

**НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ТЕКСТУРЫ И  
ВЛИЯНИЕ ЕЕ НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

***Раздел 9***

***ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И ТЕКСТУРООБРАЗОВАНИЕ***

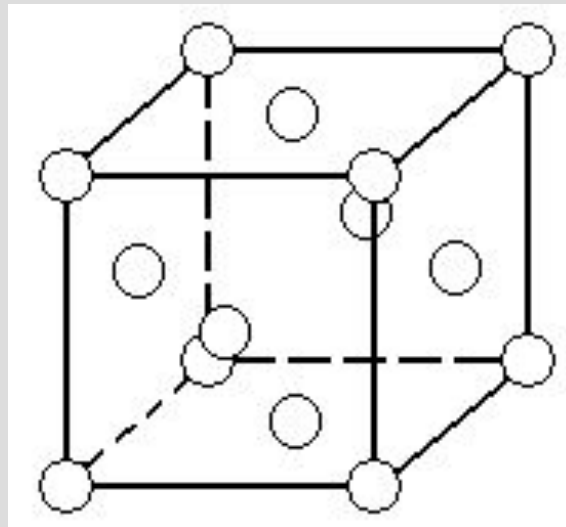
# Введение

Наиболее распространенным видом текстуры металлов и сплавов является **текстура пластической деформации**, которая осуществляется механизмом **скольжения** и **двойникования**.

**Скольжение** происходит в определенной кристаллографической системе  $\{hkl\} \langle uvw \rangle$ : в плоскостях  $\{hkl\}$ , наиболее густо усаженных атомами, и в направлениях  $\langle uvw \rangle$ , вдоль которых расстояние между атомами минимально.

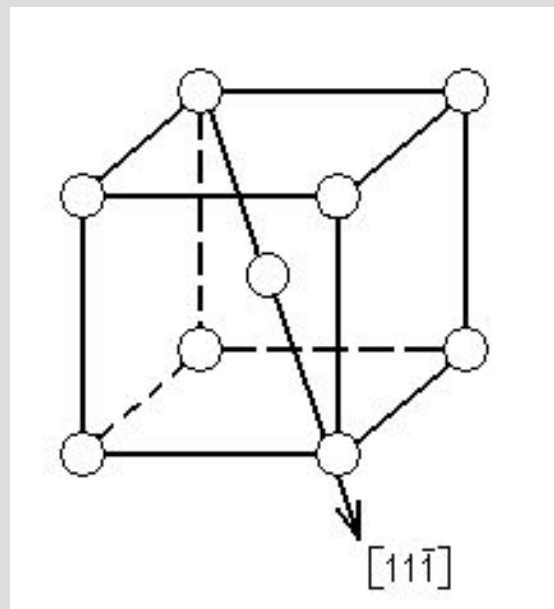
## *Скольжение в металлах с ГЦК решеткой*

В плотноупакованных материалах с ГЦК решеткой скольжение при комнатной температуре осуществляется в основном в октаэдрических плоскостях  $\{111\}$  вдоль  $\langle 110 \rangle$ , т. е. в одной или нескольких из 12 возможных систем скольжения.



# Скольжение в металлах с ОЦК решеткой

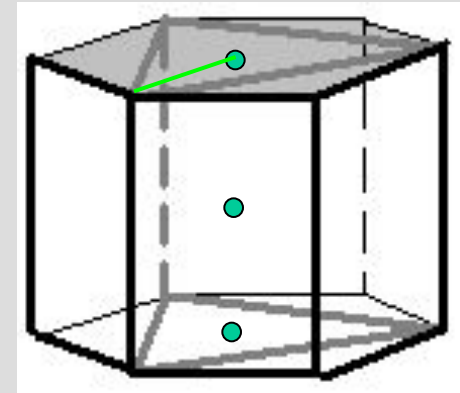
В материалах с ОЦК решеткой нет плоскостей с высокой плотностью упаковки и скольжение может происходить в 48 возможных системах скольжения в плоскостях  $\{110\}$ ,  $\{112\}$  или  $\{123\}$ , но в общем направлении  $\langle 111 \rangle$ .



# Скольжение в металлах с ГПУ решеткой

В материалах с ГПУ решеткой при отношении периодов, большем, чем это характерно для идеальной компактной решетки, т. е. при  $c/a > 1,633$ , скольжение в основном проходит в двух возможных системах скольжения в базисных плоскостях  $\{0001\}$  вдоль  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ .

Если же  $c/a < 1,633$ , то возрастает роль внебазисного скольжения в призматических  $\{10\bar{1}0\}$  и пирамидальных  $\{10\bar{1}1\}$ ,  $\{11\bar{2}1\}$  плоскостях, что ведет к увеличению числа возможных систем скольжения.



# Скольжение

*Скольжение* может происходить в одной или нескольких из возможных систем в зависимости от их ориентации по отношению к осям напряжений. Оно начинается при условии, что касательное скалывающее напряжение ( $\tau$ ) в данной системе скольжения превосходит определенное для данного материала и режима деформации критическое напряжение сдвига  $\tau_{кр}$ .

$$\tau > \tau_{кр}$$

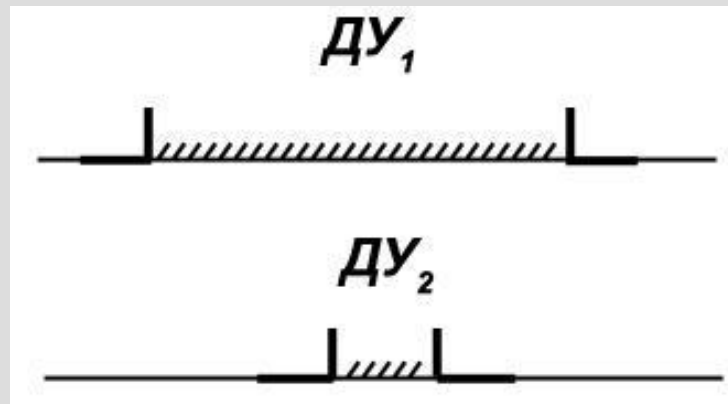
## Скольжение

Для малых степеней и относительно невысоких гомологических температур деформации *скольжение* начинается *в одной, первичной системе, для которой напряжение  $\tau$  раньше всего превзойдет  $\tau_{кр}$* .

*При повышении температуры или степени деформации в скольжении начинают участвовать новые из возможных систем*, т. е. развивается множественное скольжение, которое возникает у границ зерен и распространяется постепенно по объему зерен. При этом могут также инициироваться дополнительные системы скольжения, например развиваться неоктаэдрическое скольжение в плоскостях  $\{100\}$  для металлов с ГЦК решеткой.

*Характер и развитие пластической деформации в металлах и сплавах зависят также от возможности образования в них **дефектов упаковки.***

**Дефекты упаковки (ДУ),** обусловленные нарушением порядка в укладке слоев атомов, возникают при расщеплении полной дислокации на частичные в плоскости скольжения. Они появляются с тем большей вероятностью, чем ниже энергия (ЭДУ,  $\gamma$ , Дж/м<sup>2</sup>), необходимая для их образования.





Для металлов и сплавов с ГЦК решеткой ЭДУ может меняться в широком диапазоне. Для материалов с ОЦК решеткой ЭДУ, как правило, велика. Образованию ДУ способствует анизотропное распределение упругой энергии в решетке.

Для металлов с ГЦК решеткой при прочих равных условиях ЭДУ тем ниже, чем больше коэффициент анизотропии упругих свойств.

**Анизотропия свойств и энергия дефектов упаковки некоторых металлов  
и сплавов\*1**

Материал	$\gamma \cdot 10^3$ , Дж/м <sup>2</sup>	$\frac{\gamma}{Gb} \cdot 10^3$	$(E_{111})_{\max}$	$(E_{100})_{\min}$	$A^{*2}$
			10 МПа		

*Г ц к решетка*

Al	200	20	0,77	0,64	1,22
Ni	290±50	12	0,83	0,67	2,45
Cu	60±40	6,0	2,10	0,68	3,22
12X18H10T,	13—15	1,0	—	—	—
Л68	10—15	1,0	—	—	—
BrA7	2—4	0,2	—	—	—

*Продолжение*

Материал	$\gamma \cdot 10^3$ Дж/м <sup>2</sup>	$E_{111}$	$E_{110}$	$E_{100}$	$A$
		10 <sup>3</sup> МПа			

*О ц к решетка*

W	300	3,8	2,87	3,87	1,00
Mo	300	2,55	3,60	2,74	0,89
Cr	300	—	—	—	0,71
Nb	30	0,81	1,50	0,91	0,51
Ga	110	2,18	1,47	1,94	1,58
V	110	—	—	—	0,79
Fe <sub>α</sub>	140	2,83	1,32	2,17	2,40
Fe—3% Si	40	2,95	1,18	2,00	2,90

## ***Влияние легирования на ЭДУ***

***Легирование металла с образованием твердого раствора замещения (внедрения) понижает ЭДУ основного компонента.***

Для материалов с ГЦК решеткой это понижение тем значительнее, чем больше концентрация и валентность легирующего элемента и ниже ЭДУ для металла-растворителя.

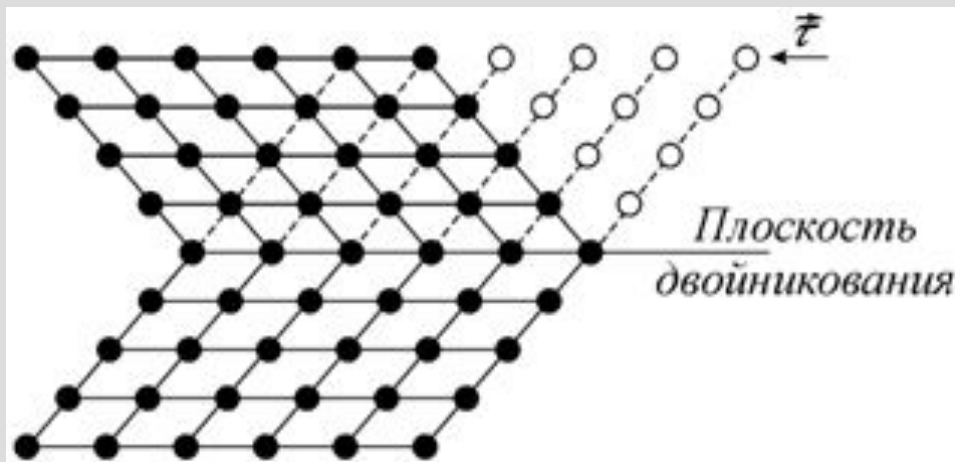
Элементы внедрения (H, O, C, N) оказывают гораздо большее влияние на ЭДУ по сравнению с элементами замещения. Элементы внедрения находятся в порах и вызывают более сильные упругие искажения.

Наличие ДУ задерживает поперечное скольжение винтовых дислокаций. ***В результате металлы и сплавы с ГЦК решеткой и низкой ЭДУ сильнее упрочняются, чем с более высокой, и поперечное скольжение в них не развивается.***

# Двойникование

**Двойникование** связано с нарушением порядка в расположении атомов, в результате которого внутри двойниковой области структура является зеркальным отображением структуры решетки вне этой области.

**Двойникование** происходит в определенной кристаллографической системе  $\{hkl\} \langle uvw \rangle$ , отличающейся в большинстве случаев от системы скольжения, при силах сдвига, превосходящих определенное критическое напряжение двойникования.



## *Двойникование в ГЦК и ОЦК материалах*

В чистых, сильнодеформированных при комнатной (и более высокой) температуре металлах с ГЦК решеткой и большой ЭДУ (Al, Ni) **двойники** практически не образуются, однако в сильнолегированных твердых растворах на основе этих металлов вероятность их образования велика.

В материалах с ОЦК решеткой двойники образуются только в высоколегированных сплавах при комнатной температуре деформации и ниже.

# ***Влияние процессов протекающих при нагреве на текстуру***

***Полигонизация*** проявляется в тем большей мере, чем значительнее ЭДУ, чище металл, выше температура деформации и ниже ее степень. Полигонизация не оказывает существенного влияния на текстуру (может происходить только некоторое изменение остроты текстуры), *но оказывает сильное влияние на последующую рекристаллизацию*. Также полигонизация оказывает влияние на последующую деформацию.

***Высокотемпературная деформация***, при которой могут происходить динамический возврат, полигонизация и рекристаллизация, ***способствует усилению поперечного скольжения дислокаций*** и соответствующим текстурным изменениям.

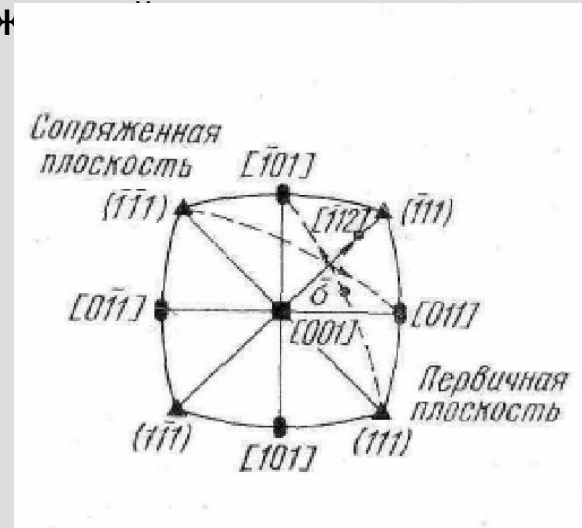
Общей тенденцией при пластической деформации является ***стремление направления скольжения повернуться к оси растяжения, характерной для используемой схемы напряженного состояния.***

Однако даже при относительно простой одноосной деформации растяжения и низком напряжении сразу же ***вслед за первичной начинает действовать сопряженная к ней система скольжения.***

В результате в направлении оси растяжения устанавливается новое, отличное от первоначального направление скольжения.

Однако, как только она достигнет границы  $[001]$ — $[-111]$ , то в работу включается сопряженная система  $(-1-11) [011]$ , ориентированная также благоприятно для скольжения относительно этой границы. В результате такого двойного скольжения  $\sigma$  отклонится в направлении  $[-112]$ . Таким образом, стабильной ориентировкой при растяжении должно быть направление биссектрисы наименьшего возможного угла между

направлениями скольжения для первичной и сопряженной систем. Направление ориентированного по отношению к направлению растяжения  $\sigma$  кристаллита и образующую при этом текстуру можно определить с помощью стандартной проекции. Например, для кристалла с ГЦК решеткой выход оси  $\sigma$  находится внутри стереографического треугольника. В результате скольжения в первичной системе  $(111) [-101]$  ориентация кристалла изменится так, что  $\sigma$  приближается к направлению скольжения.



Однако, как только она достигнет границы  $[001]$ — $[-111]$ , то в работу включается сопряженная система  $(-1-11) [011]$ , ориентированная также благоприятно для скольжения относительно этой границы. В результате такого двойного скольжения  $\sigma$  отклонится в направлении  $[-112]$ . Таким образом, стабильной ориентировкой при растяжении должно быть направление биссектрисы наименьшего возможного угла между направлениями скольжения для первичной и сопряженной систем.