

29/21/10

Одобрено кафедрой
«Железнодорожный путь,
машины и оборудование»

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Руководство к выполнению лабораторных
работ с методическими указаниями
для студентов III курса
специальности

100700 ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА (ПТ)

для студентов IV курса
специальности

330200 ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (ЭК)

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ**

Руководство к выполнению лабораторных
работ с методическими указаниями
для студентов IV курса
специальности

330100 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
НА ТРАНСПОРТЕ (БЖТ)



Москва - 2003

Рецензент — канд. техн. наук, проф. В.С. СОКОЛОВ

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ОТОЖЖЕННОЙ СТАЛИ, БЕЛОГО, СЕРОГО И КОВКОГО ЧУГУНА

© Российский государственный открытый технический
университет путей сообщения Министерства путей сообщения
Российской Федерации, 2003

Задачи работы

1. Закрепить теоретические положения курса по микроструктуре стали в отожженном состоянии и чугуна на основе диаграммы железо-углерод.
2. Изучить основы микроанализа.
3. Экспериментально подтвердить коренные качественные изменения в структуре и свойствах стали как результат количественных изменений (температура, содержание углерода).
4. Получить навыки в определении состава стали по ее структуре.

Содержание работы

Методика микроструктурного анализа

В различных металлах и сплавах нас, в первую очередь, интересуют их свойства. Чем полнее эти свойства отвечают запросам современного уровня развития техники, тем более качественным и более ценным будет данный сплав. Все основные свойства сплава определяются их внутренним строением (структурой), которую исследуют с помощью металлографического микроскопа.

Строение сплавов, наблюдаемое под микроскопом, называется микроструктурой.

Микроанализ сплавов был впервые применен в 1831 году русским горным инженером П.П. Аносовым, который, используя микроскоп для изучения структуры сплавов, положил начало развитию одного из основных и самого распространенного метода исследования и технического контроля металлических сплавов в промышленности.

Исследование микроструктуры металлов имеет большое значение для оценки их механических свойств, качества и технологии изготовления деталей машин. «Структура определяет свойства» — таков один из основных тезисов науки металловедения

Д-р техн. наук, проф. НИСАЕВ И. П.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ

Руководство к выполнению лабораторных
работ с методическими указаниями

Редактор *В.И. Чучева*
Компьютерная верстка *Е.Ю. Русалева*

Тип. зак.	Изд. зак. 357	Тираж 2 000 экз.
Подписано в печать	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. л. 3,25		Формат 60×90 ¹ / ₁₆

Издательский центр РГОТУПС,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

ООО НТЦ «Кван» 109391, Москва, Рязанский проспект, 2

ния. Микроструктурный анализ позволяет определять структуру металлов на различных стадиях термической обработки, оценивать качество по наличию микроскопических неметаллических включений, определять величину зерен микроструктуры, от которой существенно зависят механические свойства.

Микроструктурный анализ металлов включает этапы:

- а) приготовление микрошлифов (шлифование, полирование);
- б) травление микрошлифов для выявления структуры;

Микроструктура металлов выявляется на металлографических микроскопах при увеличении до 2 000 раз или на электронных микроскопах при увеличении до 20 000 раз и более.

Изучение микроструктуры металлов на металлографических микроскопах основано на принципе отраженного света.

Поверхность изучаемого образца металла должна иметь отражающую способность, что достигается путем ее шлифовки, полировки и последующего травления.

Для изучения микроструктуры из исследуемой детали вырезается образец (микрошлиф) в виде куба или цилиндра, имеющий поперечные размеры от 10 до 20 мм. Одна из поверхностей образца подвергается шлифованию с последующим полированием.

Микроструктура металла выявляется в результате воздействия на полированную поверхность тех или иных химических реактивов. Различные структурные составляющие металла и границы зерен по разному поддаются травящему действию реактивов. На результаты травления оказывает также влияние ориентировка кристаллических плоскостей зерен. Вследствие неровностей протравленной поверхности образца получается рассеивание отраженных лучей света и образование теней от выступающих участков поверхности, что позволяет выявлять размеры зерен и структуру металла. Для травления стали и чугуна применяют 4 % раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Продолжительность травления составляет 3–5 с.

В работе изучается микроструктура деталей, изготовленных из конструкционной стали в отожженном (медленно охлажденном) состоянии применительно к диаграмме состояния железо-

углеродистых сплавов. Изучаются также особенности микроструктуры белого, серого, ковкого и высокопрочного чугунов.

Изучаемая коллекция микрошлифов содержит образцы:

дозвтектоидной стали, содержащей углерода до 0,83 %; эвтектоидной (С — 0,83 %) и заэвтектоидной стали (С ≥ 0,83 %).

При рассмотрении микроструктуры необходимо различать ее составляющие (фазы, т.е. физически и химически однородные части структуры), к которым относятся:

1. Твердые растворы — феррит и аустенит.
2. Химическое соединение — цементит (Fe_3C).
3. Графит.
4. Равновесные механические смеси фаз феррита и цементита — перлит, наблюдаемый под микроскопом в виде темных участков, а также смесь перлита и цементита — ледебурит.

Сталь.

Микроструктура отожженной стали имеет вид участков полиэдрической (равноосной) формы с границами в виде тонких извилистых линий.

При содержании углерода до 0,006 % структура имеет вид светлых зерен феррита. Такая сталь (технически чистое железо) характеризуется малой прочностью, низкой твердостью и высокой пластичностью. Она имеет предел прочности $\sigma_{\text{в}} = 200$ МПа, твердость 800 НВ (МПа) единиц по Бринеллю (НВ), относительное удлинение $\delta = 35$ %.

По мере увеличения содержания углерода до 0,83 % возрастает количество перлита в виде темных участков при соответствующем уменьшении светлых ферритных участков. При содержании углерода свыше 0,50 % феррит расположен в виде сетки. При увеличении микроскопа свыше 300^x) выявляется пластинчатое строение перлита в виде чередующихся пластинок феррита и цементита.

При содержании углерода 0,83 % все поле зрения микроскопа занято перлитом — сталь эвтектоидная.

Увеличение количества перлита сопровождается увеличением твердости и прочности стали. Твердость перлита составляет 2 000 НВ, предел прочности $\sigma_{\text{в}} \approx 900$ МПа. Повышение твердо-

сти и прочности объясняется увеличением количества твердой структурной составляющей цементита, твердость которого выше 8 000 НВ.

По виду микроструктуры доэвтектоидной стали определяют примерное содержание углерода и марку стали. Для этого устанавливают путем сравнения со стандартной шкалой или примерно на глаз наличие перлита в составе микроструктуры шлифа в процентном отношении. На микрофотографии количество перлита может быть определено более точно путем измерения площади перлитных участков планиметром. Содержание углерода С в доэвтектоидной стали находят из пропорции, учитывая, что 100 % перлита в структуре может быть при наличии в стали 0,83 % углерода.

Так, например, установлено, что перлит П занимает n % площади в изображении микроструктуры. Тогда составим пропорцию:

$$\begin{aligned} 100\% \text{ П} &— 0,83\% \text{ С}, \\ n\% \text{ П} &— X\% \text{ С}; \end{aligned}$$

откуда определяемое содержание углерода X составит:

$$X = \frac{0,83 \cdot n}{100} \cdot \% \text{ С}.$$

В зависимости от количества углерода определяют марку стали по ГОСТ-1050-88, по которому марка соответствует содержанию углерода, выраженному в сотых долях процента (табл. 1.1). Если, например, $n = 40\%$, то количество углерода окажется равным 0,33%, что соответствует марке стали 35.

Структура заэвтектоидной стали (С от 0,83 до 2,14% С) состоит из перлита и вторичного цементита. Структурным при-

Примечание к табл. 1.1.

Содержание других элементов в %:

Si кп не более 0,77 Mn кп 0,25–0,50 Cr до 0,25

Si пс 0,05–0,17 Mn пс 0,35–0,65 S до 0,04

Si сп 0,17–0,37 Mn сп 0,80 P до 0,035

Таблица 1.1
Сталь углеродистая качественная конструкционная по ГОСТ 1050-88

Марка стали	Углерод	Механические свойства после нормализации, не менее					относительное удлинение, %	относительное сужение, %	ударная вязкость, Дж/см ²
		предел текучести, МПа	предел прочности, МПа	относительное удлинение, %	относительное сужение, %	ударная вязкость, Дж/см ²			
05кп	≤0,06	19	-	-	-	-	-	-	
08кп, пс, 08	0,05-0,11	196	324	33	60	-	-	-	
10кп, пс, 10	0,07-0,14	206	321	31	55	-	-	-	
15кп, пс, 15	0,12-0,19	225	373	27	55	-	-	-	
20кп, пс, 20	0,17-0,24	245	412	25	55	-	-	-	
25	0,22-0,30	274	451	23	50	88	-	-	
30	0,27-0,35	294	490	21	50	78	-	-	
35	0,32-0,40	314	529	20	45	69	-	-	
40	0,37-0,45	321	568	19	45	59	-	-	
45	0,42-0,50	353	598	16	40	49	-	-	
50	0,47-0,55	373	627	14	40	38	-	-	
55	0,52-0,60	382	647	13	35	-	-	-	
58 (55пп)	0,55-0,63	314	598	12	28	-	-	-	
60	0,57-0,65	402	676	12	35	-	-	-	
65	0,62-0,70	(42)	(71)	10	30	-	-	-	
70	0,67-0,75	(43)	(73)	9	30	-	-	-	
75	0,72-0,80	(90*)	(100*)	7*	30*	-	-	-	
80	0,77-0,85	(95*)	(100*)	6*	30*	-	-	-	
85	0,82-0,90	(100*)	(115*)	6*	30*	-	-	-	
60г	0,57-0,65	42	71	11	25	-	-	-	
65Г	0,62-0,70	42	75	9	-	-	-	-	
70Г	0,67-0,75	46	80	8	-	-	-	-	

знаком заэвтектоидной стали являются иглы цементита на фоне перлита. Количество игл цементита тем больше, чем больше углерода содержится в стали. Цементит может выделяться также в виде сетки вокруг зерен перлита аналогично ферриту доэвтектоидной стали, однако, линии очертания цементитной сетки более резки. Количество углерода в заэвтектоидной стали:

$$C = 0,8П + 6,67(100-П)/100, \%$$

Твердость заэвтектоидной стали более высокая, чем эвтектоидной, что позволяет применить ее для режущих инструментов.

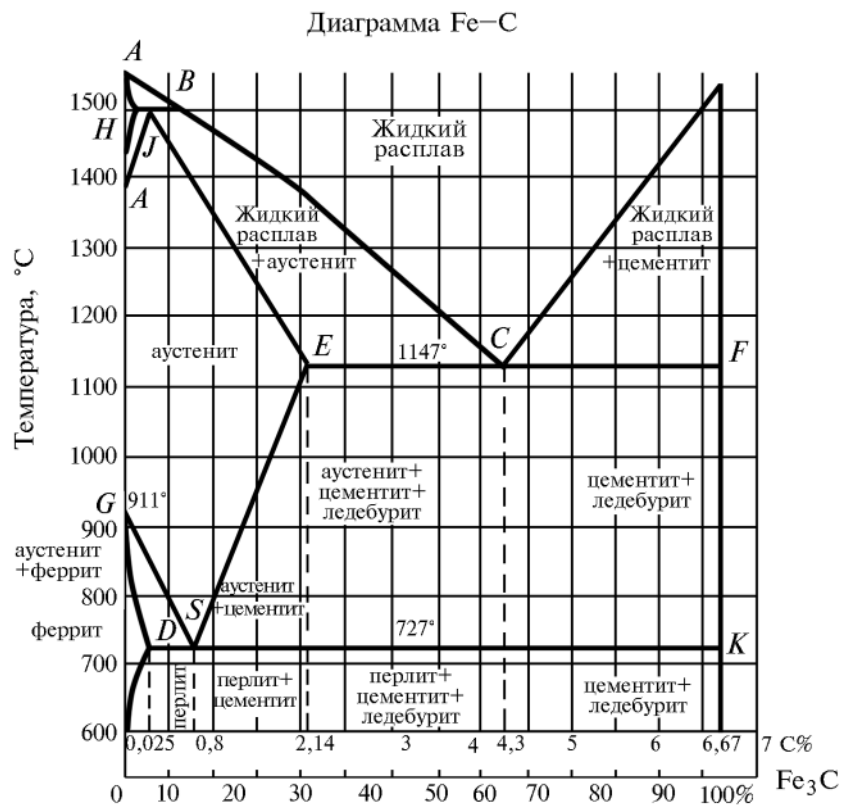


Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

На твердость и другие механические свойства стали оказывает влияние величина зерна. Лучшими свойствами обладает мелкозернистая сталь. Величину зерна определяют по стандартной шкале при увеличении в 100 раз.

По микроструктуре можно также определить и механические свойства стали: твердость, временное сопротивление, относительное удлинение.

Академик Н.С. Курнаков установил зависимость между родом диаграммы состояния сплавов и свойствами сплавов. Согласно этой зависимости механические свойства сплавов, образующих механические смеси, изменяются по прямолинейному закону и имеют среднеарифметическое значение от свойств структурных составляющих соответственно количеству последних. Поскольку сталь является сплавом, образующим механическую смесь, ее механические свойства, согласно правилу Курнакова, также можно определить графическим и аналитическим путем.

При аналитическом определении свойств исходят из того, что для перлита $\sigma_b \approx 900$ МПа, $\delta \approx 10\%$, $НВ = 2000$; для феррита $\sigma_b \approx 300$ МПа, $\delta \approx 30\%$, $НВ = 1000$.

Следовательно, временное сопротивление стали, имеющей в структуре 60% перлита и 40% феррита,

$$\sigma_b = \frac{60}{100} \cdot 900 + \frac{40}{100} \cdot 300 = 660 \text{ МПа,}$$

относительное удлинение

$$\delta = \frac{60}{100} \cdot 10 + \frac{40}{100} \cdot 30 = 18\%,$$

твердость по Бринеллю

$$НВ = \frac{60}{100} \cdot 2000 + \frac{40}{100} \cdot 1000 = 1600 \text{ МПа.}$$

Чугуны белые.

Основу микроструктуры белых чугунов составляет ледеburит. При температуре выше 723°C он представляет собой ме-

ханическую смесь аустенита и цементита. Так как при температуре 723°C аустенит превращается в перлит, то при более низких температурах белый чугун имеет структуру видоизмененного ледебурита, который, сохраняя прежний вид, является уже механической смесью перлита и цементита.

Эвтектический белый чугун имеет структуру ледебурита — темные точки на светлом фоне. Светлые участки его представляют цементит, а темные — перлит.

Доэвтектический белый чугун имеет структуру в виде чередующихся участков ледебурита и перлита. Перлит имеет форму темных дендритных образований на фоне пестрых участков ледебурита. В структуру доэвтектического чугуна входит также вторичный цементит, но он отдельно не наблюдается, так как в процессе выделения сливается с цементитом ледебурита.

По мере повышения содержания углерода от 2,14 до 4,3% увеличивается количество ледебурита при соответствующем уменьшении площади перлитных участков.

Заэвтектический белый чугун характеризуется наличием первичного цементита в виде крупных игл на фоне пестрой структуры ледебурита.

Все белые чугуны отличаются высокой твердостью и хрупкостью и не поддаются обычной механической обработке резанием.

Серый, ковкий и модифицированный (высокопрочный) чугуны

Основная часть содержащегося в них углерода находится в свободном состоянии в виде графита, который является главным признаком их микроструктуры.

Серый чугун имеет графит в форме чешуек, которые на микрошлифе наблюдаются в виде зигзагообразных линий. В зависимости от микроструктуры металлической основы серый чугун подразделяется на перлитный, ферритно-перлитный и ферритный.

Обычный серый чугун имеет более низкие (по сравнению со сталью) механические свойства при испытании на растяжение. При сжатии прочностные свойства серого чугуна достаточно

высокие, практически близкие к свойствам стали того же состава и структуры. Эти свойства тем выше, чем больше перлита в металлической основе чугуна.

Пластичность ($\delta\%$) обычного серого чугуна практически не зависит от строения металлической основы. Она имеет очень низкие значения, близкие к нулю. Твердость HB определяется структурой металлической основы и практически не зависит от графитных выделений.

Однако нужно иметь в виду, что влияние графита не ограничивается только снижением механических свойств чугуна на растяжение по сравнению со сталью. В ряде случаев, именно благодаря графиту, чугун имеет преимущества перед сталью. Чугун обладает лучшими литейными свойствами, благодаря смазывающему действию графита, чугун имеет хорошие антифрикционные свойства; наличие графита быстро гасит вибрации, резонансные колебания и др.

Указанные преимущества чугуна обеспечивают ему широкое применение для отливки деталей машин, главным образом тогда, когда детали не испытывают значительных растягивающих и ударных нагрузок.

Общее содержание углерода в сером чугуне может быть такое же, как и в белом. Получение белого или серого чугуна зависит от химического состава и скорости охлаждения. Особое влияние при этом оказывает кремний и марганец. Кремний способствует графитизации и, следовательно, получению серого чугуна, а марганец, как и повышение скорости охлаждения, способствует карбидообразованию и получению белого чугуна.

Микроструктура ковкого чугуна имеет основу, аналогичную серым чугунам, с выделениями графита в виде включений округлой формы. Ковкий чугун получают путем длительного отжига отливок белого чугуна. Маркировка серого и высокопрочного чугунов: Сч 28, Вч 80, Сч — серый чугун, Вч — высокопрочный чугун, цифры показывают предел прочности на растяжение в кг/мм². Ковкий чугун Кч 42-12. Кч — ковкий чугун, 42 — предел прочности на растяжение в кг/мм², 12 — относительное удлинение в %.

Порядок выполнения работы

1. Изучить приемы работы на микроскопе и подготовить его к работе.
2. Подготовить и протравить один из образцов и рассмотреть его на микроскопе до травления и после.
3. Изучить микроструктуру коллекции 7–8 образцов, в том числе 4 образца доэвтектоидной стали, по одному образцу — эвтектоидной, заэвтектоидной стали, белого, серого, ковкого и высокопрочного чугунов, обращая внимание на признаки их микроструктуры. Образцы подготовлены и протравлены по указанной ранее методике.
4. По заданию преподавателя зарисовать микроструктуру 3–4 образцов стали и 2–3 образцов чугуна, указав в таблице названия их микроструктуры, ее вид, примерное содержание перлита в % к общей площади поля зрения микроскопа (для стали), подсчитать содержание углерода, определить механические характеристики и марки стали, указать примеры применения металла с такой микроструктурой.

В процессе выполнения работы необходимо изобразить в журнале лабораторных работ диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов с указанием зон ее микроструктуры и дать характеристику микроструктур в таблице журнала лабораторных работ.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ СТАЛИ. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА И ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ (НАКЛЕПА) НА ПРОЧНОСТЬ И ПЛАСТИЧНОСТЬ

Задачи работы

1. Закрепить теоретические положения, определяющие механические свойства металлов.
2. Научить студентов проводить статическое испытание на растяжение и рассчитывать диаграмму растяжения.
3. Научить пользоваться ГОСТами.
4. Экспериментально установить влияние содержания углерода и наклепа на механические свойства стали.

Содержание работы

При испытаниях на растяжение определяют важные для технологических целей и инженерных расчетов механические свойства прочности и пластичности металлов.

Прочностью называется способность материала сопротивляться разрушению при действии на него внешних сил. К характеристикам прочности относятся: предел прочности при растяжении σ_b , предел текучести σ_T , предел пропорциональности $\sigma_{пц}$.

Пластичностью называется свойство твердого тела получать остаточные изменения формы и размеров без нарушения сплошности. Характеристиками пластичности являются относительное удлинение δ и относительное сужение ψ .

Образцы. Для испытаний на растяжение применяют пропорциональные образцы круглого сечения.

Между расчетной длиной образца l_0 и его диаметром d_0 существует соотношение:

длинные образцы

$$l_0 = 10d_0,$$

короткие образцы

$$l_0 = 5d_0$$

или плоские образцы.

В результате разрушения образца на диаграммном аппарате разрывной машины записывается диаграмма разрушения в координатах нагрузка-удлинение. Используя эту диаграмму и образец после разрушения определяются все необходимые механические характеристики: σ_b , σ_T , $\sigma_{\text{пл}}$, $\sigma_{0,2}$, δ , ψ .

Предел прочности при растяжении σ_b , МПа, (временное сопротивление) определяется как напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}.$$

Предел текучести (физический) σ_T , МПа, определяют как наименьшее напряжение, при котором образец удлиняется без заметного увеличения нагрузки

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}.$$

Для материалов, у которых явно не выражена площадка текучести, определяется условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа, под ним понимается то напряжение, при котором образец получает остаточное удлинение в 0,2% первоначальной расчетной длины:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}.$$

Нагрузка $P_{0,2}$, соответствующая условному пределу текучести, определяется на основании диаграммы растяжения.

Предел пропорциональности $\sigma_{\text{пл}}$, МПа, есть наибольшее напряжение, которое материал может выдержать без отклонения от закона прямой пропорциональной зависимости между нагрузкой и удлинением:

$$\sigma_{\text{пл}} = \frac{P_{\text{пл}}}{F_0}.$$

Относительное удлинение δ подсчитывается как отношение приращения длины образца после разрыва к его первоначальной расчетной длине:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%.$$

Относительное сужение ψ есть отношение уменьшения площади поперечного сечения образца после разрыва к первоначальной площади его поперечного сечения

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%.$$

Предел текучести и предел прочности используются в расчетах для определения допускаемых напряжений в деталях конструкций при учете нормативных запасов прочности.

Проводимое в работе испытание образцов позволяет оценить влияние на механические свойства содержания углерода и механического наклепа.

Увеличение содержания в стали углерода приводит к повышению прочности и снижению пластичности за счет возрастающего количества твердой составляющей — цементита.

Влияние наклепа определяют на образце, предварительно растянутом на машине нагрузкой более P_T на 3 000–5 000 Н. Под наклепом понимают изменение механических и физических свойств металла в результате холодной пластической деформации. Наклеп приводит к повышению прочности и снижению пластичности.

Выносливость — способность сопротивляться усталости и накоплению повреждений при циклических нагрузках, приводящих к трещинам и разрушению.

Особенностью усталости являются две стадии — зарождение и развитие трещины, хрупкое разрушение при напряжениях, гораздо меньших пределов прочности и текучести.

Усталость развивается чаще из-за концентрации напряжений на поверхности детали, где максимальные нагрузки циклического характера. При испытаниях определяют предел выносливости при симметричном цикле на определенной базе — количестве циклов. Образец нагружают и испытывают до разрушения на специальных машинах при вращении, кручении или изгибе. Нагрузки постепенно снижают, пока образец не пройдет базу без разрушения. Для стали база $N = 10 \cdot 10^6$ циклов, для цветных металлов $N = 100 \cdot 10^6$ циклов. Предел выносливости при симметричном цикле обозначается σ_{-1} , поскольку

$$\sigma_{-1} = \frac{-\sigma_{\max}}{+\sigma_{\max}}.$$

Имеются зависимости: $\sigma_{-1} = (0,3 \div 0,5) \cdot \sigma_b$; $\sigma_{-1} \equiv \psi \cdot \sigma_b$.

Ударная вязкость. Ударная вязкость характеризует способность конструкционной стали сопротивляться воздействию ударных и взрывных нагрузок. Она имеет решающее значение применительно к деталям машин, работающих в условиях динамического нагружения. Ударная вязкость определяется как работа, затраченная на деформацию и разрушение стандартного образца, имеющего надрез в форме U или V , и измеряется в Дж/м².

$$1 \text{ кгм/см}^2 = 10 \text{ Дж/см}^2 = 1 \text{ даДж/м}^2 = 10^{+5} \text{ Дж/м}^2 = 0,1 \text{ МДж/м}^2.$$

В работе определяют влияние на величину ударной вязкости содержания углерода, различия структуры прокатного или термически обработанного металла, низкой температуры. Указанные факторы обеспечивают либо высокую ударную вязкость, либо приводят к хрупкому состоянию металла, непригодному для использования в условиях динамического нагружения.

По мере увеличения содержания углерода ударная вязкость снижается вследствие образования все большего количества хрупкой структурной составляющей — цементита. Например,

при повышении содержания углерода от 0,25% до 0,50% ударная вязкость углеродистой стали после нормализации снижается от 0,9 до 0,4 МДж/м².

Снижение температуры испытаний приводит к снижению ударной вязкости, о чем свидетельствуют случаи хрупкого разрушения некоторых деталей машин при ударных нагрузках в условиях низких температур.

Глубокие и острые надрезы приводят к уменьшению ударной вязкости и опасности хрупкого разрушения в результате концентрации напряжений в местах надрезов. Поэтому при изготовлении любых деталей машин не рекомендуется применять острые переходы и надрезы.

Низкую ударную вязкость имеет закаленная сталь в результате неравновесного и напряженного ее структурного состояния. Наилучшее сочетание ударной вязкости и других механических свойств имеет сталь после закалки и последующего высокого отпуска.

Ударную вязкость определяют на маятниковом копре, имеющем запас кинетической энергии 300 Дж.

Мерой сопротивления материала ударному нагружению служит ударная вязкость KCU или KCV (U и V в зависимости от формы надреза), которая определяется как отношение работы излома K образца данного типа к площади его поперечного сечения F в месте надреза:

$$KCU = \frac{K}{F_0} [\text{Дж/м}^2]; \quad KCV = \frac{K}{F_0} [\text{Дж/м}^2].$$

Ударная вязкость как техническая характеристика материала не применяется в инженерных расчетах, но имеет большое, нередко определяющее значение при приемке металла, изделий из него и условий эксплуатации.

Так, ударная вязкость должна быть для шатунов из хромистой стали 40Х не менее 0,6 МДж/м², для коленчатых валов ответственного назначения из хромоникелемолибденовой стали 40ХНМА — не менее 10 МДж/м².

Порядок выполнения работы

Работа выполняется группами студентов по 3–4 человека. Каждая группа проводит испытание и обработку результатов испытаний одного образца. Два образца изготовлены из малоуглеродистой, а третий — из среднеуглеродистой или легированной стали.

Работу выполняют в следующей последовательности:

1. Измерить микрометром или штангенциркулем диаметр образца.
2. На делительной машине нанести по всей длине образца равномерные деления и кернами отметить границы расчетной длины.
3. Закрепить образец в зажимах машины.
4. Закрепить миллиметровую бумагу, карандаш и подготовить диаграммный аппарат к работе.
5. Включить мотор масляного насоса и плавным открыванием вентиля распределительной коробки производить нагружение образца вплоть до разрыва.
6. В момент нагружения зафиксировать по остановке стрелки на отсчетной шкале нагрузки, соответствующие пределам текучести и прочности.
7. Соединить половинки образца, закрепить их в зажимное приспособление, измерить штангенциркулем диаметр образца в месте шейки F_1 и расчетную длину l_1 .
8. По приведенным ранее формулам подсчитать все механические характеристики и результаты подсчета записать в рабочий журнал.
9. По механическим свойствам установить марку стали.
10. Для выявления влияния наклепа разметка одного из образцов малоуглеродистой стали, производится после его растяжения на машине до нагрузки, на 3 000–5 000 Н несколько превышающей нагрузку, соответствующую пределу текучести. После этого испытание образца производится обычным порядком.

11. При определении ударной вязкости используются образцы с разным содержанием углерода. Образец установить на предметном столике, взвести маятник копра в рабочее положение, поставить оградительную сетку, освободить маятник, определить угол отклонения маятника и по таблице работу в зависимости от отклонения маятника.

Каждый студент проводит обработку результатов испытаний образцов, записывает в отчетный журнал результаты испытаний и делает заключение о факторах, оказывающих влияние на механические свойства стали. В отчетном журнале приводятся также диаграмма растяжения и расчетные формулы.

Лабораторная работа № 3

ТВЕРДОСТЬ МЕТАЛЛОВ И ФАКТОРЫ, ЕЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ

Задачи работы

Научить студентов самостоятельно проводить испытание твердости металлов. В процессе выполнения работы необходимо изучить:

1. Устройство прессы Роквелла и прессы Бринелля для определения твердости.
2. Порядок выбора диаметра шарика и нагрузки.
3. Порядок подготовки образца.
4. Порядок проведения испытания на прессах.
5. Устройство лупы и методику измерения полученного отпечатка.
6. Порядок определения твердости по таблице.

Содержание работы

Твердостью называется способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела без деформации последнего. Большинство способов определения твердости основано на вдавливание в испытуемый материал наконечника той или иной формы (шарик, конус, пирамида) при различных величинах и характере приложения нагрузки. Поэтому естественно, что получаемые при различных способах определения твердости цифровые значения ее для одного и того же материала различны как по величине, так и по физическому смыслу.

Следовательно, показатель твердости металла — число твердости — должен во всех случаях сопровождаться указанием метода, которым он определен. Сравнение чисел твердости, полученных различными методами, производится на основании опытных данных.

Показатель твердости для большинства способов характеризует сопротивление металла местной, сосредоточенной в не-

большом объеме, пластической деформации, которая зависит от структуры, химического состава и напряженного состояния металла. Изменение любого из этих факторов вызывает изменение твердости.

Определение твердости металлов, как один из методов их исследования, отличается надежностью, быстротой и несложностью проведения испытания, не требует изготовления специальных образцов, может проводиться непосредственно на готовом изделии.

Указанные преимущества определяют очень широкое применение испытания на твердость, как в производственных условиях, так и для научных исследований.

Определение твердости по Бринеллю

При определении твердости металлов по Бринеллю стальной закаленный шарик диаметром D вдавливается в испытуемый образец (изделие) под действием нагрузки P . Нагрузка выдерживается в течение определенного времени, после чего снимается. От вдавливания шарика на поверхности испытуемого металла образуется сферический отпечаток диаметром d , по величине которого и судят о твердости.

Число твердости по Бринеллю $HВ$, МПа, вычисляют как отношение нагрузки P к площади поверхности сферического отпечатка F :

$$HВ = \frac{P}{F} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

где P — нагрузка, Н;

F — площадь поверхности сферического отпечатка, мм²;

D — диаметр шарика, мм;

d — диаметр отпечатка, мм.

Диаметр отпечатка d измеряют специальным отсчетным микроскопом, на окуляре которого нанесена шкала с ценой деле-

ния 0,1 мм. Микроскоп устанавливают на поверхности испытуемого образца так, чтобы край отпечатка совпал с началом шкалы. Деление шкалы, совпадающее с противоположным краем отпечатка, указывает диаметр отпечатка d .

При измерении твердости по Бринеллю используют шарики с диаметром 2,5, 5 и 10 мм. Требуемый для данного испытания шарик выбирают в зависимости от толщины образца, величины прикладываемой нагрузки и испытываемого материала образца.

Для получения сопоставимых результатов испытания необходимо соблюдать стандартные условия при выборе диаметра вдавливаемого шарика, нагрузки и продолжительности выдержки. Эти условия определяют согласно табл. 3.1.

Опытным путем установлено, что между временным сопротивлением σ_b и твердостью НВ для пластичных материалов существует определенная зависимость. Например, для незакаленной стали $\sigma_b = 0,36 \text{ НВ}$.

Метод Бринелля для определения твердости является весьма точным, но имеет ряд недостатков:

1. Ограниченность области применения. Не рекомендуется испытывать материалы, имеющие твердость больше 4 500, так как в этом случае шарик может деформироваться, что приведет к искажению результатов.

2. Невозможность определения твердости тонких изделий и поверхностного слоя металла. Толщина изделия должна быть не менее десятикратной глубины вдавливания.

3. Получение значительного отпечатка на изделии, что в ряде случаев недопустимо.

Твердость по Роквеллу характеризуется глубиной вдавливания в металл алмазного конуса или стального шарика под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок — предварительной и основной. Алмазный конус с углом при вершине 120° применяется для испытания металлов большей твердости ($\text{НВ} > 2\ 300$), а шарик диаметром 1,59 мм — для металлов средней твердости. Предварительная нагрузка в 10 Н обеспечивает плотное соприкосновение наконечника с образцом. Общая на-

Таблица 3.1

Стандартные условия для выбора диаметра вдавливаемого шарика, нагрузки и продолжительности выдержки

Материалы	Интервал твердости в числах Бринелля, МПа	Минимальная толщина испытываемого образца	Диаметр шарика D , мм	Соотношение между нагрузкой P и диаметром шарика D	Нагрузка P , Н	Выдержка под нагрузкой, с
Черные металлы	1400–4500	От 6 до 3	10	$P = 30 D^2$	30 000	10
		От 4 до 2	5		7 500	
		Менее 3	2,5		1 875	
Черные металлы	< 1 400	Более 6	10	$P = 10 D^2$	10 000	10
		От 6 до 3	5		2 500	
		Менее 3	2,5		625	
Цветные металлы	> 1 300	От 6 до 3	10	$P = 30 D^2$	30 000	30
		От 4 до 2	5		7 500	
		Менее 2	2,5		1 875	
Цветные металлы	350–1 300	От 9 до 3	10	$P = 10 D^2$	10 000	30
		От 6 до 3	5		2 500	
		Менее 3	2,5		625	
Цветные металлы	80–350	Более 6	10	$P = 2,5 D^2$	2 500	60
		От 6 до 3	5		625	
		Менее 3	2,5		156	

грузка в 1 500 Н применяется при алмазном наконечнике и в 100 кг — при стальном шарике. Прибор Роквелла рассчитан на предельное проникание алмазного наконечника на глубину 0,2 мм.

Физический смысл единицы твердости по Роквеллу:

$$\text{HRC} = 100 - \frac{h - h_1}{0,002},$$

где h, h_1 — глубина проникания наконечника под действием основной и предварительной нагрузки.

В целях измерения твердости мягких материалов применен наконечник — стальной шарик, а шкала В смещена на 30 единиц, что позволяет определить твердость при углублении наконечника до 0,26 мм.

$$\text{HRB} = 130 - \frac{h - h_1}{0,002}.$$

Наиболее распространены условия испытаний, приведенные в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Условия испытаний по Роквеллу

Нагрузка, Н	Шкала	Наконечник	Обозначение	Испытуемый металл
1 500	С	Алмазный конус	HRC	Сталь закаленная, HB более 2 300
1 000	В	Стальной шарик	HRB	Сталь средней твердости

Метод Роквелла по сравнению с методом Бринелля имеет следующие преимущества:

1. Более широкие пределы измерения твердости.
2. Быстрота испытаний вследствие совмещения операций вдавливания наконечника и получения отсчета числа твердости.
3. Получение отпечатков малых размеров.

К числу недостатков относятся:

1. Несколько меньшая точность получаемых результатов вследствие меньшего объема материала, принимающего участие в зоне деформирования.
2. Необходимость более тщательной подготовки поверхности в месте отпечатка.

Определение твердости по Виккерсу

Наиболее совершенным методом определения твердости является метод Виккерса. Твердость по Виккерсу определяется вдавливанием в испытуемый металл правильной четырехгранной алмазной пирамиды (с углом между гранями 136°) под действием нагрузки P , приложенной в течение определенного времени. После удаления нагрузки измеряются диагонали отпечатка d , оставшегося на образце.

Число твердости HV определяют путем деления нагрузки P (Н) на площадь боковой поверхности (мм^2) полученного пирамидального отпечатка:

$$\text{HV} = 1,854 \frac{P}{d^2},$$

где P — нагрузка, Н;

d — среднее арифметическое обеих диагоналей после снятия нагрузки, мм.

Диагональ отпечатка измеряют специальным микроскопом или оптическим микрометром.

Практически число твердости HV находят с помощью специальных таблиц по величине измеренной диагонали отпечатка с учетом приложенной нагрузки.

Метод Виккерса обеспечивает высокую точность измерения. На приборе Виккерса можно проводить испытания, как мягких металлов, так и металлов высокой твердости, а также металлов весьма малых сечений (0,3...0,5 мм) и тонких поверхностных слоев, образующихся при цементации, азотировании, цианировании и др. (0,3...0,5 мм).

Поверхность испытуемого образца должна быть гладкой и чистой. Подготовку поверхности следует производить способом, не изменяющим твердости металла. Изменение может вызвать нагрев при шлифовании или наклепе.

Прибор целесообразно применять в тех случаях, когда изделие требует приложения нагрузок значительно меньше тех, которые употребляются при испытании по Роквеллу.

Определение твердости по методу Шора

Твердость по методу упругого отскока бойка (метод Шора) определяют в тех случаях, когда на поверхности контролируемого изделия не должно быть следов отпечатков прибора, например, при контроле твердости шеек коленчатых валов после закалки с применением нагрева токами высокой частоты.

Твердость оценивается по высоте отскока бойка прибора (h). За основу градуировки шкалы прибора взята закаленная инструментальная сталь, высота отскока бойка при испытании которой разделена на 100 единиц. Перевод значений твердости по отскоку бойка $h_{от}$ в единицы Бринелля может быть сделан по приближенной зависимости

$$HB = 7 h_{от}.$$

На высоту отскока существенное влияние оказывают упругие свойства материала. Сопоставлять результаты испытаний можно только для материалов, имеющих примерно равные модули упругости.

Определение твердости по переносному твердомеру

Твердость по переносному твердомеру Польди определяется путем сравнения размеров отпечатков на эталоне и испытуемом изделии. Отпечатки шарика получаются одновременно при ударе молотком по бойку прибора. Так как усилие, прилагаемое к образцу и эталону, одинаково, то твердость испытуемого изделия $HB_{из.}$ выражается зависимостью

$$HB_{из.} = \frac{HB_{эт} d_{эт}^2}{d_{из}^2},$$

где $HB_{эт}$ — твердость эталона (определяется заранее в лабораторных условиях);

$d_{эт}$ — диаметр отпечатка на эталоне;

$d_{из}$ — диаметр отпечатка на изделии.

Показания переносного твердомера близки к числам твердости по Бринеллю.

Такой метод применяется для определения твердости массивных изделий и при испытаниях в полевых условиях.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методиками измерения твердости на приборах.
2. Определить твердость 2–3 деталей (образцов) машин на прессе Бринелля: получить отпечаток, измерить диаметр отпечатка с помощью микроскопа и, в зависимости от диаметра отпечатка, определить твердость по таблице.
3. Определить твердость на прессе Роквелла.
4. Произвести измерения твердости на других приборах.
5. Сопоставить результаты твердости, полученные разными методами, и дать заключение о факторах влияющих на твердость.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ

Задачи работы

1. Изучение физических процессов при термообработке стали и ее влияние на изменение механических свойств.
2. Определить твердость образцов углеродистой стали в исходном состоянии.
3. Произвести закалку в воде и в масле образцов углеродистой стали.
4. Определить твердость после закалки.
5. Произвести отпуск при 200, 400 и 600° С закаленных образцов.
6. Определить твердость после каждого вида отпуска.
7. Построить кривые влияния отпуска на изменение твердости.

Содержание работы

Термическая обработка включает ряд последовательно проводимых операций нагрева, выдержки и охлаждения металлических сплавов, находящихся в твердом состоянии, с целью изменения их структуры и получения необходимых механических, физических и других свойств. Нагрев образцов для термической обработки в лабораторных условиях производится в муфельной электрической печи сопротивления.

В данной работе студенты выполняют три вида термообработки: нормализацию, закалку и отпуск. Операция отжига, как требующая большего времени, не выполняется, но образцы после отжига предоставляются для проведения дальнейших испытаний.

Приведенные в табл. 4.1 нормы нагрева — это общее время нагрева, состоящее из собственно времени нагрева и времени выдержки при температуре закалки.

Нормализацию стали проводят путем нагрева до температуры на 30...50° С выше точек A_{c3} с последующей выдержкой при этой температуре и охлаждении на спокойном воздухе.

Нормы нагрева образцов разной формы

Температура нагрева °С	Форма образца		
	Круг	Квадрат	Пластина
	(на 1 мм диаметра) в мин	(на 1 мм толщины) в мин	
600	2,0	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,5	2,0
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

Нормализации подвергаются кованные, штампованные изделия и мелкие отливки. В результате этой операции устраняются внутренние напряжения, обеспечивается однородность микроструктуры стали и улучшается обрабатываемость резанием. Близкая к нормализации операция отжига отличается весьма медленным охлаждением (одновременно с печью).

После нормализации и отжига доэвтектоидная сталь имеет феррито-перлитную структуру. Механические свойства прочности нормализованной стали выше, чем отожженной.

Закалку проводят путем нагрева доэвтектоидной стали выше температуры критических точек A_{c3} на 30–50°С, эвтектоидной и заэвтектоидной — выше A_{c1} на 30–50°, необходимой выдержки при этой температуре и последующем быстром охлаждении в закалочной среде. Нагревать заэвтектоидную сталь выше точки A_{c3} нет надобности во избежание растворения твердых частиц цементита.

Различные закалочные среды обеспечивают скорости охлаждения, указанные в табл. 4.2.

В результате закалки сталь получает мартенситную структуру, весьма твердую (свыше 6000 НВ) и хрупкую. Мартенсит представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в α -Fe. Превращение аустенита в мартенсит является бездиффузионным процессом: при быстром охлаждении (со скоростью более 150 °С/с) кристаллическая гранцентрированная решетка аустенита превращается в решетку α -Fe. Диффузия атомов уг-

Таблица 4.2

Скорость охлаждения стали в различных закалочных средах

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения ($^{\circ}\text{C}/\text{с}$) в интервале температур	
	650-550 ⁰	300-200 ⁰
Вода при 18 ⁰ С	600	270
Вода при 50 ⁰ С	100	270
10-процентный раствор едкого натрия в воде	1 200	300
Минеральное масло при 18 ⁰ С	150	30

лерода при этом не успевает произойти, и они сохраняют прежние положения. В результате этого создается напряженное состояние кристаллической решетки, что приводит к высокой твердости и хрупкости закаленной стали.

Для уменьшения хрупкости после закалки всегда проводят отпуск, в результате которого уменьшаются внутренние напряжения и сталь приобретает необходимые физико-механические свойства.

Отпуск закаленной стали осуществляют путем нагрева до температуры ниже критических точек A_{c1} , выдержки при этой температуре и последующего медленного или быстрого охлаждения. Быстрое охлаждение в воде рекомендуется при отпуске легированных сталей во избежание отпускной хрупкости. Углеродистые стали охлаждают на воздухе.

Условно различают низкий, средний и высокий отпуск. Низкий отпуск производится при нагреве до 200–300⁰С. Получаемая при этом структура — отпущенный мартенсит, твердость свыше 5000 НВ. Низкому отпуску подвергаются режущие инструменты, калибры и т.п.

Средний отпуск осуществляется при нагреве от 300 до 500⁰С. В результате среднего отпуска сталь приобретает структуру троостита отпуска, для которого свойственна твердость около 4 000 НВ. Отпуск на троостит применяется при обработке пружин, рессор, штампов, ударного инструмента и т.п. При промежуточном нагреве получают структуры троосто-мартенсита или троосто-сорбита.

Высокий отпуск производится при нагреве 550–650⁰С. Получаемая при этом структура — сорбит отпуска; твердость около 3 000 НВ. Высокому отпуску подвергаются коленчатые валы, полуоси, шатуны, шатунные болты и многие другие детали машин.

Таким образом, по мере повышения температуры отпуска снижаются характеристики прочности, повышаются характеристики пластичности и ударная вязкость. Для различных марок стали величины этих характеристик будут разные, но общая тенденция их изменения остается одинаковой. Наилучшее сочетание свойств прочности и пластичности имеет сталь после закалки и высокого отпуска (структура сорбита).

Порядок выполнения работы

Работа выполняется группой в 10–12 человек. Каждый два студента производят нормализацию, закалку, низкий и высокий отпуск образца стали.

1. Определить температуру закалки стали, пользуясь для этого нижней частью диаграммы железо-цементит. Для среднеуглеродистых, доэвтектоидных сталей (марок 40, 45, 50) нормальной температурой закалки является температура на 30–50⁰С выше линии GS, т.е. $A_{c3} + (30-50)^{\circ}\text{C}$.

2. Определить время нагрева и выдержки образцов, пользуясь данными, приведенными в табл. 5.2.

3. Определить скорость охлаждения в различных средах. Для этого взять наиболее распространенные закалочные среды, охлаждающие с различной скоростью: воду (скорость охлаждения 600⁰С/с) и масло (скорость охлаждения 150⁰С/с).

4. Образцы поместить в печь, нагретую до температуры закалки для стали данной марки, и выдержать в печи требуемое время. При нагревании до температуры закалки образцов из стали 40, исходная феррито-перлитная структура превратится в структуру аустенита.

5. Произвести закалку образца в воде. Для этого необходимо: а) быстро перенести щипцами образец в закалочную ванну с водой во избежание охлаждения образца ниже температуры A_{c3} и получения неполной закалки; б) энергично перемещать

образец в ванне с целью устранения образующейся паровой рубашки, которая замедляет процесс охлаждения.

6. Образцы, охлажденные в масле, обтереть тряпкой, оба торца зачистить на шлифовальной бумаге. Определить твердость закаленных образцов по HRC.

7. Определить температуру отпуска стали. Поскольку при отпуске происходит изменение структуры и свойств стали и тем в большей степени, чем выше температура отпуска, следует применить различную температуру отпуска от низкой (200° С) до высокой (600° С).

8. Определить время выдержки при температуре отпуска из расчета 2–3 мин на 1 мм толщины образца и записать в соответствующую графу протокола.

9. Определить условия охлаждения. Обычно охлаждение после отпуска производится на воздухе, но можно охлаждать и в воде, и в масле, так как скорость охлаждения не влияет на твердость и структуру стали. Для ускорения работы образцы после отпуска следует охлаждать в воде.

10. Измерить твердость образцов после каждого вида отпуска, записывая результаты измерений в рабочий журнал и устанавливая по ним примерное значение предела прочности по зависимости

$$\sigma_b \approx \frac{1}{3} HB.$$

11. В отчете привести график и все необходимые данные режима термической обработки, дать наименование полученной микроструктуры и объяснить влияние термообработки на механические свойства стали.

Лабораторная работа № 5

ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА МЕТАЛЛОВ

Задачи работы

1. Изучение принципов устройства и работы сварочного оборудования для электродуговой сварки на постоянном и переменном токах, контактной сварки (точечной, шовной и стыковой).

2. Изучение приемов работы на электросварочных аппаратах и определение коэффициента наплавки. Контроль качества сварных соединений.

Содержание работы

При сварке переменным током источником питания являются сварочные трансформаторы; при сварке постоянным током — специальные сварочные генераторы или выпрямители.

К источнику питания сварочной дуги предъявляются следующие требования:

1. Источник питания должен быть рассчитан на продолжительное короткое замыкание в сварочной цепи. Замыкание происходит при зажигании дуги и, периодически — 20–40 раз в секунду — замыкают цепь расплавленные капли металла электрода.

2. Напряжение источника тока должно быстро меняться с изменением длины дуги (при уменьшении длины дуги оно должно падать, и при увеличении — возрастать).

3. Для обеспечения зажигания дуги напряжение холостого хода должно быть достаточно высоким и в то же время безопасным для сварщика (не более 80 В).

4. Схема источника питания должна обеспечивать возможность регулирования сварочного тока.

В качестве источников питания сварочной дуги применяются машины и аппараты, имеющие падающую статическую (внешнюю) характеристику.

Электродуговая сварка на постоянном токе выполняется сварочным генератором.

Наиболее распространены сварочные генераторы с раздвоенными полюсами типа СМГ-2, у которых круто падающая ха-

рактика получается за счет взаимодействия потока возбуждения и реакции якоря.

Генератор СМГ-2 имеет четыре полюса. Одноименные полюсы расположены рядом и образуют как бы два раздвоенных полюса. Обмотки возбуждения питаются от щеток якоря генератора (генератор работает с самовозбуждением), и каждая из них расположена на двух диаметрально противоположных полюсах.

Обмотка возбуждения электромагнитов выполнена так, что в момент короткого замыкания магнитный поток поперечных электромагнитов Φ_{\perp} приводит к ослаблению магнитного потока главных электромагнитов Φ_r и снижению напряжения на щетках генератора.

Регулирование сварочного тока достигается путем смещения щеток по направлению или против направления вращения якоря.

Сварочный генератор СМГ-2 имеет следующие основные характеристики:

Мощность при непрерывной продолжительной работе ...	10 кВт
Номинальное напряжение	40 В
Напряжение холостого хода	75 В
Пределы регулирования тока	110–350 А

Генератор приводится в движение электродвигателем переменного тока или двигателем внутреннего сгорания.

Смещение щеток по направлению вращения якоря приводит к уменьшению сварочного тока, так как при этом вследствие изменения направления магнитного потока реакции якоря увеличивается размагничивающая составляющая реакции якоря $\Phi_{\text{яп}}$.

У генераторов СМГ-2 щетки могут находиться в трех фиксированных положениях. Более тонкая регулировка сварочного тока осуществляется с помощью реостата, включенного в цепь регулируемой обмотки возбуждения поперечных полюсов.

По аналогичному принципу работают распространенные на практике сварочные генераторы типа СМГ-2Г, преобразователи ПСО-500 и другие. Сварочные генераторы работают на прямой или обратной полярности. В случае прямой полярности

плюс генератора подключается к изделию, а минус к электроду, при обратной полярности — наоборот.

Прямая полярность обеспечивает более интенсивный режим сварки, так как поток электронов соответствует направлению потока капель материала электрода. Она применяется для сварки малоуглеродистой стали марок 10, 20, Ст3 и т.п. Обратная полярность применяется при сварке легированной стали, чугуна, алюминиевых сплавов, тонких листов металла.

Электродуговая сварка на переменном токе выполняется сварочным трансформатором. При ручной сварке обычно применяются сварочные трансформаторы с отдельной реактивной катушкой (регулятором).

Для получения падающей характеристики трансформатора во вторичную (сварочную) цепь последовательно с трансформатором включается реактивная катушка-регулятор, которая представляет собой железный сердечник с намотанным на него проводом, рассчитанным на максимальный сварочный ток.

При прохождении через реактивную катушку сварочного тока большое индуктивное сопротивление катушки вызывает падение напряжения сварочной дуги, причем индуктивное сопротивление возрастает с увеличением сварочного тока.

Следовательно, круто падающая характеристика сварочного аппарата достигается тем, что при увеличении сварочного тока падение напряжения в реактивной катушке возрастает, а напряжение сварочной дуги снижается.

Регулировка сварочного тока осуществляется путем изменения сопротивления магнитопровода. Для этого железный сердечник реактивной катушки выполняется из двух частей: неподвижной (на ней расположены витки обмотки) и подвижной.

Увеличение зазора между подвижной и неподвижной частями вызывает увеличение магнитного сопротивления магнитопровода. Магнитный поток при этом уменьшается, вследствие чего индуктивное сопротивление катушки также уменьшается, а сварочный ток возрастает. При уменьшении воздушного зазора магнитный поток и индукционное сопротивление катушки возрастают, а сварочный ток уменьшается.

Регулировка тока, т.е. изменение зазора в сердечнике катушки, производится с помощью винта (на конец его надета рукоятка), перемещающего подвижную часть сердечника. Для надежной фиксации подвижной части сердечника в определенном положении реактивная катушка имеет стопор.

Рабочее место сварщика

1. Работы по электросварке выполняют в отдельной закрытой кабине.

2. Сварку выполняют на металлическом столе, к которому подсоединен один из проводов, ведущих к источнику тока. Второй провод идет от источника тока к электрододержателю, который представляет собой зажим, удерживающий электрод с рукояткой из материала, не проводящего электрический ток.

3. Свариваемая деталь находится на столе. Сварщик работает сидя. Стул и ноги сварщика должны находиться на резиновом коврик.

4. В ходе работы используется следующий инструмент:

— молоток для отбивки шлака со швов;

— стальные щетки для очистки детали от ржавчины и грязи перед началом сварки для обеспечения контакта;

— зубило для отбивки брызг и шлака после сварки.

5. Для предохранения глаз и кожи лица от действия сварочной дуги применяется щиток или шлем с темными защитными стеклами.

6. Спецодежда сварщика: комбинезон, фартук и рукавицы.

Выбор сварочного электрода

Выбор сварочного электрода проводят в зависимости от толщины свариваемого металла S , мм, по формуле

$$d = \frac{S}{2} + 1.$$

В соответствии с диаметром электрода d определяют величину сварочного тока I , А, генератора или трансформатора:

$$I = B \times d,$$

где B — $35 \div 50$ А/мм, плотность тока на 1 мм диаметра электрода.

Тип электрода выбирают в зависимости от заданной прочности материала сварного металла шва: Э42, Э50, Э55 и другие (численное значение типа электрода указывает минимальное значение предела прочности наплавленного шва в $\times 10$ МПа). Для сварки малоуглеродистой стали Ст3 представляются электроды типа Э42 марок ОММ5 или К3, для сварки низколегированной стали — типа Э55 марки УОНИ-13/55.

В работе определяют значения технологических коэффициентов α_p , α_n и ψ . Они зависят от ряда факторов, главным из которых при ручной дуговой сварке (наплавке) является марка электрода. Значения этих коэффициентов изменяются в зависимости от рода и полярности тока.

Коэффициент расплавления α_p , г/(А·ч) определяют по формуле

$$\alpha_p = Q_p / (I t),$$

где Q_p — масса расплавленного металла, г;

I — сварочный ток, А;

t — время горения дуги, ч, которое определяется студентом в процессе проведения сварки.

$$Q_p = Q_s - Q_{ог},$$

где Q_s — масса электрода, г;

$Q_{ог}$ — масса огарка, г.

Коэффициент наплавки α_n , г/(А·ч) определяют по формуле

$$\alpha_n = Q_n / (I t).$$

Значения величин, входящих в формулы, определяют экспериментально: Q_n — масса наплавки, т.е. разность масс пластины до и после наплавки.

Потери на угар и разбрызгивание составляют:

$$\psi = \frac{\alpha_P - \alpha_H}{\alpha_H} \cdot 100\%$$

Расчет скорости сварки (скорости перемещения электрода при укладке одного слоя валика многослойного шва), м/ч, проводят по формуле

$$V = \alpha_H I / (100 F \rho),$$

где F — площадь поперечного сечения наплавленного металла, см²;
 ρ — плотность металла электрода, равная для стали 7,8 г/см³.

Приближенно полное время сварки T , ч, можно определить по формуле

$$T = t/K,$$

где K — коэффициент использования сварочного поста, который для ручной сварки можно принять 0,5–0,55.

Расход электроэнергии A , кВт·ч/кг рассчитывают по формуле

$$A = U I t / (\eta Q_n) + W(T - t),$$

где η — КПД источника тока;

W — мощность, расходуемая источником тока при работе на холостом ходу, кВт.

Данные для определения значений η и W приведены в табл. 5.1.

Т а б л и ц а 5.1

Род тока	η	W , кВт
Переменный	0,8 - 0,9	0,2 - 0,4
Постоянный	0,6 - 0,7	2,0 - 3,0

Величина a_H для отдельных типов электродов составляют 7–12 г/А·ч при ручной сварке и 15–17 г/А·ч при автоматической сварке.

Порядок подготовки к сварке

Для подготовки к сварке необходимо сделать следующее: надеть фартук и рукавицы, отрегулировать высоту стула, металлической щеткой зачистить пластину для обеспечения контакта ее со столом и электродом, взять в правую руку электрододержатель и вставить в него голым концом электрод, а затем включить источник тока.

Включение генератора при сварке постоянным током осуществляется путем нажатия пусковой кнопки.

Сварочный трансформатор включается с помощью рубильника. При пользовании осциллятором последний включается раньше, чем сварочный трансформатор.

Начальный этап сварочных работ

Порядок зажигания дуги. Для зажигания дуги необходимо наметить место на пластине, где будет зажигаться дуга, закрыть лицо щитком и коснуться концом электрода намеченного на пластине места. При соприкосновении электрода с платиной сварочная цепь замыкается. В этот момент электрод необходимо отвести от пластины на 3–5 мм.

Если сварщик при замыкании цепи не отведет своевременно электрод от пластины, то электрод может привариться к пластине. В этом случае его нужно отламывать быстрыми движениями электрододержателя в стороны.

После приобретения навыка в зажигании дуги можно переходить к наплавке валика.

Наплавка валика. В процессе наплавки валика сварщику приходится подавать электрод в трех направлениях.

Первое направление — по оси электрода. Скорость подачи электрода в этом направлении должна согласоваться со скоростью его оплавления. Слишком быстрая подача электрода приведет к замыканию. При слишком медленной подаче дуга будет удлиняться и обрываться. Нормальная длина дуги 3–4 мм.

Второе направление — это направление, в котором накладывается валик. Скорость перемещения в этом направлении определяет высоту валика и глубину провара.

Третье направление — поперечное по отношению к оси валика — определяет ширину валика.

Качество шва зависит от правильного согласования подачи электрода во всех трех направлениях.

Регулировка тока. Величина сварочного тока выбирается в зависимости от диаметра электрода (табл. 5.2).

Таблица 5.2

**Величина сварочного тока при сварке электродами
 $d = 2 - 8$ мм**

Диаметр электрода	2	3	4	5	6	7	8
Сварочный ток в А	60	115	175	250	340	430	550

О величине тока можно судить и по дуге. При нормальной величине тока дуга горит устойчиво, спокойно. Наплавленный валик имеет ровную поверхность. При слишком большом токе наблюдается сильное разбрызгивание металла.

Если ток мал, то дуга часто прерывается и плохо зажигается.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности при работе.
2. Изучить под руководством преподавателя оборудование для электросварки и правила пользования им.
3. Научиться зажигать дугу и наплавлять валик переменным и постоянным током.
4. Определить качество сварных соединений наружным осмотром.

Лабораторная работа № 6

**РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ
ПРИ ТОЧЕНИИ**

Задачи работы

1. Закрепить теоретические знания по металлорежущим станкам.
2. Научиться пользоваться справочными материалами при расчете режимов резания.
3. Получить навыки в расчете режимов резания при обработке на токарных станках.

Содержание работы

К основным параметрам режима резания относятся глубина резания, скорость подачи, скорость резания. Величины этих параметров зависят от переходов и количества проходов в них.

Расчет режимов резания выполняют по каждому переходу. Если переход состоит из двух проходов — чернового (предварительного) и чистого (окончательного), то скорость резания и число оборотов шпинделя станка рассчитывается для каждого прохода отдельно.

В качестве первого перехода при точении всегда выполняется подрезка торца. Если выбранная заготовка закрепляется только в патроне станка, то подрезка торца проводится при закреплении на установочную длину. При закреплении заготовки в патроне и заднем центре станка, подрезка торца проводится при установке заготовки с вылетом от патрона на 5–10 мм.

При закреплении заготовки в заднем центре на ее торцевой поверхности необходимо выполнить центровое отверстие для закрепления заднего центра. Поэтому, после подрезки торца следующий переход — центрование отверстия специальным центровочным сверлом. При выполнении данного перехода задаются числом оборотов шпинделя станка при подрезке торца, а скорость резания, глубину резания и технологическое время не рассчитывают. Подачу выполняют вручную и поэтому технологическим временем задаются в пределах 5–10 секунд.

Расчет глубины резания

Глубина резания — это толщина слоя металла, срезаемого за один проход резца. Обозначается t , мм. Выбор глубины резания зависит от требуемого класса шероховатости поверхности детали и величины припуска. Припуск до 2–3 мм срезается за один проход. Если он более 3 мм, то припуск срезается за два прохода: один черновой (предварительный) и второй чистовой (окончательный). Глубину резания при черновом проходе принимают 0,75–0,85 от припуска.

При наружном точении и расточке внутренних отверстий

$$t = \frac{D - d}{2},$$

где D — диаметр обрабатываемой поверхности, мм;
 d — диаметр обработанной поверхности, мм.

Подача s , мм/об — величина перемещения режущей кромки резца за один оборот детали. Она зависит от требуемого класса шероховатости, механических свойств обрабатываемой детали и свойств режущего инструмента. Численные величины подачи при черновой и чистовой обработках приведены в табл. 6.1.

Выбранная подача должна быть скорректирована по паспорту металлорежущего станка. Необходимо соблюдать условие $S_{ст} < S$.

Расчет скорости резания

Расчетная скорость резания при точении V_p , м/мин вычисляется по эмпирической зависимости:

$$V_p = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot S_{cm}^{Y_v}},$$

где C_v — коэффициент, зависящий от качества обрабатываемого материала и материала режущей части инструмента (табл. 6.2);

K_v — поправочный коэффициент, учитывающий реальные условия резания;

Таблица 6.1

Подачи при черновом наружном точении резцами с пластинками из твердого сплава и из быстрорежущей стали

Диаметр детали в мм	Размер державки резца в мм	Обрабатываемый материал											
		Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная						Чугун и медные сплавы					
		Подача s в мм/об при глубине резания t в мм											
До 20	От 16×25 до 25×25	До 3	Св.3 до 5	Св.5 до 8	Св.8 до 12	Св.12	До 3	Св.3 до 5	Св.3 до 8	Св.8 до 12	Св.12	Св.12	
Св.20 до 40	От 16×25 до 25×25	0,3-0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Св.40 до 60	От 16×25 до 25×40	0,4-0,5	0,3-0,4	-	-	-	0,4-0,5	-	-	-	-	-	
Св.60 до 100	От 16×25 до 25×40	0,5-0,9	0,4-0,8	0,3-0,7	-	-	0,6-0,9	0,5-0,8	0,4-0,7	-	-	-	
Св.100 до 400	От 16×25 до 25×40	0,6-1,2	0,5-1,1	0,5-0,9	0,4-0,8	-	0,8-1,4	0,7-1,2	0,6-1,0	0,5-0,9	-	-	
Св.400 до 500	От 20×30 до 40×60	0,8-1,3	0,7-1,2	0,6-1,0	0,5-0,9	-	1,0-1,5	0,9-1,4	0,8-1,1	0,6-0,9	-	-	
Св.500 до 600	От 20×30 до 40×60	1,1-1,4	1,0-1,3	0,7-1,2	0,6-1,2	0,4-1,1	1,3-1,6	1,2-1,5	1,0-1,3	0,8-1,0	0,7-0,9	-	
Св.600 до 1000	От 20×30 до 40×60	1,2-1,5	1,0-1,4	0,8-1,3	0,6-1,3	0,4-1,2	1,5-1,8	1,2-1,6	1,0-1,4	0,9-1,2	0,8-1,0	-	
Св.1000 до 2500	От 30×45 до 40×60	1,2-1,8	1,1-1,5	0,9-1,4	0,8-1,4	0,7-1,3	1,5-2,0	1,3-1,8	1,0-1,4	0,9-1,2	0,8-1,0	-	
		1,3-2,0	1,3-1,8	1,2-1,6	1,1-1,5	1,0-1,5	1,6-2,4	1,6-2,0	1,4-1,8	1,3-1,7	1,2-1,7	-	

Примечания к табл.: 1. Низшие значения подач соответствуют меньшим размерам державки резца и более прочным обрабатываемым материалам, верхние значения подач – большим размерам державки резца и менее прочным обрабатываемым материалам.

2. При обработке жаропрочных сталей и сплавов подачи свыше 1 мм/об. не применять.

3. При обработке прерывистых поверхностей и на работах с ударами табличные значения подач следует умножать на 0,75–0,85.

4. При обработке закаленных сталей табличные значения подачи уменьшать, умножая на коэффициент 0,8 для стали HRC 44-56 и на 0,5 для стали с HRC 57-62.

T — принятый период стойкости инструмента, мин;
 m , X_v , Y_v — показатели степени (табл. 6.2).

Поправочный коэффициент

$$K_v = K_{MV} \times K_{IV} \times K_T \times K_{ПV}$$

где K_{IV} — поправочный коэффициент, зависящий от материала режущей части инструмента (табл. 6.3);

K_{MV} — поправочный коэффициент, учитывающий влияние обрабатываемого материала (табл. 6.4);

K_T — поправочный коэффициент, учитывающий влияние периода стойкости резца (табл. 6.5);

$K_{ПV}$ — поправочный коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (табл. 6.6).

Определив поправочный коэффициент K_v , находят скорость резания в зависимости от принятых значений стойкости, глубины резания и подачи (по станку). Значения C_v , X_v , Y_v , m приведены в табл. 6.2.

Скорость резания находят для каждого перехода. При точении фаски ее принимают по диаметру, на котором происходит обработка. При обработке конических поверхностей скорость резания рассчитывают по наибольшему диаметру конуса.

После определения расчетной скорости резания необходимо проверить возможность осуществления ее на выбранном станке.

Таблица 6.2

Значения коэффициента и показателей степени в формулах скорости резания при обработке резцами

Вид обработки	Материал режущей части резца	Характеристика подачи	Коэффициент и показатели степени			
			C_v	X_v	Y_v	m
Обработка стали конструкционной углеродистой $\sigma_B = 75 \text{ кг/мм}^2$						
Наружное продольное точение проходными резцами	Т15К6 *1	s до 0,30	420	0,15	0,20	0,20
		s св. 0,30 до 0,70	350		0,35	
То же, резцами с дополнительным лезвием *3	Р18 *2	s св. 0,30	340		0,45	0,125
		s до 0,25	87,5	0,25	0,33	
Отрезание	Т15К6 *1	s св. 0,25	56		0,66	0,18
		s до t	292	0,30	0,15	
	Т5К10 *1	s св. t		0,15	0,30	0,20
		—	47	—	0,80	
Обработка серого чугуна НВ 190—220						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК6 *1	s до 0,40	292	0,15	0,20	0,20
		s св. 0,40	243		0,40	
Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием *3	ВК6 *2	$s \geq t$	324	0,40	0,20	0,28
		$s < t$		0,20	0,40	
Отрезание	ВК6 *1	—	68,5	—	0,40	0,20
		Р18 *1	22,5		0,66	

Примечание: *1 — без охлаждения, *2 — с охлаждением.

Таблица 6.3

Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий влияние материала режущей части инструмента на скорость резания

Обрабатываемый материал	Значения коэффициента K_{mv} в зависимости от марки инструментального материала						
	T5K12B	T5K10	T14K8	T15K6	T15K6Г	T30K4	BK8
Сталь конструкционная и стальное литье	0,35	0,65	0,8	1,00	1,15	1,4	0,4
Сталь и сплавы жаропрочные	BK8	T5K10	T15K6	P18	-		
	1,0	1,4	1,9	0,3			
Сталь закаленная	HRC-35-50				HRC-51-62		
	T15K6	T30K4	BK6	BK8	BK4	BK6	BK8
	1,0	1,25	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74
Чугун серый и ковкий	BK8	BK6	BK4	BK3	BK2	-	
	0,83	1,0	1,1	1,15	1,25		
Медные и алюминиевые сплавы	P18; P9		BK4	BK6	9XC; XBG		Y12A
	1,0		2,5	2,7	0,6		0,5

Таблица 6.4

Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий влияние механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	
	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь
	Расчетная формула	
Сталь конструкционная углеродистая и легированная и стальное литье	$K_{mv} = \frac{750}{\delta_e}$	$K_{mv} = C_m \left(\frac{750}{\delta_e} \right)^{n_v}$
Чугун: серый	$K_{mv} = \left(\frac{1900}{HB} \right)^{1,25}$	$K_{mv} = \left(\frac{1900}{HB} \right)^{n_v}$
ковкий	$K_{mv} = \left(\frac{1500}{HB} \right)^{1,25}$	$K_{mv} = \left(\frac{1500}{HB} \right)^{n_v}$

Примечание. $C_m = 1,0$ для стали углеродистой с содержанием углерода $< 0,6\%$ и $C_m = 0,8$ для низколегированных сталей; $n_v = 1,75$ для сталей и $n_v = 1,7$ для чугунов.

Таблица 6.5

Поправочный коэффициент K_T , учитывающий влияние периода стойкости резца

Стойкость резца T , мин	K_T	Стойкость резца T , мин	K_T
30	1,15	75	0,94
45	1,06	90	0,9
60	1,0	120	0,87

Таблица 6.6

Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий состояние поверхности заготовки

Обрабатываемый материал	Предел прочности, МПа	Твердость НВ, МПа	K_{mv} для заготовки	
			с коркой	без корки
Углеродистые, легированные, стальное литье	400-500	-	1,76	2,20
	500-600	-	1,35	1,69
	600-700	-	1,03	1,29
	700-800	-	0,80	1,00
	800-900	-	0,65	0,81
Чугун серый	-	1 400-1 600	1,13	1,51
	-	1 600-1 800	0,91	1,21
	-	1 800-2 000	0,75	1,00
	-	2 000-2 200	0,64	0,85

Для этого следует найти значение расчетной частоты вращения шпинделя станка n_p , об/мин:

$$n_p = 1000 \times V_p / p \times D,$$

где V — расчетная скорость резания, м/мин;

D — диаметр обрабатываемой поверхности, мм.

Полученное значение расчетной частоты вращения шпинделя сравнивают с имеющимся на станке и принимают ближайшее минимальное $n_{cr} < n_p$.

Необходимо отметить, что на практике при черновой обработке на любом токарном станке частоту вращения шпинделя не принимают более 500–600, а при чистовой не более 800 об/мин.

По принятому значению частоты вращения шпинделя $n_{ст}$ находят фактическую скорость резания $V_{ф}$, м/мин:

$$V_{ф} = p \times D \times n_{ст} / 1000.$$

Расчет основного технологического времени

Основное технологическое время на обработку T_0 , мин, рассчитывают для всех проходов. При точении фасок ее принимают от 5 до 10 с.

$$T_0 = L \times i / n_{ст} \times S_{ст},$$

где L — расчетная длина обрабатываемой поверхности, мм;
 $n_{ст}$ — частота вращения заготовки, об/мин;
 $S_{ст}$ — подача, мм/об;
 i — количество проходов.

Расчетная длина обработки при точении, мм,

$$L = l + l_1 + l_2,$$

где l — длина детали (чертежный размер), мм. При подрезке торца и отрезании это половина диаметра заготовки;
 l_1 — величина врезания инструмента, мм;
 l_2 — величина пробега инструмента, мм;

$$l_1 = t \times \text{ct}\varphi; l_2 = (2 - 3)S_{ст};$$

φ — главный угол в плане, град.

Лабораторная работа № 7

ВЫБОР ТОКАРНОГО СТАНКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ

(Проводится после лабораторной работы № 6)

Задачи работы

1. Получить навыки в методике выбора металлорежущих станков.
2. Ознакомиться с кинематикой и паспортными данными токарных станков.

Содержание работы

Выбор токарного станка производится по мощности главного электродвигателя, зависящей от силы резания (P), затраченной на снятие стружки. Величина этой силы зависит от рода обрабатываемого материала, размера срезаемой стружки, углов заточки резца и других факторов. Сила резания P обычно раскладывается на три составляющих P_x, P_y, P_z . Поскольку при продольной обточке поперечная подача отсутствует, то сила P_y будет практически равна нулю, так как $S_{поп} = 0$. Скорость продольной подачи по сравнению со скоростью резания очень мала, поэтому мощность, затрачиваемая на продольную подачу (сила P_x) мала и обычно составляет не более 1–2% от всей мощности и ее можно пренебречь. Поэтому расчет мощности станка ведут с учетом силы P_z (усилия резания).

Расчет усилий резания

Силу резания P_z , МПа определяют только для самого нагруженного прохода, где наибольшая подача и глубина резания.

$$P_z = 10 \times C_p \times t^{X_p} \times S^{Y_p} \times V_{ф}^{np} \times K_{мр},$$

Значение $K_{мр}$ приведены в таб. 7.1;
 значения C_p, X_p, Y_p, p_p — приведены в табл. 7.2.

Возможность осуществления на выбранном станке принятого режима резания проверяют сопоставлением расчетного зна-

Таблица 7.1

Поправочный коэффициент K_{MP} на обрабатываемый материал

Сталь		Чугун	
σ_B , МПа	K_{MP}	HB, МПа	K_{MP}
400-500	0,76	1 400-1 600	0,88
510-600	0,82	1 610-1 800	0,94
610-700	0,89	1 810-2 000	1,00
710-800	1,00	2 100-2 200	1,06
810-900	1,10	2 210-2 400	1,12

чения усилия подачи, определенного по формуле $P_x = 0,3 P_z$, со значением силы P_{XCT} , допускаемой механизмом подачи выбранного станка и указанной в его паспорте.

Необходимо, чтобы $P_{XCT} > P_x$.

Расчет мощности станка

Эффективную мощность на резание N_3 , кВт, определяют по формуле

$$N_3 = P_z \times V_p / 102 \times 600.$$

Потребная мощность на шпинделе станка, кВт,

$$N_{пот} = N_3 / \eta_{CT},$$

где η_{CT} — КПД станка.

Коэффициент использования станка по мощности главного электродвигателя

$$K = (N_{пот} / N_{CT}) 100\%.$$

Здесь N_{CT} — мощности главного электродвигателя, кВт. Мощность главного электродвигателя N_{CT} сравнивают с паспортными данными станка $N_{CT} < N_{CT}$ по паспорту.

Таблица 7.2
Значения коэффициента и показателей степени в формулах составляющих силы резания при точении

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Вид обработки	Коэффициенты и показатели степени в формулах для составляющей осевой P_x											
			тангенциальное P_z						радиальная P_y					
			C_p	x_p	y_p	P_p	C_p	x_p	y_p	P_p	C_p	x_p	y_p	P_p
Сталь конструкционная	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	300	1,0	0,75	-0,15	243	0,9	0,6	0	339	1,0	0,5	-
			384	0,90	0,90	0	355	0,6	0,8	-0,3	241	1,05	0,2	0,4
Чугун серый ковкий HB150	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	408	0,72	0,80	0	173	0,73	0,67	0	-	-	-	-
			148	-	1,70	0,71*	-	-	-	-	-	-	-	-
Сталь жаропрочная X18H9T (ЭЖТ) HB141	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	200	1,0	0,75	0	125	0,9	0,75	0	67	1,2	0,65	0
			247	1,0	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Чугун серый HB190	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	212	1,0	0,75	0	-	-	-	-	-	-	-	-
			204	1,0	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Чугун ковкий HB150	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	92	-	1,0	0,82 ²	54	0,9	0,75	0	46	1,0	0,4	0
			123	0,85	1,8	0	61	0,6	0,5	0	24	1,05	0,2	-
Чугун серый HB190	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	158	-	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
			81	0,75	1,0	0	43	0,9	0,75	0	38	1,0	0,4	0
Чугун ковкий HB150	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	103	1,0	0,66	0	88	-	-	-	40	1,2	0,65	-
			139	1,0	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Чугун серый HB190	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	55	1,0	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
			75	1,0	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. При фасонном точении резами с неглубоким и несложным профилем силу резания уменьшить на 10–15%.

Токарно-винторезные станки

Показатели	Модели станков			
	1М61	1А616	1К62	1К620
Наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм	320	320	400	415
Расстояние между центрами, мм	1 000	710	1 000	1000
Число ступеней частоты вращения шпинделя	24	21	23	22
Частота вращения шпинделя	12,5-1 600	9-1 800	12,5-2 000	12,5-1 600
Число ступеней подач суппорта	24	16	42	42
Подача суппорта, мм/об:				
продольная	0,08-1,9	0,065-0,91	0,07-4,16	0,05-4,16
поперечная	0,04-0,95	0,065-0,91	0,035-2,08	0,25-2,08
Мощность главного электродвигателя, кВт	4	4	7,5-10	10
КПД станка	0,75	0,75	0,75	0,75
Наибольшая сила подачи, (Н)	1 500	2 100	3 600	6 000

Частота вращения шпинделя для станков, об/мин (выборочно):

1А616 — 90; 112; 140; 180; 224; 280; 355; 450; 560; 710; 900.

1К62 — 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1 000; 1 250; 1 600; 2 000.

Величина продольных подач, мм/об (выборочно):

1А616 — 0,1; 0,13; 0,15; 0,17; 0,2; 0,23; 0,3; 0,4; 0,45; 0,5.

1К62 — 0,15; 0,17; 0,19; 0,21; 0,23; 0,28; 0,3; 0,34; 0,39; 0,43; 0,47; 0,52; 0,57; 0,61; 0,7; 0,78.

1К620 — 0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8.

Горизонтальные и вертикальные фрезерные станки

Показатели	Модели станков			
	горизонтальные		вертикальные	
	6М81Г	6М82Г	6М12П	6М12ПБ
Рабочая поверхность стола, мм	250×1 000	320×1 250	320-1 250	320-1 250
Число ступеней шпинделя	18	18	18	18
Частота вращения шпинделя, об/мин	40-2 000	31-1 600	31-1 600	50-2 500
Число ступеней подач	18	18	18	18
Подача стола, мм/мин				
продольная	20-1 000	25-1 250	25-1 250	40-1 200
поперечная	6,5-333	8,3-416	15,6-785	27-1 330
Наибольшая допустимая сила подачи, (Н)	12 000	15 000	15 000	16 000
Мощность главного электродвигателя, кВт	4	7,5	7,5	10
КПД станка	0,8	0,75	0,75	0,75