Лекция

Объёмные металлические нано- и субмикрокристаллические материалы

Содержание лекции

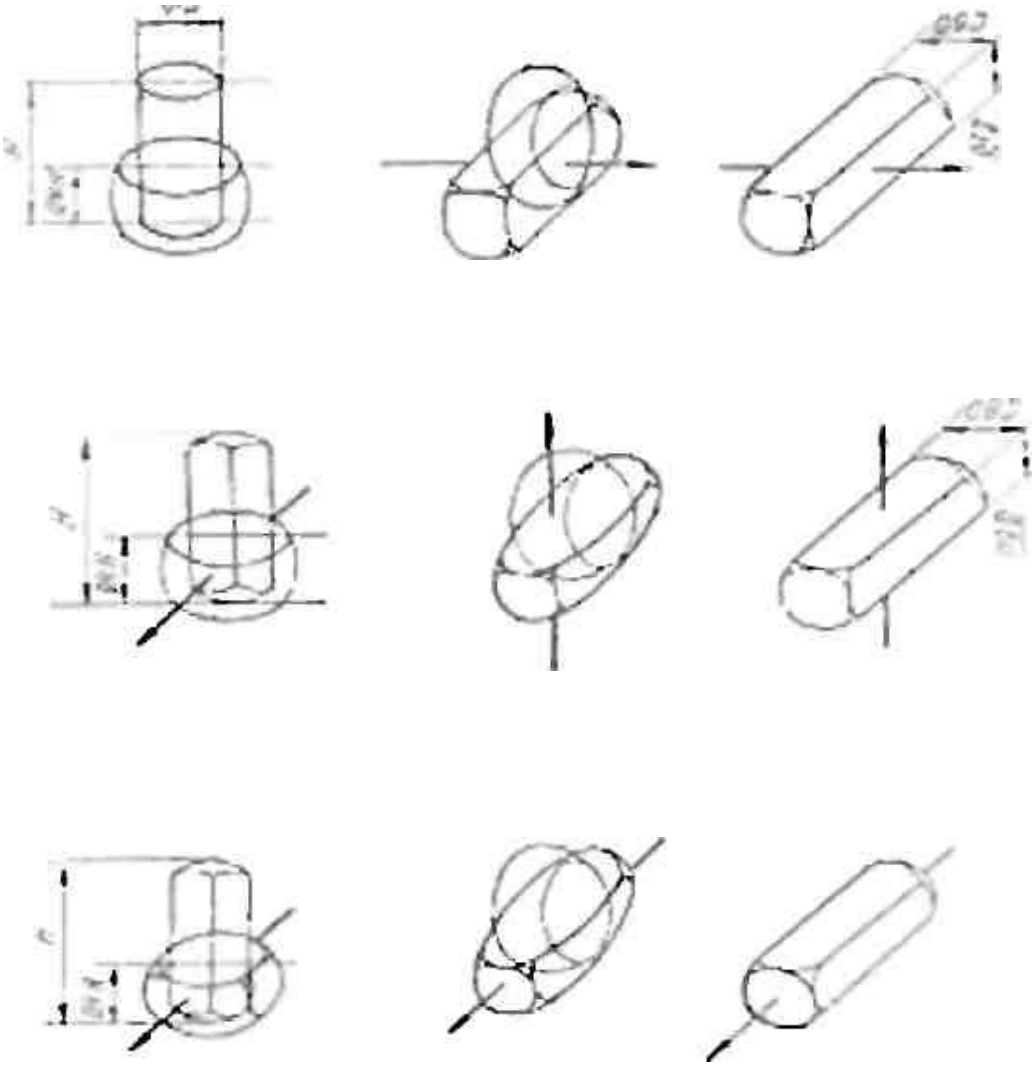
- Схемы интенсивной пластической деформации (ИПД)
- Структурообразование при холодной ИПД
- Термическая устойчивость УМЗ структуры
- Свойства металлов и сплавов после ИПД

СХЕМЫ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ (ИПД)

- Достижению больших степеней деформации без разрушения образца способствуют следующие условия:
- а) неизменность начального и конечного поперечного сечения образца;
- б) приближение деформации к простому сдвигу;
- в) знакопеременность деформации;
- г) высокие давления.

- Схемы ИПД:
- 1. В первой невозможны большие гидростатические давления. Это мультиосевая деформация, знакопеременный изгиб и аккумулируемая прокатка соединением.
- 2. Ко второй группе, использующей высокие гидростатические давления можно отнести кручение под гидростатическим давлением, винтовое прессование и равноканальное угловое прессование.

Мультиосевая деформация



. Схема МИД всесторонней ковком

Схема всесторонней ковки основана на использовании многократного повторения операций свободной ковки: осадка-протяжка со сменой оси прилагаемого деформирующего усилия (рис.).

Данный способ позволяет получать наноструктурное состояние в достаточно хрупких материалах, поскольку обработку начинают с повышенных температур и обеспечиваются небольшие удельные нагрузки на инструмент.

Знакопеременный изгиб

- принудительное изгибное прессование
- Последовательное прессование на рифленых и плоских штампах приводит к эквивалентной степени деформации по площади образца. Повторение принудительного изгибного прессования может аккумулировать большие степени деформации без изменения начальных размеров образца, в результате чего может быть получена УМЗ структура.

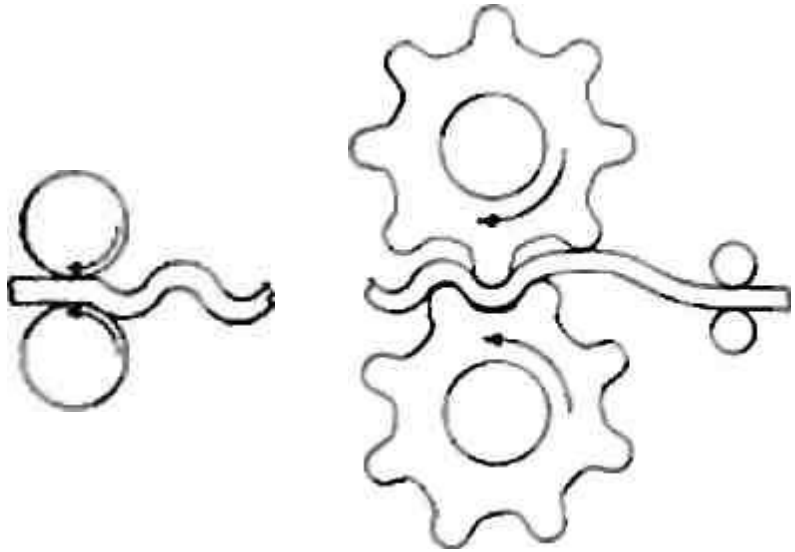


Схема знакопеременного изгиба при последовательной прокатке полосы на гладких и рифленых пачках

Кручение под гидростатическим давлением

- Кручение под гидростатическим давлением (КГД) обычно проводят на наковальне Бриджмена
- Образец помещается между штангами и при вращении одной из штанг деформируется сдвигом за счет сил поверхностного трения.
- КГД обычно используют для моделирования предельного измельчения структуры материала, так как из-за больших прикладываемых давлений и высоких степеней деформации сдвига, достигаемых даже при комнатной температуре, при КГД формируется наиболее дисперсная структура.

Винтовое прессование

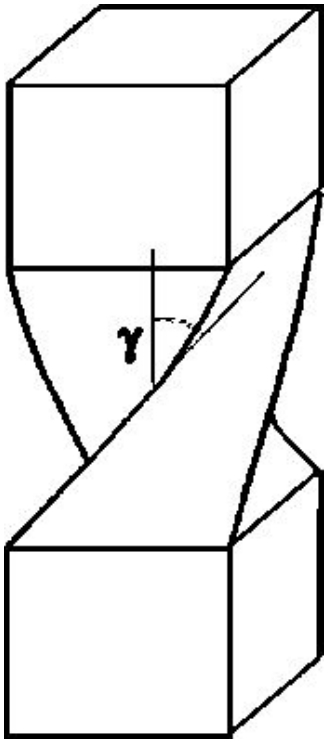


Схема винтового канала

Метод базируется на прямой экструзии призматических заготовок через матрицу с винтовым каналом. Угол γ наклона винтовой линии к направлению оси экструзии изменяется по высоте матрицы, причём на её начальном и конечном участках он равен нулю.

Указанные особенности геометрии канала приводят к тому, что при выдавливании через него форма заготовки не изменяется, что позволяет осуществлять се многократное прессование с целью накопления деформации.

Равноканальное угловое прессование

Для достижения больших степеней деформации используется сдвиг, который дает возможность повторения циклической деформации - равноканальное угловое прессование.

Сущность процесса заключается в многократном пропускании образца через два канала равного поперечного сечения, пересекающихся под углом, что позволяет достигать сверхвысоких степеней деформации без изменения поперечного сечения образца за счет повторяющихся циклов деформаций.

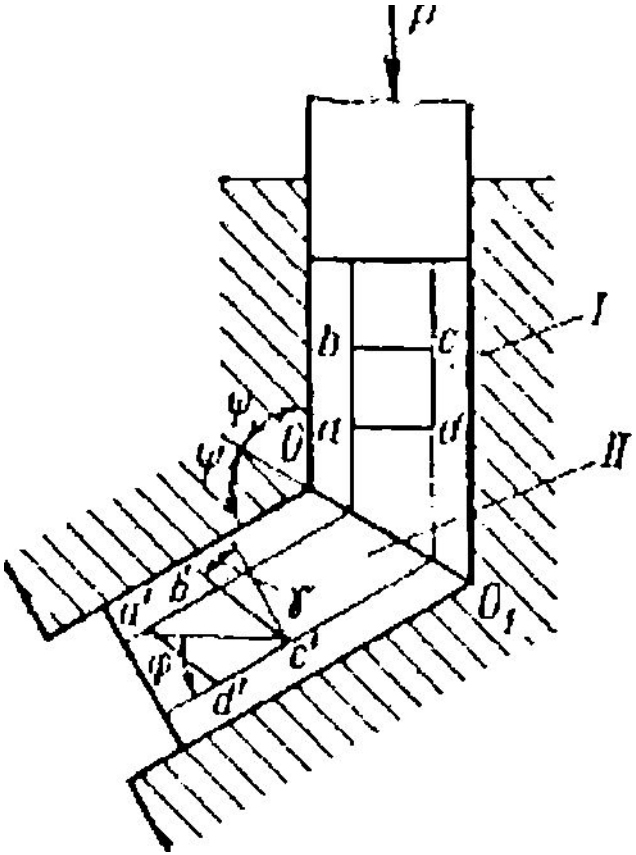


Схема равноканального углового прессования

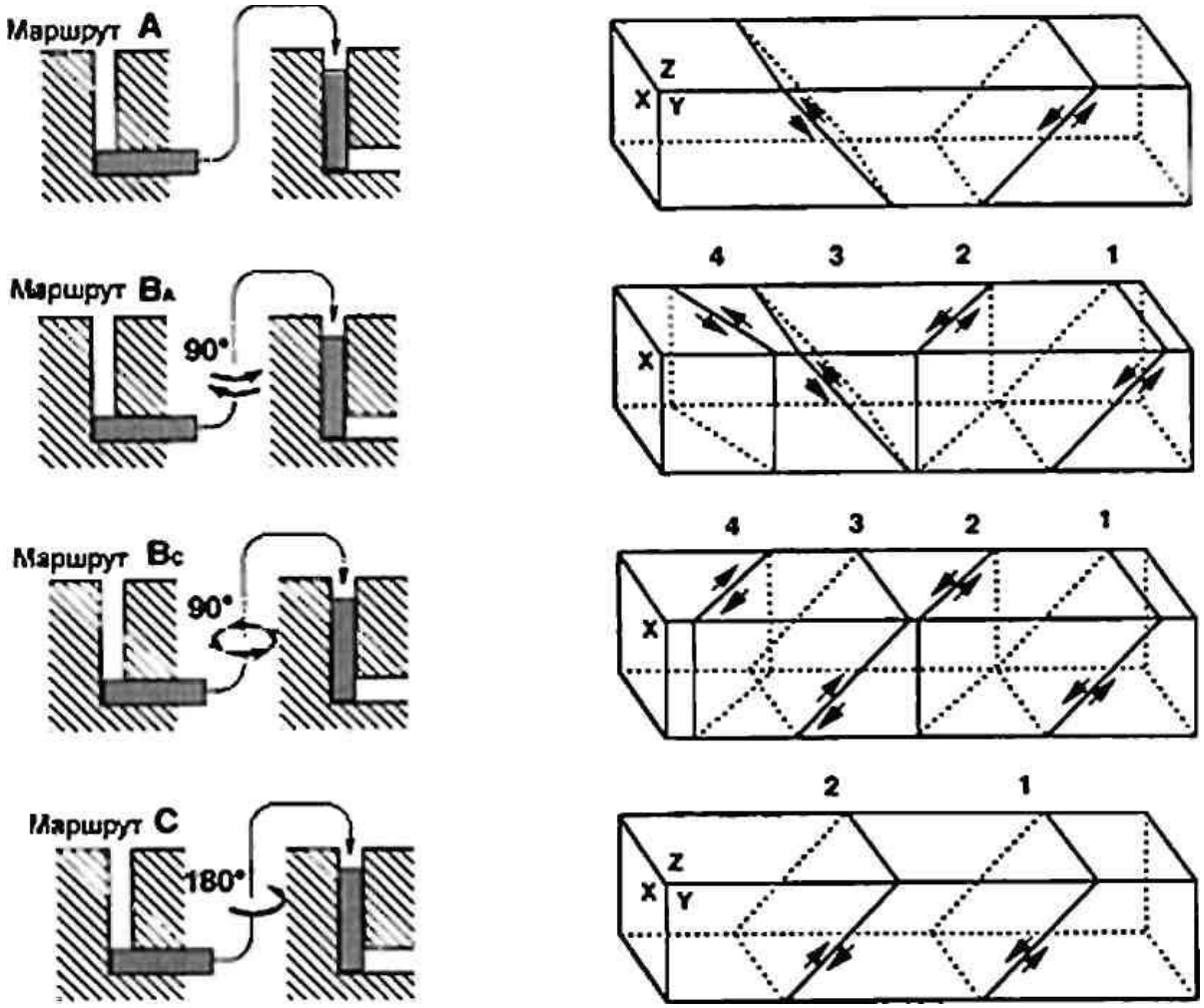
Равноканальное угловое прессование

Основные параметры РКУП:

1. температура деформации:
2. степень деформации;
3. угол пересечения каналов;
4. маршрут прессования.

Температура деформации должна быть низкой, по крайней мере ниже, чем температура обычной рекристаллизации. Чем ниже температура деформации, тем меньше размер образующегося в результате ИПД зерна, но более неравновесные границы зерен.

Для формирования новой зеренной структуры обычно требуется 4...8 проходов при угле пересечения каналов 90° в зависимости от температуры и материала.



Основные маршруты РКУ прессования с соответствующими плоскостями сдвига.

Структурообразование при холодной интенсивной пластической деформации (ИПД)

Особенностями получаемых интенсивной пластической деформацией структур при пониженных температурах являются:

- малый размер зерен вплоть до наноуровня;
- очень малая плотность внутризеренных дислокаций;
- преимущественно высокоугловая разориентировка структурных элементов;
- высокоэнергетические неравновесные границы

Для получения равновесных границ следует использовать термическую обработку после ИПД либо теплую деформацию с большими степенями

Структурообразование при холодной интенсивной пластической деформации (ИПД)

- ***Температура деформации.***
- Динамическая рекристаллизация термически активируемый процесс и не может идти при холодной деформации. Тем не менее при кручении под высоким гидростатическим давлением, позволяющим достигать истинную деформацию e = 10 и выше, были получены зерна размером менее 100 нм и специфическими, но высокоугловыми границами. Сейчас уже надежно установлено, что высокие давления в ходе холодной интенсивной деформации инициируют «термически активируемые» диффузионные процессы.
- ***Степень деформации.*** В чистых металлах ИПД кручением обычно приводит к формированию равноосной структуры, средний размер зерен в которой составляет около 100 нм. В общем случае степень деформации определяется количеством проходов при РКУ прессовании, а также схемой.
-

Структурообразование при холодной интенсивной пластической деформации (ИПД)

- ***Скорость деформации.***
- При схемах ИПД повышение скорости деформации представляется нецелесообразным, так как:
- а) влияние скорости на величину получаемого зерна при холодной деформации относительно невелико;
- б) при схемах ИПД с гидростатическим давлением (особенно при РКУ прессовании) увеличение скорости повышает вероятность образования трещин на поверхности образца;
- в) увеличивается износ инструмента.
- ***Давление.***
- 1) Высокие давления необходимы для получения совершенной ультрамелкозернистой структуры при ИПД.
- 2) Повышение давления способствует измельчению зерна, за счет увеличения диффузионной подвижности при низкотемпературной ИПД.

3. ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ УМЗ СТРУКТУРЫ

Нано- и субмикрокристаллическая структура характеризуется большой протяженностью границ зерен и их неравновесным состоянием, т.е. повышенной дефектностью. В связи с этим встает вопрос о термической устойчивости такой структуры.

Возможные пути повышения термической устойчивости нано- и субмикрокристаллических (СМК) материалов, полученных интенсивной пластической деформацией кручением под давлением:

- легирование;
- распад пересыщенного твердого раствора;
- высокотемпературная ИПД;
- формирование УМЗ структуры сотового типа с уравновешенными тройными стыками.

Влияние легирования на термическую устойчивость ИПД материалов. Легирование обычно способствует повышению термической устойчивости из-за:

а) замедления диффузии;

б) уменьшения энергии дефекта упаковки;

Пути повышения термической устойчивости нано- и субмикрокристаллических (СМК) материалов

- ***Влияние распада пересыщенного твердого раствора на термическую устойчивость ИПД материалов.***

  Создать пресыщенный твердый раствор можно, во-первых, быстрым охлаждением высокотемпературной фазы, и во-вторых, растворением частиц второй фазы в ходе низкотемпературной пластической деформации.

- ***Высокотемпературная ИПД.***

  Зеренная структура, сформированная при горячей ИПД, должна быть устойчива при кратковременных повторных нагревах до тех же температур деформации.

- ***Формирование УМЗ структуры сотового типа с уравновешенными тройными стыками.***

  Если в поликристаллическом материале получить структуру сотового типа с одинаковыми размерами кристаллитов и уравновешенными тройными стыками, то система может находиться в квазистабильном состоянии сколь угодно долго.

Свойства металлов и сплавов после ИПД

- Структурные изменения, вызванные холодной деформацией, резко изменяют структурно чувствительные механические и физические свойства. Особенно сильно увеличиваются прочностные и снижаются пластические свойства.
- Существенно сказывается на упрочнении тип кристаллической решетки. Сплавы с ГЦК решеткой упрочняются в несколько раз интенсивнее, чем сплавы с ОЦК решеткой.

Свойства металлов и сплавов после ИПД

Изменение механических свойств при холодной деформации волочением

Сталь	ε, %	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	δ, %	ψ, %
Низкоуглероди-стая (0,08% C)	0	420	300	31	73
	70	835	650	6	31
	95	1080	900	5	25
Аустенитная (18% Cr, 8% Ni)	0	620	245	80	71,8
	40	1125	1055	–	–
	90	1830	1820	5	43

Прочность нанокристаллических металлических материалов при растяжении существенно превышает прочность крупнозернистых аналогов как для чистых металлов, так и для сталей. При этом значения пластичности при комнатной температуре достаточно высоки, что, является следствием значительной зернограничной деформации.