

## **2.3 Изменение химического и фазового состава поверхностного слоя при обработке деталей.**

### **Упрочнение и разупрочнение**

На предыдущих занятиях мы рассмотрели наружную часть поверхностного слоя, граничащую с внешней средой или сопрягаемыми деталями. К ней относятся неровности поверхности, адсорбированная зона и зона химического взаимодействия.

К последней примыкает граничная зона толщиной в несколько межатомных расстояний, которая из-за влияния оксидных пленок имеет иную, чем у основного материала кристаллическую и электронную структуру.

В силу малой толщины эта зона практически не влияет на свойства поверхностного слоя.

В рамках настоящей дисциплины мы рассматриваем детали, изготавливаемые методами механической и упрочняющей обработки. В данных процессах воздействия на деталь со стороны инструмента приводят к изменению физико-химических свойств материала в поверхностном слое.

Эти изменения происходят в области, которая называется зоной с измененной структурой, фазовым и химическим составом. Толщина этой области составляет от сотых долей до миллиметра и более.

## Изменение химического и фазового состава поверхностного слоя при обработке деталей. Упрочнение и разупрочнение

*Химический и фазовый состав поверхностного слоя после обработки деталей определяется следующими факторами:*

- 1) Влиянием температурных перепадов в поверхностном слое на интенсивность диффузионных процессов.
- 2) Твердофазными химическими реакциями, протекающими при повышенных температурах с образованием новых фаз
- 3) Адсорбцией и абсорбцией частиц режущего инструмента и технологических жидкостей при контакте с обрабатываемой поверхностью заготовки.
- 4) Десорбцией адсорбированных и абсорбированных атомов из обрабатываемого металла при повышении температуры.
- 5) Налипанием микрочастиц материала на режущий или деформирующий инструмент и «размазыванием» их по поверхности детали и протекающими при этом химическими реакциями при высоких локальных температурах.

Химический и фазовый состав поверхностного слоя после обработки деталей определяется следующими факторами:

Во-первых, влиянием местного повышения температуры в процессе обработки на интенсивность диффузионных процессов.

Как известно, элементы сплавов имеют различные коэффициенты диффузии. Эти коэффициенты устанавливают взаимосвязь интенсивности диффузионных потоков веществ с градиентами их концентрации и сильно зависят от температуры. Изменение температуры поверхностного слоя при обработке будет приводить к соответствующему перераспределению концентраций компонентов сплава.

Во-вторых, твердофазными химическими реакциями, протекающими при повышенных температурах и связанными с активизацией диффузионных процессов. При этом образуются новые фазы: оксиды, карбиды, интерметаллиды и т.д.

В третьих, адсорбцией и абсорбцией частиц инструмента и технологических жидкостей при контакте с обрабатываемой поверхностью заготовки;

В-четвертых, десорбцией адсорбированных атомов из обрабатываемого металла при повышении температуры.

И, в-пятых, налипанием микрочастиц материала на инструмент, а затем – на обрабатываемую поверхность и протекающими при этом химическими и электрохимическими реакциями, например, окислительно-восстановительными реакциями при контакте разных металлов.

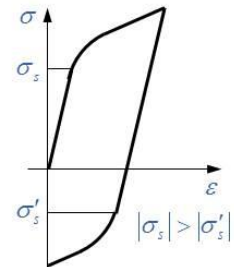
Так, для удаления частиц железа, налипающих на поверхность деталей из алюминиевых сплавов, после обработки стальной дробью вводится химическое травление в 20 процентном растворе азотной кислоты.

## Изменение химического и фазового состава поверхностного слоя при обработке деталей. Упрочнение и разупрочнение

Физико-химическое состояние поверхностного слоя при обработке деталей формируется под действием силового и температурного факторов. Результатом действия **силового фактора** является неоднородная пластическая деформация, монотонно затухающая по глубине.

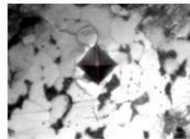
**Наклёп** – упрочнение металлов и сплавов вследствие изменения их структуры и фазового состава в процессе пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации.

Наклёп сопровождается увеличением прочности и твёрдости за счет увеличения плотности дислокаций, но при этом снижается пластичность, ударная вязкость и сопротивление деформации противоположного знака (**эффект Баушингера**).



$u_n$  – степень наклепа,  
 $u_{гр}$  – градиент наклепа,  
 $h_n$  – глубина наклепа,  
 $H_\mu$  – микротвердость.

### Параметры наклепа



$$u_n = \frac{H_{\mu \max} - H_{\mu \text{исх}}}{H_{\mu \text{исх}}} 100\%;$$

$$u_{гр} = \frac{H_{\mu \max} - H_{\mu \text{исх}}}{h_n} 100\%.$$

**Перенаклеп** – разрушение кристаллической решетки вследствие увеличения давления в зоне контакта или времени обработки. Сопровождается шелушением и отслаиванием частичек металла.

Физико-механическое состояние поверхностного слоя при обработке деталей формируется под воздействием двух факторов: силового и температурного.

Результатом действия силового фактора является неоднородная пластическая деформация, монотонно затухающая по глубине. Как мы знаем, пластическое деформирование сопровождается изменениями в кристаллической структуре. У обработанной поверхности происходит переориентация кристаллических зерен в направлении силы деформирования. Зерна дробятся на фрагменты и блоки.

Происходит изменение микроструктуры вследствие деформации кристаллической решетки внутри зерен. При этом резко возрастает количество дислокаций и вакансий, снижается плотность материала и возрастает сопротивление деформированию, т.е. происходит наклеп или упрочнение металлов вследствие изменения их структуры и фазового состава в процессе пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации.

Наклёп сопровождается увеличением прочности и твёрдости за счет роста плотности дислокаций, но при этом снижаются пластичность и ударная вязкость. Кроме этого уменьшается сопротивление материала деформации противоположного знака.

Данное явление носит название эффекта Баушингера, по имени немецкого инженера 19 века Иоганна Баушингера.

Из диаграммы видно, что предел текучести при повторном сжатии меньше чем при первом нагружении растяжением, т.е. материал при сжатии деформируется легче. Эффект Баушингера обнаруживается при малых значениях предварительной деформации (до 1%) и уменьшается при увеличении её величины. Природа данного эффекта состоит в том, что дислокациям, заблокированным в ходе деформации, в противоположном направлении двигаться будет легче.

Наклеп материала оценивают глубиной, степенью и градиентом, которые определяют путем измерения микротвердости, т.е. твёрдости отдельных участков микроструктуры на поверхности косых срезов или при послойном стравливании.

При значительном увеличении давления в зоне контакта инструмента и заготовки, а также при увеличении времени воздействия инструмента, например, шариков при поверхностном упрочнении, может возникнуть перенаклеп.

Это – необратимое разрушение кристаллической решетки, которое сопровождается шелушением и отслаиванием частичек металла.

## Изменение химического и фазового состава поверхностного слоя при обработке деталей. Упрочнение и разупрочнение

Действие температурного фактора в виде местного нагрева приводит к частичному или полному снятию деформационного упрочнения. Механизм данного явления выражается в увеличении кинетической энергии и диффузионной подвижности атомов, а также дефектов кристаллической структуры – дислокаций.

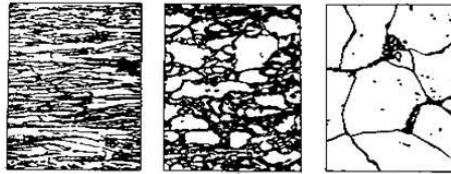
**Возврат** – процесс частичного восстановления свойств деформированных металлов без видимых изменений структуры.  
 $T_v = (0,25 \dots 0,3) T_{пл}$  – температура возврата.

**Рекристаллизация** – процесс зарождения и роста одних кристаллических зёрен (кристаллитов) поликристалла за счёт других.

$T_p \sim 0,4 T_{пл}$  – температура начала рекристаллизации (акад. Бóчвар А.А.).

При рекристаллизации имеют место снижение прочности и рост пластичности материала.

### Изменение структуры деформированного металла при нагреве



а) структура деформированного металла  
б) образование центров кристаллизации и зарождение новых зерен  
в) рост образовавшихся зерен

Действие температурного фактора в виде местного нагрева при обработке приводит к частичному или полному снятию деформационного упрочнения. Механизм данного явления основан на увеличении кинетической энергии и диффузионной подвижности атомов и соответственно дислокаций.

При нагреве до температуры, составляющей порядка 25-30 % от температуры плавления происходит возврат – процесс частичного восстановления физических и химических свойств деформированных металлов без видимых изменений структуры. Возврат выражается в снижении плотности дислокаций и внутренних напряжений, а также в уменьшении искажения кристаллической решетки.

При этом размеры и форма зерен не меняются.

При дальнейшем увеличении температуры начинается рекристаллизация – процесс зарождения и роста одних кристаллических зёрен поликристалла за счёт других. При этом имеют место снижение прочности и рост пластичности материала. Скорость рекристаллизации возрастает с увеличением температуры и степени деформации.

По данным академика Андрея Анатольевича Бóчвара температуру начала рекристаллизации приближенно можно считать равной 40 процентам от температуры плавления.

Процесс рекристаллизации проходит определенные стадии. Поликристаллическая структура стремится снизить энергию, аккумулированную в наклепанном металле и перейти в более устойчивое состояние, характерное для неискаженной кристаллической решетки.

Вначале происходит деление деформированных зерен на части, исчезает упорядоченная ориентация зерен, затем на участках с наибольшей плотностью дислокаций начинается их перераспределение и частичная аннигиляция. В таких областях, а обычно это – границы зерен, образуются центры кристаллизации, и происходит зарождение новых зерен с неискаженной кристаллической решеткой.

Количество этих зерен увеличивается до тех пор, пока в структуре не остается деформированных зерен.

Следующая стадия заключается в росте образовавшихся новых зерен. Механизм процесса также основан на стремлении системы к снижению своей энергии. Для мелкозернистой структуры с большой поверхностью раздела характерна высокая внутренняя энергия.

При укрупнении зерен общая протяженность границ уменьшается, энергия снижается, и система переходит в более равновесное состояние. Рост зерен происходит в результате перехода атомов от одного зерна в другое через границу раздела. Такие переходы происходят от более напряжённых зерен – в менее напряженные. Напряженные зерна при этом постепенно исчезают, а равновесные становятся более крупными.

Таким образом, при обработке деталей в поверхностном слое протекают два взаимно исключаящих процесса: деформационное упрочнение и разупрочнение. Физико-механическое состояние поверхностного слоя определяется соотношением интенсивности и скорости данных процессов.