
Лекция 5.

Смазочно-охлаждающие технологические среды
(СОТС). Обрабатываемость конструкционных
материалов



Обрабатываемость материалов –

способность материалов подвергаться резанию по ряду технологических показателей, а именно:

- **допускаемая скорость резания;**
- **возникающие в процессе резания силы;**
- **шероховатость обработанной поверхности;**
- **тип стружки**

Таким образом, обрабатываемость - важнейшее технологическое свойство всех конструкционных материалов.



При черновой обработке важны показатели:

- ***максимально возможная производительность,***
- ***величина составляющих силы резания,***
- ***условия транспортировки стружки из зоны резания.***

При чистовой обработке важны показатели:

- ***производительность,***
- ***шероховатость обработанной поверхности,***
- ***глубина наклепанного слоя, лежащего под обработанной поверхностью,***
- ***степень его наклепа,***
- ***величина и знак остаточных напряжений в указанном слое.***

Определение показателей обрабатываемости позволяет:

подобрать материал, удовлетворяющий эксплуатационным требованиям, предъявляемым к детали и обеспечивающий минимальную стоимость обработки резанием.



Производительность и себестоимость обработки зависят главным образом от допускаемой скорости резания, поэтому основным показателем обрабатываемости является СКОРОСТЬ РЕЗАНИЯ, величина которой определяется изнашивающим действием, оказываемым обрабатываемым материалом на контактные поверхности инструмента.

Поэтому обрабатываемость материалов характеризуется **допускаемой скоростью резания**. Считают, что лучшую обрабатываемость имеет тот материал, который при прочих равных условиях допускает более высокую скорость резания.

Количественно обрабатываемость оценивают **КОЭФФИЦИЕНТОМ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ** - отношение скорости резания, допускаемой при резании определенного материала, к скорости резания, допускаемой материалом, принятым за эталонный (сталь 45).

Если коэффициент обрабатываемости больше единицы, то данный материал обрабатывается лучше, чем эталонный, а если меньше единицы — то хуже.

2. Методы определения обрабатываемости.

В основе «классического» метода лежит нахождение зависимости $V = F(T)$. Если сравнивают обрабатываемость двух материалов А и Б, то для них при одинаковых условиях обработки экспериментально находят связь между периодом стойкости и скоростью резания. Если зависимость $V = F(T)$ монотонна и ее можно аппроксимировать степенной функцией, то находят две зависимости

$$v = \frac{C_A}{T^{m_A}} \quad \text{и} \quad v = \frac{C_B}{T^{m_B}}$$

Задавшись периодом стойкости $T = 60$ мин, определяют соответствующие ему скорости резания V_A и V_B .

m – показатель относительной стойкости

Коэффициент обрабатываемости

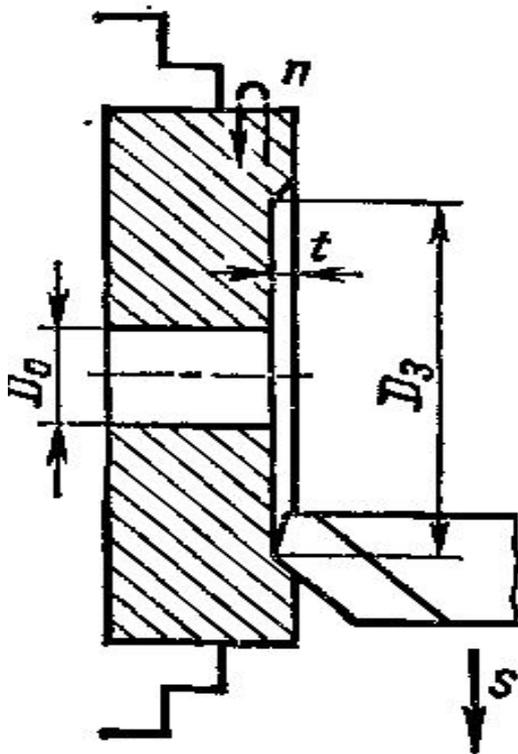
$$K_0 = \frac{v_{COA}}{v_{COB}}$$

- + метод является наиболее точным и объективно отражающим влияние обрабатываемого материала на изнашивание инструмента.
- он очень трудоемок и связан с большим расходом обрабатываемого материала и инструмента. Поэтому разработан ряд ускоренных методов.

Метод торцовой обточки

заключается в точении торца диска из обрабатываемого материала от центра к периферии.

Диск диаметром $D = 300 - 350$ мм устанавливают в патроне токарного станка. В нем предварительно просверливают отверстие диаметром D_0 для ввода проходного резца, устанавливаемого на глубину резания $t = 2$ мм.



Шпиндель приводится во вращение с определенным числом оборотов n , а резец перемещается с подачей $S = 0,3$ мм/об. По мере перемещения резца скорость резания непрерывно возрастает по линейному закону, и при какой-то скорости V_3' соответствующей диаметру затупления D_3' резец вследствие износа выходит из строя.

Резец в опытах доводят до полного затупления.

Чем лучше обрабатываемость материала, тем больше будет диаметр затупления D_3 и соответствующая ему скорость резания V_3 . Производя обточку двух дисков из эталонного материала А и испытуемого Б, находят скорости резания затупления $V_{3А}$ и $V_{3Б}$. по которым и судят об относительной обрабатываемости.

Помимо качественной оценки обрабатываемости метод торцовой обточки позволяет найти значения постоянной C и показателя относительной стойкости m .

Имея значения C и m , для испытуемых материалов определяют скорости резания, соответствующие периоду стойкости $T = 60$ мин, $V_{3А}$ и $V_{3Б}$ и по ним находят коэффициент обрабатываемости.

Метод торцовой обточки очень прост, не требует больших затрат по времени на проведение опытов и может быть легко осуществлен не только в лаборатории, но и в производственных условиях.



Метод А. С. Кондратова основан на положении, что интенсивность износа резца практически можно считать независимой от величины износа.

Сущность метода состоит в следующем. Болванку из испытуемого материала при постоянных t, s обтачивают одним резцом с различными скоростями резания $v_1, v_2, v_3 \dots v_n$. Для каждого значения скорости резания фиксируют прирост линейного износа задней поверхности резца $b_1, b_2, b_3 \dots b_n$, соответствующий времени работы резца $T_1, T_2, T_3 \dots T_n$.

Затем для каждой скорости резания определяют интенсивность износа резца.

Далее в двойной логарифмической сетке строят зависимость $U=f(V)$ (рис.), представляющую собой прямую линию, тангенс угла наклона которой к оси U равен показателю относительной стойкости m в формуле $V = C / T^m$.

По графику $U=f(V)$ находят скорость резания $V_{\text{ЭКВ}}$, соответствующую эквивалентному, износу.

Метод дает хорошую точность при резании твердосплавными резцами и в 6—10 раз сокращает время опыта по сравнению с классическим методом.

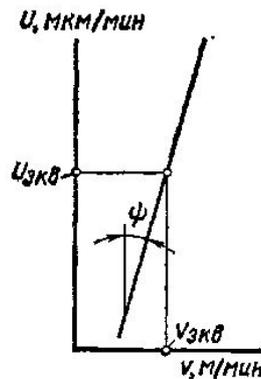


Рис. 234. Связь между скоростью резания v и интенсивностью износа U при определении обрабатываемости по методу А. С. Кондратова

резания определяют интенсивность износа резца

$$U_i = \frac{\bar{\delta}_i}{T_i} :$$

$$v \quad v_1 \quad v_2 \quad v_3 \quad \dots \quad v_n$$

$$U \quad \frac{\bar{\delta}_1}{T_1} \quad \frac{\bar{\delta}_2}{T_2} \quad \frac{\bar{\delta}_3}{T_3} \quad \dots \quad \frac{\bar{\delta}_n}{T_n}$$

ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

- **Обрабатываемость материалов, как технологическое свойство, определяется их химическим составом и структурным состоянием.**
- **От химического состава зависят механические и теплофизические свойства материала (прочность, пластичность, вязкость и теплопроводность материала), эти свойства также оказывают влияние на обрабатываемость.**
- **Обрабатываемость связана с изнашивающим действием, оказываемым материалом на контактные поверхности инструмента.**
- **Режим трения на этих поверхностях зависят от толщины срезаемого слоя, скорости и температуры трения, а сопротивляемость изнашиванию зависит от свойств инструментального материала.**
- **Поэтому обрабатываемость (коэффициенты обрабатываемости) одного и того же материала будет различной при резании его различными инструментами из разных инструментальных материалов.**



Обрабатываемость углеродистых и легированных конструкционных и инструментальных сталей.

Обрабатываемость углеродистых сталей в первую очередь зависит от содержания в них углерода. Наилучшую обрабатываемость имеют термически не обработанные стали с содержанием углерода 0,2—0,3%; при меньшем и большем содержании углерода обрабатываемость непрерывно ухудшается.

Сера и фосфор, ухудшая эксплуатационные свойства углеродистых сталей, при определенном содержании улучшают их обрабатываемость. Аналогично - марганец, если его содержание не превышает 1%.

- Обрабатываемость конструкционных сталей в значительной степени зависит от металлургических факторов: способов изготовления и прокатки. Конверторные низкоуглеродистые стали, характерные большим содержанием серы и фосфора, обрабатываются значительно лучше, чем стали, выплавленные в мартеновских и электрических печах, в которых серы и фосфора меньше**
- Очень сильное влияние на обрабатываемость сталей оказывают термическая обработка и структура после закалки, отпуска и отжига. Наилучшей обрабатываемостью обладает перлит.**

Таблица 25

Коэффициенты обрабатываемости различных сталей

Стали	Коэффициент $K_{\text{с}}$ при видах обработки		
	Точение	Фрезерование	Обработка отверстий
Углеродистые конструкционные ($C \leq 0,6\%$)	1	1	1
Углеродистые конструкционные ($C > 0,6\%$)	0,85	0,8	0,8
Автоматные	1,2	—	1,2
Хромистые	0,85	0,85	0,85
Марганцовистые	0,8	0,75	0,7
Хромоникелевые	0,9	0,9	0,9
Хромомарганцовистые, хромокремнистые . .	0,7	0,7	0,7
Хромомолибденовые, хромоникельмолибденовые, хромоалюминиевые	0,8	0,75	0,7
Хромоникельвольфрамовые	0,8	0,8	0,7
Инструментальные быстрорежущие	0,6	0,6	0,6

Чтобы максимально улучшить обрабатываемость высокоуглеродистых сталей, они всегда должны иметь структуру зернистого перлита, даже если это приводит к увеличению шероховатости обработанной поверхности.

В табл. 25 приведены средние значения коэффициентов обрабатываемости различных сталей.

Приняв за эталонный предел прочности на растяжение $\sigma_B = 75$ кгс/мм² (сталь 45), влияние механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания учитывают поправочным коэффициентом

$$K_M = \left(\frac{75}{\sigma_B} \right)^{n_v} \cdot$$



Обрабатываемость нержавеющей, жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов.

Наиболее распространенными представителями этой группы материалов являются стали

- хромистые мартенситного класса,**
- деформируемые**
- коррозионностойкие.**

Их основным легирующим элементом является хром в количестве 12—14%, повышающий коррозионную стойкость. Для повышения жаростойкости и жаропрочности в стали в небольших количествах (1,5—2,5%) вводят никель, вольфрам, молибден и ванадий.

Введение в перечисленные материалы в больших количествах хрома, молибдена, титана, вольфрама ухудшает их обрабатываемость по сравнению с конструкционными легированными сталями.



Жаростойкие и жаропрочные стали аустенитного класса отличаются высокой степенью упрочнения при превращении срезаемого слоя в стружку.

Все жаропрочные стали и сплавы обладают низкой теплопроводностью и температуропроводностью, что затрудняет отвод тепла из зоны резания в стружку и деталь, повышает температуру резания и интенсивность изнашивания инструмента.

Присутствие в ряде сталей и сплавов сложных карбидов и интерметаллидов, отличающихся высокой твердостью, вызывает повышенное абразивное изнашивание контактных поверхностей инструмента, особенно из быстрорежущих сталей.

При резании большинства жаропрочных сталей и сплавов образуется суставчатая или даже элементная стружка, вызывающая значительное колебание силы резания. Последнее приводит к потере устойчивости движения резания и возникновению вибраций, что также увеличивает изнашивание инструмента



Коэффициенты обрабатываемости нержавеющей жаростойких, жаропрочных сталей и сплавов [62]

Материал	Марки	K_0
Стали хромистые ферритного и мартенситного классов деформируемые, коррозионностойкие	1X13 2X13 3X13 • 1X17H2	0,65
Стали хромистые аустенитно-мартенситного класса жаростойкие деформируемые	2X17H2 X15H9Ю ЭИ811	0,45—0,43
Стали хромоникелевые аустенитного класса жаростойкие, жаропрочные деформируемые	X18H9T X18H10T ЭИ481	0,5—0,3
Сплавы на никелевой основе жаропрочные деформируемые	ЭИ437Б ЭП202 ЭИ787	0,16—0,075
Сплавы на никелевой основе жаропрочные литейные	ЖС6К ЖС3ДК	0,04

Обрабатываемость титановых сплавов.

- ❑ Прочностные и технологические характеристики титановых сплавов зависят от химического состава, структуры и термической обработки. Во все титановые сплавы в количестве 2—7% входит алюминий, повышающий жаропрочность сплавов и снижающий их пластичность. Он образует в сплаве α -структуру, имеющую гексогональную плотноупакованную кристаллическую решетку. Помимо алюминия в сплавы в различных количествах и сочетаниях вводят ванадий, хром, молибден и марганец, повышающие прочность сплавов.
- ❑ Ванадий повышает пластичность сплавов, марганец и молибден ее понижают, а хром ведет себя нейтрально.
- ❑ Титановые сплавы можно разбить на четыре условные группы: 1) сплавы повышенной пластичности; 2) сплавы средней прочности ; 3) сплавы высокой прочности; 4) жаропрочные сплавы.

- **Для титановых сплавов характерны малая пластичность и способность к упрочнению.**
- **Из-за суставчатого и элементного строения при высоких скоростях резания наблюдается не укорочение, а удлинение стружки по сравнению с длиной срезаемого слоя, и коэффициент усадки стружки становится меньше единицы.**
- **Титановые сплавы мало склонны или не склонны к наростообразованию, что в сочетании с малым коэффициентом трения способствует снижению шероховатости обработанной поверхности.**
- **Ширина площадки контакта на передней поверхности в 1,5—2 раза меньше, чем при резании углеродистых и легированных конструкционных сталей с тем же пределом прочности, что в сочетании с высокой прочностью титановых сплавов приводит к большим контактным нормальным напряжениям.**



- **Низкая теплопроводность и малая ширина площадки контакта на передней поверхности приводят к высоким температурам резания, в 2—2,5 раза большим, чем при резании углеродистой стали 40.**
- **Вследствие меньшей прочности и химического сродства с титаном, приводящих к повышенному схватыванию и изнашиванию контактных поверхностей, двухкарбидные твердые сплавы для резания титановых сплавов непригодны. Поэтому обработку ведут менее теплостойкими, но более прочными и инертными инструментами из быстрорежущих сталей и однокарбидных твердых сплавов.**
- **Особенностью титановых сплавов является то, что термической обработкой (в частности, отжигом) не удастся существенно повысить обрабатываемость послековки или прокатки. Наилучшая обрабатываемость сплавов наблюдается после закалки при температуре 852 °С.**



Обрабатываемость чугунов.

По обрабатываемости чугуны разделяют на четыре группы:

- 1) ферритные, содержащие феррит и графит;**
 - 2) перлитные ковкие и сверхпрочные, содержащие перлит и сфероидальный графит;**
 - 3) перлитные, содержащие перлит и пластинчатый графит;**
 - 4) белые, содержащие перлит и цементит.**
- Обрабатываемость чугунов зависит от того, в каком состоянии в них содержится углерод: в связанном (в виде цементита) или в свободном (в виде графита). Чем больше в чугуне связанного углерода, тем обрабатываемость хуже.**
 - Резание чугуна сопровождается образованием элементной и суставчатой стружек, а при наличии в нем пластинчатого графита — стружки надлома.**



Температура резания при обработке чугуна с пластинчатым графитом ниже, чем при обработке ферритной стали той же твердости. Несмотря на это, относительная обрабатываемость чугуна ниже.

Последнее связано с низким защитным действием, оказываемым заторможенным слоем и наростом на контактные поверхности инструмента. Кроме того, при резании быстрорежущим инструментом контактные поверхности сильно изнашиваются вследствие абразивного действия цементита.

Приняв твердость серого чугуна HB 190 и ковкого чугуна HB 150 за эталонные, получим формулы для определения коэффициента K_m , учитывающего влияние на скорость резания твердости по Бринелю:

- для серого чугуна

$$K_m = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_v};$$

для ковкого чугуна

$$K_m = \left(\frac{150}{HB} \right)^{n_v}.$$



СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РЕЗАНИИ

Большинство операций механической обработки осуществляется с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). При резании СОЖ должны оказывать

- смазочное,**
- охлаждающее**
- моющее действие.**

Под смазочным действием понимают способность СОЖ образовывать на контактных поверхностях инструмента, на стружке и детали прочные пленки.

Защитные пленки, образуемые СОЖ, по своему происхождению могут быть физическими, химическими и механическими .



- **Физические пленки образуются вследствие молекулярной адсорбции. Условием образования физических пленок является присутствие в СОЖ поверхностно-активных веществ, понижающих поверхностное натяжение на границе фаз материал — жидкость.**
- **Химические пленки образуются вследствие хемосорбции, сопровождающейся химической реакцией между СОЖ и смазываемыми поверхностями. Условием образования химических пленок является присутствие в СОЖ веществ, химически активных по отношению к смазываемому материалу.**
- **Механические пленки образуются вследствие содержания в СОЖ твердых веществ, заполняющих впадины неровностей, имеющих на контактных поверхностях инструмента.**



В качестве поверхностно-активных присадок применяют

- олеиновую кислоту,
 - нафтеновую кислоту (асидол),
 - окисленный петролатум
 - и некоторые эфиры.
-
- К химически активным присадкам относятся
 - сера,
 - фосфор,
 - четыреххлористый углерод
 - и соединения, содержащие азот.

Твердыми присадками служат вещества, имеющие слоистое строение:

- графит,
- дисульфид молибдена,
- сернистый титан,
- сернистый цинк.



- **Физические, химические и механические пленки в различной степени уменьшают силу трения и адгезионное взаимодействие между инструментом и деталью. Это снижает силу резания и уменьшает шероховатость обработанной поверхности.**
- **Кроме того, вследствие уменьшения работы резания уменьшается тепловыделение, что приводит к снижению температуры резания.**
- **Охлаждающее действие СОЖ заключается в основном в отборе тепла от нагретых контактных поверхностей инструмента и поверхностей обрабатываемой детали за счет конвективного теплообмена.**
- **Под моющим действием СОЖ понимают способность жидкостей удалять продукты изнашивания с поверхности резания и контактных поверхностей инструмента.**



- **Все применяемые в настоящее время СОЖ можно разделить на имеющие в своей основе воду (водные жидкости) и масло (масляные жидкости).**

 - **К первой группе относятся водные растворы электролитов и поверхностно-активных веществ и масляные эмульсии; эти жидкости имеют повышенные охлаждающие и пониженные смазочные свойства.**
 - **Ко второй группе относятся растительные масла, минеральные масла чистые и с присадками; эти жидкости имеют пониженные охлаждающие и повышенные смазочные свойства.**
 - **Среди чистых масел лучшими смазочными свойствами обладают жирные масла растительного и животного происхождения (подсолнечное, льняное масло, рыбий жир). Однако они дороги и имеют невысокую стабильность. Поэтому наибольшее распространение получили минеральные масла средней вязкости «Индустриальное 12» и «Индустриальное 20», хотя они имеют пониженные смазочные свойства.**
-
- 

Большое распространение получили минеральные масла, активированные серой, — сульфифрезолы. Сульфифрезол состоит из осерненного нигрола или масляного гудрона — основы, полученной варкой с 10—12% серы, смешанной с индустриальным маслом.

- Для каждой комбинации операция — обрабатываемый материал — инструментальный материал существует определенная, наиболее эффективная жидкость.
- Для черновых операций характерна высокая теплонапряженность, и для них главным является **снижение температуры резания**.
- Поэтому на черновых операциях обработки стальных деталей применяют жидкости на водной основе: водные растворы электролитов и поверхностно-активных веществ и масляные эмульсии.
- При чистовой фасонной обработке с малыми и средними скоростями резания, главное значение приобретают **смазочные** свойства жидкостей. В этих случаях применяют чистые и активированные минеральные масла и сульфифрезол.



- **Черновую обработку чугуна на универсальных станках большей частью ведут всухую вследствие недопустимого загрязнения рабочего места и частей станка при применении СОЖ.**
- **При чистовой и фасонной обработке чугуна (развертывании, протягивании, нарезании резьбы, обработке зубьев) применяют керосин.**
- **СОЖ при работе твердосплавным инструментом, работающим при высокой скорости резания, из-за сильного разбрызгивания жидкости, как правило, не применяют.**
- **При прерывистом резании (строгании, точении, фрезеровании) применение СОЖ не только не улучшает работу твердосплавного инструмента, но вызывает его повышенное термоусталостное изнашивание и снижает стойкость .**
- **Применение при резании СОЖ уменьшает силу резания, улучшает качество обработанной поверхности и в большинстве случаев повышает стойкость инструмента.**
- **Твердые сплавы по сравнению с быстрорежущими сталями обладают более высокой теплостойкостью, а поэтому стойкость твердосплавных инструментов при применении СОЖ возрастает меньше, чем быстрорежущих.**

