисмана у полководца помогает взятию городов. Не мудрено, что в наполеоновские времена топор стал эмблемой власти.

Даже боги нисходят до общения с инструментами и посещают кузни, свидетельствуют древние эллины языком высокохудожественной керамики. На «мечарской» чаше, хранящейся в Лувре, изображена Афина, которая передает Гераклу медную палицу из кузницы Гефеста, а рядом видны молот, клещи, плавильная печь.

Поклонялись орудиям не только те, кто искал в них суеверное подтверждение своим корыстным планам, но и мастера, для которых инструмент, их умелые руки и трудовой пот позволяли хоть как-то прокормить семью. Не случайно поэтому древнеиндийские ремесленники поклонялись кузнечным орудиям и богу Лоха-Сур, который, по поверью, жил в плавильных печах и любил получать в жертву черную курицу.

А с каким теплом и уважением относились в русской деревне еще недавнего прошлого к кузнецу и его молоту. Это и понятно, так как умелый кузнец мог сделать много полезных вещей, они были для простых людей

олицетворением труда, силы, искусства, покровительства и справедливости. В одной из славянских свадебных песен поется: «О святой Кузьма-Демьян, приходи на свадьбу к нам со своим святым кузлом и скуй ты нам свадебку...»

Святое кузло — это молот, инструмент счастья.

Топор — одно из самых древнейших орудий, созданных человеком. И что не менее важно, сохранившееся до наших дней, хотя, конечно, не оно сейчас определяет уровень развития техники. Менялось техническое оснащение человеческого труда — менялось и отношение к топору. Когда-то выражение «топорная работа» и было всего лишь признанием того факта, что то или иное изделие сработано при помощи одного лишь топора. Нынче же то же самое мы говорим, когда имеем дело с некачественной, грубой работой, хотя топор тут, конечно, ни при чем.

Как тут не вспомнить нашего соотечественника Фролова — талантливого сверстника и друга Ползунова. Четыре машины Фролова, построенные начиная с 1783 г. для подъема руды и откачки воды на Змеиногорском руднике, имели самые большие в мире деревянные колеса. При их сооружении без топора не обошлись. Диаметр колес равнялся высоте современного пятиэтажного дома, и они были предназначены для тяжелых условий работы на шахтах. По сравнению с колесами Фролова блекло грандиозное водяное колесо голландского архитектора Ренкина, подававшее воду в фонтаны Версальского парка и считавшееся одним из дворцовых чудес французского короля Людовика XIV.

Много можно привести примеров, когда дерево применялось при изготовлении разнообразных машин, станков, сооружений и парусных кораблей. Обработывалось оно инструментами, среди которых достойное место занимал топор. Поэтому отдадим ему должное независимо от того, из чего он был сделан — из железа или из камня.

Кстати сказать, каменные топоры, молоты, тесла были весьма эффективны в работе, что практически доказал профессор С. А. Семенов со своими студентами¹ в 1958 г. Применяв каменный неолитический топор, они срубили ель диаметром 25 см за 20 мин, а с помощью тесла выдолбили за 10 дней четырехметровую лодку из вековой сосны диаметром 60 см.

Топор перестал широко применяться, как прежде, не потому, что он стал плохим. Просто в силу технического прогресса появились новые материалы и инструменты, их обрабатывающие. Новые машины требовали новой технологии обработки и инструментов. Поэтому топор занял среди большого разнообразия инструментов свое скромное, но достойное место. А там, где есть в нем потребность, он, безусловно, применяется. Собственно говоря, это относится к любому инструменту. Скажем, если необходима стамеска, то не берут пилу...

Но все же по широте распространения в настоящее время молотку повезло больше. Он имеется почти в каждой семье, не говоря уже о мастерских и машиностроительных заводах.

Каков же он, молоток современности, дошедший к нам из каменного века? Прежде всего он состоит из трех частей: из ударной головки, рукоятки и клина. Молотки стандартизированы. В стандартах четко оговорены форма, размеры, масса, материал и прочие требования, которые следует неукоснительно соблюдать при изготовлении молотков. Для информации заметим, что на государственных стандартах всегда имеется лаконичная надпись: «Несоблюдение стандарта карается по закону». Это напоминание тем, кто любит допускать вольный подход к серьезному делу. Значит, мы выяснили, что молоток — дело серьезное.

Итак, перед нами головки слесарных молотков. Они разнятся формой бойка и носка. Круглый, квадратный, сферический боек в сочетании с клиновидным или сферическим носком дает разное очертание ударных головок. И применяются они для разных целей. Так, клиновидным носком осуществляют местное расплющивание, вытягивание, высаживание металла, а сферическим — расклепку. Бойки не имеют острых углов и сделаны с фасками. Благодаря фаскам при сильных ударах не происходит откалывания кусочков металла от бойка, да и сам он не оставляет острых вмятин на поверхности изделия. Не удивляйтесь, если увидите, что ударная поверхность бойка сделана по сфере большого диаметра. Таким молотком легче работать, сцентрировать удар. Отметим, что ввести в полное соприкосновение при ударе плоскую поверхность бойка с плоской торцевой поверхностью шляпки обыкновенного гвоздя практически тя-

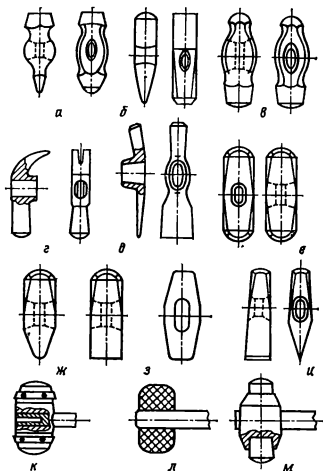


Рис. 4. Молотки бывают разные: а — с круглым бойком; б — с квадратным бойком; в — со сферическим бойком; г — с раздвоенным носком; д — молоток-кирочка; е, ж — кувалды; з — молот древности; и — кузнечное зубило; к — киянка; л — с резиновой ударной головкой; м — со сменными насадками

жело даже опытному работнику, потому и делают боек со сферической поверхностью.

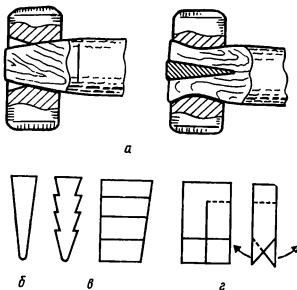
Слесарные молотки изготавливаются от 0,05 до 1,0 кг. А вот кувалды потяжелее. Их масса доходит до 16 кг. Одной рукой такой кувалдой весь день не поработаешь. Да никто и не требует размахивать кувалдой, ухватившись одной рукой. Ее поднимают и опускают чинно, взявшись двумя руками за длинную рукоятку. Кувалдой работают кузнецы, путейцы, строители-монтажники и многие другие. Раньше вообще нельзя было представить кузнеца без молота-кувалды. Молоты древности имели

размеры ударных головок порядка 18—25 см. Сравните железный молот, найденный археологами в Шотландии при раскопках свайных построек, с современной кувалдой. Почти те же формы, размеры, фаски, продолговатые отверстия для рукояток. Не сиамские близнецы, но все же похожи!

Помимо молота, кувалды, кузнцы применяют и так называемые кузнечные зубила. Ими можно, используя удар, перерубить нагретую или холодную металлическую заготовку, прутки. С одной стороны зубило заострено, а с другой имеет сферическую поверхность. По сферической поверхности кузнечного зубила наносят удар молотком. Бывает, что обходятся и одним зубилом, действуя им как топором. Топором по металлу. Литейщикам также не чужд молоток. Есть у них киянка. Киянка представляет собой молоток с цилиндрической ударной головкой, сделанной из дерева. Для большей прочности со стороны ударных бойков, а их два, надеты стальные кольца, закрепленные шурупами. Такой молоток используют при ручном изготовлении песчаных литейных форм и стержней.

Далеко не все молотки делают из прочных конструкционных или инструментальных сталей, да и еще с последующей термической обработкой. Пример киянки не единичен. Существует много молотков с «мягкими» головками из меди, свинца, резины, пластмассы. Их применяют в тех случаях, когда недопустимо оставлять на поверхностях деталей, листов вмятины и прочие дефекты. Иными словами, «мягкий» молоток не должен повреждать поверхность, по которой наносится удар. Слесари-сборщики механизмов и машин, а также рихтовщики испытывают к таким молоткам особое почтение.

Займемся теперь важным делом — закреплением ударной головки на рукоятке. Сразу обнаруживаем, что отверстие в ударной головке на входе расширено, поэтому процесс забивания в него рукоятки облегчен и даже приятен. Головка уже держится на рукоятке и так просто не соскальзывает, хотя отверстие имеет уклоны. Почему не соскальзывает? Весь секрет в величине угла наклона стенок отверстия. Он выбран с таким расчетом, чтобы обеспечить самоторможение головки на рукоятке. Условие самоторможения известно: угол наклона α должен быть меньше или равен углу трения ϱ . Между коэффициентом трения f и углом трения ϱ существует простая



Р и с. 5. Двойной уклон в овальном отверстии и клин позволяют надежно закрепить ударную головку молотка на рукоятке (а). Лучше гладкого клина (б) клин с уступами (в) или раздвижной (г)

зависимость: $\rho = \arctg f$. Положите ту же ударную головку на доску и начните медленно поднимать доску за один конец до тех пор, пока головка не сдвинется с места. Наконец, головка сдвинулась и поползла вниз по доске. Это произошло потому, что силы трения не могут больше удерживать ее на наклонной плоскости. Уж слишком большим стал угол наклона доски. Так вот, пока осуществляется самоторможение силами трения, головка молотка неподвижна и на доске и на рукоятке. Самоторможение трением широко используется в технике.

Но продолжим закрепление головки на рукоятке, так как не все резервы использованы. На головке молотка в отверстии для чего-то сделаны обратные уклоны и с другой ее стороны. Забитая деревянная рукоятка на выходе из ударной головки в этом месте может даже оставить небольшую щель или неплотное прилегание. Если бы теперь каким-либо образом расширить дерево рукоятки на выходе из ударной головки, то можно получить как бы двухсторонний замок. В действительности так и поступают, забивая с торца специальную деталь — клин. Лучше всего применять клин с зазубринами в виде елочки. От обратного смещения он будет самотормо-

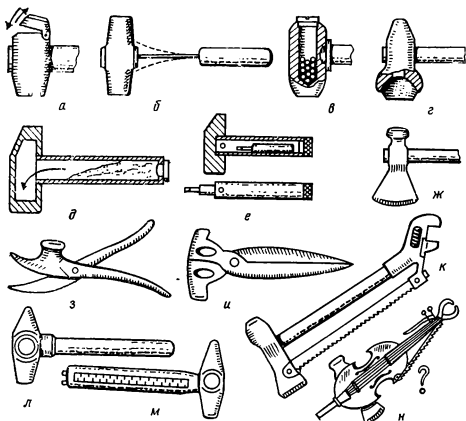


Рис. 6. Изобрести можно не только велосипед, но и молоток: а — с дополнительной насадкой; б — с плоской пружинной; в — с шариками; г, д — с самоустанавливающейся полусферой; е — со сменными насадками; ж — молоток-топор; з — молоток-ножницы XVII в.; и — молоток-пожницы XX в.; к — молоток-топор-ножовка-раздвижной ключ; л — молоток с линзой; м — молоток с линзой и линейкой, а также с кернером и чертилкой в рукоятке; н — молоток, топор, отвертка, пила, клещи и ...скрипка (приложение авторов к молотку — к)

зиться не только силами трения, но и своими уступами. Можно применить и другое весьма оригинальное стопорное устройство. Оно представляет собой стальную пластинку с прорезью и двумя клиновидными скосами. При забивании в дерево пластинки две ее полосы благодаря скосам раздвигаются в разные стороны и тем самым обеспечивают закрепление головки на рукоятке и к тому же стопорится само устройство.

Вот вам и простой молоток! Настолько простой, что вроде бы и изобретать в нем больше нечего. Однако пылкий человеческий ум и здесь нашел себе пищу. Покажем это на примерах.

Всем известно, что молоток после удара отскакивает от поверхности. Уменьшить величину отскока, поглотить энергию отдачи можно путем применения молотка с подвижной дополнительной насадкой на оси. При рабочем движении металлическая насадка как бы отстает от основной головки, которая первая и совершает главный удар. В начальный же момент отскока основная головка молотка получает дополнительный удар от насадки, которая и гасит отдачу. Неприятно только, что молоток работает с пристуком. Вместо подвижной насадки в головку молотка можно заключить тяжелый стержень, а для того чтобы уменьшить пристуки, залить в полость масло. В результате удар от стержня будет демпфирован. Неплохо это делают и свинцовые шарики. И шума меньше, и эффект отскока отсутствует.

Мы уже знаем, что коэффициент полезного действия молотка зависит от положения его центра тяжести. Если бы при рабочем ходе сделать тяжелее головку, а при подъеме молотка — его рукоятку, тогда... То есть чтобы и волки были сыты, и овцы целы. В определенной степени в молотке удалось совместить противоречивые требования путем перемещения его центра тяжести вдоль рукоятки. Рукоятка и даже головка в таком молотке делаются полыми. В полость помещают ртуть или шарики. При подъеме молотка ртуть, например, переливается поближе к руке, а при ударе делает более тяжелой ударную головку. Мы не знаем, как работает таким молотком. Может быть, хорошо.

Всем известно, как гнутся гвозди при неудачном ударе молотком. Сфера большого радиуса на ударной части головки молотка не всегда бывает эффективна с точки зрения центрирования силы удара вдоль оси гвоздя. Другое дело молоток с самоустанавливающимся бойком в ударной головке. Ударная поверхность такого бойка плоская, а вот его обратная сторона сделана в виде полусферы. И опирается она на полусферу. Сложновато, но зато в молотке утверждается принцип самоустановки, издавна широко применяющийся в более сложной технике.

Часто молоток объединяют с другими инструментами. Не для того чтобы молотку «не было скучно». А для того, чтобы разные инструменты находились в нужный момент под рукой. Посмотрите на молоток с полой рукояткой, внутри которой помещен набор отверток. Доста-

точно отвинтить ударную головку и на ее место установить стержень отвертки, как мы тут же получим другой инструмент — отвертку. Пользуйся отверткой на здоровье, однако не теряй ударную головку! Такое здесь может случиться, но только не в оригинальном сочетании молотка и ножниц. Они сделаны заодно. Посмотрите на железный молоток-ножницы Руси начала XVII в. и на молоток-ножницы по английскому патенту XX в. Идея, как видите, одинаковая. Трудно только оценить преимущество более поздней разработки. Так же, как и синклит молотка, разводного ключа и... ножовки английского «детиса» 1918 г. Можно еще привести примеры. Однако на фоне соединения в одном изделии молотка и топора они не будут выглядеть столь практически оправданными. Примечательно, что топор и молот — древнейшие инструменты каменного века; в древности их часто объединяли в одном орудии, да и теперь можно встретить в виде одного комбинированного инструмента.

Конечно, изменить или улучшить молоток не так-то просто. Слишком солидный возраст у этого инструмента, его усовершенствованием занималось не одно поколение мастеровых, а сам объект не столь уж «просторен» для приложения изобретательских усилий. И все-таки... Слесарь А. И. Белов вмонтировал в молоток — что бы вы думали — увеличительное стекло. Лупа и молоток — сочетание, поражающее своей неожиданностью. Но автор изобретения утверждает: зато удобно. Слесари-разметчики с ним согласны: видишь место на детали, куда надо поставить керн, и видишь сам керн — не промахнешься.

Остановимся теперь на гербе нашей страны. Его история начинается с Декрета «О памятниках Республики», подписанного В. И. Лениным 12 апреля 1918 г., в котором выдвигалась задача создания произведений и символов, отражающих жизнь советского общества. С образованием СССР, что зафиксировано в декларации I съезда Советов 30 декабря 1922 г., встал вопрос о создании государственных герба и флага. Внеконкурсный проект герба, разработанный картографом В. Н. Андриановым и выполненный художниками В. П. Корзуном и И. И. Дубасовым, был утвержден в сентябре 1923 г. А в первой Конституции СССР, принятой II съездом Советов 31 января 1924 г., имеется официальное описание герба. В 1946, а затем в 1956 г. в герб были внесены из-

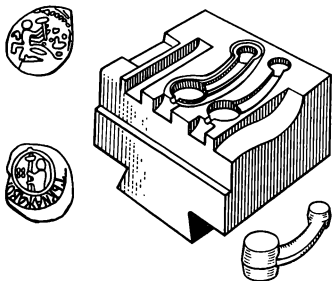
менения, но они не коснулись его символического смысла. Снова посмотрите на герб. В центре герба на фоне земного шара помещены пересекающиеся серп и молот. Они характеризуют нерушимый союз рабочих и крестьян. И несмотря на то что молот уже давно не является основным инструментом в руках советского рабочего, тем не менее он как бы воплощает в себе исторические традиции рабочего класса, символизирует героический и напряженный труд тех, кто своими руками создает материальные ценности.

УДАР, ЕЩЕ УДАР

Далеко не в каждом археологическом музее можно увидеть русские монеты, сделанные в XIV в. во времена правления московского князя Дмитрия Донского. И тем более монеты, на которых показан процесс их изготовления.

Перед нами одна из таких монет. На ней изображен денежник-кузнец, который сидит на низкой скамейке и держит над головой в правой руке тяжелый молоток. Рядом с ним на подставке находится высокая наковальня с неподвижной матрицей. Есть и верхний пуансон, на котором, как и на нижней матрице, сделан рельеф будущей монеты. Между пуансоном и матрицей помещался расплющенный слиток серебра. Одним сильным ударом по верхнему пуансону кузнец не только высекал наружный контур монеты, но и делал на ней с двух сторон выпуклый профиль. Так во второй половине XIV в. появились в Московском великом княжестве первые чеканные монеты. При Василии I, сыне Дмитрия Донского, чеканка монет получила широкое распространение на Руси. До этого, в IX—XVI вв., при расчетах использовали гривну, а в конце XIII до середины XIV в. неклеяменный слиток серебра — рубль. Интересно, что содержание серебра в гривне в количестве не менее 90 % было строжайше определено князем Мстиславом в 1229 г.

С помощью одного комплекта, состоящего из железного пуансона и матрицы, изготавливали большое количество одинаковых монет. Понятно, что аналогичным методом можно было сделать не только металлические



Р и с. 7. На русских монетах XIV в. изображен процесс их изготовления с помощью удара; многоручьевые современные штампы достаточно сложны

деньги, но и другие предметы. И чем крупнее они должны были быть, тем сильнее следовало ударять молотком, чтобы произошла деформация заготовки и она приняла потребную форму.

Для повышения эффективности удара стали увеличивать массу молотка и дошли до кувалды. Мы о ней уже говорили. Не каждому под силу работать кувалдой да еще с полным взмахом, с плеча, с разворотом. А если ковать нужно еще большую деталь? И не одну, а много? Что тогда? Конечно, профессия молотобойца всегда была олицетворением мужской силы, красоты мускулов, власти над металлом. А до каких пор можно наращивать массу кувалды? При исключительных условиях до пуда. Сравнительно не так уж много, но даже тренированный молотобоец не в силах махать такой кувалдой много раз подряд, а махать надо, ибо куй железо, пока горячо! Значит, молотобойцу пужна помощь. И вот на свет появляется тяжелая кувалда с двумя длинными расходящимися рукоятками. Ею могут работать сразу одна или даже несколько пар молотобойцев — были бы только рукоятки подлиннее да синхронность в работе.

На этом в повествовании о молотках можно смело поставить точку, так как с применением массивных кувалд с двумя рукоятками исчерпываются физические возмож-

ности ручного труда. А что же дальше? Ответ можно найти в старинных документах.

В переписной книге тульских заводов Юрия Теленина, относящейся к 1647 г., отмечается, что «в той же кузнице горн малый, в нем поделывают всякие мелкие снасти... а наковальное место в стуле молот большой. А иноземец Андрей Виниус сказал, что тот молот дан ему на Москве из государевой казны из Пушкарского приказа...» В распоряжении Пушкарского приказа в то время имелись вододействующие молоты массой (тогда говорили весом) до 17 пудов. Их называли «кузнечные мельницы» или «большие молоты». На них ковали самопалы, пищали и различные крупные детали военного снаряжения. Считается, что молот с приводом от водяного колеса начали применять на Руси еще в первой половине XVI в. в связи с острой потребностью изготовления огнестрельного оружия.

Да, много было работы у древнерусских кузнецов, которых называли «молотники», «ярыги», «деловцы ярыжные», если одни только устюженские ремесленники отковали в 1630 г. 55 338 ядер, а в 1632 г. — уже 338 500! Конечно, далеко не все кузнецы использовали большие молоты с механическим приводом. По тем временам это было дорогим и серьезным сооружением, которое к тому же нуждалось в плотине и водостоке. Однако подобные молоты с успехом применялись в разных странах и привлекали внимание не только мастеровых людей, но и царствующих особ. Так, в книге известного немецкого ученого профессора Манфреда Беккерта «Железо. Факты и легенды» утверждается, что еще и сегодня туристам, посещающим Ильзенбург (Гарц) и Ольбернхау (Рудные горы), рассказывают, будто Петр I, побывавший здесь в 1697 г. на кузнечных заводах, забрался на хвостовик большого механического молота, который приводился в действие водяным колесом, и лихо прогарцовал на нем.

Итак, появился механический молот. По существу, это уже была машина. В ней можно было выделить все элементы, присущие машине по современным понятиям. У нее были двигатель, передачи и исполнительный орган — молот, падающий, поднимающийся и вновь падающий вниз на наковальню с равной силой и через равные промежутки времени. По традиции весь этот комплекс, эту машину называли молотом по имени ее исполнитель-

ного органа и по аналогии с ручным молотком. Фактически произошло разделение обязанностей, функций ручного молота. Появился механизм, аккумулирующий и передающий внешнюю энергию исполнительному звену, и собственно исполнительное звено — ударная часть, превращающая потенциальную энергию, накопленную механизмом, в кинетическую энергию удара.

По аналогии с традиционными понятиями ударную часть молота называли бойком — вспомните боек молотка. Это было понятно и наглядно. По мере увеличения массы поковок и бойков, в процессе развития технологии кузнечного производства бойки все чаще стали делать сменными. Тем самым создавалась возможность подобрать для работы наиболее удобный инструмент. Если нужно было отковать металл по простой форме, без перегибов, выступов, отверстий, замысловатых переходов, то в дело шли бойки и наковальни с плоской рабочей поверхностью.

Из далекой старины различные поделки, оружие, фрески, рисунки, гравюры, летописи и легенды донесли до нас сведения об искусной работе кузнецов. Ясно, что уже в далеком прошлом люди не представляли себе обработку металлов ковкой без применения нагрева. И теперь еще живы картины сельских кузниц, где молот и наковальня соседствуют с кузнечным горном. Это не случайность, а закономерность, продиктованная самим характером технологии. Ведь нагрев увеличивает пластичность металлов и снижает их сопротивление деформированию в 10—15 раз. Во многих случаях нагрев не только уменьшает усилие обработки. Без него зачастую невозможно было бы вообще создать качественную и точную деталь.

Обычно вырезку или фигуру выполняли на нижнем бойке. Верхний боек использовали для нанесения удара, и зеркало его рабочей поверхности изготавливали гладким. Затем фигуры стали создавать и на верхних бойках. В результате произошел переход от методов свободнойковки на открытых бойках к методам штамповки в закрытых штампах. Это не значит, что в наше время вся кузнечная обработка осуществляется только с помощью закрытых штампов. Отнюдь. Простота бойков, возможность рационального изменения их внешних форм, широкий диапазон кузнечных операций поставили кузнечные бойки в один ряд с традиционными уни-

версальными инструментами, в том числе с обычными молотками. Нынче и в кузнечном отделении небольшого завода, и в мощных кузнечных цехах таких великанов индустрии, как прославленный «Уралмаш», не менее знаменитые «Уралхиммаш», Балтийский завод, «Атоммаш», Новокраматорский завод тяжелого машиностроения, и многих подобных им предприятий наряду со штамповкой деталей в закрытых молотовых многоручьевых штампах широко используются методыковки на гладких бойках.

В процессе штамповки избыточная часть металла вытесняется и перетекает через порожек в специальную канавку, углубленную по всему контуру ручья. Избыток металла — облой — затем на другом штампе отсекают. В результате создается деталь заданного контура. Штампы с открытыми ручьями так и называют открытыми. В отличие от них у ручьев закрытых ковочных штампов нет порожков и облойных канавок. При соединении верхнего и нижнего бойков весь объем совмещенного ручья оказывается закрытым внутри штампа и металл заготовки деформируется в замкнутом пространстве. Так что излишка металла не образуется. Отпадает необходимость в последующей доработке детали, обрубке облоя. Его просто нет. Деталь получается с четкими линиями формы, гладкой поверхностью и достаточно точно выдержанными размерами.

Преимущества такого метода штамповки очевидны. Это делает его одним из наиболее перспективных в числе безотходных и малоотходных технологических процессов обработки металла. Но надо помнить, что оборотной стороной медали становится необходимость в повышении общей технологической культуры производства. Ведь повышение точности размеров штампуемой заготовки требует и повышения точности обработки на начальных операциях заготовительного цикла. Понятно, что это влечет за собой рост требований к качеству инструментов, точности и жесткости заготовительного технологического оборудования, ужесточению методов контроля и т. д.

В современном производстве операциям штамповки уделяется все большее внимание. И это не удивительно. Ведь штампы позволяют в значительной мере экономить трудовые, энергетические, материальные ресурсы. Особенно в условиях серийного производства потребность в

штампах всех видов и в наибольшей степени в штампах для холодной штамповки постоянно растет. Поэтому совершенно не случайно среди современных систем автоматического проектирования (САПР) разработаны и эффективно используются «САПР-Штамп» в нескольких модификациях. Электронная вычислительная машина такой системы по заданной программе может рассчитать деталь штампа, а затем с помощью специального устройства — графопостроителя — выполнить на бумаге ее чертеж. И так каждую деталь. В конце операции выдаст общий сборочный чертеж, присваивает ему номер и, наконец, расписывается: «САПР-Штамп».

Все это хорошо. Но все же для штамповки каждой детали машины подавай свой оригинальный штамп! Накладно... Нельзя ли создать универсальную конструкцию переналаживаемого штампа? Идея такого инструмента не столько витала в воздухе, сколько буквально лежала под ногами. Корни ее аналогов были обнажены для всех. Судите сами...

Мы все привыкли как к чему-то само собой разумеющемуся, что из цифр получаются числа, а из отдельных букв составляют слова и целые предложения; что 33 букв алфавита, 10 цифр, 7 нотных значков, 7 красок да еще относительно небольшого количества дополнительных знаков и символов вполне достаточно, чтобы описать все наше духовное, культурное и техническое богатство и в качестве наследия оставить потомкам. А уж о том, что вся эта относительно небогатая система знаков, значков и символов успешно служит «текущему моменту» как средство общения, передачи, переработки и хранения информации, и говорить не приходится.

Цифры, которыми мы пользуемся, пришли к нам из Индии, благодаря арабам. Впервые они описаны в 1202 г. в «Книге абака» известного итальянского математика Леонардо Пизанского. Но их шествие по Европе началось лишь в XIV в. Из сказанного ясна главная идея — путем набора отдельных знаков при их определенном сочетании можно получить любое число. И этим приемом человечество пользуется с древних времен.

Следующий шаг к созданию универсального инструмента для штамповки был сделан в XI в. китайским кузнецом Би Шэном. Он изобрел отдельные объемные печатные элементы с изображением букв и частей рисунков. Элементы были сделаны из обожженной глины. Их

Y 1 10 Y 100
 Y=11 Y=32

I V X L C D M
 1 5 10 50 100 500 1000
 MC=1100

INC Y Q
 1 10 100 1000 10000

IG I Δ I Γ X M
 1 5 6 10 11 50 100 1000

I Λ X W Y
 1 10 20 60 70

2Z-2 6b-6
 33-3 47-7
 94-4 27-9
 45-5 00-0

CCCN

Рис. 8. Любое число можно написать, используя цифровые знаки, которых не так уж и много

легко можно было переставить и закрепить в рамке. Таким образом, текст набирался подвижными литерами. Работа внешне напоминала детскую игру в кубики. Но это было важное изобретение!

Способ печатания с использованием наборных литер из Китая был перенесен в Корею, где в XIII в. глину как материал для изготовления литер заменили бронзой. В Европе изобретателем печати с помощью подвижных литер стал Иоганн Гутенберг. В 1440 г. он впервые изготовил металлические матрицы для литья отдельных букв-литер из свинцового сплава.

Почему мы так много внимания уделили буквам, цифрам, их изображению на отдельных подвижных элементах — литерах? Да потому, что эти важные для человечества изобретения имеют самое непосредственное отношение к теме нашего рассказа об универсальном инструменте. Что если и штамп по аналогии с литерами сделать не цельным, а из наборных элементов? Чтобы их можно было легко заменять другими. Переналаживать штамп на изготовление деталей любой формы и размеров? Но для этого нужна высокопрочная своеобразная «азбука» стандартных элементов, соответствующих линиям, окружностям, переходам поверхностей, свойственных деталям машин. Идея азбуки и сборных литер давно известна всем. И только в наши дни во многом благодаря настойчивости и смекалке В. М. Богданова, рабочего, заслуженного изобретателя РСФСР, идея сборных переналаживаемых элементов воплотилась в жизнь в виде

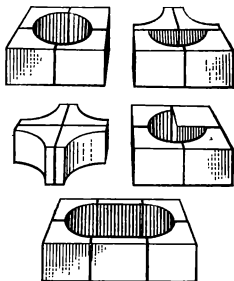


Рис. 9. Применяя отдельные элементы из набора, можно легко создать разнообразные фигуры. Такой принцип и положен в основу универсальных штампов

целой гаммы систем переналаживаемых универсальных инструментов — штампов, приспособлений, измерительных приборов, сборочных стендов. Несколько наборов универсальных деталей достаточно, чтобы изготовить, а точнее, собрать штампы для изготовления... 12 тыс. разных деталей. При традиционной схеме для этого понадобилось бы столько же специальных штампов, до 1000 т инструментальной стали.

Штампы достаточно сложны по своим конструктивным особенностям, точности изготовления, используемым материалам и часто по габаритным размерам. Масса некоторых из них доходит до 60 т. Это очень дорогие инструменты. Поэтому понятно стремление производителей сделать их как можно дешевле и с наименьшими потерями времени. Остановимся на некоторых оригинальных решениях этой проблемы.

Многим известен из школьных уроков по физике опыт со сплавом Вуда, когда ложечка растворяется, а точнее, расплавляется в стакане с горячим чаем. Немудрено расплавиться этой ложечке, поскольку она отлита из свинца, олова, висмута и кадмия — сплава, имеющего температуру плавления около 70°C ! Оказывается, и такие легкоплавкие и непрочные штампы из сплава Вуда могут немножко поработать и отштамповать несколько деталей. Затем штамп нагревают, и он расплавляется, чтобы снова возродиться из этого же сплава, но в виде другого штампа для обработки других деталей. Причем

потери дефицитных металлов, из которых состоит сплав Вуда, сведены к минимуму.

А теперь обратим свое внимание на пустотелые резиновые и пластмассовые игрушки. Красивые и часто сложные по форме, они, к сожалению, оказываются непрочными в руках любопытного ребенка. Непрочные? Конечно. Но именно эти непрочные в принципе предметы могут служить штампами. Не ошибка ли это? Как может резиновый пустотелый мячик, например, стать инструментом? А вот как. Если во внутреннюю полость игрушки засыпать металлический порошок, а затем быстро и равномерно сдавить ее со всех сторон, то в результате порошок превратится в твердый монолит, повторяя внутренние контуры резиновой игрушки. Для равномерного всестороннего сжатия резиновую игрушку (читатели догадались, конечно, что речь идет не об игрушке, а об эластичном штампе) погружают в воду или в машинное масло, а затем создают большое давление с помощью удара. К сожалению, чтобы извлечь готовую спрессованную деталь, резиновый штамп необходимо разрушить. Правда, это обстоятельство не очень уж тревожит производителей, потому что сделать новый резиновый или пластмассовый штамп не представляет большой сложности. Самое простое поступить так: объемную деталь выполнить сначала из воска, затем покрыть ее тонким слоем жидкой резины, просушить, а затем слабым нагревом выплавить из полученной оболочки воск. Новый штамп готов! Засыпай только в него порошок тонкой дисперсии и заклеивай входное отверстие.

Оригинальный инструмент для штамповки предложил японский изобретатель Иноуэ Киеси. Вы, наверное, много раз наблюдали, как железные или чугунные пылинки, скрепки, кнопки притягиваются магнитом. Если взять электромагнит, то, включая и выключая ток, можно притягивать или освобождать железные предметы. Используя это известное явление, Иноуэ Киеси «вдавливал» нужную деталь в ферромагнитный порошок. В результате образовался отпечаток, который затем фиксировался магнитным полем электромагнита. Получался штамп из... порошка. Чтобы частицы порошка крепче сцепились между собой, в момент штамповки увеличивали напряженность магнитного поля. Так и работают порошковые штампы, спрессованные в монолит силой магнитного поля. Совершенно очевидно, что в любой момент такой

штамп можно «переналадить» на изготовление другой детали. Для этого достаточно выключить питание электромагнита, превратив тем самым твердый штамп в порошок, укрепить новую форму и... снова включить ток. Штамп готов к работе.

Не менее оригинальный штамп можно получить из воды. Технология настолько простая, что посильна каждому, да притом в домашних условиях, не говоря уже о производственных. Налейте в мисочку воду и окуните в нее до половины какой-нибудь предмет, предварительно смазанный жиром или слегка натертый парафином. Затем закрепите деталь и осторожно, не покачивая, поставьте мисочку в морозильную камеру холодильника. Через некоторое время в ваших руках окажется ледяной штамп. По нему можно с помощью молотка выбить из латуни или меди объемный профиль детали или даже сделать чеканкой художественный рельеф. Было бы с чего!

Для штамповки необходим удар. Его осуществляют с помощью молотов самых разнообразных конструкций. При этом эффективность их действия и специфика работы были настолько очевидны еще в прошлом, что молоты нашли свое достойное место даже на гербах русских городов. Так, на гербе города Алапаевска, принятом в 1783 г., изображен механический молот дляковки железа. Город Александров увековечил на гербе в 1781 г. слесарные тиски и наковальню, а Кузнецк разместил на гербе в 1804 г. кузнечные инструменты и кузницу. Два перекрещенных клинка, ружейный ствол и два молота украшают герб Тулы, созданный более двухсот лет назад — в 1778 г.

А теперь обратите внимание на окружающие вас на работе, дома или на улице предметы. Постарайтесь представить себе, как они сделаны. И окажется, что многие из них изготовлены путем штамповки. Вот проехал красивый легковой автомобиль. Его крыша, двери и крылья получены штамповкой. Над вилками и ложками поработали в паре пуансоны и матрицы. Даже маленькие гвоздики обязаны рождением этим инструментам и... удару. Удар, еще удар! С каждым ударом возникает продукт труда рабочего, созидателя ценностей на Земле.

НЕТ ХУДА БЕЗ ДОБРА

Взрыв и огонь всегда устрашали людей. Речь идет не о грозных явлениях природы, что вполне естественно, а о деяниях рук человеческих во все времена исторического развития. Даже «греческий огонь», употреблявшийся византийцами в середине VII в. и состоявший из серы, селитры, горной смолы и льняного масла, вселял суеверный страх в войнство с мечами и стрелами. Однако этим дело не ограничилось.

Спустя пять столетий в древнем Китае появился дымный порох, о чем имеются упоминания, относящиеся к 1232 г. В Западной Европе и России познакомились со взрывной силой пороха значительно позже, в XIV в. Порох с самого начала был изобретением военного характера. Известно, однако, что взрывную силу пороха и в те времена заставляли иногда работать на благо людей.

Так, в 1548 — 1572 гг. при расчистке реки Немана использовали пороховые заряды; в 1627 г. Кашпар Вейндл применял порох для подземных работ на руднике в Словакии.

Создав порох, человечество на этом не успокоилось. Во всех странах настойчиво искали новые, более сильные взрывчатые вещества. И они были найдены. В 1846 г. русским химиком А. Фадеевым и профессором Базельского университета Х. Шенбейном был открыт пироксин, а в 1847 г. будущим профессором Промышленного музея, Артиллерийской академии и Высшей инженерной школы в Турине Асканьо Собrero изобретен нитроглицерин — не для успокоения сердец, конечно. Появление более сильных взрывчатых веществ не только отразилось на военной технике, но и создало предпосылки для рождения методов и инструментов для взрывной обработки металлов. Идея использования энергии взрыва для обработки металлов получает практическое решение. В мае 1863 г. в Вандессбеке взрывом сорокаграммового заряда нитроглицерина была разрушена наковальня, весившая около тонны. Но это событие не взволновало всех так, как сообщение об изобретении динамита шведом Л. Нобелем, которому был выдан патент в 1867 г. Еще бы не взволновать. Ведь в руках у военных появилось более грозное взрывчатое вещество.

Однако попытки использования энергии взрыва для обработки металлов продолжались. В 1886 г. Менро применил взрыв для чеканки железных пластин, а с начала XX в. разрабатывается много методов формования металлов с использованием взрывчатых веществ. Прогрессивный метод штампования взрывом предложили в 40-х гг. наши соотечественники Э. В. Пихтовников и Ю. С. Навагин.

Итак, на матрицу, имеющую рабочую форму и размеры будущего изделия, укладывают лист металла — заготовку, все это погружают в воду и примерно на половине глубины помещают заряд. Остальное просто: заряд подбивается и в результате почти мгновенно получается готовая отштампованная деталь. Здесь, так же как и в случае применения молота, действует удар, но гораздо более мощный и скоростной. Настолько скоростной, что многие стали и сплавы, не поддающиеся штамповке в обычных условиях, не успев «задуматься», капитулируют, проявляют примерное послушание, хорошую пластичность и принимают требуемую форму. Вот что значит «быстрота и натиск»!

Штампование металлов взрывом обладает рядом неоспоримых преимуществ в сравнении с традиционными методами механического воздействия. Прежде всего взрыв исключает необходимость крупногабаритного, мощного, дорогого молота или пресса. Стоимость обработки детали сокращается до минимума, так как отпадает необходимость в дорогостоящем оборудовании, помещении, оснастке, уменьшаются затраты времени на подготовку производства. В большинстве случаев требуется только одна часть штампа — матрица, которую можно изготовить из недефицитных материалов.

Детали изготавливаются высокой точности с четкими радиусами скруглений, рельефом. Копирование рельефа получается настолько качественное, что линия от карандаша, проведенная на поверхности полированной матрицы, отпечатывается на детали. Так можно и увековечить свою подпись на труднообрабатываемом металле, если расписаться до взрыва, конечно. Следует отметить, что принципиальных препятствий, ограничивающих размеры штампуемых взрывом деталей, нет. С помощью взрыва штампуют из листовых заготовок детали обшивки судов, днища цистерн и емкостей диаметром до трех метров, развальцовывают трубы в трубных решетках водяных

и паровых котлов. Процесс настолько эффективен, что на американских автомобильных заводах Форда методом подводной штамповки взрывом делают цельные кузова для автомобилей. Считают, что применение взрывной технологии снижает стоимость их изготовления примерно в 8—12 раз. Да что там кузова автомобилей, выполненные из тонкого железа, когда взрывом штампуют детали из стального листа толщиной более 20 мм!

Что же представляют собой инструменты для штамповки взрывом? Пресжде всего в их комплектах отсутствуют пуансоны, а есть лишь одни матрицы. Функции пуансона или инструмента выполняет среда, в которой произведен взрыв. В ней с большой скоростью распространяется ударная волна. В данном случае это вода. Она непосредственно воздействует на заготовку и ее деформирует, вдавливая в матрицу.

Давление взрывной волны у поверхности заряда значительное и может быть порядка 1400 кгс/мм^2 , но, проходя через толщу воды, уменьшается до $20\text{—}25 \text{ кгс/мм}^2$. При этом взрывная волна распространяется в воде со скоростью до 7000 м/с. Огромная скорость!

Свособразные условия работы матриц при взрыве позволяют их изготавливать из стального или чугунного литья, а также из неметаллических материалов: бетона, железобетона, дерсва и эпоксидных смол. Как видите, грозный взрыв довольствуется инструментом не из очень прочных материалов. Особенно это выгодно для изготовления крупногабаритных деталей, когда часто используют железобетонные матрицы, облицованные эпоксидными смолами, слоистыми пластиками, стеклотканью. Иногда бетонную матрицу помещают в стальной корпус. Разве не вызывает уважения матрица диаметром формирующей полости до 7 м при высоте 1,5—2 м? Но это еще не все. Для изготовления матриц, в которых взрывом получают изделия из высокопрочных сталей толщиной до 13 мм и диаметром до 3 м, часто используют... лед. Да, самый настоящий лед. Такие матрицы, как мы уже говорили, легко изготовить и еще легче отремонтировать. Естественно, что ледяные матрицы нельзя использовать для штамповки нагретого металла. Их неудобно хранить — нужны холодильные камеры. Существуют и другие недостатки. Однако простота изготовления и дешевизна инструментов из льда оправдывают их использование во многих случаях, когда применение других мате-

риалов может оказаться невозможным или неэффективным. С помощью ледяных матриц получают достаточно точные детали. Например, днище резервуара диаметром 2540 мм получается в ледяной матрице с точностью соблюдения размеров до 0,4 мм при штамповке в воде с температурой 10—15 °С. Оригинально, не правда ли? Вода работает в воде!

Коль мы уже говорим о воде и холоде, то как не вспомнить некрасовского Мороза-воеводу, который «обходит владенья свои»:

Красив ли узор на дубах?
И крепко ли скованы льдины
В великих и малых водах?

Да к тому же и похваляется своей силой:

Пойду на моря-окияны —
Построю дворцы изо льда.
Задумаю — реки большие
Надолго упрячу под гнет,
Построю мосты ледяные,
Каких не построят народ.

Спору нет, сила у Мороза-воеводы очень большая, владенья обширные, работы много. Может быть, именно поэтому он не занялся машиностроением и, в частности, инструментами, а вполне возможно, у него просто не хватило изобретательского таланта, пыла, фантазии и... образования. Ведь для того чтобы сделать штамп из льда, все перечисленные качества просто необходимы. Но это еще не все кладовые Мороза. Вспомните, как лопаются водопроводные трубы и стеклянные бутылки при замерзании в них воды или выходят из строя радиаторы автомобилей, а иногда даже появляются трещины в металлических блоках цилиндров двигателей. Всему виной физическое свойство воды расширяться при замерзании. И если идти вопреки этому физическому свойству и заключить охлаждаемую воду в замкнутый объем, то возникнут колоссальные силы с малоприятным конечным результатом. С Морозом-воеводой не шутят! А ведь можно и пошутить, к тому же сделать так, чтобы и польза была. Для этого воду заставляют одновременно быть и инструментом, и прессом. Итак, достаточно на матрицу положить заготовку, накрыть ее герметичной и крепкой выпуклой крышкой, затянуть болты, не забыв залить под крышку воду, и... пригласить грозного Мороза. Осталь-

ное понятно, уже не покорная, журчащая вода, а мощный пресс и сформированный в процессе деформации инструмент без шума и суеты отштампует заготовку, превратив ее в деталь высокого качества. Одновременно получился и ледяной инструмент, который можно использовать как самостоятельную матрицу.

Однако где же здесь взрыв, удар? Его здесь нет. Но — если жидкий азот, имеющий температуру кипения минус 195,8 °С, впрыснуть в закрытое пространство между листовой заготовкой и крышкой камеры, то он практически мгновенно испарится. Так как из литра жидкого азота получается при комнатной температуре почти 690 литров газа, то в замкнутой камере возникает большое давление с ударным действием. В данном случае уже не вода, а газ служит деформирующим телом — инструментом, да и пороха здесь нет.

Дальнейшие исследования возможностей этого перспективного метода привели изобретателей А. Барсукова и В. Радзивончика к идее использования... воды. Опять вода! Оказалось, что в воде жидкий азот испаряется еще быстрее, чем в воздухе, к тому же его расход сокращается в несколько раз. В принципе в установке ничего не изменилось, но теперь молниеносно образовавшийся газ давит на воду, а вода деформирует заготовку; иными словами, газ и холод заменили порох, а вода снова стала инструментом — пуансоном.

А теперь остановимся на «инструменте», жизнь которого и основное призвание всегда связаны с трагедией и смертью. Его название — пуля. Пуля, несущая смерть, и инструмент, выполняющий полезную работу. Разве такое возможно? Да, возможно.

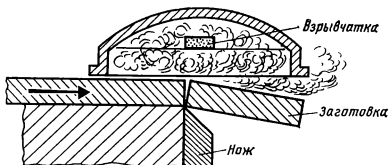
Проволоку издавна получают волочением: металлическую заготовку пропускают через специально для этого построенный стан, работающий со скоростью 25—30 м/с. Чтобы рубить проволоку на соответствующие прогоны, машиностроители применили инструмент, аналогичный огнестрельному оружию. Пуля, вылетающая из ствола винтовки, например, имеет скорость, в десятки раз (800—850 м/с) превышающую скорость, с которой вытягивается проволока. Если такую пулю направить на проволоку перпендикулярно ее движению, то пуля перерубит ее мгновенно, причем для этого не нужно останавливать стан.

Вот таким образом машиностроители превратили ору-

жие в полезный инструмент с ударным принципом действия, а ружейный ствол, патрон с порохом — в главную часть технологической установки.

Не только ружьям, но и пушкам нашлась мирная работа. Представьте себе, что из ствола пушки при выстреле вылетает не снаряд, а цилиндрический шток с острым концом на конце и с большой скоростью устремляется уже не к проволоке, как пуля, а к толстому горячему металлическому слитку. Удар! И слиток 200×200 мм перерезается за сотую долю секунды. Для повышения эффективности действия и снижения вибраций установки на Новотульском металлургическом комбинате применена система из двух ножей, летящих навстречу друг другу. Ствол-то один, но использовано движение не только снаряда-штока, но и отката самой пушки, которая в измененном виде была названа копром. Благодаря высокой скорости удара износостойкость инструмента по сравнению с механическими ножницами значительно возросла, отходы снизились с 20 % практически до нуля. А сама пушка-копер оказалась в 160 раз легче 800-тонных механических ножниц.

Однако вернемся снова к воде, но на этот раз с пулей. Многие охотники, не говоря уже о бывших фронтовиках, часто слышали характерный ударный звук, возникающий при входе пули в воду. Врезаясь в воду, пуля динамически сжимает жидкость и создает мощную ударную волну. А раз есть ударная волна, то почему бы ее не использовать, применив и в этом случае для обработки металлов? Так и поступил американец Джон Карпович. Установка для штамповки взрывом получилась очень простой: прочный бак с водой, матрица с трубчатой заготовкой, песок на дне для гашения силы удара пули и, наконец, пистолет или винтовка с патронами. Оказалось, что ударная волна от пули прекрасно штампует многие изделия. К тому же фронт волны и силу удара по длине заготовки можно менять, придавая пулям разную форму передней части, что расширяет технологические возможности. В этом оригинальном методе, в основе которого лежат взрыв и удар, пуля уже не является инструментом, так как она непосредственно не воздействует на металл, как в случае перерезания проволоки. Инструментом здесь является вода или любая другая жидкая среда и металлическая матрица, которая в принципе мало чем отличается от известных.



Р и с. 10. Конечно, работать с такими «ножницами» следует из укрытия — ведь сила удара у взрывной волны большая

В качестве инструмента могут быть не только жидкости, но и воздух и сами пороховые газы. Ведь взрывная волна, ее ударное действие, и в воздухе обладает, как хорошо известно из опыта, колоссальной разрушительной силой. Взрывы, которые теперь слышатся в цехах некоторых металлургических заводов, — это мирные взрывы машиностроителей. В результате ударного действия взрывной волны толстые стальные листы прижимаются к острому ножу и в мгновение ока перерезаются без остановки скоростной прокатки. Пороховые газы и воздух вместе с острым ножом из инструментальной стали являются инструментом для резки металлов.

Используют энергию взрыва не только для разрушения, резки материалов или изменения формы заготовок, но и для упрочнения различных деталей машин и инструментов. Под действием ударной волны в поверхностных слоях возникают пластические деформации, которые приводят к повышению твердости, износостойкости и других важных эксплуатационных свойств. Все происходит быстро и экономично. Надо только не переусердствовать с величиной заряда.

Примеров использования взрыва для изготовления различных деталей машин можно привести еще много.

Конечно, в области машиностроения взрыв еще не используется достаточно широко и не освоен так глобально, как военными, тем не менее мирное наступление на его воинский пыл и такую же родословную непрерывно разворачивается и усиливается. Поэтому можно лишь приветствовать инициативу ученых, конструкторов, инженеров, стремящихся превратить силу взрыва, артилле-

рийский снаряд или пулю из средства убийства и разрушения ценностей, созданных трудом, в инструмент созидания, стремящихся перековать мечи на орала.

СОЮЗ ИСКРЫ И ВОДЫ

Все вокруг содрогалось, замолкли в ужасе звери, птицы и люди. Сквозь темные тучи, которые закрыли вершину Олимпа и солнце, прорывались молнии и доносились леденящие душу раскаты грома. Во всем ощущалось напряжение борьбы гигантов... Но силы были неравные... В руках бога Зевса был перун, из которого извергались на титанов страшные кинжалы молний... И титаны бежали на край света и гибли в подземном царстве Тартара. Даже величественная богиня Земли Гея побаивалась перуна и молний Зевса, от ударов которых раскалывались и превращались в пыль скалы, вскипала вода в царстве Посейдона, горели леса, умирали люди и даже титаны. Грозное, извергающее молнии оружие — перун — отковали одноглазые циклопы Бронт, Стероп и Арг в подземной кузне бога-кузнеца Гефеста. Оно дало власть Зевсу, помогло победить отца бога Крона и держать всех в повиновении и страхе.

Так повествует древнегреческий эпос.

Не без оснований люди всегда боялись молний. Скоротечные и величественные, они часто становились причиной пожаров, гибели людей и животных. Даже в наш век при колоссальных технических достижениях ничего хорошего для человека молнии не несут. Иногда только случай спасает человека от поражения молнией. Такой счастливый исход произошел, в частности, с известным американским физиком Робертом Вудом. Он рассказывал своему другу и биографу В. Сибруку: «Прошла гроза, и небо над нами уже прояснилось... Я прошел ярдов десять по тропинке, как вдруг меня позвала моя дочь Маргарет. Я остановился секунд на десять и сдвинулся лишь двинулся дальше, как вдруг небо прорезала яркая голубая линия, с грохотом двенадцатидюймового орудия ударив в тропинку в двадцати шагах передо мной и подняв огромный столб пара... Если бы Маргарет не позвала

меня, я бы оказался точно «на месте». Я возвратился в лабораторию, расплавил восемь фунтов олова и залил в отверстие». Большой любитель устраивать всякие эффектные зрелища с применением огня, взрывов и бумерангов, Роберт Вуд сам изготовил себе на память «автограф молнии».

Благодаря успехам науки давно было отвергнуто мнение о божественном происхождении молний и стала ясна их природа. Но сами они не стали от этого более кроткими и покладистыми, при всем при том они по-прежнему воспринимаются нами как неукротимые посланники разбушевавшейся стихии. Теперь практически все знают, что вспышка молнии, искрение при замыкании проводов остановившегося троллейбуса или между электродами свечей зажигания автомобилей, горение дуги при сварке металлов — эффекты одной и той же природы: электрический разряд в газе. Молнии опасны, они по-прежнему пугают, но перестали быть для нас загадочными. Чтобы лишить их загадочности, понадобились усилия многих ученых. И время. Первым, кто научно доказал, что молния — это разряд атмосферного электричества, был американец Бенджамин Франклин.

Интерес к электричеству в те времена был огромен, и оно даже стало «предметом» моды. До выхода в свет в 1791 г. книги Гальвани о «животном электричестве» были известны фрикционные электростатические генераторы Отто фон Герике, изобретенные и изготовленные им в 1650—1672 г.; приборы французского физика Дюфе для измерения статического электричества; сконструированные Клейстом и Мушенбруком в 1733—1737 гг. электрические конденсаторы; громоотвод и плоский конденсатор Франклина (1752—1754). В те же годы (1752—1759) опасные для жизни опыты с электричеством проводили Ломоносов, Рихман (погиб во время опыта) и Эпинус в России. И наконец, что очень важно для темы нашего рассказа, в 1767 г. Лейб, а в 1769 г. Пристли обнаружили разрушительное механическое действие электрического разряда в воде.

Имена итальянских ученых Гальвани и Вольты знают все школьники. Знают о споре между ними и о том, что в этом споре они оба были правы. Гальвани, экспериментируя с лапкой лягушки, открыл «животное электричество». Вольта резонно решил, что если сокращаются мышцы лапки лягушки при прикосновении металлов, то то же

самое должно, очевидно, происходить и с человеческим языком, его мышечной тканью. Вольта прикладывал к собственному языку пластинки из разных металлов. Увы, язык даже не вздрагивал. Впрочем, во рту оставался кислый вкус, если к кончику языка прилагать оловянную пластинку, а серебряную — к его середине. Ощущение кислого вкуса появлялось только при соприкосновении свободных концов пластинок. Мало того, во рту появлялся вкус не кислоты, а щелочи, когда пластинки менялись местами. Вроде бы мелочи! Но в эксперименте мелочей не бывает. Именно эти «мелочи» и позволили сделать важное открытие, суть которого заключалась в том, что два разных металла, помещенных в жидкий проводник, дают электрический ток. И не только сделать важное открытие, но и создать в 1799 г. первый в мире постоянно действующий источник электрического тока — вольтов столб. Изобретение было по достоинству встречено современниками. Даже император Наполеон пожелал присутствовать при демонстрации нового источника тока, состоящего из большого числа цинковых и оловянных пластинок, разделенных влажным войлоком. У открытия, сделанного Вольтой, оказалось большое будущее. Следует подчеркнуть, что от открытия электрического тока и изобретения вольтова столба ведет свое начало вся современная электродинамика и электротехника.

А все началось, как видите, с лапки лягушки и... языка экспериментатора.

История открытия «животного электричества» и последовавшие за этим события многократно описаны в литературе, и мы не станем в нее углубляться. Мы вспомнили ее, во-первых, чтобы подчеркнуть, как важно быть наблюдательным, уметь подмечать самые, казалось бы, пустяковые детали, ибо за этими пустяками могут скрываться природные явления, существенные как для науки, так и для практики; а во-вторых, эта история в известном смысле имеет прямое отношение к теме нашего очередного рассказа о своеобразном инструменте, родившемся благодаря союзу электрической искры и... воды.

Казалось бы, все необходимые предпосылки для практической реализации этого союза появились на заре электричества, когда Лейн и Пристли открыли разрушительную силу высоковольтного разряда в воде, был изобретен накопитель электрической энергии — конденсатор,

созданы источники постоянного электрического тока — батареи Вольта и, наконец, когда в 1802 г. зажглась и давала сильный свет и высокую температуру электрическая дуга Петрова.

Однако в действительности высоковольтный электрический разряд в воде еще долгое время не получал своего практического использования. Только в 1948 г. Фрюнгель впервые попытался измерить электромеханический коэффициент полезного действия такого разряда. Словом, никак не скажешь, что за столько лет, если вести отсчет от 1767 г., ученые и инженеры достигли многого такого, что можно было бы применить в машиностроении.

Сейчас союз высоковольтной искры и воды осуществляет ударное воздействие на материалы, заменяет собой удары сотен молотков и значительно экономит ценное время рабочих. Его часто называют электрогидравлическим эффектом. Электрогидравлический эффект начал свое шествие в промышленности сравнительно недавно с появления маленькой книжки Л. А. Юткина, опубликованной у нас в стране в 1955 г. Все в этой книжке было удивительно просто, заманчиво и перспективно.

Судите сами. Для наблюдения эффекта необходимы аквариум из органического стекла, школьная электрофорная машина или высоковольтный трансформатор, выпрямитель, конденсаторы, два электрода, соединяющие провода и... простой, но очень важный «секрет» — шарообразные электроды, формирующие искровой разряд. Принципиальная схема достаточно простая, и собрать ее несложно. Да и проведение эксперимента под силу школьному кружку юных техников и физиков с соблюдением, конечно, правил техники безопасности.

Аквариум заполнен водой. Оговоримся сразу, что электрогидравлический эффект можно наблюдать в любой жидкости. Однако вода всегда есть под рукой, и ее свойства, особенно малая сжимаемость и нетоксичность, делают воду наиболее приемлемой не только для опытов, но и для промышленных установок. Первые же опыты убеждают нас в том, что даже мощные электрические разряды длиной 100—150 мм вызывают лишь легкое колебание поверхности воды. Казалось бы, все необходимое есть: две стихии соединены вместе, но электрогидравлический эффект отсутствует. Для его проявления вспомним о важном «секрете» — металлических шарах

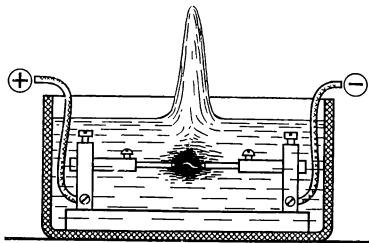


Рис. 11. Искра в воде создает ударную волну. Красивое и устрашающее зрелище!

диаметром до 50 мм. Эти шары образуют дополнительный воздушный разрядный промежуток, изменяя который, а также подбирая нужную емкость конденсаторов и напряжение, можно получить необходимые параметры разряда в воде. Разряд в воде должен иметь быстрый фронт нарастания, кратковременность и мощность, он должен быть импульсом, а не дугой. Тогда и возникает электрогидравлический эффект, приводящий к удару, в результате которого над аквариумом взметнется высокий, до нескольких метров, столб жидкости. Красивое зрелище! Не правда ли? Однако даже большим любителям душа и острых ощущений рекомендуем отойти подальше до начала опыта.

В опытах, которые мы с вами только что наблюдали, длина разрядов в воде достигала 150, 200 и даже 250 мм при напряжении 80—100 кВ и емкости конденсаторов 0,7—1 мкФ. При таких параметрах даже внешнее проявление электрогидравлического эффекта в виде высокого столба воды над аквариумом или прочным баком, яркой световой вспышки, громкого взрывного звука заставляет сделать вывод о развиваемых больших давлениях в жидкости и высоких температурах в канале разряда. Так оно и есть на самом деле. По последним данным в воде создаются ударные волны, благодаря которым давление у канала электрического разряда достигает нескольких десятков тысяч атмосфер, а температура в самом канале разряда поднимается до десятков тысяч гра-

дусов *. Процесс выделения электрической энергии, накопленной конденсаторами, осуществляется за короткий промежуток времени, исчисляемый тысячными долями секунды. Конечно, если на пути такой мощной ударной волны поместить даже очень прочный материал, то он может быть легко деформирован или разрушен. Вот здесь и напрашивается использование ударного действия электрогидравлического эффекта для создания промышленных установок и вырисовываются достаточно простые конструктивные схемы рабочих камер, где могут быть объединены две стихии для полезной работы.

Прежде всего приходит решение сделать цилиндрическую камеру с изолированными электродами и поршнем, заполнить ее водой, а к штоку поршня прикрепить инструмент, например штамп. Достаточно теперь пропустить искру между электродами, как возникнет давление в рабочей камере, поршень стремительно начнет перемещаться и инструмент ударного действия произведет формообразование детали. Такая установка при аналогичных параметрах будет менее металлоемкой и дорогой в изготовлении, чем кузнечно-прессовые станки.

Поступают еще и по-другому. Металлический лист укладывают на специальную матрицу, имеющую объемный профиль изделия. Затем укрепляют с другой стороны листа крышку с рабочей камерой и электродами, а камеру заполняют водой. Дальнейшее известно: импульсный разряд, удар, и металлический лист практически мгновенно принял форму металлической матрицы. Деталь готова. Иногда еще требуются дополнительные технологические операции, уже не связанные со штамповкой, как это видно на примере получения металлической эмалированной посуды. Отметим, что привычного нам механического инструмента, которому сообщается кинетическая энергия для удара, здесь нет, нет и его износа и поломок. Вместо штампа — обыкновенная вода.

Искра и вода с успехом трудятся не только при штамповке и прессовании. Электрогидравлический удар используется при очистке отливок от остатков формовочных смесей и выбивки литейных стержней. Причем раз-

* Атмосфера — внесистемная единица давления, равная 1 кгс/см^2 . В системе СИ в качестве единицы давления применяется паскаль (Па). $1 \text{ ат} = 98066,5 \text{ Па}$.

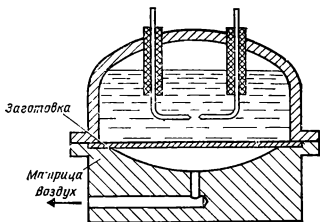


Рис. 12. Вода под действием ударной волны, порожденной электрическим разрядом, непосредственно воздействует на заготовку и деформирует ее по форме матрицы

меры обрабатываемых отливок могут быть от очень маленьких до весьма солидных — $7500 \times 5000 \times 3200$ мм и массой до 40 т. Ударное действие в жидкой среде перспективно для обработки материалов, тонкого измельчения пород, частиц металлов и сплавов, упрочнения деталей машин, интенсификации термомеханической обработки и химико-технологических процессов, для разработки полезных ископаемых под толщами воды рек и морей и для многих других полезных человеку дел.

Однако при всем своем могуществе союз искры и воды много энергии тратит зря. Так, коэффициент полезного действия электрогидравлических установок меняется от 1 % при операциях пробивки без пуансона и вырубке до 10—20 % при развальцовке и формовке. Как здесь не вспомнить молот древности с его столь высоким коэффициентом полезного действия? Может быть, чтобы не рассеивать зря энергию, лучше снова взяться за молот или кувалду? Тогда и энергию сэкономим, и мускулы крепче будут.

Впрочем, это не более чем шутка: к кувалде при современных масштабах производства возвращаться нелепо. А мускулы развить можно другим путем. Выход один — искать, творить, дерзать.

УКРОЩЕННЫЙ КОГОТЬ

Боковые резцы с размаху схватили правую руку Бена, чуть было не задели грудь и прошли сквозь другую его руку, как бритва. От страха и боли он стал размахивать руками; кровь его сразу же замутила воду, но он уже ничего не видел и только чувствовал, что акула сейчас нападет снова. Отбиваясь ногами и пятась назад, Бен почувствовал, как его резануло по ногам; делая судорожные движения, он запутался в ветвистых коралловых зарослях... Тогда Бен поглядел на руки и увидел, что правая почти оторвана совсем; он видел мускулы, сухожилия, крови почти не было. Левая была похожа на кусок жеваного мяса и сильно кровоточила; он согнул и подтянул кисть к плечу, чтобы остановить кровь, и застонал от боли». Так реалистично показано нападение акулы на человека в рассказе известного английского писателя Джеймса Олдриджа «Последний дюйм».

Да, очень опасны зубы властелинов океанских глубин. Посмотрите, какие они у ненасытных и агрессивных косаток. Даже одна «улыбка» такой «красавицы» вызывает ужас и оцепенение не только у людей, но и у больших китов, на которых косатки охотятся.

Острые клыки, когти, рога, зубы, бивни предназначены для нападения и защиты, для добычи пищи и сохранения жизни, что хорошо известно всем. Однако, несмотря на свое большое разнообразие, принадлежность к различным представителям животного мира и длительную эволюцию, все они обобщены единым принципом действия. В этом смысле когти грозного уссурийского тигра и коготки котенка, зубы акулы и бивни мамонта или слона мало чем отличаются друг от друга. Такое единство принципа действия не могло быть не подмечено первобытным человеком, у которого не было ни длинных зубов-клыков, ни острых когтей; поэтому, борясь за выживание, он изобретал, учась у природы.

Сначала, вероятно, он обходился клыками, бивнями и острыми когтями убитых на охоте или умерших животных. Затем, надо думать, он стал изобретать, а попросту заменять клыки или когти деревянными кольями, костяными и каменными отщепами.

Но не только у животных, но и у растений есть чему

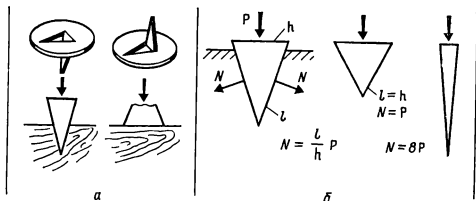
поучиться. Вспомним колючки многих растений и особенно кактусов. Ведь они тоже очень острые и легко прокалывают толстую кожу. К тому же колючки-шипы некоторых видов, например трихоцереуса, достигают изрядной длины — до 45 см и обладают солидной прочностью. Непроста поэтому разнообразные колючки и шипы — от маленьких до больших — применяли в качестве наконечников для стрел, делали из них иголки, рыболовные крючки, использовали при ритуальных жертвоприношениях для умерщвления животных. У индейских племен Америки существовала традиция прогонять в чем-то провинившихся соплеменников обнаженными через заросли кактусов.

Действие всех этих колющих, царапающих, впивающихся орудий, заимствованных у природы или сделанных по ее образцам, основано на едином принципе.

Откроем Толковый словарь русского языка под редакцией Д. Н. Ушакова. В нем найдем следующее определение слова «клин»: «Заостренный книзу и расширяющийся кверху кол, кусок дерева или железа, употребляемый для расщепления, раскалывания дерева». В словаре же, составленном С. Н. Ожеговым, описание клина более краткое и не содержит смысловой нагрузки на область применения. По С. Н. Ожегову, клин представляет собой «заостренный с одной стороны кусок дерева, железа». Есть и другие определения клина, но нам достаточно приведенных. Нам важна прежде всего такая характеристика, как заострение.

Имеют заострение, стало быть, как раз все эти клыки, когти, зубы, клювы, бивни животных, птиц и рыб, колючки, иголки, шипы растений, которыми пользовался наш пращур. Потом вместо них появились рубила, отщепы, колуны, наконечники стрел, ножи, а также многие другие инструменты для обработки материалов.

Вершина клина, вдавливаясь в материал, развивает высокое давление. Чем меньше контактная площадка клина, тем большие возникают давления при равной силе нажима на клин. В этом легко убеждается каждый из нас, прикрепляя лист ватмана к чертежной доске с помощью кнопки или орудуя швейной иглой, когда пришиваем пуговицу. Возьмите кнопку и осторожно начните ее сжимать между двумя пальцами. На кнопку с двух сторон действует одна и та же по величине сила, но если вы вовремя не прекратите «эксперимент», печаль-



Р и с. 13. На острие клина возникает большое удельное давление (а), а на гранях — расклинивающие силы (б)

ный исход неизбежен: острие кнопки безжалостно вонзится в ваш палец. Давление со стороны острия в несколько тысяч раз больше, чем то, которое испытывает палец со стороны опорной шляпки кнопки. Понятно, что благодаря высокому давлению на острие кнопка легко вдавливаются в деревянную доску, хотя доска все-таки прочнее кожи на пальце.

Простой опыт с кнопкой, представляющей собой со стороны острия клин, позволяет сформулировать важное свойство клина: на его вершине, то есть на заостренном конце, развиваются высокие удельные давления.

Для сравнения: на главной режущей кромке резца удельное давление достигает $2 \cdot 10^4$ кгс/см², в то время как удельное давление гусеницы танка на грунт составляет всего 0,83 кгс/см², снегоболотоходов — 0,28 кгс/см², колес грузового автомобиля — 0,8 кгс/см². Мы с вами шагая развиваем и то гораздо большее удельное давление, чем гусеница танка, — 1,5 кгс/см². Чертежная кнопка по сравнению с гусеницей танка — это вообще гигантский пресс, ее удельное давление 1000 кгс/см². Ну а уж про комара и говорить нечего: надоедливо досаждая нам, он прокалывает нашу кожу с фантастическим давлением для столь крохотного существа — 10^6 кгс/см²! Вот бы взять да и заставить комара обрабатывать металл... Увы, хоботок комара, несмотря на колоссальное удельное давление, не в состоянии нанести на поверхность стали хоть какую-либо царапину. Более того, этого не могут сделать своими зубами даже тигры и львы, у которых сил побольше, чем у комара. Подобную работу может произвести лишь твердый и прочный резец.

В чем же причина? Дело в том, что для эффективной работы клина одного удельного давления, даже очень высокого, здесь недостаточно. Клин должен быть тверже и прочнее обрабатываемого материала.

Чтобы получить высокое удельное давление, совсем не обязательно иметь клин. Достаточно просто приложить усилие к маленькой по площади опорной поверхности. Другое дело, как это конструктивно выполнить с соблюдением прочности и жесткости для инструментов, например резца, ножа или иголки. Форма клина здесь наиболее удачно подсказана самой природой.

Клин обладает еще одним, пожалуй, главным и замечательным свойством — способностью раскладывать приложенную к нему осевую силу на составляющие. С помощью клина еще в древности раскалывали бревна, валуны, приподнимали массивные каменные плиты при строительстве храмов, гробниц и крепостных стен. Полагают, что перемещение громадных и тяжелых идолов на острове Пасхи не обошлось без применения клиновидных камней. И все это следствие того, что на наклонных плоскостях клина перпендикулярно к ним действуют силы, превосходящие по величине силу, приложенную к его основанию. Чем острее угол клина, тем больше получается расклинивающая сила, причем во много раз. Но сильно заострять клин нельзя, так как он становится непрочным. Вот и приходится выбирать рациональный угол заострения с учетом прочности материалов и назначения инструментов.

Каменные топоры, рубила, резцы делались в древности с наиболее эффективным углом заострения клина, который определялся опытным путем, методом многократных проб и ошибок. Интересно, что ручные каменные орудия — резцы позднего палеолита — очень уж напоминают простые строгальные или токарные резцы нашего времени. Кремневые резцы с острова Мальта, из Мезина, Тимоновки, а также костяной резец бороро из Южной Америки — все они в принципе представляют собой клин и имеют одну, можно сказать, главную режущую кромку.

Теперь допустим, что мы выбрали рациональный угол заострения клина, а затем таким резцом начали обработку. Мы сразу же столкнемся с трудностями, связанными с установкой клина-резца относительно обрабатываемой поверхности, так как не при любом его положении будет эффективным снятие стружки. При наклоне

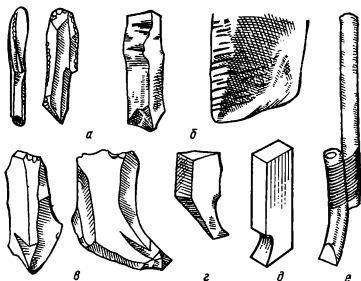
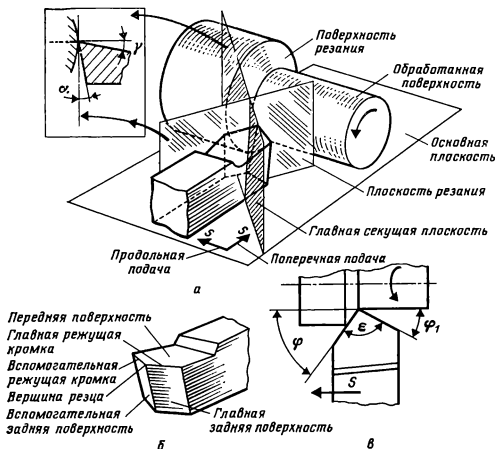


Рис. 14. Кремневые и костяные резцы каменного века в принципе мало чем отличаются от современного простейшего резца, несмотря на «дистанцию огромного размера», разделяющую их по времени. Резцы из Мезина (а), Тимоновки (б), с острова Мальта (в), клювовидный из Мезина (г), современный (д), костяной племени боро (е)

оси клина в направлении его движения будет осуществляться в основном смятие, заглаживание, вдавливание. Процесс резания станет нормальным и облегченным, если клин резца расположить относительно обрабатываемой поверхности с наклоном оси в обратную сторону. В этом случае стружка будет упираться и сходиться с так называемой передней поверхности клина-резца. Другая же его поверхность, обращенная к уже обработанной поверхности детали,— задняя поверхность, при этом не должна на большей своей части соприкасаться с обработанной поверхностью и вызывать излишнее трение, нагрев и ее деформацию.

Передние и задние поверхности одного и того же клина при резании имеют функционально разное назначение. Они присущи всем без исключения металлорежущим инструментам и, пересекаясь между собой, образуют режущую кромку. Кроме того, передние и задние поверхности клина-резца должны составлять вполне определенные и рациональные углы по отношению к заготовке. Для ориентирования передней поверхности принят угол, который называют передним и обозначают γ , а для



Р и с. 15. Геометрия резца определяется этими поверхностями (а); токарный проходной резец (б) и его углы в плане (в)

задней поверхности резца — задний угол α . Эти углы специально создаются при точении, строгании, сверлении и при других видах обработки резанием, они найдены, в сущности, методом проб и ошибок, то есть эмпирически.

Если менять положение клина, например как бы его покачивать относительно вершины, то при постоянстве угла его заострения передние и задние углы будут становиться больше или меньше. Значит, прежде чем назначать рациональные режимы резания, без которых немыслима эффективная обработка, следует резец с его клином или клиньями правильно расположить в пространстве относительно детали и станка. Для этого служит так называемая основная плоскость, на которую как бы кладут резец. Представить и построить основную плоскость несложно, так как ее положение определяется двумя прямыми (векторами), показывающими направление про-

дольной и поперечной подач, осуществляемых станком для перемещения инструмента или детали.

Продольная и поперечная подачи, перемещение инструмента механизмами станка... Как сейчас просто звучит эта фраза. Теперь мы даже себе не представляем, чтобы во время обработки рабочий держал резец в руках, прижимал его к вращающейся заготовке и таким образом снимал необходимый припуск. А ведь когда-то, в глубокой старине, другого способа не существовало, и суппорта, к которому так привыкли современные станочники, считая его присутствие на станке вполне обычным явлением, не было и в помине. Его не было и в устройстве с ножным приводом для обточки металла, которое, по утверждению историка Плиния Старшего, применил житель острова Самоса в Эгейском море (за 400 лет до н. э.). Даже на геммах того времени изображали Амура, обтачивающего свои любовные стрелы на токарном станке. Амуру, конечно, приходилось выполнять нелегкую работу: нажимать ногой на доску и вращать тем самым шпиндель станка или непосредственно заготовку для стрел, а в руках держать инструмент — резец в виде стамески. Да что там божественное создание, если даже самому германскому императору Максимилиану I приходилось работать на токарном станке, который был изготовлен в 1518 г. и не имел суппорта.

История суппорта начинается со второй половины XVI столетия. Так в станке Жака Бессона в 1565 г. появилась специальная «поддержка». Она, правда, была еще весьма несовершенная, тем не менее французы называли ее суппортом. Спустя лет 50 герцог Максимилиан Баварский, проводивший свой досуг за токарным станком (весьма похвальное занятие для герцога), пользовался уже приспособлением, которое с полным основанием можно было называть суппортом. Конечно, появился суппорт вовсе не для того, чтобы угодить герцогу и другим вельможам, увлекавшимся подобного рода занятиями. Его появление было обусловлено развитием в XVI в. капиталистических мануфактур, стремлением повысить производительность труда и качество обработки деталей.

В России изобрел суппорт талантливый механик Петра Первого Андрей Нартов. Его «держалка», над которой он работал в течение многих лет, была совершенно новым, оригинальным и точным устройством. В Западной Европе таких еще не было. Примером применения

суппорта может служить токарно-копировальный станок, построенный А. К. Нартовым в 1729 г. Суппорт перемещался в продольном направлении с помощью ходового винта, а специальный копир отводил резец от заготовки согласно заданному профилю будущего изделия. За свою трудовую жизнь талантливый механик построил много оригинальных и сложных станков и механизмов, которые и в наши дни вызывают чувство удивления и восхищения.

Прошло еще немало лет, пока двадцатитрехлетний английский механик Генри Модсли (Модслей) не сконструировал (1794) так называемый крестовый суппорт. Суппорт имел две подвижные взаимно перпендикулярные каретки. Благодаря этому укрепленный на верхней каретке резец мог передвигаться с помощью винтов по независимым друг от друга направлениям — вдоль оси вращающейся заготовки и перпендикулярно к ней, как в современных станках. Здесь необходимо подчеркнуть, что идея суппорта с несколькими каретками была не нова. Так, около 1770 г. во Франции пока неизвестным историкам техники изобретателем было сконструировано устройство, с помощью которого резец можно было перемещать в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Однако, несмотря на это, Г. Модсли по праву считают создателем крестового суппорта, так как его суппорт отличался новизной и полной пригодностью для разнообразных целей промышленного производства.

Следует отметить, что Модсли был исключительно одаренным и изобретательным механиком, к тому же начавшим свою трудовую деятельность с 12 лет. С юношеских лет он стал работать в лондонской мастерской Брама, где выпускались наиболее сложные и хитрые замки. Достаточно сказать, что один из замков этой мастерской, выставленный для всеобщего обозрения, не могли открыть в течение 70 лет даже за большое вознаграждение в 200 фунтов стерлингов. Помимо суппорта, Модсли построил токарно-винторезный станок, добился частичной стандартизации резьб, построил специальный щит, с помощью которого в Лондоне под рекой Темзой был прорыт туннель, и воспитал много талантливых учеников. Так что изобретателем крестового суппорта Генри Модсли стал не случайно.

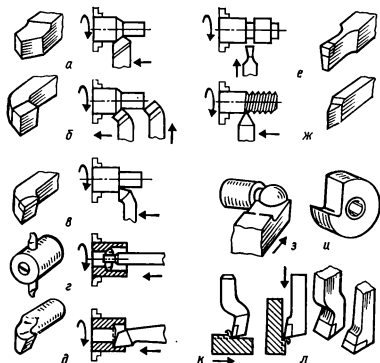
А изобретателей в те времена, до конца XVIII в., далеко не всегда баловали. Особенно доставалось самоучкам, строившим самобеглые коляски. Их считали грехов-

никами, а их деятельность церковь часто расценивала как «нечестивую попытку улучшить творение Творца» или как попытку «исправления божественного промысла». Ярким и печальным примером может служить Уильям Мердок с его самобеглой паровой трехколесной тележкой. Представьте себе ночь, дорогу на окраине села, по которой мчится без лошади, пыхтя и разбрасывая искры от топки, паровая тележка, а за нею хозяин своего детища, не успевший вскочить в тележку, а за ним священник и разъяренная толпа с палками и вилами...

Но вернемся снова к резцу, который установлен на суппорте и имеет возможность перемещаться благодаря подачам в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Карл Маркс считал, что изобретение суппорта имело очень важное революционизирующее значение для всего машиностроения, и писал в первом томе «Капитала»: «Это механическое приспособление заменяет не какое-либо особенное орудие, а самую человеческую руку, которая создает определенную форму, направляя, подводя резец и т. д. к материалу труда, например, к железу. Таким образом стало возможным придавать геометрические формы отдельным частям машин «с такой степенью легкости, точности и быстроты, которую не смогла бы обеспечить и самая опытная рука искуснейшего рабочего» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч. — Т. 23. — С. 396). С изобретением суппорта станок стал рабочей машиной и оказалось возможным создание резцов нового типа с точной геометрией и четко определенными теоретическими и практическими параметрами. Наконец благодаря крестовому суппорту в дальнейшем родилось понятие основной плоскости как стабильной базы для всех определений и построений, связанных с инструментами.

Резцы отличаются большим разнообразием. Тому причина не стремление усложнить дело, а производственная необходимость как можно лучше приспособить резец под определенный вид работ. Для обточки наружных поверхностей служат проходные резцы. Их делают прямыми и отогнутыми. Отогнутые не только удобнее прямых, но и более жесткие. В зависимости от направления рабочей продольной подачи проходные резцы могут быть правыми или левыми. Если резцом ведут обработку справа налево, то его называют правым. Положите на такой резец ладонью правую руку таким образом, чтобы отведен-



Р и с. 16. Разнообразны современные резцы: а — проходной прямой; б — проходной отогнутый; в — проходной упорный; г — расточной двухсторонний на оправке; д — расточной упорный; е — отрезной; ж — резьбовой; з — фасонный; и — круглый; к — строгальный; л — долбежный

ный большой палец был направлен в сторону продольной подачи, то есть вправо, а все остальные вытянутые пальцы находились у головки резца, и вы поймете, почему резец считают правым. По названию руки. Этот простой мнемонический прием относится и к левому резцу, но только направление рабочей продольной подачи влево будет указывать большой палец левой руки.

Когда же необходимо проточить уступ перпендикулярно или наклонно к оси вращения детали, обработать ее торец, то применяют подрезные резцы. Даже внешний вид подрезных резцов подсказывает их назначению. Более изящны расточные резцы. Ими растачивают сквозные и глухие отверстия. Работа с расточными резцами более сложная, чем с проходными резцами для наружного точения. Во-первых, зона обработки не видна, так как находится в глубине отверстия, а, во-вторых, эти резцы из-за значительного вылета изгибаются, пружинят и вибрируют. Вот и приходится назначать щадящие их режимы

резания. К тому же и стружку удалить сложнее, поскольку она образуется при расточке внутри отверстия. А подвести в зону обработки смазочно-охлаждающую жидкость и того хуже.

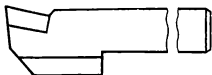
Но производство требует свое. Очень часто даже не обходятся обычными расточными резцами — не хватает длины стержня. Тогда и применяют специальные оправки, борштанги, на конце которых закрепляют маленький съемный резец. Иногда резец делают двухсторонним, чтобы оправка не изгибалась. Заметим, что расточным резцам в совокупности с оправками, борштангами уделяется особое внимание. Их постоянно исследуют на жесткость, вибрации и все время улучшают. Отверстия ведь необходимы точные, качественные.

Для получения резьб на внутренних и наружных цилиндрических и конических поверхностях служат резьбонарезные резцы. Прежде всего резьбы могут иметь различный профиль: треугольный, прямоугольный, квадратный, трапецеидальный, полукруглый, пилообразный и др. Когда сразу после революции у нас в стране была введена метрическая система мер, соответственно этому началось и внедрение метрической резьбы. В основу образования профиля метрической резьбы был положен равнобедренный треугольник с углом при вершине 60° . Отметим для справки, что образующей фигурой дюймовой резьбы был равнобедренный треугольник с углом при вершине 55° . Таким образом, резьбовые резцы имеют специальную заточку, соответствующую профилю резьбы, которую необходимо сделать, и, конечно, все знакомые нам атрибуты клина. Понятно, что у резьбового резца должна быть усложненная форма режущей кромки. Фактически это уже фасонная кромка. Но так повелось, что эти резцы не называют фасонными, а резьбонарезными, выделяя тем самым их единственное назначение. Фасонными называют другие резцы, главная режущая кромка которых воспроизводит контур детали или ее части. Хорошо, конечно, сразу за один проход фасонным резцом сделать требуемый контур детали. К сожалению, не всегда так получается, слишком уж широким тогда становится фасонный резец. Да и усилия с его деформациями возникают при резании большие. Тем не менее фасонные резцы позволяют значительно повысить производительность токарной обработки, поэтому их стараются применять, несмотря на более высокую стоимость.

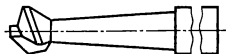
Среди токарных резцов важная роль отведена и отрезным резцам. Ими ведут резание только при поперечной подаче, заглубляясь в материал для отделения от заготовки ее части или уже обработанной детали. Отрезные резцы работают в тяжелых условиях, вследствие чего они частенько ломаются, быстро разогреваются и изнашиваются. Тому причиной малые боковые углы для уменьшения трения резца в прорезаемой канавке, узкая и длинная его головка, значительные усилия резания, затрудненный отвод стружки и пр. Неспроста токари ведут отрезку, несколько расширяя канавку, постепенно углубляясь в нее резцом. Облегчает условия резания и расположение главной режущей кромки отрезного резца под углом к оси вращения детали, а не параллельно, как обычно. Или делают эту кромку не в виде прямой, а с угловым уступом к зоне обработки.

Как видите, резцы разнообразны. И большинство из них создано для работы на токарных станках. Но есть и такие, которые предназначены для строгальных, долбежных и фрезерных станков. Так, строгальными резцами обычно обрабатывают плоскости, пазы, длинные фаски и т. д. Их часто делают изогнутыми и закрепляют в резцедержателе с осью вращения и упором, чтобы при обратном холостом ходе резец мог несколько отклоняться от детали и не портить ее поверхность, как и самого себя. Стремление сделать строгание более производительным привело к созданию резцов с шириной среза порядка 300—800 мм. Настоящие монстры! Но как ни совершенствуют строгальные резцы, они все равно уж очень напоминают простейшие резцы-клинья. Впрочем, это относится и к долбежным резцам, с помощью которых получают пазы, канавки, уступы в труднодоступных местах. При каждом рабочем ходе долбежные резцы испытывают удар, врезаясь в деталь. Глядя на лежащий долбежный резец, не сразу можно разобраться, где у него передняя поверхность, а где задняя. Но стоит представить его совместно с деталью и суппортом долбежного станка, как все сразу становится ясным. Главное движение совершается вдоль его продольной оси.

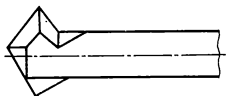
Интересно, что среди резцов есть и такие, которые получили необычные оригинальные названия — петушок, улитка, молоточек. Действительно, резец петушок для уменьшения изгиба стержня при снятии толстых стружек усилен гребнем, что придает ему сходство с петушком.



а



б



в

Рис. 17. Некоторые резцы имеют оригинальное название: а — петушок; б — улитка; в — молоточек

Расточной резец улитка имеет твердосплавную головку — коронку, сильно напоминающую домик всем известного моллюска улитки. А вот молоточек — универсальный резец. Им можно растачивать отверстия, нарезать резьбу, подрезать торцы, не снимая со станка. Только не забивать гвозди.

Иногда инструменты получали не оправданные приоритетом имена. Так, резцы с прямоугольными режущими кромками назывались у нас в 30-х гг. английскими резцами Герберта или немецкими. Эти резцы были стандартизованы во время первой мировой войны на заводе Герберта в Англии и примерно тогда же в Германии. В России же подобные резцы применялись раньше и описаны в 1896 г. профессором Артиллерийской академии А. Бриксом. По утверждению (1913) профессора Н. Саввина, они были типичными для русских машиностроительных заводов. Аналогично обстояло дело и с резцами, имеющими закругленную режущую кромку, которые именовались резцами Тейлора и демонстрировались как новинка на Парижской выставке в 1900 г. Чашечные, или грибовидные, резцы получили название французских, в то время как на русских заводах чашечные резцы, разработанные отечественными специалистами, с успехом применялись для обточки бандажей. А в 1913 г. в мастерских Санкт-Петербургского политехнического института испытывался даже не жестко закрепленный стационарный чашечный резец, а с вращающейся головкой.

Изогнутые резцы с опущенной головкой были разработаны в 1870 г. И. Тиме, а спустя 26 лет появилось их описание во французской литературе, после чего они «перекочсвали» снова в Россию как иностранные. Интересно, что резцы с шириной режущей кромки до 75 мм были описаны И. Тиме еще в 1870 г. в его работе «Сопротивление металлов и дерева резанию», а в наше время ширококромочные резцы иногда преподносятся как нечто новос, современное. Следует отметить, что с именем Ивана Августовича Тиме связано богатое наследие зачатателя науки о резании металлов. Сын доктора медицины, врача Златоустовского завода, он с детства отличался пытливым умом и повышенной любознательностью. Мальчишкой он мог часами простаивать у работающих станков, кузнечных молотов и печей, а вечерами слушать рассказы дяди Паши, друга семьи отца, о тайнах рождения прочных сталей и их обработке. Дядей Пашей был прославленный русский ученый-металлург Павел Петрович Аносов. Именно П. П. Аносов впервые применил микроскоп и травление шлифов для изучения микроструктур металлов и раскрыл секрет производства булатной стали. Так что наставник у маленького Тиме был превосходный, а семена падали на благодатную почву и привели впоследствии к рождению знаменитого профессора, создавшего отечественную школу ученых и производственников.

При обработке резанием с передней поверхности инструмента, в данном случае резца, сходит стружка. Ее форма и размеры определяются многими факторами. Геометрия инструмента, режимы обработки, материал заготовки и даже смазочно-охлаждающая среда — все влияет на стружку. Поэтому она и бывает разной. В одних случаях стружка рассыпается на маленькие дольки или легко надламывается, в других приобретает вид длинной ленты или пружины с острыми краями. Такие длинные, сливные стружки весьма эффектны, но представляют значительную опасность для рабочего и создают большие трудности по ее удалению со станка и транспортировке из цеха. Стружку, извивавшуюся, как анаконда, авторы видели в механическом цехе одного из заводов у токарного станка. Ее длина составляла более 5 м. Конечно, это очень длинная стружка, и она не приносит радости на заводе.

Стружку не выбрасывают, а собирают и сдают в соответствующие организации Вторчермета для переплава. Металл надо беречь. Ведь он металлургии дается нелегко. Экономное отношение к металлу является важной народнохозяйственной задачей. При этом не следует забывать, что эффект экономии будет наибольшим в том случае, если сведены до минимума все возможные потери. Например, стружку следует спрессовывать в брикеты, а не перевозить в виде вороха в грузовой машине. Иначе объем получается большой, а полезная масса — незначительной. Вот и едет фактически порожняком грузовик или трактор с прицепом. А дальше — новые убытки. У ворот сдаточного пункта длинная очередь грузового транспорта. Много часов он простаивает, томятся водители, летят на ветер народные деньги. Стружку и прочий металлолом в конце концов сдадут. Но какой ценой? Нередко подобные затраты во много раз превышают стоимость самого металлолома. Чтобы этого не случилось, необходима четкая скоординированная деятельность, хозяйский подход. Мелочей здесь быть не может. Они слишком дорого обходятся и губят хорошее дело.

Правда, на заводах с длинной стружкой ведут борьбу, но, к сожалению, не везде. Борьба начинается на станке, в зоне обработки. Для этого резцы оснащают специальными стружколомными устройствами, канавками и даже экранами. Со стружкой в виде мелких кусочков металла легче справиться. На некоторых заводах ее даже не сдают в переплав, а превращают в порошок, из которого затем методами прессования и спекания получают требуемое изделие.

Ничто не вечно под луною, говорим мы часто о недолговечном характере события, жизни или предмета. Применительно к нашему рассказу это смело можно отнести к поломке или износу инструмента. Поломка инструмента в отличие от его износа не считается событием закономерным, скорее исключительным, иначе все резцы должны были бы ломаться. А износ вполне закономерное явление, даже для инструментальных материалов высокой твердости и прочности. Конечно, новые современные материалы становятся все более и более стойкими и далеко обогнали в долгожительстве своих предшественников, но и они при увеличении скорости резания садятся быстрее и требуют позторной заточки и доводки. Понятно, чем выше стойкость инструмента, тем дольше им мож-

по работать. Во всех случаях стремятся иметь резцы, да и любой другой инструмент как можно большей стойкости, что сокращает перерывы в работе, повышает производительность труда и улучшает экономические показатели. Но это становится особенно важным, когда сотни инструментов устанавливаются на станках, из которых состоят автоматические линии. Сотни инструментов здесь работают одновременно. Стало быть, преждевременный выход из строя только хотя бы одного резца влечет за собой незапланированную остановку всей автоматической линии. А таких резцов может быть много, и с каждым может такое случиться. Поэтому выбор оптимальных режимов резания и подбор инструментов с одинаковой долговечностью приобретает для производителей, обслуживающих станки-автоматы, исключительно важное значение.

Итак, в процессе резания инструмент изнашивается. На рабочих поверхностях клина появляются изношенные участки. Они могут быть на передней или задней поверхности резца, а также на обеих поверхностях одновременно. Износ зависит от условий резания, свойств обрабатываемого материала и самого инструмента. Он вреден, так как сокращает срок службы инструментов, приводит к потере качества обработки, простоям станков. Поэтому износ постоянно стараются уменьшить, применяя новые материалы, упрочняющую технологию, эффективные среды, более рациональную геометрию резцов и пр. Мы не будем здесь развивать эту тему, а только остановимся на одном оригинальном методе повышения износостойкости инструментов, который имеет свою интересную историю...

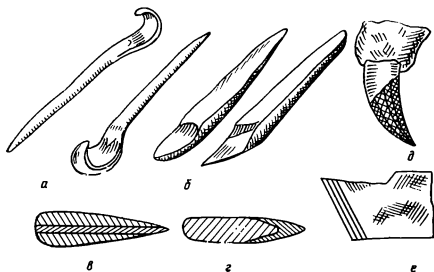
В квартире-музее М. Горького на письменном столе лежат небольшие резцы. Их подарил писателю А. М. Игнатьев вскоре после получения патента в 1926 г. По поводу своего изобретения — самозатачивающихся резцов — А. М. Игнатьев писал М. Горькому: «Изучение строения природных форм, их частей, играющих наиболее ответственную роль в борьбе за существование, должно иметь громадное значение для техники и должно быть предметом особой дисциплины».

Биолог по образованию, человек с инженерным складом ума, революционер А. М. Игнатьев заинтересовался, казалось бы, далеким от техники вопросом. Почему клыки и когти животных все время острые. Ведь они, исти-

раясь, должны затупиться. Однако они не только остаются острыми, но даже не меняют угол заострения клина. А если клыки и когти самозатачиваются? А. М. Игнатьев берет зубы бобра, спиливает их острые концы, делает плоскими и закрепляет в специальной установке, которая воспроизводит движение челюстей бобра. По мере того как механические челюсти грызли дерево, на каждом плоском зубе с внутренней стороны начал образовываться скос. Со временем скос становился все больше и больше. Так продолжалось до тех пор, пока зубы из плоских не превратились в острые. Произошла их самозаточка. Дальнейшие исследования этого интересного явления показали, что всему причиной различие в твердости и износостойкости внешней и внутренней стороны клина — зуба. Менее твердая внутренняя сторона зуба изнашивается быстрее более твердой наружной. Поэтому и образуется острый клин с найденным природой эффективным углом заострения, поэтому и не боятся животные затупить свои клыки, резцы, зубы. Природа раскрыла тайну! Но до ее конкретного использования следовало еще хорошо потрудиться и выбрать достойный для практического применения объект. Таким объектом и стал резец. Оснащенный пластинками разной твердости и износостойкости, резец Игнатьева получил новое свойство — свойство самозатачиваться в процессе резания.

Не будет большим отступлением от темы, если мы добавим, что А. М. Игнатьев сконструировал и аппарат для корректировки стрельбы по самолетам, о котором докладывал В. И. Ленину, и получил его одобрение в присутствии авторитетной комиссии.

Мы иногда говорим, что новое — это хорошо забытое старое. Оказывается, мастера Древней Руси делали многослойные мечи, ножи и некоторые другие орудия. Об этом Бируни писал: «Русы выделявали свои мечи из шапуркана, а долы посредине их из нармохана». Такой меч в сечении представлял собой трехслойный пирог. Его средний слой был из высокоуглеродистой твердой, закаленной, как сейчас говорят, инструментальной стали, а два других боковых слоя — из малоуглеродистой мягкой стали. Такими же изготавливались методом кузнечной сварки и лемеха плугов. Не все, конечно. Из нескольких материалов делались и резцы. Они состояли из двух-трех стальных слоев разной твердости или же имели стальную закаленную головку с режущим лезвием, при-



Р и с. 18. Резцы Древней Руси IX—X вв. для обработки отверстий (а) и наружного точения (б). Инструменты часто делали из нескольких слоев стали разной твердости (а, г). Принцип самозаточки зубов и когтей (д) лежит в основе слоистых резцов А. М. Игнатьева (е)

варенную к стержню из мягкого железа. В X в. резцы повгородцев для внешнего точения имели вид обыкновенных современных стамесок с прямым или наклонным лезвием. Несколько позже наряду с такими прямыми резцами-стамесками появились изогнутые и даже с зазубринами на внешней дугообразной стороне. Этими зазубринами резец упирался скорее всего в деревянную станину станка, что значительно облегчало условия работы, позволяло снимать большую стружку и даже повышало точность обработки. Такие резцы с зазубринами просуществовали многие сотни лет — вплоть до 20-х гг. нашего столетия.

Завидное долгодетие ручного резца.

При работе трехслойным орудием боковые слои изнашивались быстрее прочной и твердой сердцевины, что приводило к самозаточке клина. В случае же ударов, что свойственно мечам, твердый, но хрупкий внутренний слой меньше давал трещин и разрушений, так как был по бокам защищен пластичной сталью.

Отметим, однако, что к идее самозатачивающихся резцов А. М. Игнатьев пришел самостоятельно, без «подсказки» старых русских мастеров. Полагаем, что многим машиностроителям и инструментальщикам знаком резец

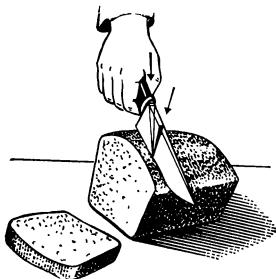
Игнатьева, но о том, что наши далекие предки применяли многослойные орудия, знает далеко не каждый.

Трудно представить современный машиностроительный завод без резцов. С их помощью в основном на токарных станках выполняется значительный объем работ, связанных с обработкой материалов резанием. Эти относительно простые и во многом универсальные инструменты полностью воплотили в себе все свойства клина. Клина такого древнего и такого современного. В результате упорного труда не одного поколения механиков укрощенный коготь-клин превратился в резец, исключительно необходимый и полезный человеку. Мало того, замечательные свойства клина вызвали к жизни не только резец, но и другие инструменты, которым и посвящен следующий рассказ.

РАЗНООБРАЗИЕ, ПОДЧИНЕННОЕ ЕДИНОМУ ПРИНЦИПУ

В далеком прошлом наш пращур использовал в качестве ножа подходящей формы и остроты природный камень. Потом научился сам изготавливать каменные орудия труда и оружие для охоты. Вспомните нуклеусы и отщепы с них. Именно с удачных больших удлиненных отщепов путем дальнейшей обработки получали каменные ножи. Более совершенными они стали в неолите. Каменные пожи и многие другие орудия применялись и в бронзовом веке, так как были прочнее бронзовых, несмотря на красоту и изящество последних. Можно с уверенностью сказать, что бронзовый и железный века не изменили саму идею каменного пожа. Иначе и быть не могло. Ведь независимо от материала и конструктивного оформления этого орудия, инструмента его рождение и существование во многих всках предопределено свойствами клина.

Всем известно, чем нож-клин острее, тем легче он проникает в материал. Однако в данном случае необходимо еще и уметь пользоваться ножом, ибо одной его остроты



Р и с. 19. И обычным
ножом, оказывается, на-
до уметь работать

мало. Искусство заключается в том, чтобы не нажимать на поверхность разрезаемого предмета всем лезвием сразу, а только его малой частью для повышения удельного давления. Кроме того, ножом не просто давят, а еще и совершают продольно-пилящие движения (да простят нам читатели такой техницизм). Попробуйте не делать этих движений ножом, эффективность резания значительно ухудшится. Казалось бы, вывод очевидный до тривиальности. Но вот что за этим выводом скрывается, вряд ли кто задумывался. Вы, к примеру, режете хлеб. Даже если нож и острый, вы все равно выбираете интуитивно направление приложения силы, облегчающее работу. Но ведь угол заострения клина ножа остался без изменения. Почему же не во всех случаях острый нож одинаково хорошо разрезает буханку хлеба? А секрет заключается в том, что, нажимая и перемещая с наклоном нож, мы тем самым как бы еще более заостряем его клин, — результирующая сила действует уже не в плоскости нормального сечения к продольной оси ножа, а под некоторым углом к ней. Получается, что и обыкновенным ножом надо уметь пользоваться? Именно так!

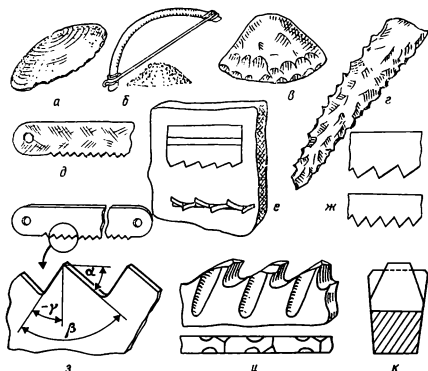
(В связи с этим невольно вспоминается один исторический курьез. Во Франции врач, представитель самой гуманной, пожалуй, профессии на Земле, выступил инициатором создания... чего бы вы думали? Эффективного лекарства или не менее эффективного метода лечения? Нет. Орудия убийства. Многие догадались, вероятно, что речь идет о придворном враче Гильотене и гильотине —

устройстве для отсечения голов осужденных на смерть людей. Поначалу гильотина «работала» плохо, не слишком «гуманно», хотя нож был и достаточно тяжелым и достаточно острым. Усовершенствовал гильотину в буквальном смысле на свою голову король Людовик XVI. Идея короля заключалась в том, чтобы нож падал на шею несчастного под некоторым углом к направляющим стойкам.

Именно усовершенствованная гильотина отрубила голову самому Людовику XVI...)

При работе ножом мы весьма часто придаем ему как бы пилящее движение. Никто, разумеется, нас этому не учил. Но опыт подсказал, что так легче разрезать хотя бы ту же буханку хлеба. Это всеобщий принцип, лежащий в основе выбора оптимальной геометрии инструментов и их установке на станках. Принцип этот заставляет конструкторов наклонять лезвия ручных и машинных ножей и ножниц, главных режущих кромок резцов, зубьев фрезы и т. д.

Нож, конечно, еще не пила. Однако до нее и в каменном веке было рукой подать. Представьте себе процесс пиления каменным ножом дерева, кости, камня. В процессе работы из острого лезвия выпадали кусочки и постепенно на нем появлялись зазубрины. Пилить таким испорченным ножом стало гораздо лучше, а вот обстругать, например, палку хуже. Нельзя было это не заметить. Так же как и то, что огранка, небольшие боковые сколы вблизи острого целого каменного лезвия помогают пиленю. Оставалось только совершить один целенаправленный шаг — преднамеренно сделать зубья, много зубьев на рабочей стороне ножа. И такой шаг был сделан в каменном веке. В результате чего появилась каменная пила с зубьями и проведена четкая грань между ножом и пилой. Появилось новое орудие труда, инструмент нового вида, даже несмотря на то что зубья пилы еще не имели строго выраженной и рациональной геометрии клина. Здесь, нам представляется, необходимо остановиться и уточнить фразу «рукой подать». «Рукой подать» — значит близко, рядом, но еще не в самих руках... Так и в случае превращения ножа в каменную пилу. Идея лежала близко, рядом, но для ее конкретного воплощения в новое орудие труда понадобилось длительное время — тысячи лет.



Р и с. 20. В камнем веке пиление осуществляли раковинами (а), натянутым шнуром и подсыпкой песка (б), каменными пилами без зубьев, но с ретушированными краями (в) и даже каменными пилами с зубьями (г). Пилы бронзового века имели зубья (д, ж), которые разводились в разные стороны, что изображено на фрагменте этрусской вазы (е). Зубья современного ножовочного полотна (з); пила с попеременной заточкой зубьев и боковыми канавками (и); пила с подрезающими и подчищающими зубьями (к)

Не у всех народов пиление осуществлялось каменным инструментом. Народы Юго-Восточной Азии и Океании применяли весьма длинные полоски расщепленного бамбука и половинки раковин. Установлено, что в мягкий бамбук «врезались» зерна кварца — получалось что-то вроде абразивной пилы. Меланезийцы для пиления использовали ротанговый шнур, а североамериканские индейцы обходились в таких случаях тетивой и влажным песком, подсыпая его под тетиву. Вполне возможно, что пиление такими гибкими шнурами, покрытыми острыми и твердыми абразивными зернами, было достаточно эффективным. Недаром и в наше время существуют методы пиления, мало чем отличающиеся от этих по своей сути.

Тем не менее обработка с помощью зубчатых пил была более производительная. Поэтому интерес к зубчатым пилам в бронзовом веке не пропал. Совсем наоборот, они совершенствовались, невзирая на то что бронза по прочности и твердости значительно уступала кремню и прочим твердым породам. Так появились пилы с прямыми и косыми зубьями и, что очень важно, с рационально выбранными углами. Делали даже развод зубьев поочередно в разные стороны для облегчения процесса резания и уменьшения трения полотна пилы о стенки узкой щели — пропила. Сказанное подтверждается археологическими находками пил и произведениями искусства. Как красива лучковая пила с зубьями, изображенная на вазе этрусков! С чувством глубокой признательности мы преклоняемся перед неизвестными мастерами древности, которые воспели в художественных изделиях тяжелый труд рабочего человека и донесли до нас сквозь тысячелетия изображения своих инструментов. Бесспорно, к орудиям труда они относились с большим уважением.

Помимо развода зубьев, в древности применяли и пилы с обратным уклоном полотна. Со стороны зубьев оно делалось шире, чем с тыльной, нерабочей стороны. Таковыми были железные пилы новгородцев IX—XIII вв.

Но встречались и пилы, у которых полотно было не плоским, а сужалось в сторону зубьев. Вероятно, этими пилами без значительного развода зубьев в разные стороны работать было плохо.

Выпиливание зубьев производилось, конечно, вручную большей частью прямоугольными напильниками, поэтому угол заострения получался равным 90° . Однако не всегда зубья пил имели столь простую треугольную форму. Новгородские ремесленники XV в. делали их иногда с двумя вершинами. Получался как бы двойной зуб, который лучше дробил стружку и облегчал процесс пиления. Удобны были и пилы с переменной высотой зубьев. У рукоятки они были крупнее, выше, чем на конце пилы. Что-то немного теперь таких пил. И очень жаль, потому что переменная высота зубьев дает этому ручному инструменту ряд существенных преимуществ. Подумайте, каких.

В общем одноручные и двуручные пилы и ножовки древности весьма похожи на современные. Так, у известного всем ножовочного полотна форма зуба обычно треугольная. Передний угол принят отрицательным (от 0

до — 12°), как и у ножовок древности. А задний угол сделан достаточно большим ($27-37^\circ$) для того, чтобы при малом шаге получить побольше места для размещения стружки. Конечно, современные пилы стали эlegantнее, гораздо более прочными и долговечными, а зубья каждой пилы оказались похожими, как родные братья, так как их делают не вручную, а на станках. И все они имеют рациональный угол заострения клина и соответствующие передние и задние углы. Как видите, геометрических параметров у пил не так уж и много. Их можно буквально пересчитать по пальцам одной руки, независимо от того, какие бывают пилы — машинные или ручные, круглые или продольные.

Задумаемся, однако, вот о чем. Мы говорим: современные пилы... А так ли это, если на них давит груз, прямо скажем, старых проблем? Пилам по-прежнему тесно в пропилах, стружка удаляется с трудом да еще и заклинивается в щели, пилы разогреваются, зубья быстро изнашиваются или ломаются. Вот и идут на всякие конструктивные хитрости. Помимо утолщения зубьев и их развода, что известно было в бронзовом веке, на боковых поверхностях зубьев делают канавки для размещения стружки. Для той же цели режущие кромки снабжают пропилами, располагая их в шахматном порядке. Применяют попеременную заточку или выпускают пилы с подрезающими и подчищающими зубьями. При чем подрезающие зубья обязательно должны быть выше подчищающих. Конечно, от всех этих конструктивных решений пилы становятся лучше, но не дешевле. Мы идем часто путем усовершенствования того, что было придумано еще в древности. Парадоксально, но это факт. Кстати, подобных фактов не так уж мало.

Кому не приходилось видеть напильники? Эти инструменты настолько распространены, что с ними, как и с молотками, знаком каждый и узнает, без сомнения, сразу. Напильники помоложе пил. В каменном веке их не было. Они появились в бронзовом веке и прочно утвердились в железном. С тех пор человек с ними не расстаётся. Уже очень напильники оказались полезными, относительно простыми и удачными инструментами. В слесарно-опиловочных работах без напильников порою не обойтись. Поэтому и выпускают их в нашей стране в огромных количествах.

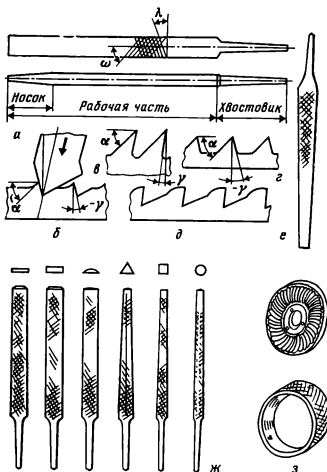


Рис. 21. Зубья современных напильников (а) получают насеканием (б), фрезерованием или шлифованием (в), протягиванием (г), а зубья рашпилей (д) только насекаемые. Как похож железный напильник Древней Руси из Вышгорода (е) на современные (ж), за исключением специальных (з)

Как и пилы, напильники имеют много зубьев. Все они расположены на рабочей части инструмента и снимают стружку при движении только в одном направлении — вперед, от хвостовика к зауженному носку. При обратном движении зубья не режут материал. Значит, и нажимать в этом случае на напильник не следует. Зачем зря тратить энергию. Лучше ее припастить для последующего рабочего хода. Каждый зуб напильника — это элементарный резец, углу которому назначают в зависимости от материала, подлежащего обработке.

Начиная с бронзового века зубья напильников насекали специальными зубилами. Технология изготовления

этих инструментов была трудоемкой. Даже в XVIII в. напильник длиной в один фут насекался 12 ч. Поэтому понятно стремление механиков облегчить утомительную работу путем применения станков. Так, до нас дошли чертежи насекальной машины XVI в., сконструированной Леонардо да Винчи. Машина приводилась в движение силой тяжести груза, а заготовка под напильник автоматически передвигалась при помощи ходового винта под заостренным молотком, совершавшим возвратно-поступательные ударные движения. В более поздней машине Жусс де ла Флега отдельно применялись молоток и сменные зубила. Заметим, что метод насекания напильников ударом по зубилу-резцу широко используется и в настоящее время, только не вручную, а станками-автоматами. Есть, конечно, и другие методы, как, например, фрезерование, протягивание, нарезание зубьев специальными гребенками и пр. Но насекание зубилами пока остается основным методом изготовления напильников. Шумноватый он, к сожалению.

Несмотря на то что насечек на заготовке делается много, их все равно считают. Введен даже строгий показатель — число насечек на 10 мм рабочей длины напильника и номер насечки. Напильники с наиболее крупными зубьями, предназначенные для грубых, черновых работ, имеют нулевой и первый номера насечек. Такие напильники называют драчевыми. Второй и третий номера присвоены напильникам, служащим для чистового опиливания поверхностей. Наконец есть напильники бархатные — это четвертый и пятый номера. Они применяются, чтобы окончательно отделать изделие. Число насечек у бархатных напильников может быть более 112 на 10 мм длины, тогда как у драчевого напильника с нулевой насечкой их всего 4—5. Однако и те и другие имеют зубья, в основе которых лежит все тот же клин.

Чтобы напильником легче было работать, насечку делают под некоторым углом к продольной оси инструмента. Вспомните преимущество наклоненного режущего лезвия. Но этого мало. Стружка образуется слишком широкая. Поэтому ее ломают на мелкие кусочки путем введения второй, так называемой вспомогательной, насечки. У такого напильника зубья лучше врезаются в металл, хорошо дробится стружка и легко выпадает из впадин между зубьями. Чего желать лучшего? Остроумно, просто и... не детище нашего века! Доподлинно уста-

повлени, что напильники с перекрестной насечкой появились на Руси не позднее XII в. Такими были напильники из Вышгорода и Райковецкого городища. Они мало чем отличаются от напильников XX в. Тем более что формы поперечного сечения у них однотипные с современными — квадратная, прямоугольная, треугольная, полукруглая, ромбическая, круглая, овальная. Примечательно, что однорядная насечка напильников была распространена в Западной Европе до конца XIV в., пока в Нюрнберге не появилась перекрестная насечка.

В старину напильники делали вручную. Непростое это было занятие. Вот как в одном средневековом трактате описано производство напильников: «Тяжелые и средние напильники изготавливаются из однородной стали. Они бывают четырехгранные, трехгранные и круглые. Делают еще и другие, более тяжелые напильники. Тогда они должны быть сделаны внутри из мягкого железа, а снаружи покрыты сталью... Они выравниваются на кругу, а потом насекаются посредством молотка, заостренного с обеих сторон. Другие напильники насекаются зубилом... После того как напильники опробованы со всех сторон ударом, производят закалку». Так что мастеровые далекого прошлого знали толк в изготовлении напильников и, конечно, умели их применять.

А теперь, прежде чем мы продолжим знакомство с другими инструментами, откроем книгу всем известного фантаста...

«— Наконец-то! — воскликнул председатель «Пушечного клуба» со вздохом облегчения.

В тот же день работы возобновились.

Немедленно начали очищать канал Колумбиады, извлекая из него внутреннюю форму. Без усталости работали ломом, киркой и сверлильными машинами...

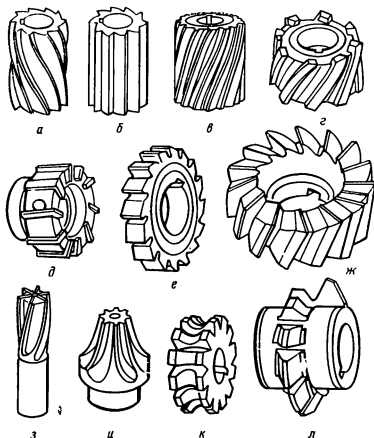
Вслед за этим началось калибрование пушки. Были установлены фрезерные машины, которые принялись счищать шероховатую кору, покрывавшую поверхность чугуна. Несколько недель спустя внутренняя поверхность гигантской трубы приобрела идеально правильную цилиндрическую форму, и внутренний канал орудия был превосходно отполирован».

Так описывает Жюль Верн технологию обработки канала ствола гигантской пушки, которая должна была послать снаряд на Луну. А размеры пушки действительно были большие: длина 900 футов, внутренний диаметр

ствола, в котором был устроен торжественный прощальный банкет на 10 персон, составлял 9 футов, а масса пушки — 20 000 фунтов. Снаряд для этой пушки был сделан из алюминия — металла, который через много лет приобретет эпитет «крылатый». Но в 1865 г., когда Жюль Верн закончил свое произведение «С Земли на Луну прямым путем за 97 часов 20 минут», алюминий только-только приобретал промышленное значение. Причем довольно-таки робко. Это и понятно. Ведь алюминий был впервые получен в свободном состоянии в 1825 г. датским физиком Эрстедом. Затем Велером в 1845 г. и Сент-Клер Девилем в 1854 г. были осуществлены попытки его внедрения в промышленность. В течение же 10 лет после этого во всем мире было выплавлено только 10 т алюминия. Только в 1886 г. после изобретения Полем Эру во Франции и Чарлзом Холлом в США электролитического способа производства алюминия к нему стали относиться как к промышленному металлу. Эра же алюминия наступила еще позднее — в XX в. Так что великий фантаст смотрел далеко в будущее.

Из приведенного выше жюльверновского отрывка ясно, что обработка ствола велась после сверления фрезами. Пытливый ум фантаста не мог, конечно, пройти мимо своеобразных высокопроизводительных инструментов, которые пыльные на воображение французы называли именем сладкой ягоды — клубникой, что по-французски будет «фрейз», а по-русски — «фреза». Родоначалница современных фрез действительно была очень похожа на клубнику, которую вращали за хвостик. Постепенно форма фрез настолько изменилась и сходство с клубникой настолько потерялось, что теперь многие даже не догадываются о такой блистательной плодотворной карьере фрезы в начале ее триумфального шествия в качестве режущего инструмента, такого важного инструмента, о котором упомянул великий фантаст.

В наши дни обработка материалов резанием с помощью фрез получила исключительно широкое распространение. По уровню производительности фрезерование уступает лишь наружному протягиванию. Для обеспечения жизнедеятельности фрез созданы специальные станки, осуществляющие быстрое вращение этих «ягодок» и их подачу. Многообразны фрезы. Они бывают цилиндрические с прямыми и винтовыми зубьями, торцевые, дисковые, прорезные и отрезные, концевые, угловые,



Р и с. 2.2. Сложны и по-своему красивы фрезы: а — цилиндрическая с винтовыми зубьями левыми; б — цилиндрическая с прямыми зубьями; в — цилиндрическая с винтовыми зубьями правыми; г — цилиндрическая со вставными зубьями; д — торцевая; е — дисковая пазовая; ж — дисковая трехсторонняя; з — концевая; и — модульная пальцевая; к — фасонная; л — фреза-улитка

фасонные и т. д. Фрезы могут быть цельные и составные, а также в виде наборов на одной оправке. Ими обрабатывают поверхности любого самого сложного профиля. По сути дела, фрезам доступно все то, что придумано для обычного единичного токарного резца.

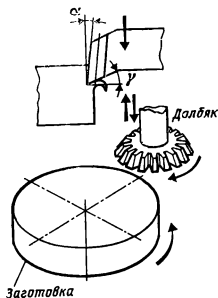
Вполне понятно, что фрезы изготавливают из высококачественных инструментальных материалов, уделяя особое внимание режущим зубьям. Если фрезы большие по своим размерам, то теряется экономическая целесообразность их изготавливать цельными. Тогда фрезы делают сборными: зубья из одного материала, а корпус из другого. В этом случае зубья закрепляют механиче-

ским путем с помощью клиньев (и здесь клин!), втулок, винтов, рифлений, прижимов, позволяющих зубья передвигать, выставлять, заменять на новые, и также с применением операции наплавки.

Известно, что очень многие любят фантастику. Она переносит в мир необычных явлений, часто заставляет задуматься над человеческими возможностями и оценить то, что имеется, что достигнуто. Тему для этого литературного жанра выбрать нелегко. Но вот одна, которая любителям техники окажется по душе. Представьте себе, как вдруг из современной техники исчезли зубчатые колеса. Попробуйте не сдерживать полет своего воображения, и вы увидите, что произойдет... Не хочется называть слово «катастрофа». Но то, что остановятся автобусы, грузовые и легковые машины, мотоциклы, тракторы, корабли, не взлетят ввысь самолеты, перестанут действовать многие механизмы и станки и т. д., бесспорный факт. И все из-за каких-то зубчатых колес... Каких-то? Да без них просто невозможно представить современную технику. Они не только прочно вошли в конструкцию множества машин и механизмов, но и не собираются в наш атомный век сдавать своих позиций. Зубчатые колеса не появляются сами по себе. Их делают на специальных станках с применением достаточно сложных зубонарезных инструментов. Что же это за инструменты?

Во-первых, это инструменты, в основе которых лежит уже известный клин с его замечательными свойствами. Во-вторых, эти инструменты отличаются завидным разнообразием при неутешительной сложности и стоимости. Но большое разнообразие инструментов для обработки зубчатых колес еще не обозначает хаоса. Наоборот, все подчинено строгой классификации и рационализации. Мы, конечно, не будем отвлекать ваше внимание перечислением и описанием всех типов зубонарезных инструментов. Остановимся только на нескольких.

Зубья зубчатых колес и впадины между ними имеют вполне определенный, строго заданный и неукоснительно соблюдаемый профиль. Как его получить с многократным повторением на заготовке? Можно, например, взять фасонную концевую или дисковую фрезу и прорезать сначала одну впадину. Затем после поворота заготовки на один шаг будущего зубчатого колеса прорезать вторую впадину. И так далее, пока не сформируются все



Р и с. 23. С помощью долбяков нарезают зубчатые колеса с наружным и внутренним зацеплением

зубья по окружности. Само собой разумеется, что рабочий контур инструмента должен соответствовать контуру впадины.

Этот метод, который называют копированием, не отличается высокой производительностью и точностью. Более совершенен другой метод — обкатка. Поэтому наиболее обширны типы инструментов, работающих по методу обкатки. Здесь и долбяки, и рейки, и червячные фрезы. Чтобы глубоко не вникать в сложный мир этих инструментов, подчеркнем, что они совместно с заготовкой как бы воспроизводят движения, свойственные зубчатому зацеплению, да плюс еще движения, необходимые для обработки резанием. Но какие бы сложные движения ни совершал инструмент, он в обязательном порядке должен обладать всеми атрибутами режущего клина, иметь соответствующие углы и поверхности.

Перед нами долбяк. Он очень напоминает зубчатое колесо. Но зубья у него не простые, а режущие. Ничего что они похожи на зубья зубчатого колеса. Все равно они — резцы. А раз так, то имеют режущие кромки, передние и задние поверхности и, конечно, соответствующие углы. Долбяк — незаменимый инструмент для обработки шевронных зубчатых колес, у которых зубья расположены елочкой, или колес с внутренним зацеплением. Долбяки «проходят вне конкурса» при необходимости изготовления зубчатых блоков, то есть деталей, которые состоят из нескольких шестерен разных размеров. С та-

кими блоками мы встречаемся, разбирая коробки скоростей мотоцикла или автомобиля.

Как-то само собой получается, что, глядя на зубчатые колеса, мы в основном обращаем свое внимание только на их венцы. Это вполне закономерно из-за их своеобразной красоты и деловой рациональности. При этом в тени остаются центральные отверстия в зубчатых колесах, с помощью которых они устанавливаются на валах. Посмотрите на отверстия. Многие из них (даже, можно сказать, большинство) не просто круглые, а имеют прорези — пазы для шпонок или для соединения со шлицевыми валами. Сделать такие прорези можно известными уже нам долбежными резцами. Но долбление не отличается высокой производительностью и точностью. Лучше будет, если за дело возьмутся протяжки.

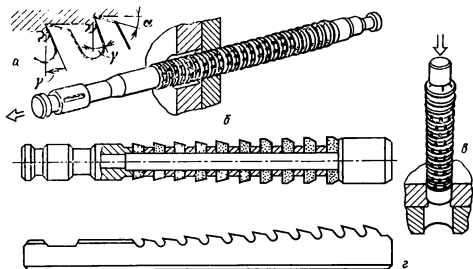
Что же они собой представляют? Прежде всего каждая протяжка имеет не один режущий зуб... Совсем как у А. С. Пушкина в поэме «Полтава»:

А нить полков блестящих, стройных,
Послушных, быстрых и спокойных
И ряд незыблемый штыков...

Итак, зубьев в протяжке много, но все они подчинены единой цели и строгой дисциплине рациональной геометрии. Поэтому протяжки относят к многозубым инструментам, как и напильники. Они даже несколько напоминают круглые напильники. Ведь по идее каждый последующий ряд зубьев напильника на его конической части незначительно выступает над предыдущим рядом и, значит, готов начать «схватку» с материалом при одном лишь осевом перемещении инструмента.

Так и у протяжки. В принципе это набор резцов, поставленных друг за другом в затылок таким образом, чтобы каждый последующий выдвигался своей режущей кромкой несколько больше в сторону обрабатываемой поверхности, чем предыдущий.

Протяжка — сложный инструмент и состоит из нескольких функционально разных частей. Так, протяжка для обработки отверстий начинается не с головы, а с хвостовика, который и переходит в переднюю, направляющую часть. Далее за ней идут «от мала до велика» режущие зубья. Режущие зубья переходят в калибрующие, которые «все равны, как на подбор». Их действительно делают одинаковыми, так как, с одной стороны, эти зубья



Р и с. 24. Зубья протяжки это — резцы (а), цилиндрическая протяжка цельная (б, верхний рис.), сборная (б, нижний рис.), прошивка (в), протяжка плоская (г)

окончательно калибруют требуемый профиль изделия, а с другой — они служат резервом для восстановления изношенной протяжки. Вслед за калибрующей частью располагается специальная направляющая поверхность и... хвостовик. Опять хвостовик! Что за зверь о двух хвостах и без головы? Такого даже в сказках не повстречаешь. Однако длинной протяжке очень нужны именно два хвостовика. За передний хвостовик ее тянут при рабочем ходе, а за задний поддерживают во избежание деформаций и перекосов, ведь она длинная, достигает продольного размера, в 30—40 раз превышающего поперечный. В этом отношении прошивка, которую не тянут, а толкают, гораздо короче. Ей и нельзя быть длинной, поскольку прошивка работает на сжатие и продольный изгиб, а протяжка — только на растяжение. Поэтому прошивка выглядит как-то солиднее и не имеет хвостовика, который ей и не нужен.

Зубья протяжки — самые настоящие клинья-резцы. Они имеют переднюю и заднюю поверхности и такие же по названию иглы. А между зубьями как бы свободное пространство — карманы. Эти карманы не всегда пустые. Они быстро заполняются закручивающейся стружкой при работе протяжки. Другого места для стружки и нет, пока зубья протяжки осуществляют процесс резания. Поэтому карманы делают достаточно емкими, не забывая

и о прочности самих зубьев. Однако поместить стружку в карманы-канавки еще недостаточно, необходимо, чтобы она из них легко выходила. Казалось, нет ничего более простого. А если поперечное сечение протяжки, например, круглое? Тогда стружка, срезаемая круглой режущей кромкой, будет иметь вид цельного кольца, расположенного в канавке. Попробуйте такое стальное кольцо удалить, да к тому же из многих канавок. Задача не из легких. И тогда были придуманы так называемые стружко-разделительные канавки, которые делают прерывистой режущую кромку и дробят стружку на мелкие дужки. В таком размельченном виде она и покидает свой тесный приют.

Протяжки применяют не только для получения в отверстиях шпоночных и шлицевых пазов, хотя с этого и началась их «трудовая деятельность». Принцип протягивания, весьма производительной обработки за один проход, нашел свое воплощение и в других конструкциях этих инструментов, особенно для обработки наружных поверхностей. Появились плоские протяжки или в виде шестерен с разной высотой режущего зуба и др. Они даже стали почти непрерывного действия. Так, протяжку неподвижно закрепляют на станке, а детали располагают на вращающемся столе или на бесконечной ленте, как на гусенице трактора. В процессе обработки детали как бы подъезжают под зубья протяжки и выходят из-под нее в готовом виде. Что и говорить, интересные и разнообразные эти инструменты, хотя их основу и составляет все тот же клин — элементарный резец.

ПОСВЯЩЕННЫЕ ОТВЕРСТИЮ

Перед нами лежит инструмент, который, пожалуй, узнает каждый. Это сверло. Известно, что оно предназначено для получения отверстий и ничего другого делать-то и не умеет. Сверло рождено для отверстия, и его жизнь посвящена только ему. А если нет сверла? Как же тогда сделать отверстие? Может быть, стоит обратить внимание на то, как некоторые сообразительные маль-

чишки обходятся без сверла при изготовлении свисточка из абрикосовой косточки? Они с легким нажимом трут косточку ребрышком о камень. Постепенно под действием абразивных частичек образуется все увеличивающаяся лыска. Наконец, вскрывается щелочка и получается продолговатое отверстие, через которое иголкой удаляется зернышко. Вот свисток и готов! До чего просто и удивительно!

Но еще больше, чем мы, удивлялись, очевидно, археологи, которые в палеолитической пещере Сагварджиле в Грузии нашли раковины турителлы, которые служили украшением и имели отверстия, полученные аналогичным методом или с помощью пропиливания и процарапывания. Не менее интересным методом «сверлили» на островах Меланезии, где первобытные племена сначала нагревали плоский камень, а затем в одно и то же место время от времени опускали капли холодной воды, вызывая тем самым микросколы, которые в результате многократного повторения и приводили к образованию углубления и даже отверстия. Может быть, меланезийцы далеких тысячелетий каким-то образом узнали и применили на практике метод, соответствующий широко известной ныне поговорке, что «капля камень долбит»? Да не просто применили, а еще и усовершенствовали его, добавив попеременный нагрев и охлаждение, чтобы ускорить процесс обработки. Согласитесь: про этот метод можно сказать только, что он требует исключительно большого терпения и времени.

Еще в палеолите и особенно в неолите зародилась и развилась техника сверления с помощью каменных сверл. Поначалу отверстия ими просто выскабливали. Потом додумались каменное сверло привязать к древку — теперь можно было вращать его двумя руками, зажав между ладонями. А отсюда уже один шаг до идеи обмотать тетиву лука вокруг древка и двигать лук от себя и к себе, а другой рукой придерживать древко сверху и прижимать его к обрабатываемой детали, то есть создавать осевое усилие. Такое лучковое сверление оказалось почти в 20 раз производительнее ручного.

Конечно, когда мы говорим о совершенствовании орудий труда в отдаленном от нас прошлом или в сообщениях, находящихся на первобытном уровне развития, то следует всегда помнить, что выражение «один шаг» — не более чем метафора. На самом деле этот шаг нередко

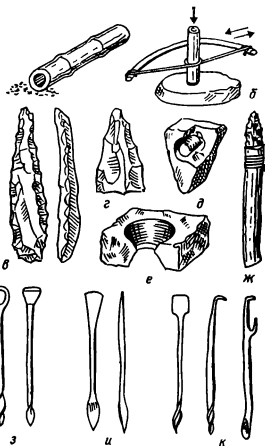


Рис. 25. Сверлить отверстия научились в каменном веке с помощью бамбуковых палок, трубчатых костей, воды и песка (а), вращая их между ладонями или с помощью лучковой дрели (б). Большие каменные сверла держали рукой (в), а маленькие (г) закрепляли в разрезе древка (ж). При трубчатом сверлении в центре образовывался каменный стержень (д). В случае сверления камня с двух сторон получалось отверстие с двумя конусами (е). Как отличаются эти сверла от сверл русских мастеровых IX—XI вв. (з, и) и сверл-буравов XVII в. (к)

растягивался на столетия. Случалось, что его вообще не делали. Например, горные племена Новой Гвинеи еще не так давно, по свидетельству очевидцев, сверлили отверстия все теми же каменными сверлами, привязанными к древку, и все тем же способом: вращая между ладоней. В сущности, сверлили стрелой с каменным наконечником, а лук лежал рядом...

История материальной культуры тем, пожалуй, и интересна, что она знает и другие примеры. Так, североамериканские индейцы проявили подлинную изобретательность и придумали, можно сказать, настоящее сверлильное устройство с маховиком на оси и бечевкой, соединенной с планкой. Тяжелый маховик не только собственным весом давил на сверло, но и — кстати, в этом как раз его основное назначение — заставлял его вращаться по инерции.

Примечательно, что сверление толстых каменных орудий осуществляли с двух сторон, стараясь их сделать

соосными. Не обошлось здесь и без загадок для археологов, которые долгое время не могли понять назначение цилиндрических каменных столбиков, найденных в местах раскопок неолитических стоянок первобытного человека. Впоследствии оказалось, что это «издержки производства» полого сверления трубчатым сверлом. Особенно ясно об этом говорит каменный топор — клин с незаконченным сверлением отверстием. Полос сверления сверлами из бамбука в южных странах и из трубчатых костей у северных народов с обязательной подсыпкой абразивного песка, например кварцевого, явилось крупным шагом вперед, поскольку при этом достигалась экономия сил, повышалась производительность труда и до 70 % материала в зоне отверстия не разрушалось, а оставалось в виде каменных столбиков. Следует отметить, что эффективность такого полого сверления с абразивными частичками и смазкой водой была настолько высока, что с успехом применялась и в бронзовом веке, особенно при обработке каменных орудий.

Заметим, что принцип лучкового сверления с помощью бурава и канатов был хорошо знаком и странствующему Одиссею, поэма о приключениях и подвигах которого была написана Гомером в Древней Греции более 25 веков назад. Прочтем прекрасные строфы:

...Она собирать начала Одиссея в дорогу;
Выбрала прежде топор, по руке ему сделанный, крепкий,
Медный, с обеих сторон изощренный, насаженный плотно,
С ловкой, красиво из твердой оливы сработанной ручкой...

Начал рубить он деревья и скоро окончил работу;
Двадцать он бревен срубил, их очистил, их острою медью
Выскоблил гладко, потом уравнил, по спуру обтесавши.
Тою порою Калипсо к нему с буравом возвратилась.
Начал буравить он брусья и, все пробуравив, сплотил их,
Длинными болтами сшив и большими просунув шипами.

А в рассказе о столкновении с одноглазым Циклопом Одиссей с товарищами взял раскаленный кол и...

...Начал вертеть, как вертит буравом корабельный строитель,
Толстую доску пронзая; другие же ему помогают, ремнями
Острый бурав обращая, и, в доску вгрызаясь, визжит он.

Обращают на себя внимание строки Гомера о хранении одиссеевых драгоценностей. Что же это за драгоценности? «Золото, медь и железная утварь чудесной работы». Видно, что железо в те времена ценилось наравне

с золотом. С тех пор из земных недр извлечено огромное количество железа. Но земные недра — не бездонная бочка, и потому пора бы нам стать более экономными и бережливыми. Между тем сколько металла при его обработке превращается в отходы, сколько в виде пустых консервных банок разбросано по лику планеты, сколько его ржавеет на свалках и т. д.

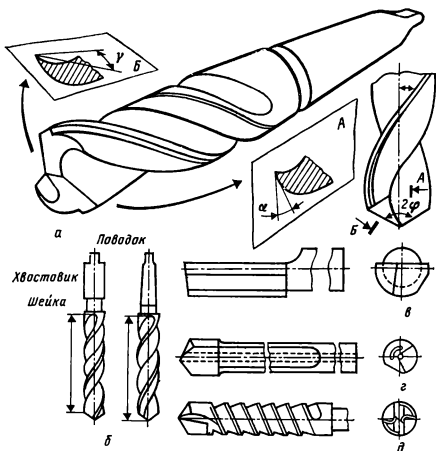
Сверлить умели в древности и на Руси. Так, археологические находки и письменные источники, относящиеся к IX—XI вв., дают представление о двух видах сверл по дереву. Это спиральные сверла — бурав, сверель, которые имели правое, по часовой стрелке, рабочее вращение и достигали длины до 370 мм при диаметре от 6 до 21 мм. Были в обиходе мастеровых и перовидные сверла — напарья, похожие на ложку, которыми сверлили отверстия побольше диаметром.

Технология получения сверл была непростой. Винтовые канавки на буравах выбивались с помощью молотка и зубила с закругленным лезвием. На железную основу наваривалось стальное острие, которое затем подвергалось закалке и заточке. Иногда наконечники перовидных сверл делали многослойными и таким образом, чтобы на острие выходила стальная пластинка очень высокой твердости.

Металлический анализ показывает, что стальное острие имело высокое содержание углерода — до 0,9 %. Применялась и цементация. Тогда содержание углерода в стали достигало 1,2 %. Для этого инструмент покрывали салом, обматывали полосками из козлиной кожи, затем обмазывали глиной и помещали в кузнечный горн. Держали в горне до сгорания кожи. Иногда вместо кожи применяли роговые стружки. Можно сказать, что и техника обработки металла, и предназначенные для этой цели инструменты на Руси IX—XI вв. вполне соответствовали эпохе.

Однако в середине XIII в. золотоордынское нашествие нанесло колоссальный ущерб самобытной славянской культуре. Много мастеров, ремесленников пало тогда во всенародной борьбе или было уведено в полон. Возрождение началось только спустя 150—200 лет.

Вероятно, формы спиральных буравов и перовидных напарьев были настолько рациональны для тех времен, что они почти в неизменном виде продолжали применяться и в XVII в. И только в начале XIX в., в 1822 г., появи-



Р и с. 26. Спиральное сверло и его углы (а). Спиральное сверло состоит из функционально разных частей (б); пушечное (в), ружейное (г) и шнековое (д) сверла

лось всем известное сверло с винтовыми канавками, с которого начали мы рассказ.

Что же представляет собой обычное спиральное сверло. Прежде всего оно как бы состоит из двух зубьев, свернутых по спирали и образующих так называемую рабочую часть. Несмотря на то что рабочая часть сверла весьма протяженная, тем не менее основную работу резания осуществляет только небольшой ее конический участок. Его называют режущей частью сверла. Здесь-то и расположены под углом друг к другу главные режущие кромки. Как и положено, они образуются от пересечения передних и задних поверхностей зубьев-клиньев. По передним поверхностям сходят две стружки и, закручиваясь, продвигаются по винтовым поверхностям канавок сверла. При этом задним поверхностям, раз без них нельзя обойтись, также отведена важная роль — не ме-

шать процессу резания. Задним поверхностям сверла уделяется много внимания. Пожалуй, даже больше, чем передним. Об их форме постоянно заботятся, и все думают над тем, как бы ее улучшить. Поэтому сверла часто отличаются по способу заточки задних поверхностей, которые могут быть в виде плоскости, двух плоскостей, иметь форму винтовой, конической либо цилиндрической поверхности.

Если посмотреть на сверло с торца, то можно увидеть, что главные режущие кромки немного отодвинуты от линии диаметра, а между ними образована перемычка. Она не режет, а только скоблит и трется, вызывая дополнительные затраты энергии на преодоление никому здесь не нужного трения и образование тепла. Поэтому перемычку иногда подтачивают, срезают, оставляют на ее месте канавку.

Однако что бы ни делали с перемычкой, угол между главными режущими кромками сверла или угол при вершине все равно остается. У сверл он различный и определяется твердостью материалов, подлежащих обработке. Чем тверже обрабатываемый материал, тем больше этот угол.

От свойств обрабатываемого материала зависит и угол наклона спирали. Она может быть пологой при обработке пластичных материалов и очень крутой при обработке твердых.

Наружная поверхность спирального зуба, особенно для сверл большого диаметра, обращенная к стенке отверстия, часто срезается на небольшую глубину с образованием спинки зуба, что делается для уменьшения трения зуба о материал заготовки. При этом оставляют лишь неширокую ленточку. Ленточка направляет сверло по оси отверстия, опираясь на его стенки. Но как бы ни старались две ленточки обычного двузубого спирального сверла направлять его в отверстии и выдерживать ось при сверлении прямолинейной, не всегда у них это хорошо получается. Особенно при глубоком сверлении. Первыми поняли такой недостаток двузубого спирального сверла оружейники, а затем и машиностроители. Были созданы пушечные, ружейные, шнековые и даже четырехленточные сверла, имеющие большие опорные и направляющие поверхности, приводящие к лучшей центровке инструмента в обрабатываемом отверстии. Справедливости ради подчеркнем, что некоторые виды сверл для

глубокого сверления появились задолго до спирального сверла.

Даже в XVIII в. точность обработки отверстий и сопряженных с ними деталей была невысокой. Об этом наглядно говорит пример из жизни английского мастера-машиностроителя Ричарда Рейнольдса. В 1760 г. он получил заказ на изготовление цилиндра паровой машины для угольных рудников в Эльфингтоне. Размеры цилиндра были внушительные — 28 дюймов в диаметре и 9 футов длиной. Много отливок из красной меди пошло в брак, но ничего не получалось. Если по краям цилиндра обработку еще кое-как можно было провести, так как в него входили руки и плечо рабочего, то сделать это глубже казалось почти безнадежным. Не было соответствующих инструментов и станков и все приходилось изобретать самому. Нужна была хорошая идея. И она пришла после бессонных ночей и мучительных раздумий. Цилиндр установили вертикально и вовнутрь залили свинец. К полученной свинцовой колоде прикрепили с двух сторон железные штанги с кольцами, а к ним привязали веревки. Затем цилиндр с помощью деревянных брусьев закрепили в горизонтальном положении, залили масло с наждаком и стали тянуть за веревки, перемещая тем самым свинцовую колоду то в одну, то в другую сторону. Работа утомительная и тяжелая, ручная: в «упряжке» с каждой стороны цилиндра было по шесть сильных рабочих. Цилиндр был изготовлен. Наибольший его диаметр отличался от наименьшего на толщину мизинца Рейнольдса. По тем временам такая «точность» была почти что идеальной!

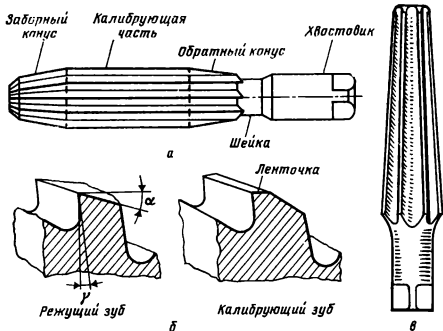
Со сложностью изготовления цилиндра столкнулся и изобретатель паровой машины Джеймс Уатт в 1769 г. Он писал своему компаньону Болтону: «Мне удалось, наконец, так точно просверлить паровой цилиндр, что даже в наихудших местах между поршнем и цилиндром нельзя было просунуть полукрону».

Однако это было только начало. Буквально через несколько лет, в 1775 г., талантливый механик и предпринимчивый владелец железоделательных мануфактур Джон Вилькинсон решил применить паровую машину Уатта для своих воздуходувок. Он оценил достоинства конструкции, но в то же время понял, как трудно изготовить цилиндр. В течение нескольких недель Вилькинсон спроектировал и изготовил расточной станок. Этот ста-

нок имел вращающуюся длинную штангу с резцами, с помощью которых обрабатывалась внутренняя поверхность цилиндра. Штанга получала и осевое перемещение. Производительность труда и точность обработки с применением расточного станка резко возросли. Такие критерии точности обработки, как мизинец Рейнольдса и полукрона Уатта, уходили в прошлое. Впрочем, и технология получения отверстий с помощью свинцовых колод тоже. Справедливости ради заметим, что накопленный опыт не пропадает зря. Ведь трение свинца с абразивом в масле по меди давало более гладкую поверхность цилиндра, чем расточка резцами. В будущем это привело к созданию инструментов для окончательной, финишной обработки отверстий — станочных притиров, а затем и хонов.

Отметим, что за 4 года до изобретения Уаттом паровой машины наш соотечественник И. И. Ползунов построил и испытал «огнедействующую» машину для воздушных мехов. Его паровая машина имела грандиозные для того времени размеры. Достаточно сказать, что ее два цилиндра были метрового диаметра и трехметровой длины. А изготовлены они были не в Англии, а в сибирской глуши России — в далеком и холодном Барнауле. К сожалению, машина долго не проработала и вскоре после смерти в 1766 г. 36-летнего изобретателя прекратила свое существование, хотя и дала большой экономический эффект. Победили косность царских чиновников, техническая неграмотность начальства, враждебно относившихся ко всему новому, прогрессивному. Но идеи И. И. Ползунова не пропали даром. О его паровой машине стало известно не только в России, но и за ее пределами. Они явились стимулятором инженерной мысли и дальнейшего развития.

Технология обработки отверстий и инструменты для этой цели постоянно совершенствовались. Особенно заметным был процесс совершенствования на военных заводах, где шло изготовление орудий, ружей и пистолетов. Вот как описывает академик И. Ф. Герман в своей книге, изданной в 1803 г., процесс сверления канала ствола в литых пушках на русских государственных Петровском и Кончезерском заводах, куда он был послан по указу Сената в 1800 г.: «Для сверления их потребна чугунная с четырехугольною головою круглая доска равного с цилиндром диаметра. Доску сию головкою укрепляют к вин-



Р и с. 27. Цилиндрическая развертка (а) имеет режущие и калибрующие зубья (б). Есть и конические развертки (в)

градной коробке центром посредством шести винтов, проходящих через железную шину и чугунную стенку местной коробки. К одной чугунной доске прикрепляется самый уже цилиндр... укрепивши таким образом весьма крепко и верно цилиндр, приступают к работе для укрепления сверла к нажимательной тележке... к головке в отлитые нарочно для того отверстия полагаются из весьма хорошей стали бруски, закрепляют их чугунными клинышками, потом вкладывают сверло в тележку, заклинивают в прорезе, полагают сверло на подушку, потом посредством налагаемой на ломок тяжести, для того потребной, начинают сверлить; по высверливании вместо брусков проходят деревом, смазываемым постным маслом, а дерево как можно туже набивают между головкою сверла и внутреннюю сторону цилиндра, проходя таким образом раза два, цилиндр бывает совсем готов».

Из приведенного описания можно понять, что резцы (бруски), сделанные из хорошей стали, закрепляли посредством клиньев в головке, насаженной на длинную борштангу. А последующее шлифование, полирование проводили деревянными брусками. Для повышения жесткости длинной консольной борштанги применяли промежуточную опору. Несмотря на столь техническое со-

вершенство, толщина стенок отливки должна была превышать на 30 % заданную в орудии. Да и точность обработки оставляла желать лучшего. Так, в конце XVIII столетия рекордная точность обработки, достигнутая англичанином Сметоном, составляла $\frac{3}{8}$ части линии, или 0,95 мм. А в середине XIX в. благодаря применению более совершенных инструментов и станков она была повышена до $\frac{1}{8}$ части линии (0,32 мм). На Тульском же оружейном заводе сверлили с точностью $\frac{1}{7}$ части линии. Примечательно, что Артиллерийский департамент не очень-то был осведомлен о возможностях тульских оружейников, если запрашивал в 1824 г. о том, можно ли сверлить оружие с точностью $\frac{1}{8}$ части линии. Ответ гласил, что «от оружейных мастеров стволы не иначе принимаются и поступают в заводской арсенал, как имеющие установленный калибр 7-ми линий, кои свыше же одного признаются не годными».

Посмотрите снова на железный бурав, который применяли для сверления дерева в XVII в. московские ремесленники. Своей винтовой поверхностью уж очень он напоминает всем известное и привычное винтовое сверло, получившее широкое распространение в современном машиностроении. Не правда ли? Можно даже сделать поспешный вывод о том, что с появлением бурава сразу же возникло и винтовое сверло для обработки металлов. Однако этого не произошло.

Винтовое сверло было изобретено только в начале XIX в. и описано в 1822 г. Его же триумфальное шествие в металлообработке началось не сразу, а после преодоления значительных технических трудностей, связанных со сложностью изготовления. Но до появления винтового сверла отверстия в металле все же делались, и даже весьма глубокие. Каким образом, с помощью каких инструментов? Обратимся к опыту оружейников.

Среди их инструментов и оснастки видное место занимали сверлильные головки со вставными резцами, с помощью которых только рассверливали отверстия преимущественно в литых заготовках. Но для сверления в сплошном металле они не годились. Для этой цели существовали весьма разнообразные сверла. Большей частью они представляли собой круглый железный прут, один конец которого для удобного захвата был выполнен в виде квадрата с «крылышком». Другой конец сверла — рабочий — также имел четырехгранную форму, но

только с острыми режущими кромками. В зависимости от диаметра отверстия рабочая часть сверла делалась или целиком или частично из твердой, закаленной стали. Кроме того, режущие кромки имели косые насечки, «косвенные» зазубрины, которые при сверлении втягивали инструмент в отверстие и создавали дополнительное усилие осевой подачи. Вершине же сверла придавался «вид то угловатый, то кругообразный, то прямолинейный». А начинали сверлить инструментом с острым треугольным концом, который выставляли по центру будущего отверстия. Кстати сказать, коническая часть венчает и современное винтовое сверло.

Наш рассказ об инструментах, рожденных клином, подошел к концу. Не по причине того, что все исчерпано. Существует много и других инструментов, которые используют в своей повседневной работе машиностроители. Это и развертки для получения точных отверстий, зенкеры, с помощью которых обрабатывают гнезда под головки винтов, конические фаски и торцевые плоскости, это метчики и плашки для нарезания резьб, гребенки и другие разнообразные инструменты. Все они имеют режущие зубья и рациональную геометрию, которую строго соблюдают при изготовлении. Однако есть инструменты, у которых зубья не обрабатываются, передние и задние поверхности специально не формируются, резцы-клинья не очень-то видны, хотя весьма эффективны в работе. С этими инструментами вы познакомитесь в следующем рассказе.

ОДИН В ПОЛЕ НЕ ВОИН

— Э то действительно в высшей степени любопытный рисунок, — сказал Холмс. — С первого взгляда его можно принять за детскую шалость. Кто, казалось бы, кроме детей, мог нарисовать этих крошечных танцующих человечков? Почему вы придали столь важное значение такому причудливому пустяку? — Холмс приподнял бумажку, и лучи солнца озарили ее. Это был листок, вырванный из записной книжки. На нем были начерчены карандашом вот такие фигурки.



Р и с. 28. За безобидными фигурками пляшущих человечков была скрыта важная тайна

Внимательно рассмотрев листок, Холмс бережно сложил его и спрятал в бумажник.

— Это дело обещает много любопытного и необычайного, — сказал он.

Это отрывок из рассказа английского писателя Артура Конан Дойла «Пляшущие человечки». Холмс в конце концов расшифровал всю таинственную азбуку и с ее помощью разоблачил опасного преступника.

— При чем здесь Холмс? — спросит читатель. — Ведь в данной книге речь идет об инструментах, не так ли?

Дело в том, что танцующие человечки из популярного рассказа, как и знаки клинописи древнего египетского письма, и иероглифы восточных народов, — это условная запись информации, выполненная специальными кодами.

Перед нами несколько предметов с таинственными надписями, расшифровать которые, вероятно, было бы не просто даже великому сыщику. Но мы с вами все же постараемся это сделать, применяя определенное терпение и старание и используя современные знания. Возьмем в руки один из предметов и внимательно его рассмотрим.

Итак, он имеет вид колеса, круга, а скорее, диска с отверстием. Поверхность у него шершавая, и даже невооруженным глазом видно, что он состоит из большого числа скрепленных между собой мелких частичек. По этим внешним признакам, очевидно, почти каждый узнает в диске абразивный инструмент — шлифовальный круг. Тем более, что этот круг напоминает всем известное точило, которое с ручным или ножным приводом стали применять еще тысячи лет назад наряду с плитами из песчаника, кремнистых туфов, гнейсов или из гранитов. Правда, некоторые точила имели в центре не круглое, а квадратное отверстие, как, например, точило, найденное при раскопках Екимовского городища под Ростовом и относящееся к VII—X вв. Оно было сделано из очень мелкого песчаника, имело наружный диаметр 300 мм, толщину 42 мм при почти такой же стороне квадрата отверстия.

Каждая твердая частичка такого инструмента в принципе представляет собой маленький резец. Клинья этих частичек по-разному сориентированы к обрабатываемой поверхности и поэтому не все эффективны в работе. Но так как их очень много, то общий результат оказывается неплохим. В единстве их действия и скрыта та сила, против которой не в состоянии устоять даже самые твердые современные стали. Необходимы только перемещения инструмента относительно детали и их совместный прижим.

Теперь перепишем с каждого абразивного инструмента все знаки в строку, сгруппировав их по общим признакам:

И ЧК 64С 16П СМ1 9 К 30 М/С ГОСТ 2424-75
КАЗ ПП 25 А 16Н С М 1 9 К 35 М/С ГОСТ 2424-75

На шлифовальной шкурке надпись похожа:

14А 32Н М/С 1740х50 ГОСТ 5009-82

Как видите, каждая строка начинается символом, напоминающим печать. Это, действительно, своеобразная печать, марка завода, изготовившего инструмент. Круг, имеющий форму шашки, украшен товарным знаком Ленинградского завода им. Ильича. Плоский круг изготовлен Косулинским абразивным заводом. Соответствующий товарный знак нанесен на торец круга. Тут же мы видим почетный пятиугольник Государственного знака качества — символ высокого качества инструмента и большой культуры его производства. Далее в характеристике кругов читаем: ПП и ЧК. Это условные обозначения формы: ЧК — чашечный круг, ПП — плоский круг прямого профиля. Форма инструмента должна обеспечить возможность свободного и удобного подхода к обрабатываемой поверхности и перемещения относительно нее во время рабочей подачи. Исходя из этого заводы изготавливают шлифовальные круги самых разнообразных форм и размеров и все они имеют соответствующие буквенные обозначения.

Далее в обозначении кругов читаем запись: на одном — 64С, а на другом — 25А. Подобное сочетание мы находим и на обратной, не покрытой абразивом стороне шлифовальной шкурки — 14А. Это коды абразивных материалов. В нашем примере в качестве абразивов применены зеленый карбид кремния (64С), белый электроко-

рунд (25А) и нормальный электрокорунд (14А). Все они искусственного происхождения, созданные человеком, так же как синтетический алмаз (АС) и эльбор (Л). Не забыты и природные минералы: алмаз (А), кварц (Кв), кремнь (Кр). Абразивные материалы имеют различную режущую способность. Если при одинаковых условиях за равное время ими царапать стекло, то природный алмаз срежет 0,710 г, искусственный — 0,700, эльбор — 0,600, карбид бора — 0,500, карбид кремния зеленый — 0,450, электрокорунд нормальный — 0,145, карбид — 0,135 и наждак — 0,105 г. Как видите, разница в производительности между алмазом и наждаком существенная. Поэтому и мирятся с высокой стоимостью алмаза.

Следующая важнейшая характеристика абразивного инструмента — крупность его зерен. Классификацию абразивных зерен по крупности выполняют на специальных ситах, собранных в столы. Крупные зерна остаются на верхнем сите. Мелкие просыпаются до самого нижнего. Зерна, размеры которых менее 40 мкм, сортируют в специальных бассейнах методом осаждения из водных взвесей. Крупность сеяных зерен обозначают номером, соответствующим наибольшему размеру стороны ячейки сита. Так, зернистости 200 соответствуют зерна крупностью от 2500 до 2000 мкм, зернистости 10 — зерна размером от 125 до 100 мкм. Всего установлено 11 групп зернистости зерен, которые обозначают цифрами, а разделение зернистости в каждой группе — буквами. Таким образом, сочетания 16П, 16Н и 32Н в криптограмме дают представление о средней величине зерен. Умножьте 16 и 32 на десять, и вы получите представление о размерах абразивных зерен в микрометрах.

В закодированных строчках криптограмм не расшифрованными еще знаками записаны соответственно СМ1 для кругов и С1 — для шкурки. Откроем тайну. Так обозначена твердость инструмента. Однако шлифовальные круги в своем теле содержат материалы, совершенно неоднородные по твердости. О какой же твердости идет речь в характеристиках кругов? Совпадают ли значения твердости абразивных зерен и изготовленного из них инструмента? Обычно под твердостью понимают способность одного тела противостоять внедрению в него другого. Чем глубже, например, один и тот же шарик вдавливается в поверхность различных сталей или чем лучше один абразив царапается другим, тем считается твердость меньше.

Для абразивных же инструментов принято другое понятие твердости, которое оценивается прочностью закрепления абразивных зерен в связке. Чем прочнее связка удерживает абразивные частички, тем тверже считается круг. Поэтому буквой «Т» обозначается твердый инструмент, «С» — средний по твердости, «СМ» — среднемягкий.

Следовательно, наши круги относятся к среднемягким, а шкурка — к средней твердости. Цифры же рядом с буквами обозначают дальнейшее подразделение твердости внутри группы. Твердость абразивного инструмента — очень важная характеристика, которая в определенной степени дает представление о самозаточке инструмента. Ведь связка в круге должна удерживать только эффективно работающие, срезающие стружку зерна. А те, которые притупились, никому уже не нужны, должны не мешать процессу резания и покинуть шлифовальный круг. Так и получается в действительности. Связка не удерживает притупившиеся зерна, на которых возникают повышенные усилия и температуры.

Между зернами и связкой всегда остается какой-то свободный объем — поры. Вместе они образуют определенную структуру вещества, из которого создан инструмент. Этим понятием определяют соотношение объемов минерала, связки и пор в единице объема вещества инструмента. Для оценки качества структуры используют специальную шкалу из 12 номеров. Чем выше номер структуры, тем меньше в нем абразивных зерен.

Не забыта в характеристике инструментов и связка. Она может быть разной: керамической, бакелитовой, вулканитовой и т.д. Первые буквы их названий и наносят на поверхность абразивного инструмента. Теперь мы знаем, что буква «К» означает керамическую связку, а стоящие перед ней цифры 7 и 9 — соответственно номера структур. По принятой классификации структура 9 называется открытой, а 7 — средней.

В некоторых случаях, особенно при изготовлении различных шлифовальных шкурок, дополнительно отмечают специальные свойства связок. Например, водостойкость, термическую стойкость. Иногда указывается и способ нанесения абразивного материала на полотно. В нашем примере буква «М» свидетельствует, что материал нанесен механическим способом, то есть насыпанием, в отличие от электростатического способа, обозначаемого буквой «Э».

Для осуществления процесса резания шлифовальному кругу сообщается быстрое вращение. Однако здесь необходимо знать меру, так как при слишком большой скорости он может разлететься на части. Поэтому ее ограничивают, о чем и делают специальную надпись на инструменте. Обычно рабочая скорость абразивных кругов составляет 30—35 м/с, что равносильно 126 км/ч, то есть скорости современного легкового автомобиля. Для сравнения покажем, что муха летит со скоростью 2 км/ч, шмель — 5, стрекоза-анакс — 8, пчела пролетает 10—12 км/ч, слепни — 40, бабочки-бразники — около 60, а реактивный пассажирский самолет — 900 км/ч. Но подобные величины трудно сравнивать между собой. Это все равно что сопоставлять по «работоспособности» и «грузоподъемности» муравья с гигантским карьерным самосвалом или восторгаться рекордным прыжком в высоту спортсмена двухметрового роста и посмеиваться над результатом прыжка человека маленького роста. Вот если бы все перевести на единицу длины тела, то тогда соревноваться по прыжкам в высоту могли бы и спортсмены небольшого роста и даже получать в своей группе чемпионские титулы.

Попробуем определить, сколько укладывается длин того или иного тела в расстояниях, преодолеваемых им за одну минуту. Что же получается: грузный и сильно жужжащий шмель пролетает в минуту расстояние, в которое укладывается 10 000 длин его тела, быстрый слепень — 50 000 длин, ворона — 1700 длин тела от клюва до хвоста, скворцы — 6180, а чижи — 8300, реактивный самолет — 1500, мчащийся с нарушением правил автомобиль — 500—600. Наш же круг, если его развернуть, за одну минуту преодолевает 2625 длин своей окружности. В общем, у него дела обстоят лучше, чем у вороны, и совсем отлично по сравнению с реактивным пассажирским самолетом!

И наконец, остается последняя группа букв и цифр, которая является залогом того, что все перечисленные качества абразивного инструмента строго соблюдены и охраняются законом. Это Государственный стандарт (ГОСТ), который также имеет номер и год утверждения. С ним не шутят, его требования на изделия беспрекословно выполняются, его несоблюдение карается по закону.

Вот и получается, что расшифровку таинственных надписей начали с определения их смысла, а закончили законом. Совсем, как у Артура Конан Дойла.

Абразивный принцип действия имеют не только шлифовальные круги и шкурки, но и различные головки, бруски, притиры и пасты. Им на помощь приходят вода, керосин, масло и многие другие жидкости, которые способствуют повышению производительности и качества обработки.

Однако среди современных абразивных инструментов нет такого, который изобрели в неолите каменного века. Найденный в Верховенске состоит из двух каменных брусков с коническими желобками и предназначен для изготовления костяных иголок, шил или наконечников для стрел. Между брусками в желобок помещали, как мы теперь говорим, заготовку. Затем ее начинали вращать и перемещать возвратно-поступательно, постепенно продвигая в глубь конического отверстия, сжимая рукой обе половинки брусков и подливая воду. В результате применения такого инструмента появлялись совершенно одинаковые острые и ровные иголки или наконечники для стрел. Оригинально и быстро!

Заканчивая этот небольшой рассказ, обратим ваше внимание на то, как маленькие, часто не видимые глазом песчинки постоянно ведут вокруг нас абразивную обработку. Носимые ветром, они разрушают каменные породы и создают причудливые дворцы и фигуры, взмученные ими воды рек и волны морского прибоя отшлифовывают все твердое, находящееся у них на пути. Вот вы не заметили, точнее не ощутили прилипшую к вашему пальцу песчинку и провели пальцем по лакированной поверхности стола или автомобиля — царапина обеспечена. Ступени лестниц, по которым ходит множество людей, меняют свой «профиль», иногда весьма значительно. Попадая с воздухом и маслом в машины, абразивные частички приводят к быстрому выходу их из строя. От них трудно защититься. Но принося своей неудержимостью в одних случаях колоссальный вред, маленькие твердые «резцы» приносят человеку и большую пользу. Без них первобытный человек не распилил бы камень, не сделал бы отверстия в головках молота и топора, а современная цивилизация не получила бы своего развития. Ведь с помощью абразива обрабатываются резцы, сверла, штампы и дру-

гие режущие и измерительные инструменты, не говоря уж о разнообразных деталях машин.

Часто говорят: «восьмое чудо света», когда хотят выразить восторг по поводу чего-то редкостного, грандиозного. К «семи чудесам света» издавна относят высочайшие достижения техники и искусства древних — египетские пирамиды, изваяние бога Зевса работы древнегреческого скульптора Фидия, храм Артемиды в городе Эфесе, мавзолей царя Мавзола в Геликарнасе, гигантскую статую Колосса Родосского, маяк на острове Фарос в Александрии, «висячие» сады Шаммураamat (Семирамиды) в Вавилоне. Грандиозные, прекрасные сооружения древности созданы с помощью инструментов, действие которых основано на свойствах клина. Без прочного клина во всех его проявлениях, в том числе и в виде шлифующего инструмента, не было бы ни семи чудес света, ни многого другого. Возможно, даже не было бы цивилизованного общества. Поэтому, не очень отступая от темы сюжета, мы полагаем, что первым чудом света по праву следует признать клин — резец. А потом уже пирамиды и храмы! Это справедливо.

БЕГ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ



Одним из важных современных показателей, характеризующих производительность обработки, является скорость резания. В принципе она представляет собой путь, пройденный инструментом в единицу времени, например резцом при снятии стружки с заготовки. Чем больше скорость резания, тем быстрее удаляется припуск с поверхности металла, тем меньше машинное время, необходимое для изготовления детали, и как следствие выше производительность труда. Поэтому на заводах стараются применять наибольшие допускаемые скорости резания. Однако с ростом скорости резко снижается износостойкость инструментов. Получается, что, выигрывая в скорости обработки, проигрываешь в стойкости резцов, сверл, фрез. Ситуация как с Тришкиным кафтаном. Вот и приходится лавировать заводским технологам и станочникам, назначая скорости резания с учетом многих факторов конкретных условий обработ-

ки. Но, как бы там ни было, прогресс в этой области имеется. И немалый. Научно-техническая революция и здесь сказала свое веское слово. В результате процесс обработки материалов резанием теперь совершается при таких скоростях, о которых раньше и мечтать не могли. Преодоление скоростных рубежей с одновременным повышением стойкости инструментов давалось нелегко, а в постоянном поиске новых путей, со своими поражениями и успехами. Для подтверждения сказанного обратимся к истории.

Археологи считают, что порядка 800 тыс. лет назад было создано примитивное орудие труда — шельское рубило. Сделанное из куска кремня, обсидиана или кварцита, оно послужило одной из исходных вех многовековой истории развития инструментов. Вполне очевидно, что существуют еще более древние орудия, которым предположительно 2—2,5 млн. лет. Об этом говорят открытия археологов, споры вокруг датировки находок и не прекращающийся поиск древнейших инструментов. Занятие не из праздных, а имеет весьма принципиальное значение не только для истории техники, но, главное, для проведения разграничивающей временной черты между животным миром и человеком. Так, известный американский антрополог Д. Джохансон, осуществляя раскопки на территории Эфиопии в местности Хадар, обнаружил в 1974 г. достаточно полный скелет прямоходящей особи ископаемого гоминида (австралопитека). Установлено, что скелет пролежал в земле более трех миллионов лет и принадлежал взрослой самке ростом около 105 см. Ее назвали Люси и даже сложили песню о ней, ставшую на некоторое время популярной в Америке. Кто эта Люси — обезьяна, первобытный человек, стоящий на самой ранней ступени развития, или промежуточное звено между ними? Прямая походка, свободные руки, скелет почти как у человека. Но слишком уж велик возраст находки. А главное, в культурных слоях, где она обнаружена, пока не найдены орудия труда. Поэтому вопрос остается открытым, так как человек определяет способность сознательно создавать и использовать орудия труда.

«Употребление и создание средств труда,— писал К. Маркс,— хотя и свойственны в зародышевой форме некоторым видам животных, составляют специфически

характерную черту человеческого процесса труда...» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч.— Т. 23.— С. 190—191). Благодаря труду и изготовлению орудий формировалось человеческое общество.

Итак, первобытный человек, сжимая в руке каменное рубило, производит им полезную работу. По сути, он становится автоматическим рабочим механизмом с полным циклом замкнутого процесса, поскольку одновременно является двигателем, передаточным и исполнительным механизмом, а также устройством, контролирующим результат деятельности орудия — инструмента. Конечно, скорость резания ручным каменным инструментом была невелика и в среднем составляла 0,2 м/с. Не намного она возросла и с изобретением в каменном веке приспособления для сверления отверстий с помощью тетивы лука. Даже при малых скоростях, особенно при условии длительной работы, инструмент мог нагреться, но не настолько, чтобы от этого ухудшились его режущие свойства. Ведь запас тепловой стойкости каменных пород, применяемых для изготовления орудий, был достаточно большим. Создаваемые же вручную режимы резания и особенно скорость перемещения инструмента, от которой в основном и зависит его нагрев, не были предельными для используемых материалов орудия и предмета труда — камня, кости, дерева.

Еще в неолите люди научились делать орудия труда из меди, применяя ковку и литье. Затем в III—I тыс. до н. э. наступил бронзовый век. По сравнению с каменным веком резко возросло разнообразие орудий труда, усложнилась их форма и ускорился процесс изготовления. Однако удачно найденное в каменном веке конструктивное решение — лучковый привод — продолжал использоваться и совершенствоваться и в бронзовом веке. С помощью тетивы, обмотанной вокруг древка и натянутой луком, веткой или доской, инструменту придавали возвратно-вращательное движение. По такому принципу стали действовать в бронзовом веке не только сверлильные, но и токарные станки, у которых вращался уже не инструмент, а сама деталь. Токарные станки с лучковым приводом возникли за 1400 лет до н. э.

На смену бронзовому веку пришел железный, который в Европе начался приблизительно за 1000 лет до н. э. И вот летописи тех времен доносят до нас рассказ ученого древности Плиния Старшего о мастере Феодоре с

острова Самос, слава о котором гремела на островах Эгейского моря, в Финикии и даже в Риме и Карфагене. Однажды, чтобы быстро выполнить заказ властителя острова Поликрата и изготовить много однотипных деталей для сложных замков к сокровищнице храма богини Геры, Феодор сделал токарный станок с непрерывным вращением детали в одну сторону. В его токарном станке не было лучкового устройства, а был применен кривошипный механизм, тяжелый маховик, служивший одновременно точилом, и педальный нижний привод. Как у швейной машины. Это позволило увеличить скорость и плавность обработки, повысить ее качество по сравнению с точением на станке с возвратно-вращательным движением заготовки. Так, если верить преданиям, за 400 лет до н. э. появился токарный станок с ножным приводом и односторонним вращением шпинделя.

Ручной или нижний привод обеспечивали скорость порядка 0,2—1 м/с. Для резцов, сделанных из железа, такая скорость с точки зрения повышения температуры нагрева инструмента не была критической. Тем более для закаленной стали, которая широко употреблялась в античном мире, начиная с первой половины 1 тысячелетия до н. э.

Заметим, что в древности хорошо различали железо и сталь, которые греки называли соответственно «сидеро» и «халипс». Любопытно, что «халипс» — это производное от халипсов, народности, жившей на юго-восточном берегу Черного моря. Но дело, однако, не в том, какими словами обозначали железо и сталь разные народы, а в том, что умели их производить и обрабатывать. Так, археологи считают, что на северо-востоке от горы Арарат в селении Шохдок-Карадаг уже в 1400 г. до н. э. получали железо искусственным путем из руды и знали секреты термической обработки стали. Вся технология хранилась в глубокой тайне, потому что имела военное и экономическое значение. В те далекие времена железо стоило в несколько раз дороже золота.

Окончательный переход от каменных орудий к металлическим происходит в период рабовладельческого строя. Однако техника производства, основанная на дешевом рабском труде, была на низком уровне, хотя и более совершенная, чем при первобытнообщинном строе. На смену рабовладельческому способу производства пришел феодальный с применением железа во всех обла-

стях техники и быта, «... оно дало ремесленнику орудия такой твердости и остроты, которым не мог противостоять ни один камень, ни один из других известных тогда металлов» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч.— Т. 21.— С. 163). При феодальном способе производства происходит дальнейшее развитие техники, но совершается оно медленно, с использованием ручных орудий труда и механизмов. С крушением феодализма начинается возникновение машинной капиталистической промышленности. Потребность в ускорении производства промышленной продукции вызвала необходимость создания машин. Сначала в мануфактурный период XVI—XVIII вв. распространяются орудия труда, приводимые в действие с помощью воды, ветра, а не вручную или силой животных. Так, применение водяного колеса позволило увеличить скорость механических перемещений до 2,5—3 м/с, а производительность и суточную выработку — в десятки раз по сравнению с мускульным двигателем. Затем в период промышленной революции XVIII—XIX вв., когда были созданы общественно-экономические условия для развития техники, появляются паровые двигатели и металлообрабатывающие станки, работающие от этих двигателей. Если раньше ремесленник при помощи простых инструментов непосредственно воздействовал на предмет труда, то теперь это стала делать рабочая машина. К. Маркс писал, что «...рабочая машина — это такой механизм, который, получив соответственное движение, совершает своими орудиями те самые операции, которые раньше совершал рабочий подобными же орудиями» (Маркс К., Энгельс Ф. Соч.— Т. 23.— С. 385). Внедрение рабочих машин освободило руку рабочего, державшую инструмент, и во много раз подняло производительность труда.

Понятно, что и скорость обработки материалов резанием не могла оставаться на прежнем уровне, так как не отвечала требованиям прогресса. Поэтому ее пытались увеличить. И тут-то выяснилось, что резцы, сделанные из высокоуглеродистой стали, применяемой еще мастерами до нашей эры, обладают существенным недостатком. С ростом скорости резания свыше 5 м/мин они быстро «салятся» под действием высоких температур и усилий. Раньше при малых скоростях обработки такой недостаток не обнаруживался, а если и замечался, то существенного значения не имел. Но в конце XVIII в.

и особенно в XIX в. это обстоятельство стало служить серьезным тормозом. Начались поиски новых инструментальных материалов, способных работать при более высоких скоростях резания и обладающих повышенной температурой стойкости. А успехи металлургии уже позволяли это сделать. Тем не менее англичанину Роберту Мешету понадобилось очень много времени, чтобы получить инструментальную сталь более высокого качества. Наконец, в 1856 г. появилась сталь под названием «мешет». Она была ненамного тверже углеродистой стали, но допускала скорость резания 8 м/мин. Несколько десятилетий сталь «мешет» была самой лучшей, а ее состав держался в тайне и охранялся патентом. Заметим, что в Англии еще в 1623 г. были введены привилегии, охраняющие права изобретателей. Нельзя сказать, что сталь «мешет» не испытывала конкурентной борьбы. Многие заводы, которые производили металлорежущие инструменты, предлагали свои стали и всячески их рекламировали. Без рекламы обойтись трудно, но лучше, если инструментальная сталь будет говорить сама за себя. Вот и устраивали заводчики сравнительные испытания резцов на стойкость при максимально возможных скоростях резания.

Шел июль 1898 г. В механических мастерских одной из сталелитейных компаний Америки собралась комиссия. Предстояло оценить качество различных инструментальных сталей и выбрать наилучшую. Инициатором испытаний был инженер Тейлор, известный специалист по резанию металлов. Он предлагал заменить сталь «мешет» другой, улучшенной инструментальной сталью, которую выпускала фирма «Мидвель». Тейлор не сомневался в успехе. Раньше он проводил такие испытания и доказал преимущества стали «мидвель». Теперь же в этом надо было убедить представителей фирмы. Все было тщательно подготовлено, и Тейлор заранее ждал поздравлений. Установили резцы, включили станки, и соревнование на стойкость началось. Вдруг резец из стали «мидвель» разогрелся и «сел», а резец из стали «мешет» продолжал снимать стружку. Опыт повторили — то же самое. Какой пассаж! Резцы из стали «мешет» оказались долговечнее резцов из стали «мидвель». Представители фирмы, ехидно улыбаясь, и выражая соболезнование, разошлись, оставив Тейлора в недоумении.

Что же произошло с резцами «мидвель»? Ведь он же лично перед этими ответственными испытаниями убедился в их более высоких эксплуатационных свойствах. Здесь есть какой-то секрет. И Тейлор настойчиво стал его искать. Резцы из стали «мидвель» были распределены на партии. Каждую партию нагревали в печи до более высокой температуры, после чего резцы устанавливали на токарном станке. Много резцов было испорчено. Все они начинали «садиться» при температуре 835°C. А если нагреть их еще больше — результат такой же, даже еще и хуже. Так дошли до температуры 922,5°C. Очевидно, продолжать опыты с нагревом резцов не имеет смысла. Все ясно! Но намеченную программу все же решили довести до конца, не ожидая от продолжения опытов ничего утешительного. Как вдруг при достижении температуры предварительного нагрева резца, равной 950°C, его стойкость резко возросла. Вместо нескольких секунд проходят минуты, а резец продолжает снимать стружку, притом на скорости 8 м/с. Стали постепенно поднимать температуру предварительного нагрева. И как бы в награду за тот конфуз резцы становились все долговечнее и долговечнее. Наконец дошли до наивысшей температуры — 1280°C, близкой к температуре плавления стали. Режущая кромка резца раскалилась до 600°C и не теряла своих режущих свойств, оставаясь твердой и теплостойкой даже при скоростях 30—40 м/с. От таких невиданных скоростей обработки захватывало дух. Взяв сталь «мидвель» за основу, Тейлор ввел в нее 18 % вольфрама, 5 % хрома и немного ванадия.

За свое главное качество — способность вести обработку при высоких скоростях резания — сталь получила название быстрорежущей. Заметим, что и в настоящее время с успехом применяются быстрорежущие стали для изготовления самых разнообразных инструментов. Только в нашей стране ее выпускают в виде нескольких десятков марок с различным содержанием вольфрама, ванадия, хрома, молибдена, кобальта и углерода. А температура закалки современных быстрорежущих сталей лежит в пределах 1200—1290°C. Для высокоуглеродистых же инструментальных сталей, закалку которых освоили уже на заре железного века, эта температура составляет 790—840°C. Как видите, разница в температурах закалки для быстрорежущих и высокоуглероди-

стых сталей есть, и притом весьма существенная. Каждому свос! Вот почему с одной меркой нельзя подходить при определении температуры термической обработки сталей.

Однако во времена появления сталей «мешет» и «мидвель» — середина и вторая половина XIX в. — только лишь зарождалась наука о структурах металлов и сплавов, их термической обработке и свойствах. Наука, без которой немислимо современное машиностроение. Родиной этой науки, которую называют материаловедением, по праву считается Россия.

Приручение стали началось очень давно. Было замечено, что с изменением температуры меняются свойства стали, что быстрое охлаждение нагретой добела стали приводит к увеличению ее твердости. Но при этом сталь становится очень хрупкой. Опытным путем также обнаружили, что закаленную твердую и хрупкую сталь можно улучшить, если ее затем нагреть лишь «досиня» и медленно охладить. Такие операции (теперь их называют термической обработкой) производились на глаз, считались искусством, секреты которого хранились в глубокой тайне. Иногда подобные профессиональные тайны закреплялись письменно в виде наставлений или рецептов. Вот один из старинных азиатских рецептов, который хранится в английском институте железа и стали: «Нагреть кинжал, пока он не засветится, как восходящее солнце в пустыне, затем погрузить его в тело сильного раба, пока кинжал не примет цвет царского пурпура». В рецепте фактически дано указание на температуру закалки, измеренную по цвету нагретой стали, и на охлаждающую среду — жир, масло. В рабовладельческом строе жизнь раба ничего не значила по сравнению с хорошим клинком. Да и изготовление оружия проходило через магический ритуал смерти человека. Предназначенное для войны, оно в момент своего рождения уже лишало человека жизни.

Конечно, с подобными рецептами мастера металла расстались очень давно, но истинных представлений о сущности термической обработки стали не имели и продолжали все делать по традиции, используя многолетний опыт. А опыт часто подводил, становился беспомощным, особенно в производственных условиях крупных заводов. Дело в том, что одна и та же сталь то принимала

закалку, то не принимала. То становилась твердой и прочной, то почти не меняла своих свойств.

Все это происходило на крупных заводах, в том числе и на военных, в разных странах при напряженной работе видных специалистов. И не так давно — лет 120 назад.

Для многих эта двуликость стали становилась жизненной драмой. Так произошло с нашим соотечественником известным металлургом П. М. Обуховым. Благодаря его трудам монополия Круппа в России кончилась, так как стали, которые производили в России, броневые листы и орудия из них были прочнее и долговечнее. Успехи были налицо. Сделанные из обуховской стали сабли, кирасы, ружья, инструменты были великолепными. Достаточно сказать, что инструментальная сталь Обухова рубила лучшую английскую сталь, а инструменты, сделанные из нее, работали дольше. Но при этом, несмотря на прекрасные рецепты и разработки П. М. Обухова, энергичного и талантливого металлурга, механические качества металла, например орудий большого калибра, оказывались непостоянными. То они были хорошими, то плохими. Все попытки разобраться в причинах такого поведения сталей оставались безуспешными. Был поднят даже вопрос о прекращении производства стальных орудий. Не есть ли это драма человека, посвятившего свою жизнь металлу, а неблагодарный металл играл с человеком в прятки, то обнадеживая прекрасными результатами, то низвергая в тяжелую горечь неудач. Так в страданиях и переживаниях П. М. Обухов и закончил свою жизнь в 1869 г. не в силах разобраться в причинах странного поведения сталей, пригласив, правда, в 1866 г. на завод молодого инженера Д. К. Чернова для решения столь остро стоящей и важной проблемы.

В апрельский вечер 1868 г. в зале заседаний Русского технического общества в Петербурге собралось много специалистов. Как всегда должны были заслушать очередной доклад и обменяться мнениями. На этот раз доклад должен был сделать Д. К. Чернов. Название доклада настораживало: «Критический обзор статей Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же предмету». Настораживало и вызывало удивление то, что докладчик молод и, проработав на Обуховском заводе всего несколько лет, уже выступаст с критическими замечани-

ями. Правда, те, кто его знал поближе, относились с уважением, наблюдая, как целые дни, а часто и ночи проводил Дмитрий Чернов в огромных закопченных цехах завода. И не просто проводил, а что-то изучал, испытывал и рассчитывал и все вглядывался в раскаленный металл. В тот вечер ничто не предвещало сенсацию. Но она произошла, когда докладчик сообщил об открытии критических точек, температурах которых соответствуют определенные внутренние структурные превращения в стали и изменения ее свойств. Точки он назвал А и В. И далес. Сталь, нагретая ниже точки А, не закаливается. При увеличении температуры, пока она не поднялась до точки В, сталь хотя и начинает принимать закалку, но в «ней не совершается еще заметной перегруппировки частиц» и структура ее практически не меняется после медленного или быстрого охлаждения. Для получения же мелкозернистой структуры, обеспечивающей изделиям высокие механические свойства, надо нагреть сталь до критической температуры — точки В или лучше немного выше, а затем быстро ее охладить.

Так вот в чем секрет всех бед! Для того чтобы закалить сталь, надо нагреть ее, как впоследствии было установлено, выше температуры фазового превращения и затем быстро охладить. Причем в зависимости от скорости охлаждения или среды (вода, масло) получают различные структуры и как следствие отличия в свойствах стали.

Много лет спустя академики А. А. Байков и М. А. Павлов, посетив Д. К. Чернова, спросили, как он заметил без приборов, что в стали при достижении температурной точки В происходят какие-то изменения. И Д. К. Чернов ответил:

— Таких признаков два: первый заключается в том, что во время перехода через точку В поверхность стали, нагретая до красного цвета каления, как бы морщится и лущится. Это происходит от того, что легкий слой окалины на поверхности металла начинает растрескиваться и отделяться от металла в виде мельчайших чешуек. Второй признак такой: хотя температура стали при переходе через точку В почти не меняется и болванка, подвергающаяся ковке, сохраняет свой красный цвет почти неизменным, все же внешний вид поверхности ее выше и ниже точки В неодинаков. Это различие можно сравнить с различием во внешнем виде белого мрамора и

гипса... Точно так же стальная болванка выше точки В имеет накалившуюся, красную, как бы маслянистую, блестящую мраморовидную поверхность; когда же она охладится ниже точки В, то сохраняет тот же красный цвет, но поверхность ее тускнеет, утрачивает блеск и становится матовой, напоминающей вид гипсовых статуй.

Но в те времена еще никто не знал, что простое железо при нагревании претерпевает определенные превращения; что этим превращением соответствуют небольшие площадки на кривой «температура — время»; что существует не просто железо, а α -, β -, γ -, и δ -железо (естественно, с различными свойствами); что в зависимости от температуры нагрева кристаллическая решетка железа может быть объемно центрированная кубическая и гранецентрированная кубическая (две полиморфные модификации одного и того же химического элемента); что железо с объемно центрированной кубической кристаллической решеткой назовут железом- α (температура «существования» до 910 °С и от 1400 до 1539 °С), а железо с гранецентрированной кубической решеткой назовут γ -железом (оно образуется при температуре 910 °С—1400 °С); что полиморфное превращение характерно и для углерода, который встречается в природе в твердом состоянии в виде алмаза и графита, имеющих различные кристаллические решетки, а поэтому и резко отличаются друг от друга. И наконец, что железо с углеродом образует сплавы, для которых критические точки имеют различные значения в зависимости от процентного содержания углерода. Не одна точка, а совокупность точек, объединяемых в линии на так называемой диаграмме состояния сплава «железо—углерод». Диаграмма состояния, в основе которой лежит открытие Д. К. Чернова и последующие труды многих ученых и практиков, станет тем ключом, без которого немыслимо в настоящее время управление свойствами сталей и чугунов, немыслимо машиностроение и инструментальное производство.

Поэтому на первом же заседании Парижской академии наук, состоявшемся в 1900 г. в честь торжественного открытия Парижской всемирной выставки, известный металлург и директор крупнейшего завода Поль Монгольфье, обращаясь к собравшимся, сказал:

— Считаю своим долгом открыто и публично заявить в присутствии стольких знатоков и специалистов, что наши заводы и все сталелитейное дело обязано настоящим

своим развитием и успехом в значительной мере трудам и исследованиям русского инженера Чернова. Приглашаю всех выразить ему искреннюю признательность и благодарность от имени всей металлургической промышленности.

Получив быстрорежущую сталь, Тейлор не сомневался, что надолго опередил своих конкурентов. Его сталь пользовалась уж очень большим спросом. Еще бы, она позволяла вести обработку не при 5—8 м/мин, а при 30—40 м/мин. Небо вроде было безоблачным, ничто не предвещало грозы. Но она пришла, да к тому же не со стороны фирм, усиленно занимавшихся разработкой новых инструментальных сталей, а из стен мало кому известной лаборатории электротехнического завода в США.

Руководитель этой лаборатории Хайнес проводил исследования, направленные на получение сплавов, необходимых для выпуска электротехнической продукции завода. Сплавы изготавливались при высоких температурах с применением литья и с последующей обработкой на токарном станке для придания образцам окончательной формы и размеров. Опыты шли по графику. Как вдруг при обтачивании одной из заготовок затупился резец из высокоуглеродистой стали. Температура его режущей кромки поднялась выше 250 °С. Взяли другой резец, более теплостойкий — из быстрорежущей стали. Он также быстро разогрелся и при 600 °С перестал снимать стружку. Все были в недоумении, до сих пор у резцов из быстрорежущей стали даже при невысоких скоростях резания такого явления никогда не наблюдалось. В чем же причина? Не в высокой ли твердости заготовки? Измерили твердость. Оказалось, что твердость заготовки стала больше твердости резца. А ведь перед началом обработки резанием инструмент был, как и положено, гораздо тверже заготовки. Иначе и быть не могло. А теперь наоборот! Значит, от нагрева при резании материал заготовки получил упрочнение и стал тверже самой быстрорежущей стали и даже более теплостойким.

Хайнес резко меняет направление исследований. Теперь все усилия он прилагает к созданию нового инструментального материала. Игра стоит свеч! Из экспериментальных заготовок уже делаются не образцы для электротехнических нужд завода, а самые настоящие резцы. Состоят они из вольфрама, кобальта, хрома и их кар-

бидов. В быстрорежущей стали они тоже есть, но только как добавочные для улучшения свойств основы, которой является железо.

Как сенсацию восприняли в 1907 г. появление нового чемпиона теплостойкости, износостойкости и скоростного «бега». Его называли «стеллит», что на латинском языке означает «звезда». Стеллит позволил увеличить скорость резания почти в два раза и выдерживал температуру при обработке 1100°C . Но у чемпиона оказалась ахиллесова пята. И даже две: он боялся ударов, так как был хрупким, и к тому же стоил дорого. Поэтому из него делали маленькие пластинки, которые и закрепляли на головках резцов. Если же при резании возможны были удары, сильные вибрации, то стеллит уступал место быстрорежущей стали. Так они рядом и существовали около 20 лет.

А теперь пойдет речь о предмете, который явился причиной возникновения нового инструментального материала. Это — электрическая лампочка. Когда приходит вечер, мы нажимаем на клавишу выключателя и лампочка вспыхивает ярким светом. Источником света является спираль или нить, которая под действием электрического тока раскаляется добела. Еще в 1820 г. французский ученый Деларю создал лампу накаливания, в 1873 г. русский инженер А. Н. Лодыгин впервые применил электрические лампы для освещения улиц в Петербурге, а в 1879 г. американский изобретатель Т. А. Эдисон создал более совершенную конструкцию лампы вакуумного типа с угольной нитью накаливания и через три года построил первую электростанцию для освещения улиц. Только спустя почти 30 лет в США были разработаны методы получения высококачественных нитей из вольфрама, которые впоследствии и загорелись ярким светом в электрических лампочках.

Сделать тонкую нить из очень твердого и тугоплавкого вольфрама было тяжело. Ее получали путем многократного протягивания вольфрамовой проволоки через отверстия в так называемых волокнах. Но волокна быстро изнашивались, даже если были выполнены из стеллита. Поэтому германская электротехническая компания «Осрам», которая впервые стала делать нить накала ламп из вольфрама, потратила много средств на поиски инструментального материала более стойкого, чем стеллит. В результате в 1925 г. появился необычный сплав.

Он состоял из вольфрама, железа, кобальта и углерода. Вроде бы ничего нового применено не было по сравнению с маркой «мешет». Элементы те же. Однако новое было. Стеллитовые инструменты позволили повысить производительность обработки в среднем до трех раз, а быстрорежущие — до восьми! При одинаковых режимах резания стеллитовым резцом обтачивали около 800 деталей, а резцом из нового материала — 27 000.

Так в чем же заключался секрет? Он раскрывался лаконично — в умении сделать, в технологии. Здесь пальма первенства перешла от фирмы «Осрам» к машиностроителям Эссена, к инженерам и технологам «пушечного короля» Круппа. В специально построенных и оборудованных цехах сначала прокаливанием с сажей получали отдельно карбиды вольфрама и железа, затем их вместе с кобальтом перемалывали в порошок, тщательно перемешивали и спрессовывали под большим давлением в пока еще не очень-то прочные брикеты. И наконец, осуществлялись два этапа спекания в печах с промежуточной разрезкой брикетов на отдельные режущие пластинки. Окончательная прочность пластинок достигалась после второго этапа прокаливания при температуре 1500 °С. Под действием столь высокой температуры кобальт расплавлялся и, остывая, крепко связывал карбиды железа и вольфрама в монолитный прочный и очень твердый сплав, который и стал новым чемпионом.

Как видите, инструментальные материалы, о которых шла речь, содержат карбид вольфрама. Полученный в 1893 г. карбид вольфрама сразу же привлек внимание машиностроителей своей высокой твердостью и температурой плавления порядка 3000 °С. Идея его применения для изготовления металлорежущих инструментов дала в результате настойчивых поисков блестящие результаты. Появились различные марки твердых сплавов. Так, в нашей стране в 1930 г. был разработан сплав, который называли «победит». Красностойкость резцов из победита лежала в пределах 850—900 °С. Победит позволял вести процесс резания при скоростях до 300 м/мин и обеспечивал в 5 раз большую производительность, чем быстрорежущая сталь.

Однако пластинки из твердых сплавов были весьма дорогими из-за дефицитности вольфрама, кобальта, а впоследствии и титана. Поэтому начались поиски их заменителей. Конечно, заманчиво вообще отказаться от

дорогих металлов, а значит, и от их карбидов и взять что-нибудь подешевле и потверже. А что, если использовать корунд? По твердости он приближается к алмазу, да к тому же освоив его выпуск искусственным путем. Так и поступили в 1947 г. в Ленинграде во Всесоюзном научно-исследовательском институте абразивов и шлифования. Из корунда сделали порошок с частицами от 15 до 100 мкм и «испекли» из него пластинки. И оказалось, что новый материал, который называли «термокорунд», по своим эксплуатационным свойствам не уступает сверхтвердым сплавам. Наступление на безвольфрамовый сплав велось и на кафедре технологии стекла в Московском химико-технологическом институте имени Д. И. Менделеева под руководством И. И. Китайгородского. Там применили более мелкий порошок корунда (2 мкм), который после спекания дал пластинки еще более высокой стойкости по сравнению с термокорундом. Красностойкость этих пластинок-«микролитов» поднялась до 1200°C, огнеупорность составила 2000°C, а скорость резания они выдерживали просто астрономическую. Чтобы не быть голословным, обратимся лучше к событиям 1952 г. ...

Трибуны, расположенные в виде амфитеатра, были переполнены. Все сосредоточенно смотрели на сцену. И даже с верхних рядов хорошо было видно, что там, внизу, на небольшой сцене, помосте установлен... обыкновенный токарный станок! Да! Да! Мы не ошиблись. На сцене действительно находился токарный станок, а не рояль, который был бы гораздо более привычен в данной ситуации. А у станка стоял рабочий и демонстрировал румынским машиностроителям свои передовые методы обработки деталей. Рабочим был токарь-скоростник, лауреат Государственной премии, депутат Верховного Совета СССР Павел Быков. Металлорежущий станок и рабочий на сцене! Разве это не гимн труду и профессии, не гимн ли это рабочим жилистым рукам и человеку, влюбленному в свою профессию? А ведь в те времена, начала 50-х гг., американские газеты писали, что токарь Быков — фигура «мифическая», «красная агитка». Еще бы, как не писать, если невозможно было поверить, что скорость резания при точении доводилась до 2000—3200 м/мин, а сменные задания выполнялись на 300—400 %. Даже знающие толк в станках и обработке металлов резанием немецкие ученые сомневались в

реальности подобного. Так было и с доцентом Дрезденского высшего технического училища Бертольдом, у которого по расчетам получалось, что для осуществления скорости резания 2400 м/мин токарный станок должен иметь электродвигатель не 13 кВт, как в действительности, а 100 кВт. А советский рабочий опровергает научные выкладки, практика выносит им безжалостный приговор.

Феноменальный результат по скорости резания (3200 м/мин, или 192 км/ч) был достигнут с помощью микролитовых пластинок, закрепленных на резцах. Павел Быков, кроме того, применил и новую заточку резцов со специальной канавкой на передней грани. Но чтобы вести обработку на такой большой скорости, одних технических новинок было мало. В этом деле безусловным залогом успеха явились высокая квалификация токаря и любовь к своей профессии. Недаром Павел Быков писал, что «нельзя добиваться высокой квалификации, не полюбив своей профессии, своего завода. Завод — это частичка Родины». С чувством высокого патриотизма и гражданственности выступал он на сессии Верховного Совета СССР, которая приняла закон о защите мира. Не есть ли это пример большого человеческого счастья, когда добиваешься высоких профессиональных результатов, когда тебя уважают за труд, выбирают в высокие органы управления государством, доверяют и поручают голосовать за жизненно важные каждому советскому человеку законы? Прочтите его книгу «Путь к счастью», и вы ознакомитесь не только с технической стороной новаторства тех лет, но и прочувствуете, почему так гордится своей рабочей профессией советский человек.

Итак, мы уже выяснили, что для постоянного преодоления все более высоких скоростных рубежей обработки металлов резанием необходимо каждый раз иметь новые инструментальные материалы с увеличенной твердостью, прочностью и теплостойкостью. Но здесь есть и еще одно важное обстоятельство, это геометрические особенности применяемых инструментов. Путем совершенствования заточки режущего инструмента можно дополнительно добиться существенного повышения скорости резания, если, конечно, еще не были использованы все скрытые резервы инструментального материала, так тщательно охраняемые природой. Для подтверждения

приведем пример, относящийся к тем же 50-м гг. Известный токарь-скоростник Борис Кулагин, работая резцами, оснащенными победитовыми пластинками, поднял с помощью улучшенной геометрии их заточки скорость резания с 270 до 400 м/мин, а на микролитовых резцах — до 1000 м/мин.

— Но позвольте,— скажете вы,— разве 1000 м/мин можно считать достижением против 3200 м/мин?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, сделаем небольшое отступление.

Представьте себе, что вы участвуете в спортивном состязании и мчитесь на новейшем велосипеде по прекрасному асфальтированному и ровному, как стеклышко, шоссе. А несколько поодаль на таком же велосипеде, но по проселочной дороге едет ваш соперник. И оба вы ведете спортивную борьбу за наилучший результат. Оба вкладываете в борьбу всю свою энергию и искусство. Будет ли в данном случае справедлива крылатая, но мало о чем говорящая фраза спортивных обозревателей и комментаторов о том, что «победит сильнейший». Нет, конечно. Условия соревнования ведь разные. Так и скорости резания 3200 м/мин и 1000 м/мин являются предельными для конкретных, своих условий обработки, которые отличаются материалами заготовок, подачами и геометрией инструментов. Поэтому в данном случае речь идет о максимально достигнутой скорости резания, о «потолке» инструментального материала.

Однако по современным справочным данным можно составить представление и об относительных скоростях резания, допускаемых инструментальными материалами в сравнимых между собой условиях испытаний. Если допускать скорость резания для резцов из быстрорежущей стали принять за единицу, то мы получим следующую картину: углеродистая сталь (У10А) — 0,4, легированная (ХВГ) — 0,6, твердые сплавы ВК8, Т15К6 — 3,0, 4,0 соответственно и минералокерамика (ЦМ332) — 7. Это, так сказать, не рекордные показатели, которые гораздо контрастнее особенно для новых материалов, а принятые практикой машиностроительных заводов. Кроме того, выбор скорости резания определяется назначением инструментов и станков. Например, применение твердого сплава для обработки на токарных станках допускает скорость резания до 400 м/мин, на сверлильных и строгальных — 80, а на зубофрезерных станках — все-

го 20—35 м/мин. И если вы решите, что зубофрезерные инструменты из-за малой скорости резания «прохлаждаются» без нагрева, то ошибетесь. Условия работы у них тяжелые, температуры предельные, поэтому и работают они при таких малых скоростях.

Бесконечный поиск наилучшего инструментального материала не оставил в стороне и алмаз. В древней Индии его называли фарием, арабы — алмасом, а греки дали имя адамас, что означает «непреодолимый».

Фария не может царапать никакой

Драгоценный камень,—

Он царапает все камни.

Так было написано на санскрите в начале I тысячелетия н. э. Впоследствии благодаря не своей красоте и высокой стоимости, а только лишь из-за способности царапать все известные минералы алмазу был присвоен наивысший балл твердости. Сделал это в 1811 г. немецкий минералог Ф. Моос. По шкале Мооса алмаз получил 10 баллов, а известный нам корунд, из которого изготовили микролитовые пластинки для резцов,— 9 баллов. Однако разница в балл на самом деле лишь условно характеризует соотношение в твердости между алмазом и корундом. В действительности же алмаз тверже корунда в 5—7 раз. Почему так источно, с таким солидным интервалом? Да потому, что от природы кристаллы алмаза, как и корунда, не похожи один на другой, как две капли воды, а отличаются в зависимости от месторождения.

Легенды и научные трактаты древности всегда описывали алмаз как самый прочный царский камень. «Он так сопротивляется ударам о наковальню, что железо с обоих концов разлетается и сама наковальня растрескивается» — можно прочесть в «Естественной истории» римского ученого и государственного деятеля Плиния Старшего, жившего в начале нашей эры. Вера в ничем не преодолимую прочность алмаза так была велика, что, как гласит индийская легенда, раб отказался сделать попытку разбить алмаз ударом тяжелого молота о наковальню и получить за это свободу или смерть в случае неудачи. О том, что алмаз хрупкий, никто в древности не знал, а возможно, и не проверял. Иначе раджа не стал бы рисковать потерей камня и отпускать раба на свободу, а Плиний Старший писать строки, которые вы только что прочли.

Кроме того, алмаз можно сжечь. История сохранила

описание опыта Г. Аврани и К. А. Тарджионо из Флорентийской академии, которые в 1694 г. в торжественной обстановке на главной площади у фонтана констатировали полное исчезновение алмаза в результате воздействия солнечных лучей, сконцентрированных линзой. Аналогичный эксперимент был проведен и французским химиком Антуаном Лавуазье в 1772 г., но на более высоком научном уровне. Он не только сжег алмаз с помощью увеличительного стекла, но и обнаружил при этом выделение газа, вызывающего такое же помутнение известковой воды, как и «связанный воздух».

Теперь уже известно, что при нагревании выше 800°C алмаз переходит в графит. По современным представлениям такая температура не является высокой и находится в пределах критических точек нагрева углеродистых инструментальных сталей под закалку. Вот вам и стойкий алмаз! Получается, что еще в глубокой древности его преспокойно могли сжечь на костре и не писать хвалебных од.

Итак, алмаз имеет пятна, как и Солнце. Он хрупкий и боится температуры 800°C . Но он одновременно самый твердый и износостойкий природный минерал. Благодаря этим положительным качествам алмаз приобрел трудовую профессию и получил по праву путевку в элиту инструментальных материалов.

Попытки технического применения алмазов уходят в далекое прошлое. Плиний писал, что «вырезыватели на камнях стараются приобрести алмазы и вправляют их в железо. Посредством их весьма легко продавливаются твердейшие вещества». С изобретением стекла алмазы стали использовать для оснащения рабочей части стеклорезов. Ведь кристаллом в один карат можно провести царапину на стекле, превышающую расстояние от Земли до Луны. Алмаз является отличным износостойким материалом для волок, через которые протягивают проволоку. Одна алмазная волока заменяет несколько сотен твердосплавных. Интересно, что первый в России цех по изготовлению алмазных волок был создан в 1894 г. благодаря стараниям К. С. Станиславского. Того Станиславского, который в 1898 г. основал совместно с В. И. Немировичем-Данченко Московский художественный театр.

Прекрасно зарекомендовали себя и резцы с алмазными вставками. Они оказались в 150—200 раз более

стойкими, чем из твердого сплава. А при обработке гранита, кварца и других твердых пород алмазы стали просто незаменимыми. Алмазные пилы служат во много раз дольше, чем сделанные из быстрорежущей стали или выполненные со вставками из сверхтвердого сплава карбида вольфрама. Современное алмазное долото, которое используют для буровых работ, заменяет 7—8 тыс. твердосплавных долот, позволяет в несколько раз увеличить скорость прохождения скважин. И при резании металлов на станках алмазными резцами скорость также может быть установлена большой — около 3000 м/мин. Выдержать такие скорости алмазу помогает хорошая теплопроводность. Недаром говорят знатоки ювелирных дел, что алмаз всегда холодный и очень дорогой камень.

Мировая годовая добыча алмазов может быть помещена в кузове семитонного грузовика. Между тем промышленность только одних США их расходует более 10 т в год. А потребности на будущее еще выше. В нашей стране выпускается порядка 5000 типов алмазных инструментов с содержанием в них алмазов от 0,1 до 2000 каратов. Но это весьма скромные цифры на фоне все растущих потребностей. По расчетам специалистов необходимо иметь многие десятки миллионов каратов алмазов. И все для промышленных нужд, а не для украшений. К тому же в украшениях алмазы остаются алмазами, переходя из поколения в поколение людей, а в промышленности они истираются, сгорают, ломаются и безвозвратно теряются для общества. Правда, перед тем как исчезнуть, они совершают полезную работу и дают большой экономический эффект, исчисляемый десятками и даже сотнями рублей на один карат (0,2 г).

Однако откуда же берутся дополнительные алмазы, если их потребление гораздо больше добычи? Ответ может быть только один — их получают искусственным путем. У нас в стране, например, из каждых 100 каратов алмазов, используемых в технике, 85 приходится на синтетические. Отметим, что первые искусственные алмазы были получены шведскими учеными в городе Упсале в 1953 г. (группой Лундблада, фирма ASEA), но свое открытие они хранили в тайне и заплатились за это: в 1955 г. американская фирма «Дженерал электрик» официально зарегистрировала как техническое достижение получение искусственных алмазов, закрепив, таким об-

разом, свой приоритет. Впоследствии стало известно, что американцы воспользовались теоретической работой ленинградского физикохимика О. И. Лейпунского «Об искусственных алмазах», опубликованной еще в 1939 г.

У нас в стране научные разработки по синтезу алмазов завершились во второй половине 50-х гг., после чего в кратчайшие сроки был освоен промышленный выпуск, который с каждым годом быстро нарастал. Так, за последние 10 лет их производство увеличилось в 35 раз.

«Синтез алмаза для современного химика столь же заманчивая задача, как получение философского камня для алхимика», — писал в 1908 г. А. Ле Шателье.

Человек сумел сделать своими руками алмаз и подняться на вершину Олимпа науки, о которой можно было только мечтать. Он не только сотворил философский камень дороже золота, но и заставил его выполнять полезную работу. О чем же еще задумываться, когда самый твердый и износостойкий алмаз покорно снимает стружку с заготовки? Но не таков человек, чтобы останавливаться в своих стремлениях и довольствоваться достигнутыми результатами.

Мы уже говорили о том, что алмаз хрупкий и боится температуры выше 800 °С. Однако у него есть еще один существенный недостаток, который проявляется при резании сталей и других сплавов, содержащих железо. При больших температурах, которые возникают в зоне обработки, алмаз взаимодействует с железом и частично переходит в карбиды железа, теряя свои качества. Тогда и вспомнили о химическом соединении азота и бора — гексагональном нитриде бора. Высокое давление и температура в сложнейших установках превратили гексагональный нитрид бора в кубический. Появилось новое вещество, которое пока в природе не найдено. Ему дали имя эльбор — Ленинград-бор. Эльбор оказался посильнее алмаза. Он выдерживает температуру 1200 °С, стоек к ударам и совсем не реагирует с железом. При твердости, близкой к алмазу, эльбор допускает в 6—8 раз большую скорость резания, чем быстрорежущая сталь, и поэтому в металлообработке он потеснил синтетический алмаз.

А что же дальше? Неужели только путем создания более твердых, износостойких и теплостойких материалов можно увеличить скорость резания и срок службы инструментов? Неужели это единственный путь?

Еще в начале 30-х гг. немецкий ученый доктор Заломон, изучая процесс резания чугуна, пришел к парадоксальному выводу, что при сверхскоростном точении температура в зоне обработки не повышается, а падает. Ошибки здесь быть не могло. Многочисленные эксперименты подтверждали правильность установленной закономерности.

В дальнейшем академик В. Д. Кузнецов со своими сотрудниками довел скорость резания до 42 000 м/мин. «Да это же скорость пули в канале ствола винтовки», — скажете вы. Так оно и было на самом деле. Только из гладкоствольной винтовки выстреливали не пулю, а цилиндрическую заготовку, которая пролетала сквозь строй резцов, закрепленных в кольце на выходе из ствола. Выстрел, и мгновенно срезается требуемый слой металла, и заготовка превращается в деталь. При этом, как показали исследования на алюминии, снижаются силы резания, уменьшается нагрев резцов и резко возрастает их долговечность.

Многообещающие результаты были получены при резании титана. По сравнению с износом на обычных скоростях износ резцов из твердых сплавов при скорости 45 000 м/мин составил всего 1,5%. Вот и получается, что сама скорость из противника превратилась в союзника, вознаградив изобретателей за труды не только производительностью и точностью обработки, но и практически безыносными резцами.

Как скромно на этом фоне выглядят по износостойкости все инструментальные материалы, включая эльбор, когда они работают при общепринятых скоростях резания! Примечательно, что скорость резания 45 000 м/мин также оказалась превзойденной и притом более чем в 2 раза и достигла 109 700 м/мин, или порядка 1830 м/с. Для сравнения укажем, что скорость распространения нервных импульсов по нейроволокнам составляет 120 м/с, а восходящих воздушных потоков в смерче — до 140 м/с, раскаленные камни вылетают из жерла вулкана со скоростью до 300 м/с. Первая космическая скорость, которую необходимо сообщить телу, чтобы оно стало спутником Земли, равна 7900 м/с. Сами же спутники Земли летят со скоростью 2000—7000 м/с. Большинство спортивных метательных снарядов развивает скорость около 30 м/с, стрела из лука — 70, а золотистый орел пикирует на свою добычу со скоростью 44 м/с. И нако-

нец, синтетическая нить протягивается через алмазную волоку со скоростью 80 м/с. Так что скорость резания 1830 м/с должна вызывать уважение. Тем более если вспомнить, что обычно на токарных станках с минерало-керамическими резцами ведут процесс резания при скоростях до 8 м/с, рекорд П. Быкова был 58 м/с, а первобытный человек царапал или резал каменным орудием с наиболее вероятной скоростью 0,1—0,2 м/с.

Мир инструментальных материалов не хаотичен, а подчинен четкой градации. Прежде всего основной группой материалов, применяемых в производстве инструментов, являются инструментальные стали. К ним относятся углеродистые стали, инструментальные легированные, быстрорежущие стали и конструкционные.

Наиболее древними из группы инструментальных сталей являются углеродистые стали. Они фактически представляют собой железо с повышенным содержанием углерода — от 0,65 до 1,35 %. Казалось бы, десятые доли процента — небольшая величина. Но эти доли существенно изменяют свойства стали — сплава железа и углерода. Так, с увеличением количества углерода в стали повышается ее твердость, износостойкость, прокаливаемость, но и усиливается хрупкость. Углероду отводят должное. Его вводят в обозначение углеродистых сталей, где после буквы «У» (углеродистая) ставят цифры, показывающие содержание углерода в десятых долях процента. Например, У7, У8 и далее до У13. Если углеродистая сталь еще и высококачественная с малым присутствием вредных примесей, таких, как сера, фосфор и пр., то добавляют знак отличия — букву «А». Сравните У10 и У10А. Из сталей У7—У9 делают молотки, зубила, ножницы, кернеры, плоскогубцы. Для матриц и пуансонов берут марки У8—У12. Развертки, метчики, надфили и резцы изготавливают из сталей У10—У12. А вот сталь У13 хотя и очень твердая и износостойкая, но для резцов не годится — хрупкая. Поэтому она применяется для, так сказать, безударных инструментов — шаберов и напильников.

Гораздо больше, чем углеродистых, инструментальных легированных сталей. Это объясняется разнообразием элементов, которые вводят специально в стали, чтобы получить те или иные желаемые свойства. Легирующие элементы имеют буквенное обозначение в марках сталей. Так, например, алюминию присвоена буква

«Ю», бору — «Р», ванадию — «Ф», вольфраму — «В», кобальту — «К», кремнию — «С», марганцу — «Г», молибдену — «М», никелю — «Н», ниобию — «Б», титану — «Т», хрому — «Х». Углероду здесь символ не дали. Но зато его присутствие отмечается цифрами, стоящими на самом первом месте обозначения марок сталей. Они указывают среднее содержание углерода в десятых долях процента. Если же углерода около одного процента, то число 10 не проставляется. В марках инструментальных сталей имеется информация и о количестве легирующих элементов. Все строго: сначала символ того или иного элемента, а затем цифра, показывающая его содержание в процентах. Не только строго, но и рационально, так как цифра после буквы не ставится, если элемента в стали меньше одного процента.

Теперь можно легко расшифровать марки инструментальных легированных сталей. Возьмем сталь 9ХВГ. Все ясно! Углерода в ней 0,9 %, а хрома, вольфрама и марганца — около или менее одного процента. Не ясно только, зачем нужны конкретно эти и другие элементы. Это сложный вопрос, поскольку легирующие элементы находятся в стали не сами по себе, а еще и обладают взаимным влиянием, что в совокупности отражается на свойствах стали. Применительно к стали 9ХВГ получается, что хром, вольфрам и марганец (каждый по отдельности) повышают твердость и прочность стали. А вот жаропрочность ванадия снижает, а марганец в сочетании с хромом ее повышает. Но зато вольфрам уменьшает склонность стали к перегреву, а марганец увеличивает. Что касается коррозионной стойкости, то вольфрам ее несколько ухудшает, а благодаря марганцу и хрому она возрастает. С другими элементами в других сталях также не все просто. Но раз они там есть, значит они необходимы. И это решалось мучительно долго, проходя путь от научного поиска, проверки на практике и внедрения. Легированные инструментальные стали, так же как и углеродистые, хороши не для всех случаев. Например, стали 9ХВГ, ХВГ, ХГС, 12Х1 используют для изготовления измерительных инструментов. Для режущих инструментов предназначены стали 9ХС, 11Х, 13Х, 9Х5ВФ, ХВСГ и др. Штампы холодного деформирования делают из сталей Х12М, Х6ВГ, а для горячей штамповки — из сталей 5ХГМ, 6ХВ2С, 4Х5В4ФСН. Заканчивая маленький экскурс в инструментальные легированные стали, заметим,

что они по сравнению с углеродистыми сталями обладают повышенной вязкостью, меньшей склонностью к деформациям и трещинам при закалке.

А теперь кратко остановимся на сталях, преимущества которых над углеродистыми и легированными инструментальными сталями прямо явствуют из их названия. Это быстрорежущие стали. Из них делают резцы, сверла, развертки, зенкеры, метчики, плашки, протяжки, фрезы и зуборезный инструмент. Марок быстрорежущих сталей много. Раз так, то есть их выбор. Для обработки жаропрочных и нержавеющей сталей берут, например, P18K5Ф2, P6M5K5, P12Ф2M3K8. Если же инструменты предназначены для резания обычных конструкционных сталей, то хороши и марки P9, P12, P18, P6M5, P6M5K5. Мы специально привели здесь марки быстрорежущих сталей, не вручив сразу ключ для их расшифровки. Кажется, просто, вроде бы тот же принцип, что и для легированных инструментальных сталей. Буквы означают элементы (М — молибден, Ф — ванадий, К — кобальт), а за каждой буквой стоит число, указывающее в процентах, сколько этих элементов содержится в стали. Есть, однако, и серьезные отличия от уже известного нам принципа. Так, букве «Р» отведена в данном случае главная роль — обозначить, что сталь быстрорежущая, но не для обозначения элемента бора, как при расшифровке легированных сталей. Кроме того, цифры, стоящие за буквой «Р», свидетельствуют о процентном содержании вольфрама.

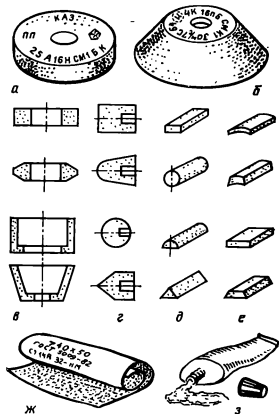
А где же углерод, этот важный элемент, так сильно влияющий на свойства сталей? О нем забыли или его просто в быстрорежущих сталях нет? Углерод, конечно, есть, но о нем можно, как правило, узнать из таблиц химического состава быстрорежущих сталей. Так, в разных марках P9 и P12 содержится почти одинаковое количество углерода в пределах 0,80—0,95 %. Аналогичная судьба и у хрома, которого в быстрорежущих сталях достаточно мало — от 3 до 5,8 %. Правда, иногда об углероде вспоминают хотя бы в марке 10P6M5, где его содержится 1,0 — 1,15 %. Получается, что в одном случае вспоминают, в другом нет! Сравните 10P6M5 с маркой P9M4K8 или с P8M3K6, где углерода столько же. Завидное постоянство принципа в обозначении марок быстрорежущих сталей. Но, как говорят, нет правил без исключений. В одном нет исключений — быстрорежущие

стали весьма дорогие, потому что содержат дефицитные элементы. Поэтому с целью их экономии многие инструменты делают составными: режущую часть — из быстрорежущих сталей в виде закрепленных маленьких пластинок, а остальное — из конструкционных сталей, лучше всего легированных. Из конструкционных легированных сталей делают детали штампов, сборных режущих инструментов, отвертки, ключи под головки винтов и прочие инструменты. Обозначаются конструкционные легированные стали так же, как и инструментальные легированные стали. Полагаем, что вы теперь сами сможете дать расшифровку конструкционных сталей 40X, 50X, ХВ5 и других с не меньшим успехом, чем инструментальных легированных сталей.

Металлокерамические твердые сплавы состоят из карбидов тугоплавких металлов, таких, как карбиды вольфрама, титана, тантала, карбонитрида титана. В качестве связующих элементов применяют кобальт, молибден, никель. По наличию вольфрама металлокерамические сплавы подразделяют на вольфрамсодержащие и безвольфрамовые твердые сплавы. Это отображается в их обозначении. Например, сплавы ВК3 и ВК8 состоят из карбида вольфрама (В) и металлического кобальта (К) в виде связки. Цифры 3 и 8 указывают на процентное содержание кобальта. Значит, остальное — карбид вольфрама. Чем больше в сплаве кобальта, тем меньше его твердость, но выше вязкость и прочность при изгибе.

Сплав Т15К6 состоит из карбида титана (Т) — 15 %, кобальта (К) — 6 % и 79 % карбида вольфрама. Как Т30К4 и Т60К6, этот сплав относят к группе титановольфрамовых. В безвольфрамовых же твердых сплавах содержатся карбид титана, например марки ТН20, ТН40, или карбонитриды титана марки КНТ16, КНТ30, а в качестве связки применены никель и молибден. Отсутствие в сплавах вольфрама делает их дешевле. Твердые сплавы применяют для обработки различных сталей, в том числе закаленных, легированных и ковких чугунов, цветных металлов, а также для изготовления приспособлений, инструментов и некоторых деталей машин с повышенной износостойкостью.

Несколько слов скажем и о так называемой режущей керамике. Ее делают из окиси алюминия с добавлением карбидов и нитридов титана, окиси хрома. Она почти в два-три раза легче, чем твердые сплавы, превосходит их



Р и с. 29. На торцы шлифовальных кругов нанесена маркировка (а, б). Разнообразна форма абразивных кругов (в), головок (г), брусков (д) и сегментов (е). Трудно обойтись без абразивной шкурки (ж) или пасты (з)

по твердости и износостойкости. Мало того, теплостойкость режущей керамики составляет порядка 1200°C для марок ВЗ, В0К60 против $800\text{—}900^{\circ}\text{C}$ для сплавов групп ВК и ТК. В последнее время освоен выпуск нового вида режущей керамики на основе нитрида кремния — силинит-Р. Она и тверже и прочнее на изгиб, но все равно легко ломается. Что поделаешь: выигрывают в одном — теряют в другом.

И наконец, синтетические сверхтвердые инструментальные материалы. Ими оснащаются режущие части многих инструментов путем напайки или механического крепления пластинок различной формы. А пластинки эти очень твердые и износостойкие. Недаром они сделаны на основе кубического нитрида бора, который по твердости близок к алмазу. Эти «сверхтвердые» обладают даже собственными именами: эльбор-Р, бельбор, гексапит-Р. В знак уважения, конечно. Ведь ими можно обрабатывать не только закаленные стали, но и металлокерамические твердые сплавы, твердость которых, как известно, очень велика и доходит до значения НРС92. Мы

уже знаем, что некоторые материалы превосходят даже алмаз по такой важной характеристике, как температурная стойкость. У гексанида-Р она составляет 800—900 °С, эльбора-Р равна 1200 °С, карбида титана — 1700—1900 °С, а у карбида вольфрама — даже 3140 °С. Куда уж тут тягаться природному алмазу, у которого этот показатель всего около 800 °С! Если теперь раздробить в порошок гексанит-Р, то получим гексанит-А, который применяется как искусственный абразивный материал. К искусственным абразивным материалам относятся также эльбор, карбид кремния, электрокорунд, синтетический алмаз и др.

Таким образом, инструменты делают из самых разнообразных материалов. Выбор достаточно широкий. Но можно с уверенностью сказать, что ученые и производственники на этом не остановятся. Таков от природы человек, таковы требования сегодняшнего и тем более завтрашнего дня.

РОЖДЕННЫЕ НАУКОЙ

С чего начать повествование о «рожденных наукой»? Может быть, со слова «ученый», которое было впервые употреблено в современном значении в 1840 г. в книге Уильяма Уэвелла «Философия индуктивных наук»? Или раскрыть толковые словари русского языка и в них найти почти одинаковые формулировки, объясняющие, что ученый — это «специалист в какой-нибудь научной области», «основательно знающий какую-нибудь науку, специализировавшийся в какой-нибудь области наук», или «выученный, наученный чему-нибудь»?

Но за строгими и даже сухими формулировками не видно бескорыстной отдачи сил во имя науки, смелых дерзаний, тяжелых раздумий, бессонных ночей и горечи неудач, взлета фантазии и короткой радости побед над природой, вслед за которыми снова раздвигаются горизонты непознанного, появляются новые трудности и снова напряженный труд... Говоря об успехах ученого, часто не без зависти считают, что ему помогает случай, улыбнулась фортуна. Нельзя отрицать роль случайности в открытиях закономерностей природы. Однако не-

спроста фортуна и случай отдают свое предпочтенье тем, кто их не ждет пассивно, а без устали продвигается к ним по тропам непрерывного и неустанного поиска.

Когда русскому полководцу А. В. Суворову говорили, что ему все время везет с победами, он отвечал примерно так: везение, везение, а где же умение?

Умение! Уметь поставить перед собой задачу, провести эксперимент, уметь увидеть в опытах то, что другие не видят, уметь теоретически осмыслить и довести открытое до инженерного решения, до практики. Такое под силу не каждому.

Горький пример тому тот же Гальвани и даже Вольта. Гальвани открыл химический источник электрического тока, как и сам постоянный электрический ток, но не понял этого и назвал открытое «животным электричеством». Вольта увидел в этом главную суть, и лавры достались ему. А Гальвани? Его сначала вознесли в похвалах, затем осмеяли и забыли — он умер в неизвестности и бедным. Но и Вольта в пылу спора с Гальвани осмеял последующие его интересные опыты и правильный вывод из них и, находясь в зените славы, не только сам не смог осознать наличия «животного электричества», но и другим перекрыл дорогу к истине. Истина, от которой все отвернулись, восторжествовала только в 1837 г., когда итальянский ученый Маттеучи убедительно доказал, что в организме животных действительно есть электричество. Вот так бывает в жизни с изменчивой фортуной и случаем, которые и от удачливых отворачиваются, когда, закрыв глаза, они слишком долго купаются в лучах успехов и славы.

Однако пыливый ум и настойчивость побеждают. Так, известные всему миру ученые Мария Склодовская и Пьер Кюри «увидели» не только невидимое — радиоактивность и открыли в 1898 г. два новых элемента полоний и радий, испускавшие сильные лучи, но и проявили колоссальное трудолюбие, выделив их в чистом виде, переработав на примитивном лабораторном оборудовании многие тонны руды. Похоже на поиски иголки в стоге сена. Разве это не награда получить из тонны урановой руды три десятых доли грамма радия? Как ни мал золотник, да дорог! Разве это не ярчайший пример бескорыстного служения науке, жизни ради нее? А к этому надо добавить еще, что они, как потом стало ясным, име-

ли дело с невидимым, но чрезвычайно опасным излучением.

Да, это подвиг! Подвиг не ради славы и собственного благополучия, а ради власти Человека над природой, подвиг во имя науки.

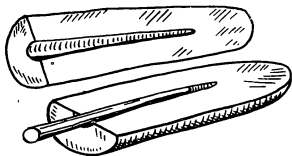
В наш век наука стала производительной силой. Передовые научные идеи и открытия стараются быстро довести до промышленного применения. Это объясняется не только стремлением общества к прогрессу, но и необходимостью окупить затраты на научные исследования. А затраты на научные исследования очень велики, и они к тому же из года в год увеличиваются. Сотни крупных научно-исследовательских институтов, десятки тысяч высококвалифицированных научных работников, большие и маленькие коллективы штурмуют бастионы природы. Физики, химики, механики, математики, электроники трудятся вместе над решением научных задач. И трудно теперь определить, за кем решающее слово, поскольку современная наука характеризуется коллективностью поиска и открытиями на стыках наук. Неспроста, например, в наше время появились многие новые научные дисциплины, среди них такие, как физико-химическая механика материалов, физическое материаловедение, техническая физика, радиофизика, и многие другие, а также создаются институты с не менее сложными вывесками — физико-механический, физико-химический и т. д.

Однако от сложности названий суть дела не меняется. Большим коллективам с хорошо оборудованными лабораториями и производственной базой под силу решать те задачи, которые отдельному ученому никогда не преодолеть. Но сколь бы ни была наука коллективным творчеством, лидирующая роль по-прежнему остается за отдельными учеными, генераторами новых идей, творцами новых открытий. Есть они и в той области, которой посвящена наша книга.

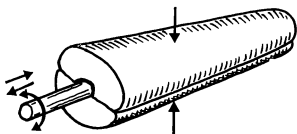
ВОПРЕКИ ПРИНЦИПУ

Е

сли изготовить токарный резец из бронзы, а сверло из меди и предпринять попытку проточить стальную деталь или просверлить в ней отверстие, то резуль-



Р и с. 30. На такой оригинальный абразивный инструмент каменного века — неолита для заточки иглол из кости в наше время можно было бы получить авторское свидетельство



тат не заставит себя долго ждать. Просто ничего не получится. Зачем же тратить зря время и силы? И без эксперимента все видно.

— Вот если наоборот: сверло и резец сделать из стали, тогда — другое дело! — скажете вы.

Действительно, зачем зря тратить силы и время? Ведь издавна известен принцип, согласно которому инструмент должен быть намного тверже обрабатываемого материала. Именно поэтому каменные резцы не исчезли с «исторической арены», когда наступил бронзовый век. И даже век железный. Да, принцип известен. Все правильно. Медным гвоздем невозможно не то что снять стружку со стальной заготовки, но и поцарапать ее.

Но как же все-таки быть, если в технике появляются все более твердые материалы, которые соперничают с твердостью инструментов, предназначенных для их обработки?

В маленькой холодной комнате одного из уральских институтов в условиях эвакуации во время Великой Отечественной войны шел неутомимый поиск наилучшего материала для электрических контактов. Работа была важная и срочная. Необходимо было ликвидировать разрушение контактов электрическим током и повысить их надежность. Испытывались серебро, платина, железо, никель, вольфрам, медь и многие сплавы. Контакты помещались в различные жидкие среды, но положитель-

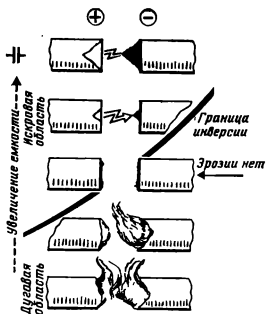


Рис. 31. При определенных условиях электрическая дуга переходит в искру и анод начинает разрушаться

ные результаты не получались. Вернее, они, как пишут в официальных бумагах, имели место, но отличались завидной нестабильностью. Впрочем, скорее незавидной: стойкие в условиях лабораторных исследований, эти же контакты быстро теряли стойкость непосредственно в приборах, а случалось наблюдать и совершенно обратную картину. Как будто какая-то неведомая сила играла с экспериментаторами в прятки, то вселяя надежду, то лишая ее. «Самое прекрасное и глубокое переживание, выпадающее на долю человека,— это ощущение таинственности»,— сказал как-то А. Эйнштейн. Да, таинственность в опытах Б. Р. Лазаренко и его помощников безусловно была, и она действительно сопровождалась «прекрасными переживаниями». Но неудачи на то и неудачи, чтобы огорчать. Важно было не упасть духом перед ними, и тогда крепость под названием «таинственность» непременно падет.

Выяснилось, что дуга и искра, возникающие между электрическими контактами, ведут себя по отношению к ним по-разному. Если дуга разрушает катод, то менее впечатляющая искра обладает противоположным действием и разрушает анод. Мало того, интенсивностью разрушения любого из контактов можно легко управлять изменением емкости колебательного контура. С увеличением емкости подключаемых конденсаторов уменьшается дуга и ярче, сильнее становится искра. При этом на-

ступает даже инверсия (от латинского слова *inversio* — обратное превращение, переворачивание) дугового разряда в искровой с характерным переходом частиц анода на катод. Теперь-то и стали понятны причины таинственных неудач при подборе материалов для стойких от электрического разрушения — эрозий — контактов. А раз понятна причина, то становится ясным и метод борьбы с эрозией: необходимо так подбирать электрические параметры колебательного контура, чтобы контакты работали на границе инверсии, при которой разрушение анода и катода минимально.

Казалось, все стало ясно, и тема исследований шла к завершению. Но в результатах экспериментов была обнаружена вроде бы незначительная особенность, которая заинтересовала ученого. Дело в том, что разнообразные жидкие среды, в которых испытывались контакты, через несколько минут работы мутнели. Тайна такой мути была раскрыта под микроскопом. Под микроскопом были видны не осмоленные частицы масла, не пузырьки воздуха, а микронные шарики из материала анода. Получается, что искра выполняет роль инструмента для изготовления тончайшего металлического порошка и притом независимо от твердости исходного электрода. Вот что значит маленькая деталь эксперимента, благодаря которой удалось шагнуть от непонятной «мути», создаваемой при искровом разряде контактов в диэлектрической жидкости, к первой лабораторной установке производительностью около 700 г металлического порошка в сутки.

Вредное явление — эрозия контактов — обратилось в полезное!

Теперь следовало бы подумать о том, как повысить производительность процесса для получения порошка, увеличить скорость разрушения электрода. Иными словами, поставлена задача, противоположная по своей сути исходной. Это был очень важный шаг к открытию. Оно находилось рядом и ждало удобного случая, чтобы заявить о себе во весь голос. И случай наступил, когда при более жестких электрических режимах установки, выбранных для интенсификации процесса получения порошков, квадратный электрод-катод «прошил» насквозь металлическую пластину электрода-анода. Есть чему удивляться и восторгаться. В ванне находился мелкий порошок, а в одном из электродов образовалось квадрат-

ное отверстие! Так в лаборатории Лазаренко появился принципиально новый метод обработки материалов, который был назван электроискровым, а вместе с ним появился и новый вид инструмента — электрод-инструмент.

Это была победа в науке, которая раскрывала широкие практические горизонты. Она была тем ценнее, что была совершена в трудное для советского народа время — в 1943 г. И если в тяжелые годы войны, когда на счету была каждая копейка и крошка хлеба, когда наша страна несла бесчисленные человеческие жертвы, выделялись средства для научных исследований и делались изобретения, то это свидетельство непоколебимой веры советского народа в Победу.

Но отгремели бои Великой Отечественной войны, за lànhились раны, и как одна из крупниц наших успехов развился и внедрился в промышленность электроэрозионный метод обработки материалов — детище советской науки.

В чем же заключается электроэрозионная обработка материалов, какова ее суть, почему мы говорим о новом инструменте — электроде и почему, наконец, назвали рассказ «Вопреки принципу»? Попробуем разобраться в этом.

При сближении двух электродов, находящихся в непроводящей ток диэлектрической жидкости, возникает электрический разряд. Он образуется между наиболее выступающими точками электродов, когда напряженность электрического поля достигает значений, достаточных для пробоя межэлектродного промежутка.

Благодаря высокой плотности энергии, достигающей до 30 000 Дж/мм², в зоне канала разряда при электроискровой обработке развиваются температуры порядка 10 000 °С, при которых любые металлы молниеносно плавятся и испаряются. Так как длительность искрового разряда очень мала, то высокие температуры локализируются в микрообъеме поверхностных слоев детали анода.

Следующие разряды возникают уже на новом месте поверхности электродов между двумя наиболее сближенными вершинами шероховатостей. Разряды последовательно возникают на разных точках поверхности до тех пор, пока не будут удалены все участки металла, находящиеся на пробивном расстоянии. После этого разряды прекратятся и произвольно не возникнут, пока электро-

ды снова не будут сближены. Практически требуемый рабочий зазор между электродами поддерживается автоматически с помощью разнообразных устройств, поэтому съем металла с анода происходит непрерывно.

Из приведенного краткого описания можно сделать вывод, что импульсы вырабатываются за счет периодического изменения проводимости межэлектродного промежутка, а их параметры в значительной мере определяются свойствами этого промежутка — жидкой среды.

А что, если импульсы генерировать не в самом рабочем зазоре, а вне его, с помощью какой-либо электрической схемы? Иными словами, создать генераторы, вырабатывающие импульсы с требуемой характеристикой без участия свойств межэлектродного промежутка. Такая прогрессивная идея была впервые осуществлена в Советском Союзе в 1951—1953 гг. В результате были разработаны специальные генераторы импульсов с использованием машинных генераторов, электронных ламп, ионных приборов, диодов и транзисторов.

Применение разнообразных генераторов импульсов, независимых от свойств среды, позволило увеличить съем металла по сравнению с электроискровой схемой обработки более чем в 10 раз и довести производительность до 10^3 — 10^4 мм³/мин при значительно меньшем износе инструмента и расходе электроэнергии.

Теперь подходим к одному очень важному вопросу, раскрывающему тайну названия этого рассказа.

Любой механический инструмент, предназначенный для обработки резанием, должен быть тверже и прочнее материала обрабатываемой детали, он должен иметь режущую кромку и клин и, наконец, должен осуществлять непосредственно силовое воздействие при резании. Таким образом, твердость, прочность, клин, высокое удельное давление и непосредственный контакт с обрабатываемой поверхностью — вот киты, на которых основано самой природой резание материалов, вот принципы, без которых оно невозможно. Но соблюдаются ли эти принципы при электроэрозионной обработке, являются ли они незыблемыми для инструмента-электрода?

Итак, начнем с искры. Как и молнии, ей нужен простор. Пусть он не такой величественный и называется промежутком, или межэлектродным промежутком, но это все-таки простор для маленького импульсного разряда, где ему подвластно мгновенное испепеление лю-

бых современных материалов. Без этого маленького простора не возникает разряд и как следствие не возникает эрозия и невозможна обработка. А для механического инструмента необходима другая стихия — непосредственный контакт и вдобавок силовое давление, воздействие, без чего он бессилен.

Если нет взаимного соприкосновения и силового давления, если электрод-инструмент как бы парит над обрабатываемой поверхностью, то нужен ли тогда клин, как, например, для работы резца или сверла? Конечно, не нужен.

Здесь мы подошли к отрицанию еще одного важного принципа механической обработки — принципа повышенной твердости инструмента по сравнению с твердостью детали. Любые по твердости материалы маленькие искры и дуги легко обращают в пар. Разрядам не страшны грозные характеристики твердости закаленных конструкционных, легированных и инструментальных сталей, твердых сплавов и даже короля твердости — алмаза. И как бы в насмешку над их твердостью электрод-инструмент сделан из... меди. Есть чему удивляться и над чем задуматься.

Электроды-инструменты стараются делать из красной меди, которая позволяет вести обработку на наиболее производительных режимах и при хорошей стабильности процесса. Применяют для этой цели и менее дорогие алюминий и его сплавы, графитизированные материалы, латуни, вольфрам и даже серый чугун.

При электроискровой обработке электрод-инструмент не вечно, он, так же как и механический инструмент, подвержен износу. Правда, причины износа здесь другие, но от этого производственникам не легче. Им нужен инструмент, который не изнашивался бы вообще или в крайнем случае изнашивался бы очень мало. Требования понятные, но не всегда преодолимые. Однако было обнаружено, что электрические разряды не только разрушают поверхность электрода-инструмента, но при некоторых условиях способствуют отложению на нем своеобразной защитной пленки. Более детальные исследования показали, что эта пленка состоит из углерода и частиц металла обрабатываемой детали, что на рабочей поверхности инструмента протекают два противоположно направленных, но взаимосвязанных процесса — разрушение и созидание. Конкуренцией процессов термиче-

ского разрушения материала электрода-инструмента и термохимического наращивания на нем углерода и определяется износ. Получается как в известной игре с перетягиванием каната: когда силы равны, то нет и никакого результата. Таким образом, идея осуществления безызносности инструмента достаточно проста — надо только добиться динамического равновесия двух противоположно направленных процессов.

Мы уже говорили о том, что готовое решение воспринимается почти всеми, кроме изобретателя, как простое и само собой разумеющееся. Однако решение, предложенное для повышения износостойкости электрода-инструмента с помощью специальной формы импульсов, вызывает должное восхищение и уважение. Судите сами. Импульсы, посылаемые генератором в межэлектродный промежуток, как бы разделены по функциям. Первоначальный импульс высокого напряжения обеспечивает эрозионное разрушение с высокой производительностью, а последующие импульсы меньшего напряжения способствуют ускоренному восстановлению электрода-инструмента.

Мы достаточно много беседуем об электроэрозионном инструменте, принципе его работы, коснулись даже проблемы безызносности, но не рассмотрели до сих пор основные формы инструмента и технологические операции, в которых он применяется. Это сделано не случайно и для того, чтобы подчеркнуть, что геометрия электроэрозионного инструмента не определяет его «режущих» способностей по сравнению с механическим инструментом — сверлами, резцами, фрезами и пр. Так, при использовании электроэрозионного инструмента производственники не задумываются над выбором и обеспечением рациональных углов резания, их здесь просто нет. Но зато обращается внимание на соответствие формы инструмента форме детали или отдельных ее поверхностей.

Если, например, необходимо получить цилиндрическое отверстие, то в качестве электрода-инструмента берут круглый прут. Для изготовления сита с очень маленькими отверстиями (диаметром порядка 0,080—0,025 мм) форма инструмента остается такой же простой, но применяется не прут, а тонкая проволока, и не одна, а сразу много. Не инструмент, а настоящий еж! Обычным сверлом получить такие отверстия практиче-

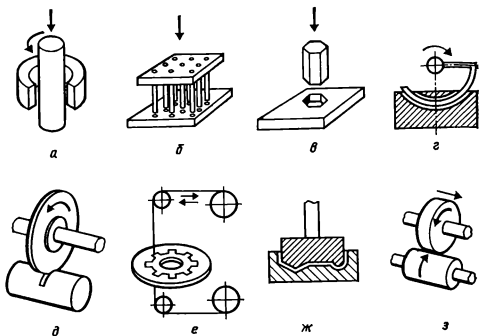


Рис. 32. Форма инструментов для электроэрозионной обработки определяется производственными задачами и свободна от режущих зубьев со специальной геометрией; а — круглый пруток; б — набор стержней, проволоки; в — шестигранный пруток; г — дугообразный инструмент; д — дисковый; е — проволочный; ж — объемный, сложного профиля; з — цилиндрический

ски невозможно. Заметим, что наименьшее стандартизованное сверло имеет диаметр 0,1 мм. Но если сверло еще прочно удерживает свои позиции при сверлении отверстий относительно больших диаметров, то оно становится абсолютно бессильным при необходимости получения нецилиндрических отверстий и углублений. Однако электроэрозионным инструментам, имеющим форму квадрата, шестигранника, звездочки, это по плечу. Ими даже можно сделать дугообразное отверстие, если инструмент изогнуть по окружности и медленно поворачивать вокруг ее оси. Применяя электроды-инструменты в виде дисков, можно прорезать узкие щели, осуществляя разрезку, плоское и круглое шлифование наружных и внутренних поверхностей. С помощью обыкновенной проволоки из меди, алюминия или стали (а ведь это тоже инструмент!) можно вырезать в металле или твердом сплаве сложный профиль. Но наибольшего уважения заслуживает электроэрозионный инструмент для изготовления сложных объемных профилей деталей и особенно

штампов и пресс-форм для кузнечно-прессовых работ. Инструментом делают инструмент. Мало того, он может сделать свою копию — сам себя. Для этого электродом из медно-графитовой композиции, например, делают в металле отпечаток, а затем полученный отпечаток используют в качестве инструмента и таким образом изготавливают копию медно-графитового электрода-инструмента.

Приведенными примерами не исчерпывается разнообразие форм и назначения электроэрозионных инструментов. Все они обладают рядом достоинств. Однако и у таких, казалось бы, всемогущих инструментов есть свое слабое место. Электроэрозионные инструменты оказываются бессильными перед материалами, не проводящими ток, пусть даже самыми непрочными. Строго говоря, этот недостаток заложен не в инструменте, а в самом электроэрозионном принципе обработки, для осуществления которого необходим электрический разряд между двумя токопроводящими электродами.

Выход был найден, и весьма оригинальный. Так, для обработки алмаза его покрывают тонкой металлической фольгой. Искра сначала пробивает фольгу, затем проскакивает через нее и отдает большую часть своей энергии не фольге, а алмазу. Остальное просто: импульсное воздействие высокой температуры, испарение микрообъема и образование маленького кратера на поверхности алмаза. Затем снова и снова «обман», до тех пор пока в кристалле не будет сделано отверстие по форме электрода-инструмента. Оказывается, и искру можно «поймать на удочку».

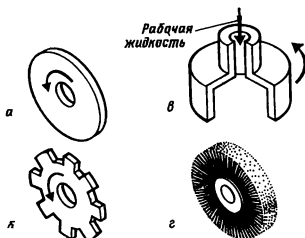
Инструмент, о котором теперь пойдет речь, вызвал долгое раздумье у авторов. Оно было связано не с конструктивными особенностями инструмента, станка или электрической схемы. Наоборот, здесь все предельно просто. Обыкновенный диск из любого токопроводящего материала — меди, алюминия, стали, электромотор с ременной передачей для вращения диска, понижающий трансформатор типа сварочного и механическое устройство, например, в виде качающегося рычага с грузом не дают серьезного повода считать установку сложной. Сложность заключается в другом: определить, с какого физического процесса начать описание простого по фор-

ме, но разнообразного по принципу действия одного и того же инструмента. Как ни странно, но нам помогло то, что этот инструмент ассоциировался в нашем сознании с маленькой ящерицей с серой спинкой и белым брюшком — со степной агамой. Обитает она в полупустынях и пустынях на участках с редкой кустарниковой растительностью на обширных территориях Нижнего Поволжья, Казахстана и Средней Азии. Под влиянием температуры или нервного возбуждения окраска ее тела изменяется. У самок общий фон туловища становится голубоватым или зеленовато-желтым, а на спине появляются оранжевые пятна. Нижняя часть тела и даже ноги самцов приобретают темно-синюю окраску, а хвост — ярко-оранжевую. Все происходит вроде бы волнами и выглядит весьма эффектно. В эти минуты, глядя на маленькую ящерицу, трудно определить ее естественную раскраску в ненапряженной обстановке. Создается впечатление многоликости и бурного смешения процессов, приводящих к такой динамической смене цветов.

Именно это впечатление многоликости, бурного смешения процессов возникает при оценке явлений, происходящих, когда работает инструмент, о котором мы решили рассказать.

...Вращающийся металлический диск с определенным усилием прижимается к поверхности детали. Он не «парит» над обрабатываемой поверхностью, как в случае электроискровой или электроимпульсной обработки, а создает неплохой механический и электрический контакт. В результате трения о деталь механическая энергия в зоне контакта преобразуется в тепловую. Прохождение через контакт электрического тока также не остается бесследным. Благодаря касанию участков электродов — диска и детали возникает контактное сопротивление и выделяется, как в электрической плитке, джоулево тепло. Когда же кратковременные контакты в процессе вращения диска разрушаются и удаляются друг от друга, то между ними вспыхивают электрические разряды, которые гасятся при дальнейшем разобщении ранее контактирующих поверхностей.

Таким образом, одновременно действуют три источника высоких температур: механический, электроконтактный и разрядный. Происходит как бы смешение несхожих по физической сущности процессов, каждый из которых может быть доминирующим в определенных



Р и с. 33. Инструменты для электроконтактной обработки не отличаются сложностью исполнения: а — дисковый; б — дисковый с прорезями, в — чашечный, трубчатый; г — в виде щетки

условиях. Если напряжения малы, то электрические разряды отсутствуют, но зато преобладает генерирование тепла. С ростом напряжения электрическая энергия превращается в тепловую благодаря контактному сопротивлению соприкасающихся между собой микроучастков по поверхности инструмента и детали. И наконец, при более высоких напряжениях возникают электрические дуговые разряды, и процесс удаления металла становится в основном электроэрозионным. Сочетание двух последних процессов как наиболее эффективных позволило назвать обработку электроконтактной, или электроконтактно-дуговой.

Не останавливаясь на физических особенностях электроконтактной обработки, подчеркнем, что с помощью простых инструментов добиваются очень высокой производительности. Так, если производится грубая обдирка, интенсивность съема металла достигает $3\,000\,000\text{ мм}^3/\text{мин}$ при силе тока до 2700 А . Электроконтактное разрезание характеризуется менее впечатляющей производительностью — до $2000\text{ мм}^3/\text{мин}$, но, несмотря на это, процесс оказывается эффективнее механического и сопровождается малым износом дешевого инструмента. Да и среда, в которой осуществляют обработку, недорога и достаточно известна — воздух, вода, воздушно-водная смесь.

Инструменты для электроконтактной обработки не обладают большой сложностью. Их делают в виде целых дисков или дисков с впадинами, повышающими качество и производительность, для получения отверстий применяют трубки, а для очистки литейных заготовок от толстой окалины используют вращающиеся щетки из стальной проволоки.

Как видите, приведенный инструмент мало чем отличается от инструмента для электроэрозионной резки и сверления, что объясняется прежде всего определенной общностью процессов, протекающих между инструментом и деталью, в рассмотренных методах обработки.

ТИХОЙ САПОЙ

В 20 км от столицы Индии города Дели на небольшой площади среди развалин древних сооружений стоит стальная колонна. Изготовленная в V в. колонна до сих пор является местом паломничества коренного населения и вездесущих туристов. Ни ее высота над поверхностью пьедестала — 5180 мм, ни диаметр, равный у основания 485 мм, ни ее масса около 6 т, ни художественная красота не свидетельствуют о чем-то необычном. Тем не менее колонна известна всему миру, и каждый стремится не только увидеть ее, но и для счастья дотронуться и даже обнять ее. От этого нижняя часть колонны отполировалась. Так в чем же заключается ее известность, притягательная сила? Дело в том, что колонна не ржавеет. Она не превратилась в ржавчину, труху и не рассыпалась под ударами 15 веков. Есть чему удивляться, и есть пища для легенд.

Первые ошеломляющие сведения о колонне появились в Европе благодаря публикации английского генерала сэра Александра Каннингхэма в 1871 г. По его генеральскому глазомеру колонна стала более чем в три раза выше — 18 м и почти во столько же раз тяжелее — 17 т, да к тому же цельной — сделанной из одного куска чистого железа. В действительности же, как позднее было установлено не генералами, а вдумчивыми исследователями, колонна не цельная, а состоит из отдельных цилиндрических (точнее, конических, так как колонна

слегка коническая) брусков, приваренных ковкой друг к другу.

Сам факт изготовления с помощью сварки такой детали свидетельствует о большом искусстве кузнецов древности. Вот где можно петь гимн молоту, восторгаться силе и точности ударов безвестных мастеров!

Но факт остается фактом. Колонна действительно не ржавеет. И дело здесь не в пришельцах из других миров или каких-то скрытых веками тайнах технологии получения чистого железа. Все оказывается гораздо проще.

Во-первых, колонна сделана не из чистого и бездефектного железа, как утверждают неверные сведения из научных и популярных статей, учебных пособий и учебников, приводимые для объяснения главной причины высокой коррозионной стойкости колонны, а из обыкновенной низкосортной стали. Содержание в ней углерода в среднем составляет 0,15 %, что соответствует малоуглеродистой стали-15, да и к тому ж сильно загрязненной различными примесями. Так что прочно вошедшие в сознание многих, кто наслышан о делийской колонне, некая особая чистота элементного состава колонны и ее якобы бездефектность оказались мифом.

А во-вторых, она может ржаветь не хуже других изделий из подобной стали. Это убедительно доказал шведский металловед Й. Вранглен, поместив кусочки от колонны на побережье океана. Отсюда следует, что антикоррозионная стойкость колонны объясняется сухостью атмосферы вблизи Дели. Несмотря на муссонные дожди, она не обладает той агрессивностью, которая присуща очень влажному климату. Поставь колонну, аналогичную делийской, скажем, в районе нашего Батуми, где дождь идет, как правило, 180—190 дней в году, то в этих условиях за 15 веков от нее вряд ли что-нибудь осталось.

Маленький рассказ о колонне позволяет сделать важный вывод: разрушение металла от коррозии зависит от условий внешней среды. Одна и та же сталь колонны на побережье океана быстро корродирует, а в окрестностях Дели стоит веками! Таким образом, коррозией можно управлять, если изменять внешние условия. Но управлять коррозией можно в двух направлениях.

Первое направление — борьба за повышение коррозионной стойкости металлов — является исключительно актуальным во всех странах мира, поскольку потери из-за ржавления достигают астрономических величин. Так,

по данным специалистов Физико-химического института имени Карпова, ежегодно в нашей стране расходуется на защиту от коррозии свыше 7 млрд. руб., а ремонт оборудования, вышедшего из строя по вине коррозии, стоит и того больше, порядка 7,5 млрд. руб. Не менее значительны потери от коррозии и в других странах.

Но есть и другое направление работ, полностью противоположное первому. Оно заключается в поиске путей ускорения разрушения металлов. Глядя на изъеденные коррозией крылья автомобилей, можно с удивлением спросить: зачем искать пути усиления вредного явления природы? Однако и вредное явление можно обратить в полезное. Ведь благодаря химическим и физико-химическим процессам, протекающим при взаимодействии металлов с окружающей средой, газообразной или жидкой, происходит образование окислов и разрушение поверхности, а значит, и снятие припуска. Если эти процессы интенсифицировать, научиться ими управлять, то можно с их помощью весьма эффективно обрабатывать металлы.

Простой, казалось бы, опыт полностью убеждает нас в возможности проводить обработку с использованием агрессивных сред. Вы, конечно, наблюдали на уроках химии, как растворяются кусочки цинка в растворе соляной кислоты. Но, не меняя сути теоретического объяснения реакции взаимодействия металла с кислотой, проведем опыт в несколько ином ключе. Не кусочки цинка будем бросать в кислоту, а на цинковую пластинку будем из пипетки подавать каплю за каплей соляную кислоту. Чтобы кислота не растекалась по поверхности металла, прижмем к ней коротенькую трубочку из резины или пластмассы. Через некоторое время находящаяся в трубочке кислота протравит отверстие в пластинке. Отверстие оказалось сделанным не сверлом, а кислотой. Бесшумно, «тихой сапой» сработала химическая реакция! Но это еще не все. Изменим еще чуть-чуть опыт. Покроем пластинку с одной стороны парафином, а затем процарапаем чем-либо острым какой-либо профиль, рисунок, удаляя в требуемых местах защитную пленку. Остальное ясно: кислоте безразлично, какой протравлять профиль — в виде отверстия или более сложный. Попробуйте сделать это с помощью механической обработки резанием соответствующими инструментами. Задача окажется не такой простой, а в некоторых случаях просто и неосуществимой.

Проведенные опыты очень простые, но и они дают представление о способностях коррозии. Ведь химическое травление — не что иное, как значительно ускоренная коррозия. Процессы коррозии или травления характеризуют собой своеобразный «химический инструмент», в роли которого выступает агрессивная среда. А таких сред может быть достаточно много. Во-первых, они могут быть жидкие, газообразные, коллоидные и даже твердые. Но первым двум отдается предпочтение. Во-вторых, обработка разнообразных материалов требует и соответствующего подбора наиболее эффективных травителей. Так что возможностей очень много, буквально «не счесть алмазов в каменных пещерах».

Собственно говоря, доступ к этим «алмазам» был известен до нашей эры древним египтянам, которые применяли химическое травление при изготовлении сложных ювелирных изделий. Химическое травление используют граверы. А с 1850 г. благодаря работам Ф. Хилло «химический инструмент» внедряется в полиграфическое производство. Фактически это была та же самая цинковая пластинка и кислота, о которых мы уже говорили выше, но защита для получения в изображении выпуклых мест осуществлялась расплавленной канифолью. Шествие «химического инструмента» началось. Он завоевал свое место при изготовлении типографских клише, диафрагм, сеток, при обработке различных сложных поверхностей и даже при получении объемных пустотелых деталей больших габаритов самолетов и ракет. Даже такой короткий перечень дает представление о возможностях «химического инструмента». При этом в обиходе производственников появились такие термины, как «химическое фрезерование», «химическое точение», «химическое сверление» и пр. Но суть их сводилась к одному — к химическому взаимодействию, реакциям между агрессивной средой и металлом.

Обращение с «химическим инструментом» оказалось не простым. Одного подбора агрессивной среды и защиты необрабатываемых мест было недостаточно. Для эффективной обработки «инструмент» требовал строгого контроля за температурой, поддержания постоянства химического состава раствора, его концентрации, удаления осадков, частиц железа, фильтрации. Мало того, в ходе реакции выделялся водород, который не только пузырьками оседал на поверхности детали, ухудшая условия

травления, но и в изобилии выделялся над ванной, создавая в воздухе взрывоопасные смеси. Так что «химический инструмент» голыми руками не возьмешь — нужны знания, аккуратность в работе и защитные перчатки со всеми остальными слагаемыми техники безопасности.

Но почему же мы называли рассказ «Тихой сапой»? Прежде всего потому, что слово «сапа» заимствовано из итальянского языка, где «цаппа» обозначает заступ, лопату для земляных работ. У французов оно превратилось в слово «сап» и получило значение земляных, окопных и подкопных работ. Русские военные тоже не остались в стороне и взяли на вооружение не только маленькую лопатку, но и термин «сапа», добавив к нему и слово «тихая». Получилось выражение «тихая сапа», которое обозначает осторожные, бесшумные, незаметные, тайные, подкопные работы. В обиходе же его стали применять для характеристики всякой деятельности с неожиданными неприятностями, интригами, подкопами, совершаемыми тихо, скрыто, незаметно для окружающих. Именно так и проявляет себя коррозия — тихо, скрытно, казалось бы, незаметно, но коварно разрушает она металлы, выводит из строя машины, механизмы, корабли, является виновницей серьезных аварий и больших материальных затрат. И все эти назревающие неприятности подкрадываются незаметно и скрыты личиной внешнего благополучия.

Ярким примером служит та же самая индийская колонна. Наружная ее часть для всеобщего обозрения действительно не ржавеет, а подземная часть заделки около 2 м, где условия другие, чем на поверхности, покрыта слоем до 10 мм ржавчины. Мало того, в ней имеются даже невидимые невооруженным глазом, но коварные для прочности глубинные щели до 10 см, образованные так называемой межкристаллитной коррозией.

Так что коррозия «тихой сапой» изъедает подземную часть колонны, оставляя на удивление всем нетронутой ржавчиной верхнюю часть. Пройдет время, и если не принять мер, рухнет «колосс на глиняных ногах». Не образец ли это коварной и неумолимо разрушительной деятельности «тихой сапы»? Ну а обработка материалов травлением, то есть преднамеренно примененной, но при этом усиленной и ускоренной коррозией — что это, как не та же работа «тихой сапы»? «Тихая сапа» стала рабочим инструментом.

Мы часто бываем свидетелями, когда зимой в сильный гололед посыпают солью пешеходные дорожки, тротуары, проезжую часть дороги и примерзшие крышки люков. Это делается для быстрого оттаивания льда. Польза от такого мероприятия видна сразу, но и убыток не мал! Речь идет не о стоимости поваренной соли, а об исключительно высоком ее коррозионном действии на металлические детали транспорта. Строго говоря, вызывает сильную коррозию не сама соль в виде известного нам кристаллического порошка, а ее раствор в воде, который химики называют электролитом.

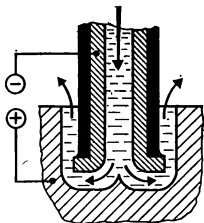
Известно, что электролитами являются водные растворы разнообразных солей, кислот и щелочей. При растворении вещества молекулы распадаются на ионы, которые несут в зависимости от природы положительные и отрицательные заряды. В случае с поваренной солью в электролите образуются положительные ионы натрия и отрицательные ионы хлора. Это начальная стадия сложного процесса электрохимической коррозии. Но мы не будем здесь детально рассматривать механизм электролитической коррозии, а остановимся на одном интересном явлении, имеющем самое прямое отношение и к электролиту, и к теме нашего рассказа.

Представим себе, что в водном растворе поваренной соли находятся две стальные пластины, подключенные к источнику постоянного тока. Ток в электролите характеризуется упорядоченным движением ионов. Отрицательные ионы, анионы, движутся к положительному электроду—аноду, а положительные ионы, катионы перемещаются к отрицательному электроду—катоде. В результате на аноде непрерывно происходит окисление металла электрода с растворением его в электролите, а на катоде—выделение водорода.

Иной читатель может сказать: все это нам известно еще со школы, где нам говорили об опытах Майкла Фарадея, открывшего основные законы электролиза.

Да, это так: электролиза. Но применительно к нашему случаю лучше сказать, что это процесс электролитической обработки, где своеобразным инструментом является «союз» ионов, электрического тока и химических реакций.

Чтобы еще полнее убедиться в том, что происходит обработка, возьмем стальную трубку, немного обождем ее по форме овала и подключим к отрицательному полюсу источника постоянного тока. Если теперь приблизить



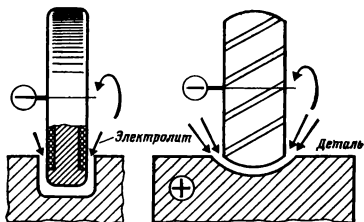
Р и с. 34. Обработку отверстий электрохимическим путем осуществляют торцевой поверхностью металлической трубки. При этом трубка не должна соприкасаться с деталью и может быть названа инструментом условно

трубку к остальной пластине — аноду, то начнется интенсивное растворение анода, в результате чего в пластине будет образовано овальное отверстие, а из трубки выпадет такой же формы стальная шайбочка. Попробуйте это сделать сверлом. При взгляде со стороны получается, что трубка-катод как бы стала инструментом. Но она ведь не касалась обрабатываемой пластины и не осуществляла на нее непосредственное воздействие? Можно ли в таком случае применять термин «инструмент»? А почему бы и нет? Мы уже давно вступили на «тропу условности», назвав инструментом электрод при электроэрозионном способе обработки материалов. Только способ, о котором пойдет речь, не электроэрозионный, а электрохимический.

Какие же бывают инструменты для электрохимической обработки? Ответить на вопрос не так уж и просто, так как инструментов достаточно много и они легко могут быть изменены применительно к конкретной задаче.

Однако рассмотрим хотя бы кратко наиболее важные и интересные из них.

Начнем с инструмента для обработки отверстия. Прежде всего это трубка из электропроводящего материала, которая служит катодом. Через нее прокачивается под большим давлением электролит, что делается для удаления нерастворимых осадков, отвода тепла и улучшения условий протекания химических реакций. Чтобы предотвратить растворение стенок обрабатываемого отверстия, наружная поверхность трубки покрывается тонким слоем изоляции из эпоксидной смолы или сгиракрила. Изоляция будет более прочной, если ее армировать ниткой, то есть намотать ее в один слой поверх изоляции. Изготовленный таким образом инструмент работает сво-



Р и с. 35. Вращающиеся узкие и широкие металлические диски, не соприкасающиеся с заготовками во время обработки, с успехом заменяют механический инструмент — пилы и фрезы

ей торцевой частью и маленьким цилиндрическим пояском, осуществляющим калибровку отверстия.

Если соответствующим образом изменять форму инструмента, то можно получать шестерни, делать в отверстиях или на валу шлицы, осуществлять электрохимическое изготовление штампов, пресс-форм, протягивание труб и пр. Принцип работы таких инструментов мало чем отличается от рассмотренного выше, а формы весьма разнообразные. Так, например, трубчатый инструмент с наружной поверхностью в виде шестерни легко скопирует в стальной заготовке шестерню с зубьями внутреннего зацепления.

Интересен и секторный электрод-инструмент, заменяющий механическое торцевое точение и шлифование по сложному профилю. С помощью секторного инструмента производят электрохимическое «точение» колеса турбины из жаропрочного сплава, добиваясь производительности примерно в 10 раз большей, чем при токарной обработке. Аналогичным инструментом можно получать торцевые канавки на кольцах упорных шарикоподшипников.

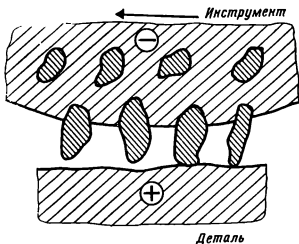
С помощью вращающихся дисков легко разрезают заготовки из труднообрабатываемых сталей и твердых сплавов. Причем торцевые поверхности этих дисков покрывают прочной изолирующей пленкой, что позволяет избежать бокового растворения. Трудно соперничать ме-

ханическим дисковым пилам и пожевкам с таким простым, дешевым, но производительным инструментом.

Более широкие диски применяют для круглого и плоского электролитического шлифования. Они работают своей цилиндрической поверхностью и не нуждаются в боковой изоляции, поскольку не внедряются глубоко в металл. По существу, они представляют собой обычные металлические круги. При необходимости шлифования галтелей и других радиусных переходов инструмент несколько усложняется, иногда на нем делают косые прорезы для лучшего заполнения межэлектродного промежутка раствором и выброса продуктов реакции.

Очевидно, приведенных примеров достаточно, чтобы иметь представление о разнообразии инструментов для электрохимической обработки и некоторых технологических операциях, осуществляемых с их помощью. Электрохимическая обработка, без которой в настоящее время немыслимо изготовление многих деталей, еще совсем недавно оставалась в тени. К ней даже относились скептически! Но попробуйте сейчас отнестись скептически к обработке и инструменту, когда рабочие токи составляют сотни и тысячи ампер, а в некоторых станках для изготовления лопаток турбин максимальная сила тока достигает до 24 000 А при массе станка 20 000 кг и длине лопатки 1500 мм! Да и скорость съема металла с заготовок большей частью весьма солидная, порядка 600—15 000 мм³/мин, а подача инструмента — до 5 мм/мин. Это уже не просто опыты, наподобие тех, какие ставил Майкл Фарадей, открывший в 30-х гг. прошлого века основные законы электролиза, и не робкие шаги по электролитическому полированию серебра и его сплавов, которое впервые было предложено и осуществлено в 1910 г. русским химиком Е. И. Шпитальским, пионером электролитической обработки металлов. Сегодня такая обработка и ее инструментарий стали вполне самостоятельными, перспективными и даже трудно порою заменимыми в производстве.

Следующий наш рассказ об инструменте, который, строго говоря, нельзя назвать ни механическим, ни электрохимическим. Он просто принимает противоречивые особенности указанных двух видов инструментов: осуществляет одновременно анодное растворение с необхо-



Р и с. 36. Этот абразивный инструмент отличается от обычного своей электропроводностью

димым рабочим промежутком между электродами и беззазорное механическое резание с достаточно высоким силовым контактным давлением. Настоящий парадокс! Все равно что боксеру послать соперника в нокаут, не прикасаясь к нему перчаткой.

Инструмент этот внешне ничем не отличается от известных абразивных кругов и головок. Он также имеет абразивные зерна, которые закреплены связкой, и работает при свойственных шлифованию скоростях резания. Но у него есть одна важная особенность. Дело в том, что связка инструмента сделана электропроводной и содержит порошки металлов или сплавов. Через эту электропроводную связку и проходит постоянный электрический ток, подводимый к вращающемуся шпинделю станка, а следовательно, и к инструменту с помощью специальных токоъемников. Следует отметить, что токи через межэлектродный промежуток протекают немалые — от 100 до 2000 А, правда, при низких напряжениях в пределах 6—24 В. При таких параметрах идет интенсивное анодное растворение детали. А какую же роль играют абразивные зерна? Во-первых, они осуществляют абразивное механическое шлифование, а во-вторых, они как изоляторы, выступая из связки, обеспечивают определенный межэлектродный зазор и не допускают соприкосновения электропроводной связки с обрабатываемой поверхностью. Последнее не всегда может четко выполняться, особенно при больших контактных давлениях, когда связка по своим неровностям начинает соприкасаться с деталью и происходит кратковременное короткое замыкание. В результате

возникает тепловой поток, который приводит к плавлению поверхностного слоя заготовки, то есть к электрической эрозии. Таким образом, у этого инструмента богатые возможности. Необходимо только их рационально использовать. Вот и варьируют технологи и рабочие механическими и электрическими режимами, не забывая о важной роли давления жидкого электролита, вводимого в зону обработки для получения требуемой характеристики процесса, его производительности и качества. Например, с увеличением зазоров между электродом-инструментом и деталью начинает преобладать не эрозионное разрушение и механическое резание, а анодное растворение, и обработка становится электрохимической.

Как же узнать в той многоликости, какой процесс является доминирующим, с каким инструментом приходится в данный момент иметь дело? Ведь на нем это не написано. Тем не менее производственники могут, как правило, довольно точно и вполне обоснованно ответить на этот вопрос.

Есть много признаков безошибочного определения доминирующего процесса, который в «данный момент» и осуществляет обработку. К ним относятся и потребляемый ток, и температура электролита, и величина рабочего напряжения, а также интенсивность съема металла, качество поверхности, выходящей из-под инструмента, искрение, дымление, вибрационные и звуковые эффекты, «засаливание» и износ инструмента, усилия резания. Например, при больших контактных давлениях возникают значительные силы резания, повышается температура детали, инструмента и электролита, падает рабочее напряжение, возможно дымление электролита, появление вибраций и прочих признаков. Это свидетельствует о том, что инструмент работает в термически эрозионном режиме. Но наиболее характерными процессами являются анодное растворение и абразивное резание. Именно поэтому обработку называют анодно-абразивной. Такое же название часто применяют и для инструментов. С их помощью осуществляют различные виды шлифования, хонингования, суперфиниширование, сверление, полирование затачивание сверл, резцов и т. д. Но теперь вполне логично можно спросить: «Зачем же он нужен, разве обычные абразивные инструменты не справляются со своей работой?» Конечно, справляются, но анодно-абразивный инструмент, созданный в Советском Союзе, имеет ряд пре-

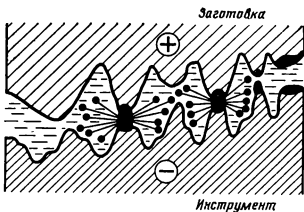
имущества. Помимо достаточно большой производительности, достигающей, например, при анодно-абразивном шлифовании до 4000 мм³/мин, и высокого класса шероховатости обработанной поверхности, новый инструмент в 10—20 раз меньше изнашивается, чем обычный. А ради этого стоит его применять! Если еще учесть что усилия резания и температуры также снижаются, то станут вполне понятны его преимущества и перспективы использования.

В СОЮЗЕ С ХИМИЕЙ

Инструменты, о которых пойдет дальше рассказ, очень просты по устройству. Однако за их конструирование, открытие метода обработки, давшего им жизнь и силу, создание оригинальных и необходимых практике станков и устройств и широкое внедрение полученных результатов в промышленность советский инженер и ученый В. Н. Гусев был трижды удостоен высокого звания лауреата Государственной премии. Шествие нового метода обработки, который был назван анодно-механическим, началось в 1943 г. почти одновременно с электроискровым методом.

Электроискровая обработка возникла, как мы знаем, в результате поиска эрозионностойких электрических контактов, а вот анодно-механическая обработка берет свое начало от анодного растворения металлов, с первого патента Е. И. Шпитальского, полученного в 1911 г. по электролитическому полированию. Свою деятельность в этом направлении В. Н. Гусев начал в 1928 г. с электролитического шлифования станин крупных металлорежущих станков. Инструментом в тех опытах служила обыкновенная чугунная шабровочная плита, которая была катодом, а станина — анодом.

Это была увертюра к анодно-механической обработке. Только благодаря настойчивому поиску удалось осуществить переход от известной электрохимической обработки к новому методу. В новом методе без анодного растворения дело не обошлось. Но к нему на помощь пришел тепловой микровзрыв на контактирующих микронеровностях соприкасающихся электродов, то есть инструмента и де-



Р и с. 37. При анодно-механической обработке важную роль играет соприкосновение по микронеровностям инструмента и детали, а также специально преобразованная среда

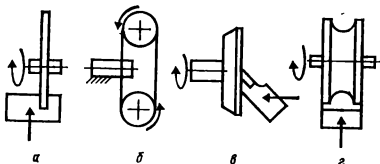
тали. Чтобы придать электрическому контакту характер «сеточного», а не сплошного, для повышения плотности тока на участках разряда с одновременным обеспечением электрохимических реакций применяют специальный электролит. Наиболее приемлемым оказался водный раствор жидкого стекла — силиката натрия. Электролит, который подается в зону обработки, растворяет под действием тока поверхность заготовки и образует на ней нерастворимую соляную пленку. Тонкая и непрочная пленка легко соскабливается вращающимся инструментом и выносится из зоны обработки. В месте соприкосновения отдельных микровыступов импульсно выделяется джоулево тепло, а на расстояниях между микронеровностями, доступных для электрического пробоя, в зависимости от приложенного напряжения проскакивает искра или дуга. Благодаря большой плотности тока происходит мгновенное расплавление микрообъемов металла, взрывы и выброс частичек за пределы контакта. В результате микровзрывов выступающие гребешки на поверхности детали исчезают, а на их месте образуются кратерочки или лунки. Заметим, что и электрохимия в это время не остается без дела: как только образуется лунка, ее поверхность сразу же подвергается анодному растворению. Таким образом, для анодно-механической обработки характерно одновременное протекание двух процессов: анодного растворения и электрической эрозии. Преобладание одного из них зависит от электрических и механических режимов. Понятно, что инструменты для анодно-механической

обработки должны быть электропроводные, поэтому их изготавливают из малоуглеродистой стали, чугуна, меди. Особенно хорошо зарекомендовали себя инструменты, полученные спеканием порошков вольфрама и меди.

Так как силикатная пленка способна выполнять защитные функции, то отпадает необходимость в изоляции боковых поверхностей инструментов, что заметно упрощает изготовление. Например, в отличие от дисковых пил для электроискровой резки диски для анодно-механической обработки не имеют боковых изолирующих пластин или покрытий.

Как известно, в заготовительных и других цехах машиностроительных заводов одной из трудоемких операций считается разрезка металлических болванок, заготовок на более короткие куски. С этой операцией успешно справляются анодно-механические станки с дисковыми пилами. Причем чем тверже материал заготовки, тем сильнее ощущаются возможности этого инструмента и метода. А возможности у них немалые, если они способны осуществлять разрезку стальных заготовок диаметром до 300 мм с максимальной производительностью 10 000 мм³/мин. Еще большие диаметры заготовок, порядка 600 мм и выше, можно разрезать с помощью простого инструмента в виде металлической бесконечной ленты. Механическими пилами осуществить такую операцию весьма тяжело.

Инструментами, работающими по анодно-механическому принципу, выполняют разнообразные технологические операции. Они хорошо себя зарекомендовали при заточке резцов, фрез, сверл, протяжек и других механических инструментов. Для этого анодно-механическому инструменту, так же как и в случае разрезки, придается форма диска, но более жесткого в осевом направлении и с торцевой рабочей поверхностью. Если же необходимо провести сложное формообразование с отделочными видами обработки, особенно очень твердых и прочных материалов, то на дисковых инструментах делают требуемый вогнутый или выпуклый профиль. При этом для улучшения условий обработки профильные диски выполняют с радиальными надрезами. Как видите, инструмент несколько усложняется. Но так как он изготавливается из нетвердых и легко обрабатываемых металлов и дает экономию абразивов, то становится понятной заинтересованность производителей в его применении.



Р и с. 38. Несмотря на необходимость механического воздействия инструмента на деталь при анодно-механической обработке, инструменты тем не менее не имеют режущих зубьев: *а* — дисковый; *б* — ленточный; *в* — дисковый торцевой; *г* — фасонный

Еще много можно было бы привести примеров для подтверждения разнообразия форм и назначения анодно-механических инструментов, но, как вы, очевидно, уже заметили, они по конструктивным принципам мало чем отличаются от электроэрозионных инструментов, о которых мы рассказали выше.

НЕСЛЫШИМЫЙ КОНКУРЕНТ РЕЗЦА

Этот рассказ посвящен явлению, о котором в прошлом веке могли лишь догадываться наиболее провидительные ученые, хотя один его отличительный признак был известен с незапамятных времен и даже иногда использовался теми, кто имел дело с животными. Человек всегда воспринимал и познавал окружающий мир с помощью своих органов чувств. Зрение, слух, обоняние и осязание дают нам необходимую для жизни информацию. В то же время еще с древних времен первобытный человек прекрасно знал, что есть животные, которые лучше, чем он, видят, слышат или улавливают запахи. И не только знал, но и старался использовать эти преимущества. Собака своевременно предупреждала об опасности или помогала выслеживать добычу, идя по «следам»

не воспринимаемых человеком запахов. Быстроногие лани первыми уносились прочь, услышав слабые шорохи от крадущегося хищника, и тем самым заставляли насторожиться охотника и принять меры к тому, чтобы самому не стать жертвой. Многие млекопитающие, птицы и насекомые своим поведением заранее предвещают ураганы, землетрясения, извержения вулканов, они раньше человека замечают приближение опасности и стараются уйти от нее.

Не без оснований ночной образ жизни некоторых животных внушал суеверный страх. Например, южноамериканская птица гвачаро, обитающая в темных пещерах, в полете постоянно кричит и никогда не наталкивается на выступающие скалы и своды. Но если резкий специфический голос гвачаро человек слышит, то летучие мыши летают тихо, безмолвно. Однако это безмолвие только кажущееся. На самом деле летучие мыши в полете издают кратковременные импульсы звуков, не воспринимаемых человеком, ловят эхо, как и гвачаро, и огибают препятствия. Конечно, без специальных приборов узнать об этом было бы просто невозможно, потому что органы чувств человека, в данном случае слуховые, имеют ограниченные возможности, свой предел.

Звуки всегда интересовали и волновали человека. Они несут определенную информацию. Из сочетаний отдельных звуков складываются речь и музыка. Поэтому стремление познать их природу зародилось очень давно. Еще в античной Греции математиком и философом Пифагором проводились опыты с натянутой струной и были получены гармонические отношения звучащих струнных инструментов. Пифагор писал, что «о музыкальных интервалах правильнее судить рассудочно, на основании чисел, чем чувственным путем посредством слуха». В те времена считалось, что даже планеты располагаются по интервалам и излучают «музыку сфер», которую не каждому дано услышать.

Звук получается, когда «воздух сжимается и расширяется и опять сжимается и так далее, ударяемый импульсами колеблющейся струны. Когда воздух движется и ударяет соседний воздух, тот перемещается вперед с импульсом; следующая часть поступает таким же образом; звук распространяется настолько далеко, насколько движение имеет место», — говорил Аристотель. Это были первые шаги в изучении природы звука. Основы же акустики

были заложены только спустя 1500 лет Галилео Галилеем, который, как и Пифагор, также начал с дрожащей струны. А творцами современной теории звука по праву считаются Г. Гельмгольц и лорд Рэлей, которые во второй половине XIX в. выполнили ряд фундаментальных работ в этой области.

По-разному воздействуют звуки на человека. Одни успокаивают, другие раздражают, на некоторые он не обращает никакого внимания. Но есть и такие, которые вселяют страх, ввергают в панический ужас и даже приносят беду. Неспроста богатыри и противоборствующие им персонажи русского старинного народного творчества наделялись зычными голосами. Ведь такие голоса свидетельствовали о незаурядных физических данных былинных героев. Прочтите прекрасные строфы многовековой давности...

Засвистал-то Соловей да по-соловьему,
Закричал злодей-разбойник по-звериному —
Так все травушки-муравы уплстались,
Да й лазоревы цветочки осыпалися,
Темны лесушки к земле все приклонилися.

А когда Соловей-разбойник Одихмантьев сын засвистал в стольном Киев-граде, то

Маковки на теремах покривились,
А околени во теремах рассыпались.
От него, от посвиста соловьего,
А что есть-то людюшек — так все мертвы лежат.

Спору нет, сильный свист издавал Соловей-разбойник, а эффект был еще больше. Чтобы представить всю его мощь, обратимся не к былинным, а к современным научным данным, касающимся источников звука.

Итак, интенсивность звука можно представить как поток энергии, приходящейся на единицу площади. За единицу площади принято считать квадратный метр, отсюда — Вт/м². Самый тихий звук, воспринимаемый человеческим ухом, равен приблизительно 10⁻¹² Вт/м², а очень сильный — 10 Вт/м². Такой силы звук исходит от реактивного самолета. При взлете же космической ракеты интенсивность звука превышает 1000 Вт/м².

Как видите, диапазон достаточно большой.

Чтобы упростить способ выражения столь контрастных по значениям величин, интенсивность самого тихого звука приняли за эталон, а однократное его увеличение

в 10 раз назвали одним белом. Причем это название произошло не от английского слова *bell* — «колокол», как многие думают, а было принято в честь изобретателя телефона А. Г. Белла. Александер Грейам Белл не был специалистом в области электротехники, а преподавал в Бостонской школе глухонемых. Тем не менее он опередил физика Элишиаса Грея со своим устройством, передающим человеческую речь, на... два часа. Этих двух часов было вполне достаточно, чтобы Грею отказали в выдаче патента. Интересно, что когда в 1876 г. весь мир облетела сенсационная весть о рождении телефона, то нашлись и скептики. Так, главный инженер британских почт и телеграфов сэр Вильямс Прис заявил: «Американцам, может быть, и нужен телефон, мы, к счастью, не нуждаемся в нем, поскольку у нас пока хватает посыльных».

Однако человечество по достоинству оценило изобретение Белла. В момент прощания с ним в 1922 г. в США и Канаде были выключены на одну минуту все телефоны.

Но вернемся снова к оценке шума с помощью белов.

Уровень звука или шума от реактивного самолета оказался равным 13 белам, или 130 децибелам, квартирного пылесоса — 70, а в тихой квартире вдвое меньше. Давление же, которое оказывает самый слабый слышимый звук, равно $0,00002 \text{ Н/м}^2$ (ньютон на метр квадратный). Звук, исходящий от грузовика с дизельным двигателем, создает давление 2 Н/м^2 , а от сверхзвукового самолета — порядка 100 Н/м^2 . Барабанные перепонки у человека могут разорваться при звуковом давлении $35\,000 \text{ Н/м}^2$, а давление $100\,000 \text{ Н/м}^2$ может повредить легкие. Но любопытно: давление 6000 Н/м^2 люди, как правило, переносят без вредных физиологических последствий, но всего лишь при 50 Н/м^2 чувствуют себя неважно. Еще бы! Давление $50\text{—}100 \text{ Н/м}^2$ вызывает нередко мелкие повреждения зданий. Так что когда былинный Соловей-разбойник своим свистом или криком наклонял «маковки на теремах», то, стало быть, звуковое давление составляло порядка $100\text{—}150 \text{ Н/м}^2$. А когда люди «все мертвы лежали», то оно превышало уже $100\,000 \text{ Н/м}^2$. Вот какая была сила, которую смог преодолеть русский богатырь Илья Муромец!

Полагаем, что приведенных данных вполне достаточно, чтобы вы могли сами приблизительно представить то

давление «трубного гласа», которое привело по известной легенде древности к разрушению стен иерихонских.

Теперь предположим, что все люди земного шара разом крикнули. Мощность такого всеобщего крика была бы равна мощности одного мотора малолитражного автомобиля. А чтобы вскипятить энергией крика один чайник воды, все население Москвы должно было бы кричать без перерыва двое суток. Получается, что от крика толку мало.

Звуки, которые мы слышим, бывают разные не только по своей силе, но и по частоте. Все они звучат на свой лад в пределах от 20 до 20 000 колебаний в секунду, или герц (Гц). Большинство людей способны воспринимать звуки в более узком диапазоне частот — от 40 до 16 000 Гц. А за этими пределами — тишина. Но тишина обманчивая, поскольку это касается только органов слуха человека. У животных же диапазон воспринимаемых звуков иной. Собаки, например, прекрасно слышат звуки частотой 40 000 Гц. Ничего не зная о природе звука и герцах, браконьеры средних веков мастерили себе свистки, издававшие неслышимые человеком звуки, и ими подзывали к себе собак. Оригинальный свисток сконструировал в 1883 г. английский ученый Ф. Гальтон. В конце прошлого века такими свистками стали пользоваться английские полицейские для обучения служебных собак. Свисток Гальтона применял и известный дрессировщик животных В. Л. Дуров.

С помощью свистка можно было генерировать неслышимые человеком колебания до 100 000 Гц, о чем, правда, стало известно позже, когда началось систематическое изучение этого загадочного явления. Видную роль здесь сыграли работы физиков П. Н. Лебедева и П. Ланжевена. В результате только в XX в. появились строгие доказательства того, что колебания ниже 20 Гц и выше 20 000 Гц имеют одну и ту же природу, свойственную слышимым нами звукам.

А чтобы все эти звуки как-то разграничить, придумали им название — инфразвуки, ультразвуки и гиперзвуки. Первые имеют частоту колебаний до 20 Гц, ультразвуки — от 20 кГц до 1000 МГц, а третьи — еще выше. Но наш дальнейший рассказ пойдет только об ультразвуках и их применении, не потому что их не слышит человек, а по причине того, что они способны концентрировать энергию колоссальной плотности, в миллиарды раз пре-

вышающую энергию слышимых звуков. Так что Соловью-разбойнику для достижения еще большего переполоха следовало бы свистеть в ультразвуковом диапазоне частот.

Чтобы создать ультракороткие упругие волны, французский физик Поль Ланжевен впервые применил в 1917 г. пьезоэлектрический эффект, ранее открытый братьями Кюри. В его установке под действием приложенного переменного электрического поля вибрировали кварцевые пластинки. Они-то и генерировали ультразвуковые волны. В дальнейшем в качестве излучателя был использован другой эффект — магнитострикционный, описанный в 1847 г. Дж.Джоулем. Уже не кварцевая пластинка, а ферромагнитный стержень, помещенный в переменное магнитное поле, быстро изменял свою длину и тем самым вызывал колебания упругой среды — воздуха или жидкости. С изобретением излучателей началось бурное развитие теоретических и прикладных исследований, касающихся ультразвука. И результаты не заставили себя долго ждать.

Было обнаружено, что энергия ультразвука может преобразовываться в химическую, тепловую и механическую. При работе вибратора в жидкости, например в воде, непрерывно возникают пузырьки, которые с большой силой захлопываются и вызывают разрушение металлов и других высокопрочных материалов.

Ведь давления, которые создаются при разрушении пузырьков, составляют сотни и даже тысячи атмосфер. Ни один материал не в состоянии устоять от их разрушительной силы, и на деталях образуются каверны. Эти каверны далеко не безобидны. Впервые с ними столкнулись судостроители в 1894 г., когда английский миноносец «Деринг» не смог развить проектную скорость по причине выхода из строя гребных винтов. Их лопасти при увеличении оборотов прямо-таки съедались маленькими пузырьками. Явление было названо кавитацией и поначалу оказалось злейшим врагом судостроителей, а затем и гидростроителей. Так, кавитация в 1936 г. чуть не разрушила гидротурбины на Земо-Авчальской ГЭС, сделанные из высокопрочной шведской стали; она явилась причиной ударов и сотрясений в турбинах Днепрогэса. Прошло время, и с кавитацией не только научились бороться, но даже иногда использовать ее разрушительную способность в промышленных целях.

Идея практического применения кавитации была высказана английским изобретателем судовых паровых турбин Парсонсом еще в 1915 г., но потом она была незаслуженно забыта вместе с интересными экспериментальными результатами. О ней вспомнили лишь через 50 лет, когда английская фирма «Роллс-Ройс» сделала станок, снимающий заусенцы с турбинных лопаток буквально в считанные секунды. Так что кавитационные пузырьки, образующиеся на лопастях турбин и судовых винтов при высоких скоростях вращения и при работе ультразвуковых излучателей, могут быть то вредным, то полезным для практики явлением. Заметим, что вопросами кавитации занимаются сейчас ученые и инженеры во многих странах мира. Теоретические же ее основы были заложены, пожалуй, работами петербургского академика Леонарда Эйлера, который предсказал в 1754 г. возможность образования пустот в жидкости.

Если же в жидкость между вибратором и каким-либо твердым телом поместить абразивные частички, то они начнут совершать колебания. В результате происходят мощные удары абразивных зерен о поверхности вибратора и контртела и быстрое скалывание с них маленьких кусочков. Но так как частота колебаний высокая, абразивных зерен много, то суммарный эффект от единичных актов скалывания получается весьма значительным. Причем наблюдается неодинаковое разрушение поверхностей — более интенсивное для очень твердых и хрупких материалов. Отсюда можно сделать вполне логичный вывод о возможности применения ультразвука для целей обработки. Только ультразвуковой вибратор-инструмент должен быть более пластичным, менее твердым и хрупким, чем обрабатываемый материал. Тогда он будет изнашиваться меньше. Ему можно придать и различную форму, что в действительности и делают для изготовления пазов, отверстий и вообще деталей сложного контура, например штампов.

Ультразвук осваивался быстро. Уже в 1953—1955 гг. появились первые промышленные ультразвуковые станки, которые резали металлы, стекло, твердые сплавы и драгоценные камни. Причем оказалось, что более твердые материалы выгоднее обрабатывать, чем мягкие, пластичные. Например, относительная скорость и производительность обработки рубина с помощью ультразвука в 4—5 раз выше, чем стали.

Казалось бы, прошло не так уж и много лет с тех пор, как в середине нашего столетия американский инженер Льюис Бэлмут открыл способ размерной ультразвуковой обработки, а успехи превзошли самые смелые ожидания. Еще бы, многие заводы теперь оснащены ультразвуковыми станками и на них не смотрят как на новинку; в лабораториях имеются разнообразные ультразвуковые установки разной мощности, ультразвуку отводится должное место в учебниках наряду с другими физическими явлениями. Короче говоря, о существовании неслышимых звуков теперь, очевидно, знает каждый. Не подумайте только, что все об ультразвуке уже известно и больше открывать вроде нечего. У природы скрыто еще много тайн. И правильно писал М. В. Ломоносов, что «чем больше таинства ее разум постигает... чем дальше рачение наше в оной простирается, тем обильнее собирает плоды для потребностей житейских».

Без всякого сомнения можно утверждать, что впереди будут новые открытия и интересные инженерные решения, в результате которых ультразвук не уступит своих позиций и даже еще более их укрепит в практике обработки материалов.

НА ОСТРИЕ ЛУЧА

Этот рассказ посвящен удивительному инструменту нашего времени — лучу света, более яркому и горячему, нежели само Солнце, гораздо более мощному, чем Красноярская ГЭС, тонкому, как волос, прямому, как взгляд в бесконечную даль, и ко всему прочему, как выяснилось, мастеру на все руки...

Этот рассказ — о лазере.

Здесь следует отметить одну важную особенность, связанную с рассказами об инструментах. Она заключается в том, что рождение многих инструментов для механической обработки было обязано практике, которая зачастую опережала теоретические разработки. Иными словами, практика выдвигала и решала задачи, которые затем обобщались теорией с последующей корректировкой и улучшением практических мероприятий и решений.

Так было, например, со многими токарными резцами, пилами, некоторыми сверлами и фрезами. Лазер же был рожден «на кончике пера» благодаря развитию квантовой радиофизики. Однако было бы неправильно думать, что в рождении лазера не принимала участия практика. Практика была, но в виде экспериментов в физических лабораториях. Теория здесь правила, была царицей; ее подчиненными были опыты. В результате такого содружества теории и эксперимента в начале 50-х годов был создан молекулярный генератор. Он был разработан в Физическом институте имени П. Н. Лебедева Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым и независимо от них в Колумбийском университете в США Ч. Таунсом — впоследствии лауреатами Нобелевской премии.

В первых молекулярных генераторах использовался пучок газообразного аммиака, который впускали в вакуумную камеру. Затем с помощью электромагнитного поля из газа удаляли молекулы, находящиеся на нижнем энергетическом уровне, создавая тем самым пучок с возбужденными молекулами. Радиоволны микроволнового диапазона при прохождении через этот пучок усиливались. Генератор был назван мазером. Слово это составлено из первых букв английского выражения *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, означающего: микроволновое усиление с помощью индуцированного излучения. Мазеры усиливают радиоволны сверхвысокой частоты (сантиметрового диапазона).

Первый квантовый генератор света был создан американским физиком Т. Мейманом в 1960 г. и получил название «лазер» по начальным буквам английской фразы *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* — усиление света с помощью индуцированного излучения. Заметим, что принцип действия мазера и лазера одинаков, но лазер излучал не радиоволны, а монохроматический когерентный луч света. Лазер Т. Меймана состоял из рубинового кубика размером $1 \times 1 \times 1$ см с серебряным покрытием двух противоположных граней и спиральной лампы-вспышки большой мощности. Это был совершенно новый и удивительный инструмент воздействия на вещество! «Миллионы киловатт, впрессованные в тонкую иголочку луча», — как сказал Н. Г. Басов, ныне академик, дважды Герой Социалистического Труда.

Как же работает этот инструмент, по какому принципу?

Начнем с лазера на кристалле рубина — прозрачной разновидности корунда. По химическому составу этот драгоценный камень, пользовавшийся особой любовью властителей древнего Востока, представляет собой окись алюминия (Al_2O_3) с примесью хрома. Последний и придает рубину то красный, то фиолетово-красный цвет. Но не своей красотой привлек внимание ученых рубин, а тем, что содержащиеся в нем ионы хрома способны при некоторых условиях испускать световые волны.

Электрон в атоме занимает определенные оболочки — их так и называют: электронные оболочки, а в популярной литературе часто употребляют, для наглядности и простоты, другое название — орбиты. Чем больше расстояние электрона от ядра атома, тем выше его энергия. Но, как было показано Нильсом Бором, электрон может переходить с орбиты на орбиту не постепенно, а только скачком. Скачкообразно меняется и энергия электрона, следовательно, атома или молекулы в целом. Если атом или молекулы возбуждены, то и потенциальная энергия их выше, электроны находятся на более отдаленных от ядра орбитах (оболочках) и занимают, как принято говорить, более высокие энергетические уровни. Электрон из устойчивого, равновесного состояния с энергетического уровня E_1 переходит на уровни E_2 или E_3 только при возбуждении атома или молекулы. Однако в возбужденном состоянии они долго оставаться не могут: электрон спонтанно (самопроизвольно) покидает уровни E_2 и E_3 и возвращается на энергетически более выгодный уровень E_1 , испуская при этом энергию в виде фотона — кванта поля электромагнитного излучения. И вообще, как установила квантовая механика, поглощение и испускание энергии атомами и молекулами вещества происходит именно квантами, порциями, конечным количеством энергии, равным разности ее значений на двух рассматриваемых уровнях.

А что, если подобрать вещество, которое имело бы так называемые активные центры, с удовлетворительной системой энергетических уровней? Такие активные центры после возбуждения должны быстро покидать уровень E_3 и на некоторое время накапливаться на уровне E_2 , повышая его «заселенность».

Накопление активных центров на втором энергетическом уровне можно сравнить со снеговыми наносами на крутых склонах гор. Достаточно выстрела из винтовки,

даже громкого крика и... страшная лавина снега приходит в движение, сметая все на своем пути. Аналогия хотя и грубая, но полезная: она дает представление о наведенном, то есть индуцированном испускании фотонов возбужденными атомами и молекулами.

Ионы хрома в рубине обладают, как было установлено, тремя классическими энергетическими уровнями. Если отполированный цилиндрический кристалл рубина обвить спиралью лампы-вспышки, то при ее включении сине-зеленая часть спектра излучения будет поглощаться ионами хрома. Возбудившись, они скачком перейдут с первого уровня на третий, а затем на второй, отдав при этом часть энергии кристаллу. На втором уровне активные частицы будут накапливаться, так как время их пребывания здесь составляет 10^{-4} — 10^{-2} с, в то время как для третьего уровня оно равно 10^{-8} с. Происходит как бы накачка ионов хрома, насыщение второго уровня энергией. Теперь если какой-либо из ионов хрома под действием электромагнитного поля испустит фотон, начнется индуцированное излучение. Этот фотон, двигаясь вдоль оси кристалла рубина, будет вынуждать (инициировать) ионы хрома совершать переход со второго уровня на первый с испусканием аналогичных фотонов.

Чтобы фотоны не выходили сразу за пределы кристалла, его торцевые поверхности делают в виде высококачественных зеркал со строго перпендикулярными большой оси кристалла плоскостями. Благодаря этому путь фотонов вдоль оси кристалла увеличивается, возрастает число актов их взаимодействия с возбужденными ионами хрома, и последние испускают все новые и новые фотоны. За короткое время (менее 10^{-4} с) высвобождается в виде света вся энергия, накопленная активными центрами на втором уровне — рождается мощный луч света, способный преодолеть полупрозрачное зеркальное покрытие одного из торцов цилиндрического кристалла и выйти за его пределы.

Лазерный луч, набравший силу и мощь внутри рубинового кристалла, вырвался на свободу!

Конечно, в действительности все было не так легко и просто, как здесь описано. Чтобы появился лазер, нужно было преодолеть немало теоретических и технических проблем. В частности, надо было научиться выращивать большие — длиной до нескольких сантиметров! —

кристаллы рубина, причем с необходимым содержанием хрома. Заметим, правда, что искусственные рубины давно уже не были новинкой: их умел получать французский химик Вернейль еще в том веке. Современные искусственные кристаллы рубина, применяемые в лазерах в виде цилиндрических стержней, имеют диаметр до 20 мм и длину до 300 мм или массу в обработанном виде до 1800 каратов.

Не так много времени прошло с того дня, когда заработал лазер на рубиновом кристалле, как семейство лазеров стало все больше и больше разрастаться. Появились лазеры на газах и газовых смесях, на жидкостях и полупроводниках... Для лазеров стали выращивать специальные кристаллы, способные генерировать видимый свет. Например, кристалл из арсенида галлия и арсенида алюминия. Однако конструкторы лазеров теперь уже не удовлетворяются областью видимого света, они создают лазеры (или ищут только пути к ним), которые могли бы излучать в самом широком диапазоне частот — от инфракрасных до рентгеновских и гамма-лучей. Различаются лазеры не только по активной среде, но и по способу накачки, то есть по способу накопления избытка атомов и молекул на возбужденном энергетическом уровне E_2 , по режиму работы (лазеры непрерывного действия, импульсные лазеры), по мощности и другим характеристикам.

Такое разнообразие лазеров позволяет применять их в различных областях науки и техники. Всех направлений практического применения лазеров мы, естественно, осветить не можем. Приведем лишь некоторые примеры.

Посмотрим теперь, какое же свойство лазеров открыло им дорогу в мир современных инструментов.

Лазерный луч обладает хорошей когерентностью, высокой пространственной направленностью.

Это дает возможность сконцентрировать большую энергию на малой площади. Так, мощность короткого импульса рубинового лазера достигает 10 000 Вт для луча с поперечным сечением 1 м².

Излучение газовых лазеров выглядит еще более внушительным и достигает при определенных условиях 10^{11} — 10^{12} Вт/см², то есть в 100 млн. раз больше мощности излучения квадратного сантиметра поверхности нашего светила. Судя по развитию лазерной техники, и такие

удельные мощности не предел даже для лазеров непрерывного действия.

Лазерный луч можно сфокусировать на площади 10^{-8} — 10^{-9} см², а разряд электрической дуги получить на площади 10^{-3} см². Пламя же газовой горелки требует площади не менее 10^{-2} см².

Громадная концентрация энергии на малой площади приводит к возникновению сверхвысоких температур и давлений, достигающих соответственно десятков миллионов градусов и миллиона атмосфер. При таком воздействии любые известные нам материалы мгновенно превращаются в пар, что и открыло дорогу лазеру как инструменту в самые различные области человеческой деятельности — от научной лаборатории до промышленности. Если увеличивать интенсивность лазерного луча путем повышения его мощности или фокусировки излучения, то при 10^5 Вт/см² начнется плавление металла. Область расплава под световым пятном будет постепенно перемещаться в глубь металла. А если интенсивность довести до 10^6 — 10^7 Вт/см², то одновременно с плавлением будет происходить и кипение расплава с частичным образованием пара.

Дальнейшее увеличение интенсивности лазерного луча (до 10^9 Вт/см², например) приводит уже к сильной ионизации паров вещества, к возникновению плазмы. Однако плазма, поглощая свет, ограничивает доступ лазерного излучения к поверхности обрабатываемого материала. Поэтому для лазера-инструмента важно выбрать такой режим, который исключал бы возникновение плазмы.

Вот перед нами алмазная волока для протягивания (изготовления) проволоки. Не сразу в ней заметишь отверстие: ведь его диаметр всего 0,02 мм. Чтобы его рассмотреть, надо вооружиться лупой, а то и микроскопом. Микроскоп необходим, чтобы наблюдать и за «сверлением» алмаза. Как зачарованные следим мы за работой лазерного луча... Вспышка за вспышкой, и вот уже на сверкающей грани алмаза сначала появляется лунка, которая у нас на глазах становится все глубже и глубже, пока не переходит, наконец, в сквозное отверстие.

С такой же легкостью пробиваются отверстия в рубине, в тугоплавких металлах и сплавах, в различных сталях и других нелегких для обработки материалах. Причем если, например, на сверление отверстия в рубине механическим способом с использованием сверла 40—

50 мкм придется затратить 10—15 минут, то лазерный луч пробьет его всего за одну секунду.

Лазерному лучу-инструменту практически безразлично, какой формы должно быть отверстие. Все зависит от движения стола, на котором закреплена заготовка. Все же чаще всего лазер используют для «сверления» малых по диаметру цилиндрических отверстий. Такие операции производятся с помощью лазерных технологических установок, выпускаемых отечественной промышленностью. Некоторые из них имеют звучные, даже можно сказать, с уклоном в экзотику названия: «Луч», «Квант», «Кристалл»... Первые отечественные технологические лазерные установки были созданы в 1964 г. Это установки типа СУ-1 и К-3, со временем уступившие место более совершенным.

Установка «Квант-9» может «просверлить» отверстие в любом материале. В ней излучатель и оптическая система, назначение которой наблюдать ход операции и контролировать его, помещены в одной головке над так называемым предметным столом, а система управления лазером, источник питания и система охлаждения сведены в отдельный агрегат.

Установка «Квант-15» разработчиками предназначена для газолазерной сварки, термообработки и «сверления» отверстий. В ней применен лазер на гранате с неодимом, генерирующий импульсы с частотой до 20 Гц и энергией порядка 15 Дж. С помощью этой установки можно резать металлические листы толщиной 5 мм со скоростью 35 см/мин и делать отверстия глубиной до 10 мм. Для папки навесных элементов на печатные платы, резки диэлектрических и металлических материалов, сварки и прочих подобного рода работ создана установка «Квант-50». Существуют и другие отечественные установки, которые успешно применяются в различных областях народного хозяйства.

Лазерный луч нашел свое применение при резке толстых листов. В сочетании с принудительным, под давлением, вдуванием кислорода, аргона или просто воздуха в зону обработки такая резка дает хорошие технологические показатели. Так, малоуглеродистая сталь толщиной 2,2 мм разрезается лучом со скоростью 1,8 м/мин; за одну минуту разрезается 40 см 9-миллиметрового листа нержавеющей стали или более 3 м листового титана толщиной 0,5 мм.

На автомобильном заводе им. Лихачева полиэфирная пластмасса со стеклонаполнителем толщиной 33 мм, используемая для панелей в грузовых автомобилях, разрезается лазером со скоростью 1,5 м/мин. Там же производят лазерную сварку карданных валов. При этом срок службы валов повысился в 3 раза. Интересно, что газовая сварка одного метра стали толщиной 20 мм производится со скоростью 10—15 м/ч, а лазерная — 50—150 м/ч. Кроме того, при газовой сварке делается 5—8 проходов, а при лазерной всего один, да и рабочего времени затрачивается в десятки раз меньше. На заводах «Форд» в США лазерный луч режет очень твердый керамический материал нитрид бора, идущий на изготовление турбинных лопаток реактивных двигателей, причем делает он это в 10 раз быстрее, нежели алмазный инструмент. С помощью газовых лазеров мощностью 10 кВт разрезаются стальные детали до 20—40 мм толщиной. Вот с каким могучим инструментом имеют дело теперь рабочие машиностроительных заводов!

Но это еще не предел. Сфокусированный мощный лазерный пучок по своей энергии подбирается к плотности энергии, высвобождаемой при аннигиляции, то есть когда сталкиваются частицы со «своими» античастицами.

Сравните: в первом случае 10^{10} — 10^{12} Дж/см³, во втором — 10^{15} Дж/см³. Плотность энергии лазерного луча всего в 1000 раз меньше плотности энергии аннигиляции. Куда там химическому взрыву с его плотностью энергии 10^4 Дж/см³!

Лазерные установки, используемые промышленностью, как правило, не очень громоздкие, занимают немного места. Иное дело установки для научно-исследовательских работ. В целом ряде случаев их можно назвать гигантами. Под эти гиганты с длинной трубой, где сосредоточена активная среда (длина такой трубы достигает иногда нескольких десятков метров!), отводят большие залы — настоящие цехи, под стать цехам машиностроительных заводов.

Одна из таких установок («Дельфин»), созданная в Физическом институте им. П. Н. Лебедева, суммирует излучение 216 каналов и способна доводить мощность импульса до 10^{13} Вт. Не менее грандиозна американская установка «Шива». Длина ее 11 каскадов составляет 55 м,

а излучаемая выходная энергия 10 кДж — такая же, как и у советской установки «Дельфин».

Такие уникальные установки предназначены для дальнейшего познания тайн природы и работают для будущего, как говорят, на переднем крае науки. Вполне понятно, что они создаются трудом ученых, инженеров и высококвалифицированных рабочих и без самых разнообразных инструментов для обработки материалов резанием здесь дело не обходится.

Лазерный луч в качестве высокоэффективного инструмента начал свое победное шествие едва ли не по всем отраслям народного хозяйства, и прежде всего по тем отраслям, где производство связано с обработкой материалов, в частности резанием.

БЕЗ МЕРЫ И ЛАПТЯ НЕ СПЛЕТЕШЬ

Все инструменты, с которыми мы познакомились, предназначены для обработки материалов. С их помощью изготавливают самые разнообразные детали требуемых форм и размеров. Кажется, все ясно: следует выбрать соответствующий инструмент, например резец или фрезу, установить на станке, и начинать себе работать. Работать-то начать можно, но результат окажется плачевный, ибо под рукой не окажется как минимум еще одного инструмента. Что это за инструмент или инструменты, без которых нельзя обойтись? О них речь еще не шла, тем более что они не предназначены для непосредственной обработки. Стружку они не снимают, материал не деформируют, не оплавливают и даже не всегда касаются детали. А если и касаются, то очень легко, чтобы не повредить ни себя, ни детали. Тем не менее они являются неизменными спутниками обрабатывающих инструментов. Можно даже с уверенностью сказать, что существование одних без других часто теряет всякий смысл. Ведь при изготовлении любой детали необходимо не только изменить форму заготовки, но и выполнить обязательное условие — обеспечить требуемые размеры. А это можно сделать только при наличии разнообразных измерительных инструментов.

Измерительные инструменты появились не сразу. История их создания уходит в далекую старину, к первобытному человеку, которому в своей трудовой деятельности постоянно приходилось выбирать и применять какие-то меры длины, массы, объема и вырабатывать навыки их счета. Для этого служили различные предметы и, конечно, части собственного тела.

Так, одной из древних мер длины было расстояние между концами раздвинутых большого и первого пальцев руки, называемое малой пядью. В среднем малая пядь составляла 19 см. Но была и великая пядь, равная расстоянию между большим пальцем и мизинцем, которая превышала малую пядь на 3—4 см. Заметим, что и теперь, когда нет под рукой линейки, мы часто определяем размеры с помощью пядей. Измерения проводились и ладонью. Этой мерой пользовались английские крестьяне, определяя высоту лошади числом ладоней. Если же необходимо было узнать длину ткани, то ее наматывали на локоть и вытянутые пальцы руки. Полный оборот ткани через локоть называли уже не просто локтем, а двойным локтем.

Кому не известны сказочные герои, у которых в плечах косая сажень? Но мало кто теперь знает, чему она равна. Ученые полагают, что косая сажень на Руси измерялась от пятки ноги наперекрест и вверх до кончиков пальцев руки. Например, от левой ноги к правой руке. Удобнее всего было определить, натягивая веревку. Маховая же сажень была поменьше и составляла расстояние между концами пальцев вытянутых в противоположных направлениях рук. Это движение характерно для «удачливых» рыбаков, любящих прихвастнуть по поводу размера пойманной якобы рыбы.

Сажень является древнейшей русской мерой.

Упоминание о ней встречается в летописях 1017 г., составленных киевским монахом Нестором. Саженьями даже определяли длину моря. «В лето 6576... Глеб князь мерил море по леду от Тьмуторокана до Кърчева 10 000 и 4000 сяжен». Надпись относится к князю Глебу Святославовичу и была сделана в 1068 г. на камне, найденном черноморскими казаками в 1792 г. в развалинах турецкой крепости на берегу Керченского пролива. Впоследствии, в 1851 г., камень был перевезен в Петербург и помещен в Эрмитаже.

Из саженей составлялась верста, которая в старину

называлась и поприщем. Размер версты в 500 сажений был окончательно установлен только в XVIII в. указом Петра I. Тогда же был узаконен и аршин, равный 16 вершкам, 28 дюймам или приблизительно 71,12 см.

Древний аршин, который у персов назывался «арш» — «локоть», прочно вошел в быт русского народа, хотя толком никто не знал его точную длину. Поэтому каждый считал свой аршин самым правильным и с ним ходил на базар. Купцы же продавали товар, отмеряя его опять-таки своим аршином. Нетрудно себе представить ситуацию, в которой оказывались продавец и покупатель. Об этом, в частности, рассказывается в одном из стихотворений известного русского поэта И. С. Никитина:

...Из-под полы аршин достал,
Раз!.. раз!.. и смирена холстина.
— Гляди вот: двадцать три аршина —
— Ох-ма! Тут двадцать семь как раз!
— Что, у тебя иль нету глаз?
Аршин казенный, понимаешь!
Вот па... не видишь, два клейма!
— Да как же так!
— Не доверяешь? —
Я дома мерила сама.

Не лучшим образом обстояли дела с мерами длины в Европе. Английский ярд, например, по указу Генриха I от 1101 г. был равен расстоянию от носа короля до конца среднего пальца вытянутой его руки. По другому преданию ярд равнялся длине меча короля Генриха I. А «законный дюйм», равный длине трех ячменных зерен, вынутых из средней части колоса и приставленных одно к другому своими концами, был введен королем Эдвардом II в 1324 г. Одновременно с дюймом уточнили и фут как среднюю длину ступни 16 человек, «выходящих от заутрени в воскресенье».

Но были меры, зависящие в определенной степени и от движения Земли. Характерным примером может послужить стадий, введенный в употребление вавилонянами. Эта мера длины использовалась также греками, египтянами и римлянами. Стадий равнялся расстоянию, которое человек может пройти спокойным шагом от момента появления первого луча восходящего солнца до того момента, когда весь солнечный диск целиком окажется над горизонтом. За эти две минуты римляне проходили около 185 м, греки — 192 м, вавилоняне — 194 м. Стадий де-

лился на равные части — локти. Вавилонский стадий состоял из 360 локтей. Длина такого локтя равнялась приблизительно 54 см. Длина же египетского локтя оказалась равной 52,7 см. И здесь нет равенства.

Однако в древности у многих народов существовали и более простые меры длины или расстояния. Так, в русских старинных грамотах о пожаловании земельных участков встречаются определения их размеров по «бычачему реву». С помощью этой меры измерения проводили очень просто: в исходном месте привязывали быка и шли в выбранном направлении до тех пор, пока был слышен его рев. И петухи не оставались без дела, ибо по их крику также судили о дальности расположения деревни или отдельных дворов. Использование звука в качестве меры расстояний нашло свое отражение и в народной былинае:

Повыехали в раздольице чисто поле.
Услыхали в чистом поле оратая,
Как орет в поле оратай, посвистывает,
Сошка у оратая поскрипывает,
Омешики по камешкам почиркивают,
Ехали-то день ведь с утра до вечера,
Не могли до оратая доехати.
Они ехали да ведь и другой день,
Другой день ведь с утра до вечера,
Не могли до оратая доехати...
... ..
Тут ехали они третий день,
А третий день еще до пабедья,
А наехали в чистом поле оратая.

В результате Вольга Святославович ехал со своей дружиной к Микуле Селяниновичу, пахарю, почти три дня. Вероятно, они преодолели путь в несколько сотен километров.

В прошлом существовали и другие меры. Жители Сибири применяли буку, равную расстоянию, на котором человек перестает раздельно видеть рога быка. У кочующих монголов, по свидетельству известного путешественника Н. М. Пржевальского, расстояние определялось по лошадиным или верблюжьим переходам. В Японии мерой длины тоже служил лошадиный переход, только он исчислялся путем, за который лошадь «изнашивала» некое соломенное изделие, надевавшееся ей на ноги, — что-то вроде лошадиной обуви, башмаков. А у индейцев Северной Америки дальность пути измерялась... снами, то есть сутками.

Возникшие в глубокой древности практические потребности измерений привели к появлению самых разнообразных мер. Локоть, двойной локоть, ладонь, маховая сажень, косая сажень, пядь малая и великая, фут, дюйм, ярд, стадий, аршин, верста, миля — далеко не полный перечень мер длины и расстояний, бытовавших у разных народов. Если к этому добавить некоторые старинные меры площади, веса, массы, емкости — югер, грядка, колодец, дым, рало, десятина, соха, гран, карат, талант, мина, сикль, ласт, пуд, фунт, унция, драхма, бочка, штоф и т. д., то станут понятными не только изобретательность тех или иных народов, но и сложность конкретных расчетов и определений с использованием различных эталонов.

Древнейшим эталоном длины в виде штрихового измерительного инструмента считается масштабная линейка, вырезанная на каменной доске, лежащей на коленях статуи вавилонского царя Гудеа, правившего в городе Уре примерно 2000 лет до нашего летосчисления. Его фигура из синего диорита с аккуратно отпиленной головой найдена в 80-х гг. прошлого века в местности Телло на территории современного Ирака. Линейка имеет длину, равную половине царского локтя, что соответствует 265 мм. На отдельных участках линейки нанесены деления, соответствующие $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, и $\frac{1}{6}$ части.

Эталон длины существовали и у египтян. Известно, что кирпичи их пирамид сделаны стандартной длины — 450 мм. Этот размер совпадает с мерой, которая называлась «народный локоть», и составляет 6 ладоней, или 24 пальца. Царский же локоть был на 75 мм больше. Сам же эталон египетского локтя XVII в до н. э. имел длину царского локтя с отметкой народного и соответствующие деления на пальцы. Наличие двух официальных эталонов длины открывало широкие возможности для обмеров и жульничества.

Тем не менее, несмотря на разнообразие и невысокую точность мер, люди в далеком прошлом умели измерять, считать, создавать необходимые предметы и величественные произведения зодчества в строгих и пропорциональных формах.

Вспомним хотя бы гробницы древних египетских фараонов, возвышающиеся среди горячих песков Ливийской пустыни на всем пути от Каира до Фаюмского оазиса. «Вершины их производят впечатление вершин высоких

гор. Но по мере приближения к этим правильным массам это первое впечатление сменяется удивлением; когда же вы, наконец, подойдете к подошве большой пирамиды, вас охватывает глубокое и сильное волнение, чувство потрясения и подавленности, вызываемое величиной и простотой форм, контрастом между человеком и колоссальным творением рук его...», — писал французский ученый Жомар в конце XVIII в. Самая грандиозная из пирамид построена фараоном Хеопсом в XXVII в. до н. э. Первоначальная ее высота — 147 м — соответствовала высоте современного 50-этажного здания. Вплоть до 1889 г. пирамида Хеопса была самым высоким сооружением в мире. Каждая сторона квадрата пирамиды равна 223 м, то есть двум с лишним длинам футбольного поля. Подсчитано, что пирамида Хеопса состоит из 2,3 млн. кубических блоков, масса каждого из них более 2 т.

120 лет строился храм богини Артемиды в греческом городе Эфесе. Легкое и изящное мраморное здание вызывало удивление и восхищение современников. Оно было огромно, длиной 110 м и шириной 55 м. Вокруг здания шли два ряда мраморных колонн высотой 18 м, общим числом 127 штук. 36 колонн, обрамляющих фасад, были украшены фигурными рельефами с изображением богов. Внутреннее убранство храма, гигантская (15 м) статуя Артемиды, сплошь покрытая золотыми украшениями и драгоценными камнями, — все внушало трепет и почтение.

Масштабность, грандиозность, неповторимость. Но чтобы достичь желаемого, чтобы, помимо прочности, была бы и красота пропорций, зодчие должны были, кроме таланта и пространственного воображения, обладать определенными знаниями. В числе важнейших — умение измерить заданную величину, сопоставить размеры элементов между собой и с эталоном, добиться нужной точности каждого размера и тем самым обеспечить повторяемость элементов одинаковых по своему назначению, будь то блоки пирамиды Хеопса, колонны храма Артемиды или мраморные плиты Александрийского маяка.

Хранение эталонов мер у всех народов было делом особой важности и чести. Образцовые меры длины хранились в Египте в храмах, в Риме — в правительственных учреждениях. Копии с них выставлялись в местах публичных собраний для всеобщего обозрения, а в случае нужды и для сравнения с ними тех, которыми пользовались в быту.

В Киевской Руси надзор за хранением, правильностью мер и расчетов по ним возлагался на духовенство. В уставе X в. князь Владимир Святославович повелевал: «...еже искони установлено есть и поручено есть епископам градские и везде всякие мерила и спуды и весы... блюсти без пакости, ни умножити, ни умалити...» Аналогичного содержания грамота была подписана в 1134—1135 гг. новгородским князем Всеволодом Мстиславовичем, где он поручает церкви Ивана Предтечи на Опоках блюсти правильность мер. Церковь хранила эталоны «скалвы вощеный, пуд медовый и гривенка рублевая и локоть еваньский». Деревянная линейка — эталон с надписью «святого еваньско» — обнаружена при раскопках торговой площади древнего Новгорода.

В Англии эталоны мер длины были встроены в стену здания, где заседал парламент. Ныне образцы мер длины выставлены на Трафальгарской площади в Лондоне. Образцы старинных французских мер длины были изображены на стене дворца Шатле в Париже. В стену здания министерства юстиции в Париже в настоящее время встроены эталоны мер длины метрической системы.

До революции в России имели хождение 100 различных футов и 46 различных миль. Старый фут и новый, рабочий, десятичный, двадцатичный, портняжный, ткацкий, землемерный, инженерный, математический, геометрический, архитектурный — слишком малый перечень из применявшихся в России мер длины — футов. Такое положение существовало во многих странах. Хотя попытки введения единых мер и строгого контроля их значений предпринимались очень давно, тем не менее они не всегда приводили к желаемым результатам, так как наталкивались на сильное сопротивление тех, кто наживался на подобной неразберихе.

Мало что, например, удалось сделать французскому королю Хильдерику II, который в 650 г. пытался реформировать систему общегосударственных мер. Неупорядоченность мер во Франции сохранилась до конца XVIII в., что вполне устраивало крупных землевладельцев, издавна пользовавшихся привилегией иметь в пределах своих хозяйств собственные меры.

Все пробивает себе дорогу в трудностях. Нелегко утверждалась и метрическая система. Только в 1872 г. Международная комиссия метра утвердила эталон метра, изготовленный из сплава 90 % платины и 10 % иридия в

виде стержня, разрез которого напоминает букву «Х». К 1889 г. под наблюдением Международной комиссии было изготовлено 34 эталона метра — точных копий международного прототипа. Они были розданы странам — участницам Международной конвенции метра. России достался эталон метра № 28. Окончательное решение вопроса о принятии в России метрической системы единиц было положено постановлением Совета Народных Комиссаров 14 сентября 1918 г.

Интересно, что внедрению в России метра в повседневные измерения немало способствовали не только ученые, но и модницы, которые заказывали себе наряды у француенок, работавших в России и пользовавшихся всем привычным теперь гибким портняжным метром. Кстати, заметим, что термин «метр» для обозначения длины впервые предложил польский ученый Т. Бураттини в своей книге «Универсальная мера», которая была опубликована в 1675 г. в городе Вильно.

Итак, у нас в руках обыкновенная линейка. По существу, она является простейшим измерительным инструментом нашего времени. Достаточно ее приложить к любому предмету, чтобы по нанесенным делениям узнать его длину с точностью до одного миллиметра. При этом мы легко выражаем полученный размер в миллиметрах, сантиметрах, в метрах, умножая или деля его на 10 необходимое число раз. Иными словами, применяем систему мер, построенную на десятичной основе, идею которой предложил астроном Мутон в XVII в.

Если же размер необходимо узнать с более высокой, чем один миллиметр, точностью, то обыкновенной линейкой уже не обойтись. На помощь тогда приходят другие инструменты. Как и линейка, они имеют штрихи, по которым производят отсчеты размеров. Однако, помимо неподвижной шкалы, они снабжены еще одной шкалой — подвижной, которую называют нониусной. Нониус позволяет определять размер с точностью до нескольких сотых долей миллиметра. Благодаря простоте конструкции и удобству применения нониусом снабжены многие измерительные инструменты.

Прежде всего это штангенциркули. Они удобны для измерений наружных и внутренних диаметров валов и отверстий, глубины пазов, длины деталей. Имеются штангенциркули, у которых концы измерительных «губок» заострены, что позволяет их использовать для раз-

меточных работ. У нас в стране выпускают эти инструменты с пределом измерений от 0 до 125 мм и больше, вплоть до «гигантов», способных взять в свои объятия деталь в 4 м. К семейству штангенинструментов относятся также штангенглубиномеры и штангенрейсмусы, которые применяются для измерения глубин и высот различных деталей. Как правило, точность определения размеров с помощью штанговых инструментов с нониусом не превышает 0,05 или даже 0,02 мм.

Если же необходима большая точность измерений, то используют уже не штанговые инструменты, а микрометрические. Все они — микрометры, микрометрические нутромеры, глубиномеры, резьбовые микрометры — имеют в своей конструкции один и тот же важный элемент — винтовую пару. Именно она позволяет определить размер на отсчетном барабане с точностью 0,01 мм. Конечно, по конструкции все микрометрические инструменты не такие уж сложные. Однако сделать их тяжело, ибо необходимо точное оборудование, режущие инструменты, высокая квалификация и опыт производителей. Взять, к примеру, обычный микрометр, выпускаемый Московским заводом «Калибр». За два года до пуска «Калибра», который был построен в первой пятилетке в 1932 г., американские специалисты говорили московским инженерам, что наладить выпуск собственных точных измерительных инструментов в отсталой и разоренной стране — непосильная задача. Они ошиблись, хотя на первых порах брака было больше, чем готовой продукции. Многие не получалось. Так, целый месяц не могли собрать один микрометр, отвечающий требуемой точности. Не получалась его сборка, притирка, а точность измерений сильно зависела от температуры окружающей среды. Да что там микрометр, если на доводку одного металлического угольника с углом 90° уходило 84 часа рабочего времени слесаря-лекальщика. Все эти трудности были в конце концов преодолены.

Мы привыкли к тому, что час содержит 60 минут, одна минута складывается из 60 секунд, что прямой угол равен 90 градусам, а полный оборот, например, стрелки часов вокруг своей оси составляет 360 градусов. Вроде ничего здесь нет удивительного для современного человека. А ведь эти меры времени и углов построены не на основании 10, а на основании 60 и ведут свои истоки от древнейшей шумеро-вавилонской культуры. Попробуйте

разделить число 10 на целые числа, и вы получите только числа 1, 2 и 5, тогда как для основания 60 целыми числами выражаются доли: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{15}$ и $\frac{1}{30}$. Как видите, возможности во втором случае выше, что признавалось и в первом русском переводе «Начал» Евклида, сделанном в 1739 г. Поэтому у вавилонян одна секунда состояла из 60 терций, локоть — из 30 пальцев, а мера веса в один талант включала 60 мин. Каждая мина была равна 60 сиклям, а один сикль набирался из 180 зерен и приблизительно соответствовал нашим 10 граммам. Основание 60 оказалось настолько рациональным, что выдержало испытания тысячелетий и воплотилось в конструкциях современных инструментов для измерения углов. Простейшими из них являются тот же угольник, транспортир со шкалой 180 градусов и круговой угломер чертежного кульмана. Затем идут более сложные угломеры с нониусами и с другими системами отсчета, повышающими точность их показаний.

Угломеры широко применяются в технике. С их помощью изготавливают различные металлообрабатывающие инструменты, штампы и детали машин.

Для точных измерений находят свое применение индикаторы часового типа, оптиметры, миниметры, микрометры и многие другие устройства и приборы. При их создании используются новейшие достижения науки и техники, которые позволяют добиться не только еще более высокой точности измерений, но и автоматизировать процессы контроля результатов обработки деталей. А это так важно в наше время, когда роботы, встроенные в автоматические линии, выполняют с помощью вычислительных машин трудоемкие и ответственные технологические операции.

Но на фоне всей этой сложной современной техники не потеряли своего значения и очень простые по внешнему виду инструменты — так называемые калибры. Они «не разговорчивые» и «умеют произносить» только два слова — «да» или «нет». Однако в этой лаконичности заключен весь смысл ответа о точности исполнения размеров деталей. Например, чтобы определить годность отверстия, достаточно воспользоваться двумя гладкими валиками, из которых один будет чуть больше другого. Разница в диаметрах валиков должна соответствовать величине допускаемой ошибки, или, иначе говоря, допустимому отклонению от номинального размера. От-

верстие будет считаться годным, если «тонкий» валик войдет в него свободно, а «толстый» не войдет. В этом случае говорят, что размер отверстия находится в допустимых пределах отклонений относительно номинального размера, установленного расчетом и указанного на чертеже.

Калибры бывают самой разнообразной формы в виде валиков, скоб, втулок и находят свое применение там, где изготавливают много однотипных деталей.

Необходимость применения калибров возникла в начале XIV в., когда в Европе появилось огнестрельное оружие. Первые пушки стреляли круглыми каменными ядрами, которые в конце XV в. стали отливать из чугуна. К каждой пушке в те времена подходили только свои ядра, так как размеры стволов не были стандартизованы и изготавливались мастерами-оружейниками по собственному техническому усмотрению и заказам, исходя из личных возможностей и опыта. Поэтому ядра примерялись к самой пушке. Если они входили в дуло и не заклинивались, то считались годными для стрельбы. По сути, внутренний диаметр ствола являлся калибрующим инструментом для ядер. Если же ядра оказывались меньше нужного размера, то их не выбрасывали, а подыскивали для них другую пушку или же перед выстрелом в сражении заполняли зазоры подручными уплотняющими материалами. Много работы было и на сборных пунктах, куда свозили на подводах из разных мест стволы пушек, ядра и лафеты, которые часто не подходили друг к другу. Поэтому прямо на местах сбора войск приходилось устраивать мастерские для подгонки артиллерийского снаряжения. Конечно, в своей работе кузнецы использовали не только «калибры» в виде готовых пушек. Это был, так сказать, последний этап контроля годности ядер. Они широко применяли линейки и циркули.

Циркули как измерительный и разметочный инструмент хорошо знали еще в античном мире архитекторы, скульпторы, мастера по металлу и плотники. Они были в основном нескольких типов: с заостренными прямыми и дугообразными ножками, наподобие современных кронциркулей, с ножками, загнутыми на концах, как у наших нутромерных циркулей, и даже пропорциональные. С помощью пропорциональных циркулей увеличивали или уменьшали размеры при разметке.

Трудно точно сейчас сказать, когда появились первые

циркули. Археологи их обнаруживают в различных слоях бронзового века и тем более железного. Однако корни их создания уходят, очевидно, еще в более далекие времена. Ведь у циркуля есть много аналогов в живой природе. Взять, к примеру, человека. Шагами можно легко отмерить требуемое расстояние, разведенными вширь руками определить длину того или иного большого предмета. А если предмет поменьше да и потребна повышенная точность измерений, то это прекрасно получается раздвинутыми пальцами руки. Заметим, что прообраз циркуля угадывается в реконструкции, сделанной С. А. Семеновым для объяснения технологии создания в каменном веке нефритовых колец, которые входили одно в другое.

Но вернемся снова к оружейникам и артиллеристам средних веков. Они очень остро ощущали трудности, которые постоянно возникали из-за низкой точности изготовления пушек и ядер по заранее заданным размерам и из-за того, что не имела места взаимозаменяемость частей военного снаряжения.

Однако при разрозненном труде мастеровых, при отсутствии станков, соответствующих режущих и измерительных инструментов, как и самой точной меры, разрешить такую сложную техническую задачу не представлялось возможным. Несомненно, определенных успехов в этом направлении все же добивались.

В 1798 г. как сенсацию восприняли члены американского конгресса предложение Эли Уитнея о поставке правительству партии ружей с взаимозаменяемыми частями. Слова он подкрепил делом. В присутствии конгрессменов слесари вынули из ящика 10 ружей, разобрали их на отдельные части, перемешали и снова собрали. Никто из зрителей, конечно, не знал, какой ценой была достигнута взаимозаменяемость, что почти все детали подгонялись вручную по образцам. Уитнею удалось отеснить своих конкурентов и получить двухгодичный заказ на изготовление 10 тыс. ружей. В действительности же ему удалось за первый год сделать всего 500 ружей, а остальные — за 7 долгих лет.

В 1806 г. в Париже была издана книга известного французского инженера Коти, который делился своими впечатлениями о посещении русских военных заводов. «Я видел на Тульском заводе, как из находившегося в приемной палате большого количества замков несколько

было разбросано, части их перемешаны; при этом все части приходились с такой точностью, будто их намеренно пригоняли одну к другой», — писал Коти о ружейных замках.

А в тяжелом для России военном 1812 г. Тульский завод выпускал в месяц 10 тыс. ружей с взаимозаменяемыми деталями. В этом была большая заслуга талантливоего русского изобретателя П. Д. Захавы. Ему же довелось демонстрировать достижения тульских оружейников перед немецкими принцами — Карлом Пруссским и Филиппом Гессен-Гомбургским да еще в присутствии самого царя Николая I. По указанию увешанных орденами, звездами и лентами самодовольных сиятельных особ мастеровые собирали и разбирали серийные ружья, меняли в них части, замки и подавали для стрельбы принцам. Испытания прошли блестяще. Это было в 1826 г.

Добиться точности изготовления и взаимозаменяемости деталей удалось не подгонкой вручную, а благодаря созданным совершенным для того времени станками и обрабатывающим инструментам. Кроме того, тульские оружейники уже давно применяли специальные точные измерительные инструменты и широко использовали калибры.

Здесь уместно отметить, что XIX в. характеризуется рядом изобретений, сыгравших важную роль в развитии техники. Так, Генри Модсли сконструировал микрометрический штангенциркуль и назвал его «лордом канцлером»; выдающийся английский станкостроитель Иосиф Витворт построил первую измерительную машину, добился точности измерений до сотых и тысячных долей миллиметра, ввел в практику работы заводов калибры.

Сейчас это, как и многое прочее, конечно, пройденный этап. Но без опыта предшествующих поколений невозможно было бы в наше время осуществлять обработку материалов и производить разнообразные измерения с высочайшей точностью, характеризуемой многими нулями после запятой. Невозможно было бы создать практически необходимую систему допусков и посадок, без которой немыслимо современное машиностроение. И борьба за точность — не самоцель, а жизненно необходимое условие, точнее даже, требование научно-технического прогресса.

Поэтому измерительные инструменты сопутствуют обрабатывающим и существует их прочный союз. Поэто-

му не потеряла и ныне своего глубокого смысла старинная русская пословица, которая помещена в заглавии данного рассказа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наш рассказ об инструментах подошел к концу. И не потому, что больше не о чем говорить. Наоборот, есть еще много инструментов, о которых мы не вели беседу. Всего не опишешь из-за недостатка места. Может быть, мы когда-нибудь продолжим рассказ на эту тему в другой книге, и тогда многим инструментам, не описанным здесь, а также появившимся недавно, уделим должное внимание. А пока ограничимся несколькими примерами весьма необычных, как и луч лазера, инструментов.

В 1897 г. немецкий физик К. Ф. Браун, работавший в области радиофизики, сконструировал катодную трубку, которую историки физики не без оснований считают первой электроннолучевой трубкой. Но тот же год вошел в историю физики как год открытия электрона. Английский физик Дж. Дж. Томсон, изучавший катодные лучи, пришел к твердому выводу, что они представляют собой поток отрицательно заряженных частиц, каждая из которых приблизительно в 1837 раз легче самого легкого атома — атома водорода. А еще некоторое время спустя Томсон же обнаружил эту частицу экспериментально.

Вот так и случилось, что в одном и том же году была открыта первая стабильная элементарная частица с единичным отрицательным электрическим зарядом — электрон и зародилось направление в технике, приведшее к появлению, с одной стороны, привычных теперь для всех нас телевизоров, а с другой — электроннолучевой технологии, то есть технологии, основанной на использовании технологических возможностей сфокусированного и ускоренного пучка электронов.

Назовем несколько не слишком широко известных вех развития этого направления. По ним видно, как все-таки медленно оно развивалось.

1905 г. В этом году физикам с помощью электронного пучка удалось впервые расплавить некоторые металлы.

1907 г. Петербургский физик и изобретатель Б. Л. Ро-

зинг создал первую телевизионную систему с использованием электроннолучевой трубки, а в 1911 г, осуществил впервые в мире теленепосредственную передачу по этой системе.

1928 г. Немецкие ученые М. Кноль и Э. Русска изобрели электромагнитные линзы.

1931 г. Впервые было получено изображение в электронном микроскопе.

1934 г. Фон Арденне и Рюле применили сфокусированные электроны для сверления или, скорее, для прожигания отверстий малых диаметров.

1950 г. Штейгервальд сконструировал первую электроннолучевую установку для обработки поверхностей и получения отверстий. Установка привлекла к себе внимание, и в разных странах начали интенсивно работать по созданию подобных установок, способных выполнять разнообразные технологические операции, особенно прецизионные. Сегодня концентрированными потоками энергии электронных пучков осуществляются такие операции, как сверление, фрезерование, резка, плавка, сварка, напыление, термическая обработка, зонная очистка, полимеризация, изменение магнитных свойств и т. д.

Основная часть установки (независимо от технологического назначения установки) — это генератор электронов, или пушка. Таких пушек в установке может быть одна или несколько. Существуют установки, даже не установки, а целые агрегаты, в которых имеется 22 пушки по 150 кВт каждая. Все вместе они формируют ленточные пучки, общая мощность которых достигает 3,3 МВт. Такой агрегат способен изготовить никелевый сплав массой до 10 т, его общая производительность — 30 000 т/год.

Другая не менее важная часть установки — блоки, которые создают анодное напряжение, ускоряющее электроны. Ведь плотность тока электронного луча, испущенного катодом пушки, находится в прямо пропорциональной зависимости от ускоряющего напряжения. Благодаря этим блокам в некоторых установках плотность тока достигает 1000 А/см². Напряжение между катодом и анодом выбирается в зависимости от технологической операции и лежит в пределах от 30 до 150 кВ.

Электроннолучевые установки снабжены также магнитными фокусирующими линзами, электронными отклоняющими системами и вакуумными насосами. Сейчас в установках появились и ЭВМ, которые управляют работой установок при осуществлении той или иной техно-

логической операции. Когда же электроннолучевые установки включены в автоматическую линию, ЭВМ задает режим работы всей линии.

Что же при электроннолучевой обработке можно называть инструментом? Пучок электронов, ускоренных электрическим полем, создаваемым между катодом и анодом, под которым расположена деталь. Сфокусированный в пятно диаметром 1—10 мкм, электронный пучок при торможении в поверхностных слоях обрабатываемого материала развивает удельную мощность 10^6 — 10^9 Вт/см², благодаря чему температура достигает 6000 °С. Под таким напором молниеносно испаряется любой известный ныне материал. Однако этому оригинальному и сказочно грозному инструменту нужны особые условия для работы — вакуум, причем не ниже 10^{-4} мм ртутного столба. Все очень похоже на обычный телевизор. Только электронный пучок прошивает в 100-миллиметровом железном листе отверстие диаметром 24 мкм за 6 секунд!

Другой пример касается не электронов, а ионов. Причем ионов не в электролите, а в газе. Благодаря газовому разряду, фокусировке ионов в тонкий шнур и ускоряющему анодному напряжению до 25 кВ происходит интенсивная обработка поверхности детали. Ионному пучку-инструменту поддаются любые по твердости материалы. Особенно успешно он работает при сверлении малых отверстий. Даже в алмазе толщиной 0,5 мм ионный пучок способен сделать отверстие диаметром 40 мкм за полчаса.

Но это еще не все. Вместо резца обработку ведет плазма. Импульсные магнитные поля с большой силой и скоростью соударяют плоские или трубчатые заготовки о матрицы и тем самым осуществляют сложное формообразование. Магнитные силовые линии рождают из хаотически расположенных и подвижных ферромагнитных частиц своеобразный инструмент, который может быть легко ликвидирован выключением электромагнитов.

Нельзя сказать, что и механические инструменты остаются без каких-либо изменений, не знают никаких новшеств. Их, к примеру, заставили вибрировать (направленная вибрация), что позволило улучшить некоторые технологические характеристики процесса резания. А чтобы, скажем, облегчить этот процесс при обработке

сверхтвердых металлов и сплавов, их нагревают токами высокой частоты или даже простыми горелками. Даже шлифование в некоторых случаях ведут с предварительным подогревом детали до температуры выше 800 °С. У токарных резцов появились вращающиеся головки, благодаря им во много раз повысилась долговечность инструмента, поскольку трение скольжения уступило место качению.

Так что трудно сейчас найти научные достижения, касающиеся техники, которые не рассматривались бы на «пробном камне» обработки материалов.

Большинство современных инструментов, применяемых для обработки материалов, является станочным. Станки — сложные и точные машины — сообщают инструментам и заготовкам необходимые движения для снятия припусков и получения готовых изделий. Стремление повысить производительность труда и качество обработки привело к созданию станков-автоматов, автоматических линий и даже заводов-автоматов с широким внедрением роботов и электронной вычислительной техники. И станки и инструменты делают на заводах, имеющих четкую специализацию. Это позволяет с наименьшими затратами добиваться наилучших производственных результатов с наиболее рациональным использованием оборудования, инженерных и рабочих кадров. Поэтому когда вы берете, например, сверло, напильник или штангенциркуль, то в ваших руках оказываются характерные изделия не одного, а различных заводов со своими традициями и многолюдными коллективами. Они осуществляют процесс производства инструментов и создают новые конструкции.

Время от времени благодаря достижениям науки появляются принципиально новые методы обработки и инструменты. Так было, например, с электроэрозионной обработкой и лазером. Но новое вскоре становится привычным, а укоренившееся полезное старое — классическим. И теперь молот или резец не соперничают с новейшими методами обработки и инструментами, а дополняют, где можно, друг друга. Не все старое, конечно, уходит в прошлое, хотя и появляется новое. Поэтому разнообразие инструментов постепенно увеличивается, отвечая все возрастающим требованиям экономики и прогресса. Поэтому и существуют в наше время такие необходимые древнейшие инструменты, как топор и руч-

ная пила, обыкновенный нож и абразивный брусок. Попробуйте без них обойтись — они и сейчас с успехом применяются во многих сферах нашей грудовой деятельности, хотя и отмечены печатями многих прошедших веков.

Каждая эпоха имеет свои, только ей присущие достижения в развитии материальной культуры, техники, технологии. В полной мере это относится к инструментам и методам обработки материалов — они или совершенствуются, или уступают место принципиально новым. Инструменты — это орудия труда, неперемнные участники трудового процесса и в то же время сами являются объектами труда, изделиями: с помощью одних инструментов создаются другие. Как правило, те инструменты, которые предназначены для изготовления других, более сложны, более точны и стоят дороже. Сделать их непросто. Поэтому на каждом инструментальном предприятии, в инструментальных цехах машиностроительных заводов, в научно-исследовательских институтах и учебных заведениях над созданием и совершенствованием инструментов трудится большая армия рабочих, инженеров и ученых.

Теперь, когда мы говорим, что в нашей стране есть мощная инструментальная промышленность, то это воспринимается как само собой разумеющееся. Однако так было не всегда. По сути дела, до революции Россия своей инструментальной промышленностью не имела и почти 90 % всего потреблявшегося инструмента ввозила из-за рубежа. Отечественное инструментальное производство было сосредоточено в инструментальных цехах оружейных и некоторых машиностроительных заводов, таких, как Тульский, Златоустовский, Сестрорецкий, Путиловский, Ижевский и др. Лишь в 1916 г. начал работать первый в стране инструментальный завод в Миассе. После революции, в 1919 г., был пущен инструментальный завод в Москве. Специализируются на производстве инструментов Сестрорецкий и Златоустовский заводы. В 1932 г., когда страна завершала первый пятилетний план развития народного хозяйства, начали выдавать продукцию два инструментальных завода — «Фрезер» и «Калибр», тогда не имевшие равных себе в мире.

В настоящее время СССР обладает достаточно развитой инструментальной промышленностью.

Жизнь, как известно, не стоит на месте. И производство тоже. То, что в нем нас удовлетворяло вчера, сегодня требует перемен. Вот почему в Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года поставлена задача в первоочередном порядке обеспечить коренную реконструкцию и опережающее развитие машиностроительного комплекса, и прежде всего станкостроения, приборостроения, электротехнической и электронной промышленности. Необходимо увеличить выпуск металлорежущих станков с числовым программным управлением, станков типа «обрабатывающий центр», тяжелых и уникальных станков, прессов, автоматических линий, станков высокой и особо высокой точности. Ускоренными темпами надлежит развивать специализированное производство инструментов, повысить в 3—4 раза выпуск высокопроизводительного режущего инструмента с неперетачиваемыми пластинами из твердых сплавов и металлокерамики, с износостойкими многослойными покрытиями.

Даже этого краткого перечисления задач, которые должны быть решены в двенадцатой пятилетке, достаточно, чтобы представить себе размах инструментального производства в нашей стране.

Без специального инструмента не обходится ни одно производство, каким бы простым или сложным оно ни было. А такие отрасли, как машиностроение, нуждаются не только в инструментах — резцах, сверлах, шлифовальных кругах и т. д., но и в станочных линиях, комплексах и агрегатах, которые позволяют автоматизировать производственный процесс, резко, скачком повысить производительность труда и качество продукции, быстро, без остановки производства перестраиваться на выполнение новых заданий.

В Основных направлениях признана в высшей степени актуальной задача широкого использования прогрессивных технологий, которые созданы или могут быть созданы с учетом самых последних достижений современной науки — физики, химии, биохимии, молекулярной биологии, кибернетики и т. д.

Внедрение новых, прогрессивных технологий постоянно диктуется сейчас потребностями времени, вытекающими из необходимости всемерного ускорения социально-экономического развития страны, но такого

ускорения, как сказано в Политическом докладе ЦК КПСС XXVII съезду нашей партии, «на прежней материально-технической основе... добиться невозможно».

Реконструкция народного хозяйства, перевод его на рельсы интенсивного развития возможны, подчеркивалось на съезде, только на основе «...новейших достижений науки и техники, прорывов на авангардных направлениях научно-технического прогресса, перестройки хозяйственного механизма, системы управления».

ЛИТЕРАТУРА

Беккерт М. Железо. Факты и легенды.— М.: Металлургия, 1984.

Бухаркин Л. Н. Энергия покоряет материалы.— М.: Машиностроение, 1983.

Воронин Н. Н., Рабинович М. Г. Древности Московского Кремля.— М.: Наука, 1971.

Голованов Л. В. Соперники резца.— М.: Машиностроение, 1973.

Евдокимов В. Д., Полевой С. Н. Знакомьтесь — инструменты.— М.: Машиностроение, 1981.

Евдокимов В. Д., Полевой С. Н. Моя профессия — инструментальщик.— М.: Машиностроение, 1985.

Колчин Б. А. Техника обработки металла в Древней Руси.— М.: Изд-во машиностроит. и судостроит. лит., 1953.

Меркулов А. П. Без резца и штампа.— М.: Машиностроение, 1983.

Перля З. Человек режет металл.— М.: Детгиз, 1958.

Родиц П. Р. Металлорежущие инструменты.— Киев: Вища школа, 1979.

Семенов С. А. Первобытная техника // Материалы исследования по археологии СССР.— № 54.— М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1957.

Тэйлор Р. Шум.— М.: Мир, 1978.

Черепнев А. И. К истории развития металлорежущего инструмента в первой половине XIX века // Труды Института истории естествознания и техники.— Т. 13.— М.: Изд-во АН СССР, 1956.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Пришельцы из каменного века	5
Удар, еще удар	24
Нет худа без добра	34
Союз искры и воды	41
Укрошенный коготь	48
Разнообразие, подчиненное единому принципу	66
Посвященные отверстию	81
Один в поле не воин	92
Бег с препятствиями	99
Рожденные наукой	126
Вопреки принципу	128
Тихой сапой	140
В союзе с химией	151
Неслышимый конкурент рзца	154
На острие луча	161
Без меры и лаптя не сплетьшь	169
Заключение	182
Литература	188

Научно-популярное издание

Евдокимов Вадим Дмитриевич
Полевой Сталин Наумович

ОТ МОЛОТКА ДО ЛАЗЕРА

Главный отраслевой редактор В. П. Демьянов
Редактор Н. Ф. Яснопольский
Мл. редактор Н. А. Васильева
Художник Н. В. Беляева
Худож. редактор М. А. Бабичева
Техн. редактор И. Е. Жаворонкова
Корректор С. П. Ткаченко

ИБ № 8618

Сдано в набор 18.08 86. Подписано к печати 12.03 87. А—07888. Формат бумаги 81×108¹/₃₂. Бумага тип. № 1 Гарнитура литературная. Печать высокая Усл. печ. л. 10,08 Усл. кр.-отт. 10,40 Уч.-изд. л. 10,38 Тираж 60 000 экз. Заказ 6—543. Цена 40 коп. Издательство «Знание», 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4 Индекс заказа 877709 Киевская книжная фабрика, 252054 Киев-54, ул. Воровского, 24.