
ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное развитие производства машин предъявляет новые, более высокие требования к технологии машиностроения вообще и методам изготовления деталей в частности.

Развитие современной техники непосредственно связано с созданием и применением новых конструкционных материалов, обладающих высокой прочностью, коррозионной стойкостью, жаропрочностью и другими физико-химическими и технологическими свойствами. Изготовление деталей машин из нержавеющих, жаропрочных и высокопрочных сталей, сплавов на основе тугоплавких и редкоземельных металлов, графита, углепластиков, кевларов и др. увеличивает трудоемкость их обработки на металлорежущих станках вследствие необходимости значительно-го снижения режимов резания. В некоторых случаях обработка заготовок из специальных сплавов традиционными методами (точение, фрезерование, сверление, строгание и др.) просто невозможна.

В настоящее время отрасль технологии машиностроения вступила в новую стадию своего развития, характеризующуюся системным комплексным подходом к решению все более усложняющихся производственно-технических задач на базе широкого использования различных специальных методов обработки и вычислительной техники. При этом важное значение отводится оптимальному сочетанию методов обработки заготовок деталей машин и их

последовательности для достижения наиболее эффективных результатов.

В развитии отрасли технологии машиностроения совершенствование известных и создание новых методов обработки является одной из важнейших задач, без успешного решения которой немыслимо и совершенствование технологии машиностроения в целом. Создание новых методов обработки и их широкое внедрение — национальная задача нашей страны.

С точки зрения эффективности производства совершенствование известных и создание новых методов обработки в сравнении с другими направлениями развития отрасли дает наиболее высокий экономический эффект.

К одним из известных методов обработки специальных сталей и сплавов относятся методы с использованием электрического тока.

Электрические методы обработки материалов применяются при решении сложных технологических задач, когда невозможно или затруднено использование методов механической обработки резанием. Термин «электрообработка» объединяет электрохимические, электроэррозионные, ультразвуковые и лучевые методы обработки. Причем обрабатываются практически все заготовки — от микроталей до заготовок весом в десятки тонн на доводочных операциях с шероховатостью поверхности до 13-го класса. Одна из характерных особенностей процессов обработки электрическими методами — независимость производительности обработки от механических свойств обрабатываемого материала. Поэтому жаропрочные, высокотвердые, антикавитационные, высококоэрцитивные и другие труднообрабатываемые резанием сплавы хорошо обрабатываются электрическими методами.

С помощью электрических методов изготавливаются детали сложной конфигурации, причем обрабатывается сразу вся поверхность заготовок, в отличие от строчечной механической обработки. Электрообработка позволяет осуществить сложные операции по обработке глубоких отверстий, отверстий с кривой осью, обработке нежестких конструкций и другие операции, так как съем материала

происходит микрочастицами непосредственно с поверхности заготовки без статического усилия инструмента. Благодаря этим основным особенностям процессы электрообработки механизируются и автоматизируются значительно проще, чем процессы механообработки.

Кроме того, этими методами обрабатываются сложные полости, осуществляются «трепанация» заготовок, протягивание, шлифование поверхности, полирование, упрочнение и ряд других операций, не имеющих аналогов в механообработке.

Все эти особенности электрических методов, сменивших в наиболее сложных случаях режущий инструмент, обеспечивают успешное решение таких основных задач, как сокращение трудоемкости обработки сложных заготовок, замена ручного труда механизированным, повышение надежности, прочности и других эксплуатационных характеристик, повышение мощности, коэффициента полезного действия и других энергетических характеристик установок, экономия расхода материалов.

В начале развития электрических методов обработки материалов наблюдалась тенденция изоляции технологических процессов электрообработки от остального производства, так как они существенно отличались от традиционных процессов механообработки. Однако для современного состояния промышленного производства характерно комплексное использование различных технологических процессов, комбинации которых обеспечивают наибольшую его эффективность. Электрические методы обработки при совмещении с другими используются наиболее успешно.

При совершенствовании электрических методов технологические характеристики приближаются к предельным значениям производительности, точности, шероховатости и т. д. По мере их совершенствования темпы повышения технологических характеристик снижаются. Это приводит к комбинированию отдельных методов с целью сочетания их преимуществ и компенсации недостатков.

Электрохимические и электрофизические методы обработки материалов за последние годы все больше приме-

няются как наиболее эффективные и экономичные, а не-редко и как единственно возможные способы обработки заготовок деталей (особенно из современных высокопрочных и труднообрабатываемых металлических и неметаллических конструкционных материалов). Расширяется внедрение в промышленность так называемой совмещенной или комбинированной электрохимической и электрофизической обработки в тех случаях, когда традиционные методы формообразования (обработка резанием, штамповка и др.) дополняются электрохимическим или электрофизическим воздействием на обрабатываемый материал в целях интенсификации операций. В ряде случаев совмещают отдельные разновидности электрохимической и электрофизической обработки. Дальнейшее расширение практического применения этих методов будет способствовать ускорению научно-технического прогресса в машиностроении, приборостроении и других отраслях народного хозяйства.

Номенклатура и количество машин и механизмов, ежегодно выпускаемых промышленностью, непрерывно увеличивается. Одним из основных качеств машины являются прочность, надежность и долговечность работы ее основных деталей.

Повышение точности изготовления, прочности и износостойкости деталей и, следовательно, машин сопряжено с решением ряда сложных технических проблем. Прогресс науки и техники значительно расширил возможности дальнейшего повышения долговечности машин.

Развитие учения о механических свойствах материалов, новые методы изучения напряжений и расчета допускаемых напряжений, применение новых материалов и, наконец, новые технологические процессы изготовления деталей позволили достигнуть исключительных успехов в области увеличения долговечности машин, экономии материалов, снижения веса и стоимости машин.

Применение специальной термической и термохимической обработки, поверхностного наклепа, методов поверхностно-пластического деформирования, магнито-абразивной обработки, а также различных износостойких

нанопокрытий позволяет в несколько раз повысить сроки службы деталей и надежность работы машин.

Наряду с увеличением сроков службы повышаются допускаемые нагрузки на детали, что способствует уменьшению габаритов и веса машин. Если в 1900 г. вес двигателя внутреннего сгорания составлял 250 кг на 1 л. с., то в 1936 г. вес авиационного двигателя был уменьшен до 1,0–1,3 кг на 1 л. с., а вес современного авиационного двигателя равен лишь 0,2–0,3 кг на 1 л. с.

Материалы данного учебного пособия основаны на проведенных в нашей стране и за рубежом разработках прикладного характера, направленных на дальнейшее совершенствование и развитие специальных методов обработки заготовок деталей машин, а также на расширение области их промышленного применения.

ГЛАВА 1

МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Сущность технологии изготовления деталей машин состоит в последовательном использовании различных технологических способов воздействия на обрабатываемую заготовку с целью придать ей заданную форму и размеры указанной точности. Одним из таких способов является механическая обработка заготовок резанием. Она осуществляется металлорежущим инструментом и ведется на металлорежущих станках. Обработка резанием заключается в срезании с обрабатываемой заготовки некоторой массы металла, специально оставленной на обработку и называемой припуском [29], [55].

1.1. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МЕТАЛЛЫ И ИХ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В машиностроении для изготовления несущих нагрузку деталей используют конструкционные металлы [21], [30], [35].

К основным конструкционным металлам относят:

- а) черные металлы — сплавы на основе железа (углеродистые, легированные и нержавеющие стали, специальные сплавы, чугуны);
- б) цветные металлы — сплавы на основе меди, алюминия, титана и других элементов.

Конструкционные металлы имеют различные механические свойства, зависящие от их химического состава и структурного состояния. Сочетание таких характе-

ристик, как химический состав, механические свойства и структурное состояние металла, определяет его сопротивление обработке резанием. Обрабатываемость металлов резанием находит свое проявление в общих закономерностях процессов стружкообразования, формирования новых поверхностей и качества обработанных поверхностей.

В машиностроении принята стандартная маркировка конструкционных металлов, где указывается процентное содержание в металле основных легирующих элементов. Маркировка конструкционных металлов состоит из сочетания букв русского алфавита и цифр. Для легирующих элементов приняты следующие буквенные обозначения: азот — А; ниобий — Б; вольфрам — В; марганец — Г; медь — Д; селен — Е; молибден — М; никель — Н; фосфор — П; бор — Р; кремний — С; титан — Т; углерод — У; ванадий — Ф; хром — Х; цирконий — Ц; алюминий — Ю.

В маркировке за каждой из букв обычно указаны цифры, которые показывают содержание (в процентах) соответствующего легирующего элемента, закодированного этой буквой, равного одному проценту. Цифры, стоящие в маркировке первыми, указывают содержание в металле углерода в сотых долях процента.

Элементы, содержание которых в металле менее одного процента, в маркировку не включаются. Например, конструкционная углеродистая сталь 45 содержит 0,45% углерода; хромистая сталь 40Х — 0,4% углерода и 1% хрома; хромоникелевая сталь 30ХН — 0,3% углерода, 1% хрома и 1% никеля.

По составу и содержанию легирующих элементов конструкционные стали делят на группы (сталь — от нем. *stahl*):

- стали, содержащие только углерод, образуют группу наиболее широко применяемых в машиностроении *углеродистых конструкционных сталей* (стали 40, 45 и др.);
- стали, содержащие кроме углерода около одного процента хрома, образуют группу более качественных *хромистых конструкционных сталей* (стали 20Х, 40Х и др.);

- стали, содержащие 0,2–0,5% углерода и по 1% хрома и никеля, образуют группу *хромоникелевых сталей* (стали 20ХН, 30ХН и др.);
- стали, содержащие кроме углерода по 1% еще три легирующих химических элемента, образуют группы *хромокремнемарганцовистых* (стали 20ХГСА, 30ХГСА и др.), *хромоникелевольфрамовых* (стали 20ХНВА и др.), *хромоникелемолибденовых* (стали 40ХНМА и др.) *сталей*.

Наиболее широко применяемые в машиностроении марки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей и их механические свойства приведены в таблице 1.1. Из данных таблицы видно, что легированные стали имеют более высокие механические свойства, чем углеродистые. С повышением механических свойств металлов (твердости, предела прочности) возрастает сопротивление металлов обработке резанием, т. е. ухудшается их обрабатываемость.

Таблица 1.1
Механические свойства конструкционных сталей

| Группа сталей | Марка | Твердость, НВ | Предел текучести, σ_t , ГПа | Предел прочности, σ_b , ГПа | Относительное удлинение, δ , % |
|---------------------------|--------|---------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Углеродистые | 40 | 187 | 0,34 | 0,58 | 19 |
| | 45 | 197 | 0,36 | 0,61 | 16 |
| | 50 | 207 | 0,38 | 0,64 | 14 |
| Хромистые | 20Х | 179 | 0,65 | 0,80 | 11 |
| | 40Х | 217 | 0,80 | 1,00 | 10 |
| | 45Х | 229 | 0,85 | 1,05 | 9 |
| Хромоникелевые | 20ХН | 197 | 0,60 | 0,80 | 14 |
| | 30ХН | 207 | 0,80 | 1,00 | 14 |
| | 45ХН | 217 | 0,85 | 1,05 | 10 |
| Хромокремнемарганцовистые | 20ХГСА | 207 | 0,65 | 0,80 | 12 |
| Хромоникелевольфрамовые | 30НВА | 241 | 0,80 | 1,00 | 10 |
| Хромоникелемолибденовые | 40ХНМА | 269 | 0,95 | 1,10 | 12 |

В машиностроении применяются также высоколегированные качественные конструкционные стали. Высокое содержание легирующих элементов придает сталям необходимые эксплуатационные свойства: коррозионную стой-

кость, механическую прочность, пластичность. В то же время в связи с увеличением сопротивления обработке резанием имеет место существенное снижение параметров режимов обработки этих сталей режущим и инструментами.

Высоколегированные качественные конструкционные стали делятся на шесть классов [21], [35], [38], [50]:

1) стали *мартенситного* класса марок X5, X5M, X5ФВ, X6СМ, 1Х8ВФ, 4Х9С2, 4Х10С2М, 1Х12Н2ВМФ, 2Х13, 3Х13, 9Х18, 1Х17Н2 и др.;

2) стали *мартенситно-ферритного* класса марок X6СЮ, 1Х11МФ, 1Х12ВНМФ, 15Х12ВМФ, 2Х12ВМБФР, 1Х12В2МФ, 1Х13;

3) стали *ферритного* класса марок 1Х12СЮ, X14, X17, X28, X18СЮ, X25Т и др.;

4) стали *аустенитно-мартенситного* класса марок 2Х13Н4Г9, X15Н9Ю, X17Н7Ю, 2Х17Н2;

5) стали *аустенитно-ферритного* класса марок X20Н14С2, 1Х21Н5Т, X23Н13 и др.;

6) стали *аустенитного* класса марок X12Н22Т3МР, 4Х18Н25С2, X25Н20С2, X16Н15М3Б, 1Х14Н18В2БР и др.

Основными легирующими элементами высоколегированных марок конструкционных сталей являются хром (до 28%), никель (до 25%) и марганец (до 14%).

Для удовлетворения нужд развивающейся техники были разработаны и применяются в качестве конструкционных металлов специальные жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы двух групп:

- сплавы на *железоникелевой* основе с содержанием 35–38% никеля;
- сплавы на *никелевой* основе с содержанием 60–80% никеля.

Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы весьма пластиичны и трудно поддаются обработке резанием.

В машиностроении для изготовления корпусных деталей нашел широкое применение чугун.

Чугун (название из тюркского языка) — сплав железа с углеродом (2–4%). Содержит постоянные примеси (Si, Mn, S, P и др.) до 0,1%. Основная масса чугуна (85%) перерабатывается в сталь (передельный чугун), остальная при-

меняется для изготовления фасонного литья (литейный чугун). По микроструктуре [21] различают серый чугун (СЧ), в котором углерод присутствует в виде пластинчатого или шаровидного графита, белый чугун (БЧ), в котором углерод присутствует в виде цементита или карбида железа, и ковкий чугун (КЧ), получаемый отжигом белого чугуна (хлопьевидный графит).

Обрабатываемость чугунов резанием принято оценивать по их твердости. С повышением твердости обрабатываемость чугуна ухудшается, что существенным образом оказывает влияние на их обрабатываемость. Чугуны принято условно разделять на мягкие с твердостью в пределах НВ 140–160, среднетвердые с твердостью НВ 160–180 и твердые с твердостью НВ 180–220. Чугуны весьма малопластичны и хрупки. По сравнению со сталью при обработке чугунов силы резания и затраты энергии уменьшаются.

Многие детали машин и приборов изготавливают из так называемых цветных металлов — латуни, бронзы и сплавов алюминия.

Бронза (от *франц.* bronze) — сплав меди с другими элементами (например, Sn, Al, Be, Pb, Cd, Cr), соответственно, она называется оловянной, алюминиевой, бериллиевой, свинцовистой, кадмиевой или хромистой бронзой.

Латунь (от *нем.* latun) — сплав меди с цинком (от 15 до 50%), часто с добавками алюминия, олова, железа, марганца в очень небольших количествах. Реже добавляют никель, кремний, свинец. В сумме все элементы, кроме цинка, составляют не более 10%.

Алюминий (*лат.* aluminium от alumenum — квасцы). Легкий серебристо-белый металл, весьма пластичный, $g = 2,7 \text{ г/см}^2$, $t_{пл} = 660^\circ\text{C}$. В машиностроении применяется как сам алюминий (редко), так и его сплавы с другими металлами.

Дуралюмин (дюралюмин, дуралюминий, дюраль; от *нем.* Duren — город, где было начато промышленное производство сплава) — сплав алюминия с медью (2,2–5,2%), магнием (0,2–2,7%) и марганцем (0,2–1%). Общее содержание других металлов, как правило, не превышает 6–8%. Важная особенность дуралюминия — способность

упрочняются после закалки. Подвергается старению. Часто плакируются с алюминием. Как конструкционный материал широко используется в машиностроении (авиа- и ракетостроении, судостроении, приборостроении и др.).

Силумин — легкий литейный сплав на основе алюминия с добавлением кремния (4–13%), в редких случаях до 24%. Кроме того, могут быть добавлены некоторые другие элементы (от 0,5 до 1,0%) — медь, марганец, магний, цинк, титан и бериллий. Изготавливают детали сложной конфигурации в основном в авиа- и автостроении.

Инвар (от лат. *invariabilis* — неизменный) — магнитный сплав на основе железа с добавлением никеля (30–40%). Обладает малым температурным коэффициентом линейного расширения (10^{-6}). Выпускается также суперинвар (64% Fe, 32% Ni и 4% Co) и нержавеющий инвар (54% Co, 37% Fe и 9% Cr). Сплав используются в космической технике и в специальном приборостроении.

Титан (от греч. *titane* — титаны) — серебристо-белый металл, легкий, тугоплавкий, прочный, пластичный, $g = 4,5 \text{ г/см}^2$, $t_{\text{пл}} = 1660^\circ\text{C}$.

Цветные металлы и их сплавы всех марок сравнительно легко поддаются обработке резанием. Исключение составляют титановые сплавы.

По сравнительной обрабатываемости резанием, энергоемкости образования новых поверхностей на заготовках и на срезаемой стружке все конструкционные металлы могут быть условно разделены на четыре группы:

1) *легкообрабатываемые*, например латуни, бронзы, деформируемые сплавы алюминия, мягкие чугуны;

2) *средней обрабатываемости* — углеродистые и низколегированные конструкционные стали, силумины, чугуны средней твердости;

3) *ниже средней обрабатываемости* — высоколегированные нержавеющие конструкционные стали мартенситного, мартенситно-ферритного, аустенитно-мартенситного классов, твердые чугуны;

4) *труднообрабатываемые* — высоколегированные конструкционные стали аустенитного класса, жаропрочные и жаростойкие и тугоплавкие сплавы.

Стали, поставляемые металлургической промышленностью машиностроительным заводам, находятся в отожженном состоянии. Если структурное состояние и механические свойства сталей в состоянии поставки не удовлетворяют требованиям изготовления из них качественных деталей, то эти стали подвергаются промежуточной термообработке с целью улучшить их структурное состояние и механические свойства.

После промежуточной термообработки твердость и предел прочности улучшенной конструкционной стали возрастают в среднем на 40% по сравнению с аналогичными параметрами в состоянии поставки. Благодаря промежуточной термообработке существенно повышается качество обработанных поверхностей на деталях. В связи с изменением механических свойств использование термической обработки приводит к изменению обрабатываемости резанием одной и той же марки конструкционной стали.

Установлено, что между твердостью НВ и пределом прочности для сталей различных марок существует следующая зависимость [21], [38], [39], [59]:

$$\sigma_B \approx k \cdot H_B. \quad (1.1)$$

Для углеродистых конструкционных сталей коэффициент пропорциональности $k = 0,27$, для низколегированных сталей $k = 0,31$, для высоколегированных сталей $k = 0,41$.

В производстве на этапе входного контроля материал, поступающий в металлообработку, значительно проще проверить по твердости НВ, а не по значению предела прочности σ_B . Поэтому твердость принята в качестве основного параметра, выражающего влияние механических свойств металлов на уровень режимов их обработки резанием.

1.2. ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Обрабатываемость резанием является технологической характеристикой материала, которая определяется комплексом его физико-механических свойств. При механической обработке обрабатываемость определяют следующими

критериями: интенсивностью износа инструмента, характеризуемого допускаемой скоростью резания, величинами возникшей силы резания и температуры, а также получающимся при обработке качеством поверхности. Эти количественные значения обрабатываемости зависят от структуры и механических свойств материала, химического состава, способа получения заготовки и режима ее термообработки [4], [5], [7], [10], [16], [22], [24], [30], [36], [47].

Обрабатываемость данного материала определяется применяемым способом резания, так как один и тот же материал может плохо обрабатываться одним методом резания и хорошо другим. Следовательно, обрабатываемость данного материала резанием не является его константой; она зависит от комплекса первичных параметров, определяющих протекание физического механизма процесса, и вторичных параметров обработки. Обрабатываемость материала зависит также от вида операции и принимаемого критерия затупления инструмента. Так, например, обрабатываемость лезвийным инструментом может резко отличаться от обрабатываемости абразивным; многие материалы хорошо режутся на черновых операциях и плохо — на чистовых. Затрудненное стружкоудаление на операциях обработки отверстий может оказывать влияние на обрабатываемость резанием данного материала. В соответствии с этим изменяются и критерии обрабатываемости. Так, например, для черновых операций критерием обрабатываемости является интенсивность износа инструмента, для отделочных — шероховатость поверхности или эксплуатационные характеристики поверхностного слоя; для операций глубокого сверления и многих операций, выполняемых на автоматизированном оборудовании, — вид образующейся стружки, определяющей удобство ее удаления из зоны резания.

Следовательно, обрабатываемость резанием является комплексным показателем, учитывающим как физическую картину протекания данного процесса резания, так и технологические особенности выполняемой операции.

Поэтому количественное выражение обрабатываемости данного материала резанием для определенного метода обработки оценивается показателями жесткости всей тех-

нологической системы в целом, а именно станка, технологической оснастки (приспособлений и инструмента) и обрабатываемой заготовки.

Так, применительно к механической обработке заготовок, обрабатываемость материала по критериям — интенсивность износа и прочность инструмента — характеризуется количеством обработанных заготовок или объемом срезаемого материала за период стойкости инструмента, определенными в процессе испытаний при стандартных условиях. С точки зрения условий работы станка обрабатываемость материала оценивается при стандартных условиях критериями, выражаемыми величинами действующих на него сил и потребной на процесс резания мощностью, а также виброустойчивостью станка, простотой его обслуживания. С точки зрения работы приспособления оценивается необходимое усилие закрепления заготовки, надежность закрепления, виброустойчивость приспособления.

К обрабатываемости материала следует также отнести критерий, характеризующий вид стружки, образующейся при обработке данного материала резанием (сливная или элементная), возможность ее дробления и надежного удаления из зоны резания.

Обрабатываемость материала резанием с точки зрения детали характеризуется ее эксплуатационными характеристиками и прежде всего такими показателями, как точность обработки и качество поверхности.

К числу показателей, определяющих сущность термина «обрабатываемость резанием», относятся:

- сила резания (крутящий момент вращения) по сравнению с эталонным металлом (сталь 45), измеренная в равных режимных условиях;
- эффективная мощность, затрачиваемая на резание, по сравнению с эталонным металлом в равных режимных условиях;
- усадка стружки как мера пластической деформации, необходимой для срезания и образования новых поверхностей на стружке и обрабатываемой заготовке;
- наличие или отсутствие склонности к наростообразованию в равных условиях резания;

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru