

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

Кинематика процесса резания

Обработка металлов резанием — это процесс срезания режущим инструментом с поверхностей заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхностей детали. Чтобы с заготовки срезать слой металла, необходимо режущему инструменту и заготовке сообщить относительные движения. Инструмент и заготовку устанавливают и закрепляют в рабочих органах станков, обеспечивающих эти относительные движения: в шпинделе, на столе, в револьверной головке и т. д. Движения рабочих органов станков делят на движения резания, установочные и вспомогательные. Движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя металла или вызывают изменение состояния обработанной поверхности заготовки, называют движениями резания. К ним относят главное движение и движение подачи.

За главное принимают то движение, которое определяет скорость деформирования и

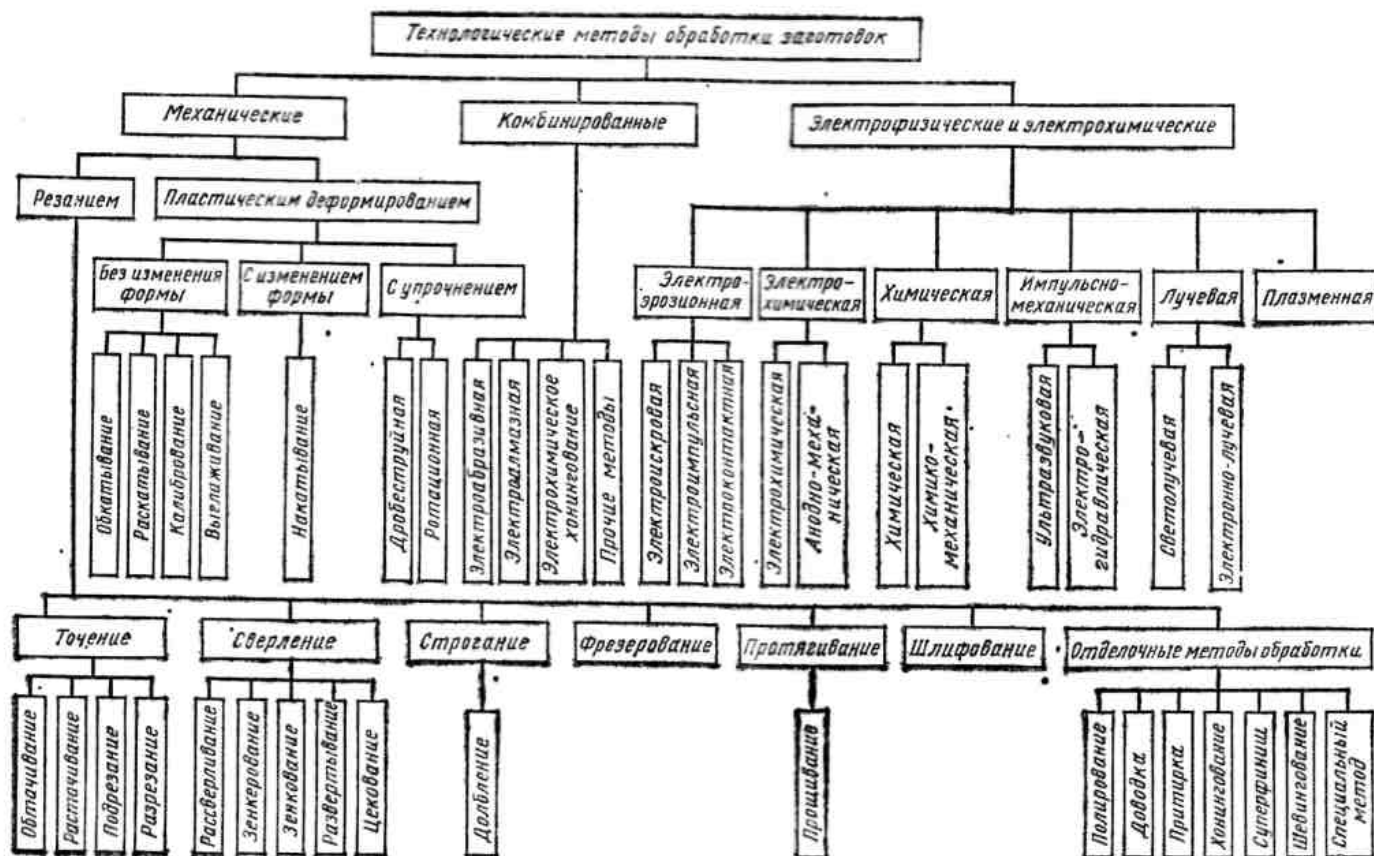


Рис. 46. Условная классификация технологических методов обработки заготовок

отделения стружки. За движение

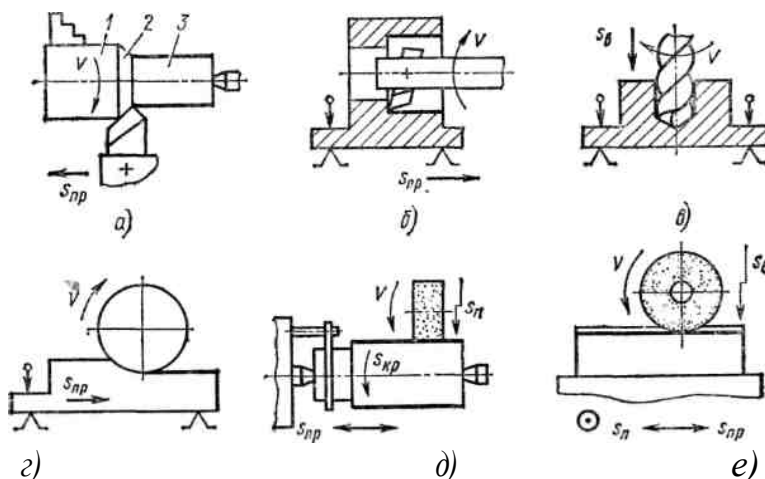


Рис. 1. Элементы схем обработки и схемы обработки заготовок точением (а), растачиванием (б), сверлением (в), фрезерованием (г), шлифованием на кругло- (д) и плоскошлифовальных станках (е)

подачи принимают то движение, которое обеспечивает непрерывность врезания режущей кромки инструмента в материал заготовки. Эти движения могут быть непрерывными или прерывистыми, а по своему характеру вращательными, поступательными, возвратно-поступательными и т. д. Скорость главного движения обозначают v , величину подачи s .

Движения, обеспечивающие взаимное расположение инструмента и заготовки для срезания с нее определенного слоя материала, называют установочными. К вспомогательным движениям относят транспортирование заготовки, закрепление заготовок и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов станка на холостом ходу, переключение скоростей резания и подачи и т. п.

Для любого процесса резания можно составить схему обработки. На схеме условно изображают обрабатываемую заготовку, ее установку и закрепление на станке, закрепление и положение инструмента относительно заготовки, а также движения резания (рис. 1). Инструмент показывают в положении, соответствующем окончанию обработки поверхности заготовки. Обработанную поверхность на схеме выделяют другим цветом или утолщенными линиями. На схемах обработки показывают характер движений резания и их технологическое назначение, используя условные обозначения. Различают подачи: продольную s_{np} , поперечную s_n , вертикальную s_v , круговую $s_{кр}$, окружную s_0 , тангенциальную s_t . В процессе резания на заготовке различают (рис. 1, а) обрабатываемую поверхность 1, с которой срезается слой металла, обработанную поверхность 3, с которой металл уже срезан, и поверхность резания 2, образуемую в процессе обработки главной режущей кромкой инструмента.

Методы формообразования поверхностей. Пространственную конструктивную форму любой детали определяет сочетание различных поверхностей. Для облегчения обработки заготовки конструктор стремится использовать следующие геометрические поверхности: плоские, круговые цилиндрические и конические, шаровые, торовые, и др. Любая геометрическая поверхность представляет собой совокупность последовательных положений (следов) одной производящей линии, называемой образующей, движущейся по другой производящей линии, называемой направляющей. Например, для образования круговой цилиндрической поверхности необходимо прямую линию (образующую) перемещать по окружности (направляющей).

При обработке поверхностей на металлорежущих станках образующие и

направляющие линии в большинстве случаев являются воображаемыми. Они воспроизводятся во времени комбинацией движений заготовки и инструмента, скорости которых строго согласованы между собой. Движения резания являются также формообразующими движениями. Механическая обработка заготовок деталей машин реализует в основном четыре метода формообразования поверхностей. Рассмотрим их на конкретных примерах.

Получение поверхностей по методу копирования состоит в том, что режущая кромка инструмента является реальной образующей линией 1, форма которой совпадает или обратна той, которая является образующей линией поверхности детали (рис. 2, а). 1 направляющая линия 2 воспроизводится во времени вращением заготовки. Главное движение здесь является формообразующим. Движение подачи необходимо для того, чтобы получить геометрическую поверхность определенного размера. Метод копи-

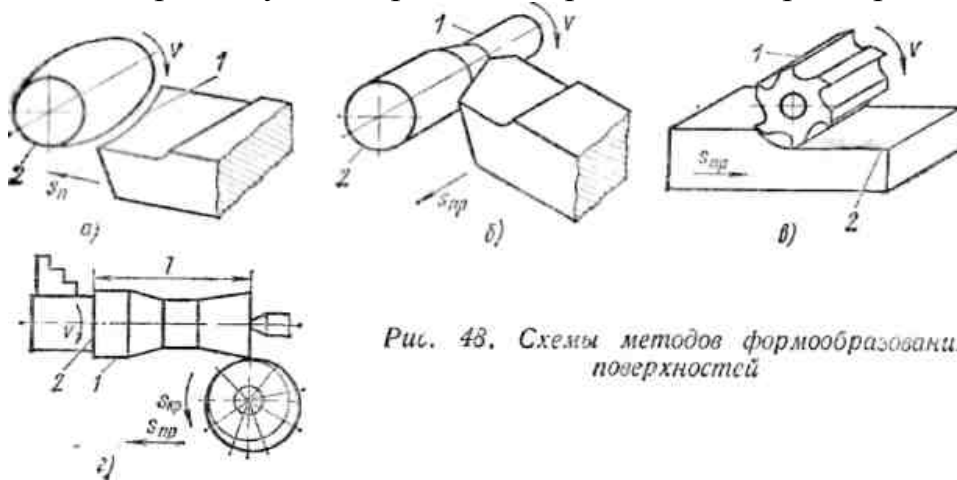


Рис. 48. Схемы методов формообразования поверхностей

рования широко используют при обработке фасонных поверхностей деталей на различных металлорежущих станках.

Образование поверхностей по методу следов состоит в том, что образующая линия 1 является траекторией движения точки (вершины) режущей кромки инструмента, а направляющая линия 2 — траекторией движения точки заготовки (рис. 2, б). Здесь движения резания являются формообразующими. Этот метод формообразования поверхностей деталей распространен наиболее широко.

Образование поверхностей по методу касания состоит в том, что образующей линией 1 является режущая кромка инструмента (рис. 2, в), а направляющая линия 2 поверхности служит касательной к ряду геометрических вспомогательных линий — траекториям точек режущей кромки инструмента. Здесь формообразующим является только движение подачи.

Образование поверхностей по методу обкатки (огибания) заключается в том, что направляющая линия 2 воспроизводится вращением заготовки. Образующая линия 1 получается как огибающая кривая к ряду последовательных положений режущей кромки инструмента относительно заготовки (рис. 2, г) вследствие согласования между собой движения резания с движением подачи. Скорости этих движений согласуются так, что за время прохождения круглым резцом расстояния 1 резец должен сделать один полный оборот относительно своей оси вращения. Здесь все три движения являются формообразующими.

Режим резания и геометрия срезаемого слоя

При назначении режимов резания определяют скорость резания, подачу и глубину.

Скоростью резания v называют расстояние, пройденное точкой режущей кромки

инструмента относительно заготовки в направлении главного движения в единицу времени. Скорость резания имеет размерность м/мин или м/с. Если главное движение является вращательным (точение), то скорость резания, м/мин:

где $D_{\text{заг}}$ — наибольший диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм; n — частота вращения заготовки в минуту.

Если главное движение является возвратно-поступательным, а скорости рабочего и обратного (холостого) ходов различны, то скорость резания, м/мин:

$$V = \frac{L \cdot m}{1000(k + 1)}$$

где L — расчетная длина хода инструмента, мм; m — число двойных ходов инструмента в минуту; k — коэффициент, показывающий отношение скоростей рабочего и холостого ходов; $k = V_p/V_x$.

Подачей (s) называют путь точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один оборот (рис. 3) или один ход заготовки или инструмента. Подача в зависимости от технологического метода обработки имеет размерность: мм/об — для точения и сверления; мм/дв. ход — для строгания, шлифования и т. д. По направлению движения различают подачи: продольную $s_{\text{пр}}$, поперечную $s_{\text{п}}$, вертикальную $s_{\text{в}}$, наклонную $s_{\text{н}}$, круговую $s_{\text{кр}}$, тангенциальную $s_{\text{т}}$, окружную s_0 и др.

Глубиной резания t называют расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к последней. Глубину резания относят к одному рабочему ходу инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Глубина резания имеет размерность мм.

При точении цилиндрической поверхности глубину резания определяют как полуразность диаметров до и после обработки (рис. 3):

где d диаметр обработанной цилиндрической поверхности заготовки, мм.

Форму срезаемого слоя материала рассмотрим на примере обтачивания цилиндрической поверхности на токарно-винторезном станке. На рис. 3 показаны два последовательных положения резца относительно заготовки за время одного полного оборота ее. При обработке резец срезает с заготовки материал площадью поперечного сечения f_{ABCD} называемой номинальной площадью поперечного сечения срезаемого слоя f_n , мм².

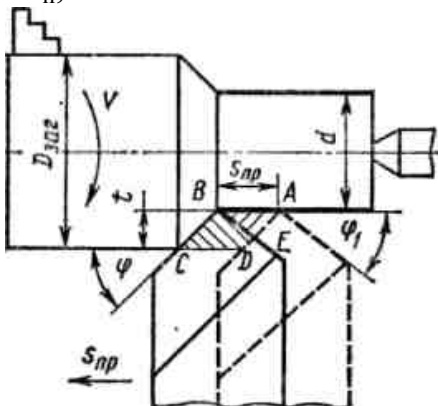


Рис. 3. Элементы резания и геометрии срезаемого слоя -

Форма и размеры номинального сечения срезаемого слоя материала зависят от параметров режима резания, геометрии режущего инструмента и формы режущей кромки.

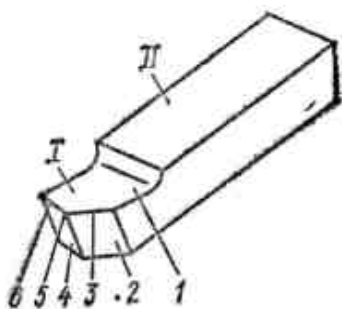


Рис. 50. Элементы токарного прямого проходного резца

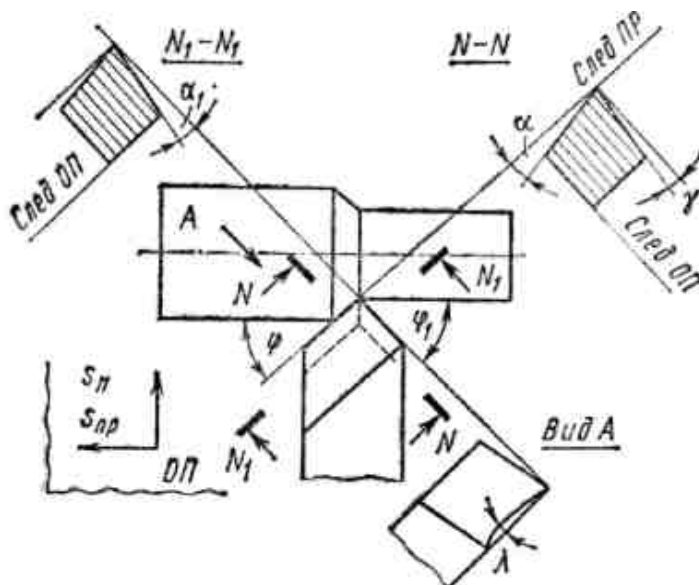


Рис. 51. Углы резца в статике

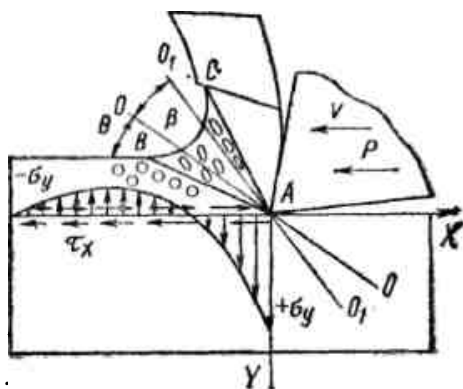
Элементы токарного проходного резца. Токарный прямой проходной резец (рис. 4) имеет головку, т. е. рабочую часть I, и тело, т. е. стержень II, который служит для закрепления резца в резцедержателе. Головка резца образуется при специальной заточке и имеет следующие элементы: переднюю поверхность 1, по которой сходит стружка; главную заднюю поверхность 2, обращенную к поверхности резания заготовки; вспомогательную заднюю поверхность 4, обращенную к обработанной поверхности заготовки; главную режущую кромку 3, вспомогательную 6; вершину 5. Инструмент затачивают по передней и задним поверхностям. Для определения углов, под которыми расположены поверхности рабочей части инструмента относительно друг друга, вводят координатные плоскости (рис. 5).

Главный угол в плане φ — угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. Угол φ оказывает значительное влияние на шероховатость обработанной поверхности заготовки. С уменьшением угла φ шероховатость обработанной поверхности понижается. Одновременно уменьшается толщина и растет ширина срезаемого слоя материала, что увеличивает активную рабочую длину главной режущей кромки. Сила и температура резания, приходящиеся на единицу длины кромки, уменьшаются, что снижает износ инструмента. С уменьшением угла φ резко возрастает сила резания, направленная перпендикулярно к оси заготовки, что вызывает повышенную деформацию обрабатываемой заготовки. С уменьшением угла φ возможно возникновение вибраций в процессе резания, что снижает качество обработанной поверхности.

Вспомогательный угол в плане φ_1 — угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением, обратным движению подачи. С уменьшением угла φ_1 шероховатость обработанной поверхности понижается, одновременно увеличивается прочность вершины резца и снижается его износ.

Физическая сущность процесса резания

Резание металлов является сложным процессом взаимодействия режущего инструмента и заготовки, сопровождающимся определенными физическими явлениями, например, деформированием срезаемого слоя металла. Упрощенно процесс резания можно представить в виде следующей схемы. В начальный момент процесса резания, когда



состояния металла
заготовки при обработке
резанием

движущийся резец под действием силы P (рис. 6) вдавливаются в металл, в срезаемом слое возникают упругие деформации. При дальнейшем движении резца упругие деформации, накапливаясь по абсолютной величине, переходят и пластические. Срезаемый слой металла находится под воздействием давления резца, касательных и нормальных напряжений. Сложное упругонапряженное состояние металла характеризуется пластическим деформированием. Рост пластической деформации приводит к сдвиговым деформациям, т. е. к смещению частей кристаллов относительно друг друга.

При резании заготовок из металлов образуется стружка сливная, скалывания или надлома. Сливная стружка, появляющаяся при резании деталей из пластичных металлов, представляет собой сплошную ленту с гладкой прирезцовой стороной. На внешней стороне стружки можно видеть слабые пилообразные зазубрины. Стружка скалывания, образующаяся при резании деталей из металлов средней твердости, представляет собой ленту с гладкой прирезцовой стороной, на ее внешней стороне — ярко выраженные зазубрины. Стружка надлома образуется при резании деталей из хрупких металлов и состоит из отдельных, не связанных между собой элементов. Вид образующейся стружки зависит от физико-механических свойств металла обрабатываемой детали, режима резания, геометрии режущего инструмента, применяемых в процессе резания смазочно-охлаждающих веществ.

Силы резания. Деформирование и срезание с заготовки слоя металла происходит под действием внешней силы P , приложенной со стороны инструмента к обрабатываемой заготовке. Направление вектора силы совпадает с вектором скорости резания v . Работа, затрачиваемая на деформирование и разрушение материала заготовки (Pv), расходуется на упругую и пластическую деформации металла, его разрушение, а также на преодоление сил трения задних поверхностей инструмента о заготовку и стружки о переднюю поверхность инструмента.

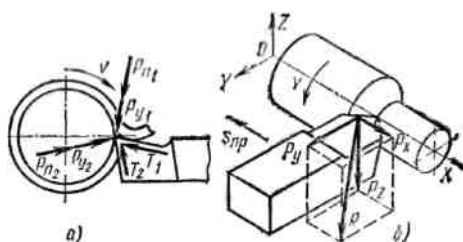


Рис. 7. Силы, возникающие в
процессе резания:

В результате сопротивления металла процессу деформирования возникают реактивные силы, действующие на режущий инструмент. Всю указанную систему сил приводят к равнодействующей силы резания:

$$R = P_x + P_y + P_z$$

Считают, что точка приложения силы R находится на рабочей части главной режущей кромки инструмента (рис. 7). Абсолютная величина, точка приложения и направление в пространстве равнодействующей силы резания R в процессе обработки являются переменными. Это можно объяснить неоднородностью структуры металла обрабатываемой заготовки, переменной поверхностной твердостью материала заготовки, непостоянством срезаемого слоя металла (наличие штамповочных и литейных уклонов и др.), изменением углов в процессе резания и т. д.

Крутящий момент на шпинделе станка

, Нм

Влияние нароста и наклепа на формирование поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. При обработке резанием заготовок из пластичных металлов на передней поверхности инструмента может образоваться слой металла, который называют наростом. Образование нароста объясняют тем, что при некоторых условиях обработки силы трения между передней поверхностью инструмента и срезанным слоем металла становятся больше сил внутреннего сцепления, и при определенных температурных условиях металл прочно оседает на передней поверхности инструмента. Размеры и форма нароста постоянно меняются. В процессе резания нарост обновляется вследствие действия сил трения между отходящей стружкой и внешней поверхностью нароста. Частицы нароста уносятся стружкой и обработанной поверхностью заготовки, нарост срывается с передней поверхности инструмента и вновь возникает. Частота срывов нароста зависит от скорости резания.

Нарост существенно влияет на процесс резания и качество обработанной поверхности заготовки, так как при его наличии изменяются условия стружкообразования. Нарост может положительно влиять на процесс резания. Он изменяет форму передней поверхности инструмента, что приводит к увеличению переднего угла, а следовательно, к уменьшению силы резания. Вследствие высокой твердости нарост способен резать металл. Он удаляет центр давления стружки от режущей кромки, вследствие чего уменьшается износ режущего инструмента по передней поверхности. Нарост улучшает теплоотвод от режущего инструмента.

Образование нароста зависит от физико-механических свойств материала обрабатываемой детали, скорости резания, геометрии режущего инструмента и других факторов. Наиболее активно нарост образуется при обработке деталей из пластичных материалов. Интенсивность образования нароста в значительной степени зависит от скорости резания. Наибольшее наростообразование имеет место при скоростях резания 18—30 м/мин, а при скоростях резания до 10 — 12 м/мин и более 50—70 м/мин нарост на режущем инструменте практически не образуется.

Результатом упругой и пластической деформации материала обрабатываемой заготовки является упрочнение (наклепывание) поверхностного слоя обработанной заготовки. При рассмотрении процесса стружкообразования принято считать инструмент острым. Однако инструмент всегда имеет радиус закругления режущей кромки ρ величина которого при обычных методах заточки примерно 0,02 мм. Такой инструмент может срезать с заготовки слой материала при условии, что глубина резания больше радиуса. Слой металла, толщина которого соизмерима с величиной радиуса ρ , будет упругопластически деформироваться. При работе инструмента величина радиуса ρ быстро растет вследствие затупления режущей кромки, и величина слоя материала который упругопластически деформирован увеличивается.

Упрочнение металла обработанной поверхности заготовки проявляется в повышении ее поверхностной твердости. Если твердость МЕТАЛЛА заготовки принять за 100%, то твердость металла обработанной поверхности после обработки резанием может увеличиться до 2 раз. Значение твердости может колебаться, так как величина пластической деформации и глубина ее проникновения зависят от физико-механических свойств материала обрабатываемой заготовки, геометрии режущего инструмента и режимов резания.

Следствием деформирования металла является также то, что после перемещения резца

относительно обработанной поверхности происходит упругое восстановление поверхностного деформированного слоя (упругое последствие).

Упругопластическое деформирование металла приводит к возникновению в поверхностном слое заготовки остаточных напряжений, которые могут быть растягивающими или сжимающими. Напряжения растяжения снижают предел выносливости материала заготовки, так как приводят к появлению микротрещин в поверхностном слое, развитие которых ускоряется действием корродирующей среды. Напряжения сжатия, напротив, повышают предел выносливости деталей. Неравномерная релаксация остаточных напряжений искажает геометрическую форму обработанных поверхностей, снижает точности их взаимного расположения и размеров. Релаксация напряжений, продолжающаяся в процессе эксплуатации машин, снижает их качество, надежность и долговечность.

Следовательно, окончательную обработку поверхностей заготовок следует вести такими методами и в таких условиях, чтобы остаточные напряжения отсутствовали или были минимальными по величине. Целесообразно, чтобы в поверхностном слое возникали напряжения сжатия. Можно снизить величину напряжений, применяя, например, электрохимическую обработку, а для получения в поверхностном слое сжимающих напряжений можно рекомендовать обработку тонким пластическим деформированием, например, обкатку поверхностей заготовок стальным закаленным роликом или шариком.

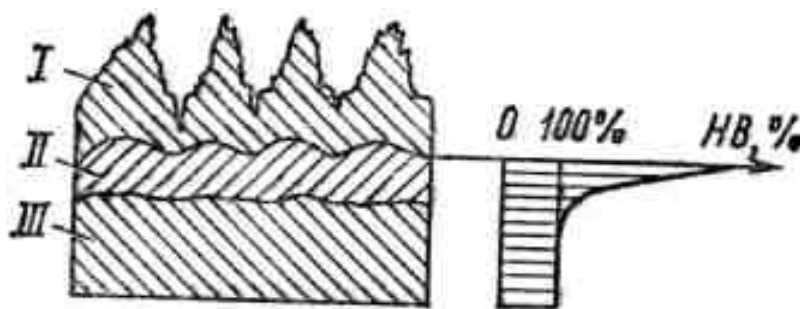


Рис.8 – Поверхностный слой материала заготовки (а – строение, б – эпюра изменения твердости)

Условно поверхностный слой обработанной заготовки можно разделить на три зоны (рис. 8): I — зона разрушенной структуры с измельченными зернами, резкими искажениями кристаллической решетки и большим количеством микротрещин; ее следует обязательно удалять при каждой последующей обработке поверхности заготовки; II — зона наклепанного металла; III — основной металл. В зависимости от физико-механических свойств материала обрабатываемой заготовки и режима резания глубина наклепанного слоя составляет несколько миллиметров при черновой обработке и сотые и тысячные доли миллиметра при чистовой обработке. Пластичные металлы подвергаются большему упрочнению, чем твердые.

Наклеп обработанной поверхности можно рассматривать как полезное явление, если возникающие остаточные напряжения являются сжимающими. Однако наклеп, полученный при черновой обработке, отрицательно влияет на процесс резания при последующей чистовой обработке, когда срезаются тонкие стружки. В этом случае инструмент работает по поверхности с повышенной твердостью, что приводит к его быстрому затуплению, шероховатость поверхности увеличивается.

Тепловые явления процесса резания. Процесс резания сопровождается образованием теплоты. Количество теплоты Q , выделяющейся в единицу времени, Дж/мин:

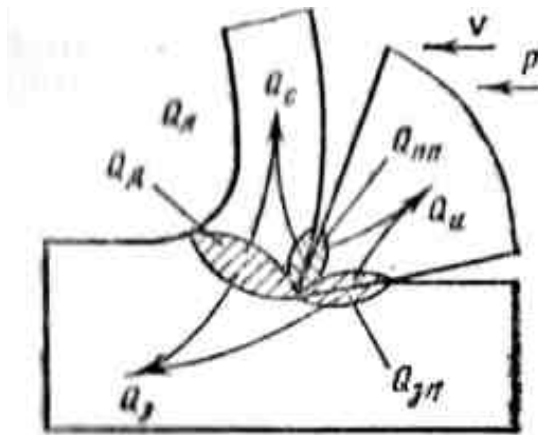
$$Q = P_z V.$$

Причинами образования теплоты являются упругопластическое деформирование в зоне стружкообразования, трение стружки о переднюю поверхность инструмента, трение задних поверхностей инструмента о поверхность резания и обработанную поверхность заготовки.

Тепловой баланс процесса резания можно представить следующим выражением:

$$Q = Q_d + Q_{п.п} + Q_{з.п} = Q_c + Q_z + Q_{и} + Q_{л}$$

где Q_d количество теплоты, выделяющейся при упругопластическом деформировании обрабатываемого материала, Дж; $Q_{п.п}$ — количество теплоты, выделяющейся при трении стружки о переднюю поверхность инструмента, Дж; $Q_{з.п}$ — количество теплоты, выделяющееся при трении задних поверхностей инструмента о заготовку \.



Дж; Q_c — количество теплоты, отводимое стружкой, Дж,

Q_z — количество теплоты, отводимое заготовкой, Дж; $Q_{и}$ — количество теплоты, отводимое режущим инструментом, Дж; $Q_{л}$ — количество теплоты, переходящее в окружающую среду (теплота лучеиспускания), Дж.

В зависимости от технологического метода и условий обработки стружкой отводится от 25 до 85% всей выделившейся теплоты; заготовкой 10—50%; инструментом 2—8%. Количественное распределение теплоты зависит главным образом от скорости резания. Теплообразование отрицательно влияет на процесс резания. Нагрев инструмента до высоких температур (800—1000° С) оказывает структурные превращения в материале, из которого он изготовлен, снижение твердости инструмента и потерю его режущих способностей.

Нагрев инструмента вызывает также изменение его геометрических размеров, что влияет на точность размеров и геометрическую форму обработанных поверхностей. Например, при обтачивании цилиндрической поверхности на токарно-винторезном станке удлинение резца при повышении его температуры изменяет глубину резания, и обработанная поверхность может получиться конусообразной. Нагрев заготовки вызывает изменение ее геометрических размеров. Вследствие жесткого закрепления на станке заготовка начинает деформироваться. Температурные деформации инструмента, приспособлений, заготовки и станка изменяют глубину резания и снижают точность геометрической формы поверхности ее размеров.

Для уменьшения отрицательного влияния теплоты на процесс резания обработку следует вести в условиях применения СОТС (СОЖ). В зависимости от

Лекция №2

технологического метода обработки, физико-механических свойств материалов обрабатываемых-детали и режущего инструмента, а также от режима резания применяют различные смазочно-охлаждающие среды, которые можно разделить на следующие группы.

Жидкости: водные растворы минеральных электролитов, эмульсии, растворы мыл; минеральные, животные и растительные масла; минеральные масла с добавлением фосфора, серы, хлора (сульфофрезолы), керосин и растворы поверхностно-активных веществ в керосине; масла и эмульсии с добавлением смазывающих веществ (графита, парафина, воска и др.).

Газы и газообразные вещества: газы CO_2 , CCl_4 , N_2 ; пары поверхностно-активных веществ; распыленные жидкости (туман) и ПБНУ.

Твердые вещества: порошки воска, парафина, битума; мыльные порошки.

Чаще всего при обработке резанием применяют смазочно-охлаждающие жидкости. Обладая смазывающими свойствами, жидкости снижают внешнее трение стружки о переднюю поверхность инструмента и задних поверхностей инструмента о заготовку. Одновременно снижается работа деформирования. Общее количество теплоты, выделяющейся при резании, уменьшается, отводятся теплота во внешнюю среду от мест ее образования, охлаждая тем самым режущий инструмент, деформируемый слой и обработанную поверхность заготовки.

Износ инструмента

