

# СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Выполнила студентка  
группы АСУ 14-1 Кознова  
Анастасия

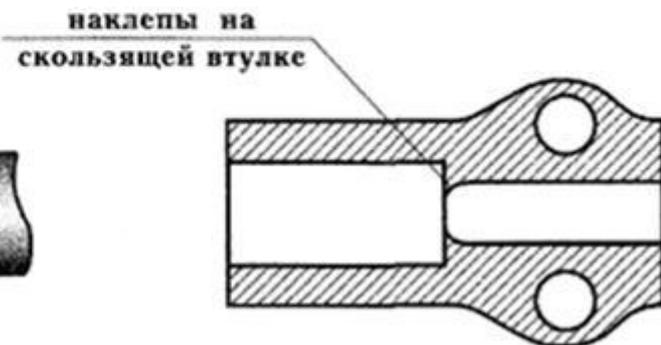
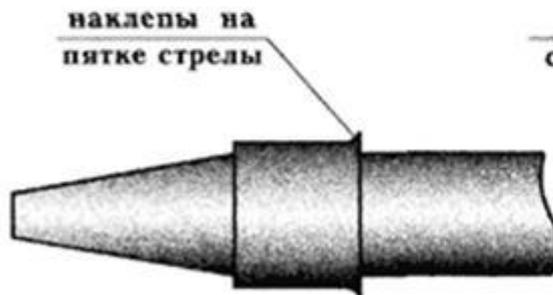
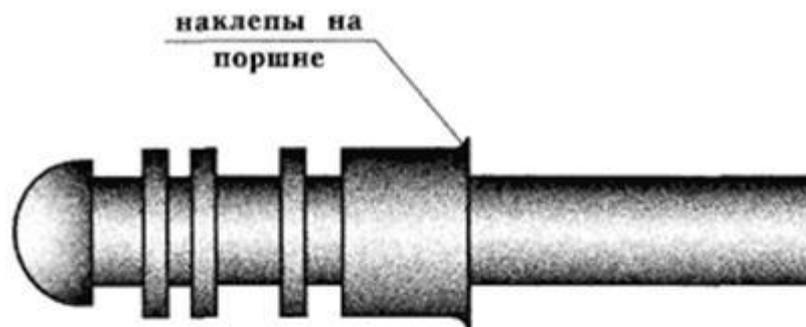
# СОДЕРЖАНИЕ

- Техническая и теоретическая прочность металлических материалов.
- Металлы и сплавы с бездефектной структурой, с повышенной плотностью дефектов.
- Деформационное упрочнение, твердорастворное упрочнение, дисперсное и зернограничное упрочнение.
- Измельчение зерна.

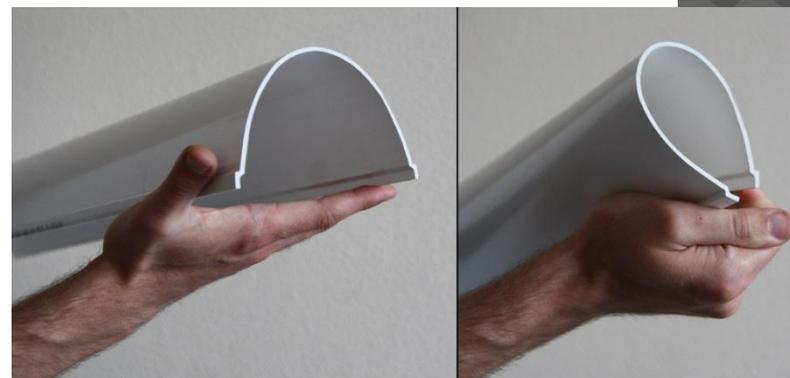
# СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ СПЛАВОВ.

Наклёп - упрочнение металлов и сплавов в результате измельчения зерна при холодной пластической деформации. Перекристаллизация - упрочнение в результате измельчения зерна при полиморфном превращении.

Дисперсионное твердение - упрочнение сплавов в результате выделения мелких частиц второй фазы из пересыщенного твёрдого раствора.



Одним из широко используемых в производстве методов упрочнения металлов и сплавов является пластическая деформация. Пластическая деформация, ее степень и способы невероятно велики и разнообразны! Это так называемая холодная прокатка листовой стали, волочение проволоки, различные способы пескоструйной и дробеструйной обработки деталей машин и механизмов, наклеп рабочих поверхностей закаленными шариками, наклеп рабочей поверхности окончательно обработанных шеек валов закаленными роликами, наклеп рабочих поверхностей штампов металлическими щетками. Эти способы существенно увеличивают работоспособность



Другим способом упрочнения металлов является *легирование* (для изготовления оружия и домашней утвари)

# ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ

ТЕХНИЧЕСКАЯ (РЕАЛЬНАЯ) ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ В 10-1000 РАЗ МЕНЬШЕ, ЧЕМ ИХ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ, ОПРЕДЕЛЯЕМАЯ СИЛАМИ МЕЖАТОМНОГО СЦЕПЛЕНИЯ. НАПРИМЕР, ДЛЯ ЖЕЛЕЗА ТЕОРЕТИЧЕСКИ ВЫЧИСЛЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТРЫВУ  $S_{от} = 2100 \text{ КГС/ММ}^2$ .

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗА:  $S_{от} = 70 \text{ КГС/ММ}^2$ ,  $\Sigma_b = 30 \text{ КГС/ММ}^2$ . ТАКОЕ БОЛЬШОЕ РАЗЛИЧИЕ ОБЪЯСНЯЕТСЯ ТЕМ, ЧТО ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ СООТВЕТСТВУЕТ ИДЕАЛЬНОЙ БЕЗДЕФЕКТНОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ МЕТАЛЛА.

В РЕАЛЬНЫХ МЕТАЛЛАХ ВСЕГДА ИМЕЮТСЯ ДИСЛОКАЦИИ И ДРУГИЕ ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ, ВКЛЮЧЕНИЯ, МИКРОТРЕЩИНЫ И Т. П., ПОНИЖАЮЩИЕ ПРОЧНОСТЬ И ИНИЦИИРУЮЩИЕ РАЗРУШЕНИЕ.

РИС.3 ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА ДИСЛОКАЦИЙ И ДРУГИХ ДЕФЕКТОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ (СХЕМА И. А. ОДИНГА): 1 - ЧИСТЫЕ, ОТОЖЖЕННЫЕ МЕТАЛЛЫ; 2 - СПЛАВЫ, УПРОЧНЕННЫЕ ЛЕГИРОВАНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ, ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ (НАКЛЕП) И Т. П. МИНИМАЛЬНУЮ ПРОЧНОСТЬ ИМЕЮТ ЧИСТЫЕ, ОТОЖЖЕННЫЕ МЕТАЛЛЫ ПРИ ПЛОТНОСТИ ДИСЛОКАЦИЙ ОКОЛО  $10^7 - 10^8 \text{ СМ}^{-2}$ . С УМЕНЬШЕНИЕМ КОЛИЧЕСТВА ДИСЛОКАЦИЙ СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЮ, Т. Е. ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛА, ВОЗРАСТАЕТ И МОЖЕТ ДОСТИГАТЬ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ.

# ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ

УБЕДИТЕЛЬНЫЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА СПРАВЕДЛИВОСТИ ЭТОГО ПОЛОЖЕНИЯ  
БЫЛИ ПОЛУЧЕНЫ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УСОВ -  
НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ ТОЛЩИНОЙ 0,5-2 МКМ И ДЛИНОЙ ДО 10 ММ С  
ПРАКТИЧЕСКИ БЕЗДЕФЕКТНОЙ (БЕЗДИСЛОКАЦИОННОЙ)

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ. УСЫ ЖЕЛЕЗА ТОЛЩИНОЙ 1 МКМ  
ИМЕЮТ ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ  $\sigma_B = 1350 \text{ КГС/ММ}^2$ , Т. Е. ПОЧТИ  
ТЕОРЕТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ. ВВИДУ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ УСЫ ПРИМЕНЯЮТ  
ОГРАНИЧЕННО. УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗМЕРОВ УСОВ ПРИВОДИТ К ПОЯВЛЕНИЮ  
ДИСЛОКАЦИЙ И РЕЗКОМУ СНИЖЕНИЮ ПРОЧНОСТИ.

ЭТО ИСПОЛЬЗУЮТ ПРИ ТАКИХ СПОСОБАХ УПРОЧНЕНИЯ, КАК  
ЛЕГИРОВАНИЕ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, ХОЛОДНАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ  
ДЕФОРМАЦИЯ И Т. Д.

ОСНОВНЫМИ ПРИЧИНАМИ УПРОЧНЕНИЯ ЯВЛЯЮТСЯ УВЕЛИЧЕНИЕ  
КОЛИЧЕСТВА (ПЛОТНОСТИ) ДИСЛОКАЦИЙ, ИСКАЖЕНИЯ  
КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ, ВОЗНИКНОВЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ,  
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЗЕРЕН МЕТАЛЛА И Т. Д., Т. Е. ВСЕ ТО, ЧТО ЗАТРУДНЯЕТ  
СВОБОДНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ДИСЛОКАЦИЙ.

ПРЕДЕЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ДИСЛОКАЦИЙ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ СОСТАВЛЯЕТ  
ПРИМЕРНО  $10^{12} \text{ СМ}^{-2}$ . ПРИ БОЛЬШЕЙ ПЛОТНОСТИ В МЕТАЛЛЕ  
ОБРАЗУЮТСЯ СУБМИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ТРЕЩИНЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ  
РАЗРУШЕНИЕ

СОЗДАНИЕ МЕТАЛЛОВ  
И СПЛАВОВ С  
БЕЗДЕФЕКТНОЙ  
СТРУКТУРОЙ;  
ПОВЫШЕНИЕМ  
ПЛОТНОСТИ  
ДЕФЕКТОВ,  
ЗАТРУДНЯЮЩИХ  
ДВИЖЕНИЯ  
ДИСЛОКАЦИИ. В  
НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ  
ПОЛУЧЕНЫ НИТЕ-  
ВИДНЫЕ КРИСТАЛЛЫ  
(УСЫ), ПРОЧНОСТЬ  
КОТОРЫХ В 50-15 РАЗ  
БОЛЬШЕ ПРОЧНОСТИ  
ОБЫЧНОГО МЕТАЛЛА.



## *ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ*

ЗДЕСЬ ОГРАНИЧУСЬ ЛИШЬ ТЕМ, ЧТО СКАЖУ, ЧТО ДИСЛОКАЦИИ ПРИ СВОЕМ ДВИЖЕНИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ДРУГИМИ ДИСЛОКАЦИЯМИ [2, СТР. 28] СОЗДАЮТ НОВЫЕ ДИСЛОКАЦИИ, КОТОРЫЕ ЗАТЕМ САМИ ЖЕ СТАНОВЯТСЯ ПРЕПЯТСТВИЕМ ДЛЯ ИХ ДВИЖЕНИЯ. ЭТО КАК В МЕТРО НА ПЕРЕХОДЕ: С УТРА НОРМАЛЬНО, БЫСТРО ПРОСКОЧИШЬ, А В ЧАС ПИК СТОЛЬКО НАРОДУ НАБЕЖИТ, ЧТО ПОТОМ И ТОПЧУТСЯ ВСЕ У ЭСКАЛАТОРА, ПЕРЕВАЛИВАЯСЬ, КАК ПИНГВИНЫ (НА ВЛАДИМИРСКОЙ Я ЧАСТЕНЬКО БЫВАЛ ОДНИМ ИЗ ТАКИХ).

## *ТВЕРДОРАСТВОРНОЕ УПРОЧНЕНИЕ*

АТОМЫ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРИМЕСЕЙ МОГУТ НАХОДИТЬСЯ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ

КАК АТОМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ (АТОМ ЭЛЕМЕНТА ВСТАЕТ НА МЕСТО АТОМА ОСНОВНОГО ХИМ. ЭЛЕМЕНТА, ОБРАЗУЮЩЕГО РЕШЕТКУ;

КАК АТОМЫ ВНЕДРЕНИЯ, НАХОДЯСЬ В МЕЖДОУЗЛИЯХ РЕШЕТКИ.

И В ТОМ И В ДРУГОМ СЛУЧАЕ ПРОИСХОДИТ ИСКАЖЕНИЕ

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ, И ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ ДИСЛОКАЦИИ

СОЗДАЕТСЯ ПРЕПЯТСТВИЕ, ТАКОЕ, КАК, НАПРИМЕР, СОЗДАЕТ

“ЛЕЖАЧИЙ ПОЛИЦЕЙСКИЙ” АВТОМОБИЛЮ.



## *ЗЕРНОГРАНИЧНОЕ УПРОЧНЕНИЕ*

ГРАНИЦА ЗЕРНА ЯВЛЯЕТСЯ НЕПРЕОДОЛИМЫМ ПРЕПЯТСТВИЕМ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ . И ЧЕМ БОЛЬШЕ ГРАНИЦ ЗЕРЕН, ТЕМ МЕЛЬЧЕ, ЗНАЧИТ, ЗЕРНО, И ТЕМ БОЛЬШЕ УПРОЧНЕНИЕ.

ДАННЫЙ МЕТОД ИМЕЕТ КОЕ-КАКОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО ПЕРЕД БОЛЬШИНСТВОМ ОСТАЛЬНЫХ: ЗЕРНОГРАНИЧНОЕ УПРОЧНЕНИЕ НЕ СОПРОВОЖДАЕТСЯ ОХРУПЧИВАНИЕМ . БОЛЕЕ ТОГО, НЕКОТОРЫЕ УЧАСТКИ ГРАНИЦ ЗЕРЕН ВО ВРЕМЯ ДЕФОРМАЦИИ САМИ ЯВЛЯЕТСЯ ИСТОЧНИКОМ ДИСЛОКАЦИЙ, А ЕСЛИ ДИСЛОКАЦИЙ В ОБЪЕМЕ СТАНОВИТСЯ БОЛЬШЕ, ТО ПРИ СВОЕМ ДВИЖЕНИИ ОНИ ЕЩЕ БОЛЬШЕ НАЧИНАЮТ ДРУГ ДРУГУ МЕШАТЬ. ОПЯТЬ ЖЕ УПРОЧНЕНИЕ...

СПОСОБОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА СУЩЕСТВУЕТ МНОЖЕСТВО. ПЕРВЫЙ – ВВЕДЕНИЕ В СТАЛЬ ТАКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, КАК АЛЮМИНИЙ, НИОБИЙ ИЛИ ТИТАН, КОТОРЫЕ ОБРАЗУЮТ УСТОЙЧИВЫЕ ДО ДОВОЛЬНО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР КАРБИДЫ, НИТРИДЫ И КАРБОНИТРИДЫ, КОТОРОЕ ПРИ НАГРЕВЕ СТАЛИ, НАПРИМЕР, ПОД ПРОКАТКУ, ЯВЛЯЮТСЯ ПОДЛОЖКОЙ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ НОВЫХ ЗЕРЕН (ДЛЯ СТАЛЕЙ, ПРЕТЕРПЕВАЮЩИХ ГАММА-АЛЬФА ПРЕВРАЩЕНИЕ). ЧЕМ БОЛЬШЕ БУДЕТ ЭТИХ ЧАСТИЦ В ОБЪЕМЕ МЕТАЛЛА, ТЕМ МЕЛЬЧЕ БУДЕТ ЗЕРНО. К ТОМУ ЖЕ ПРИ ДАЛЬНЕЙШЕМ НАГРЕВЕ СТАЛИ ЭТИ ЧАСТИЦЫ, НАХОДЯСЬ НА ГРАНИЦАХ ЗЕРЕН, СДЕРЖИВАЮТ РОСТ ЗЕРНА КАК СОТРУДНИКИ СПЕЦНАЗА, СДЕРЖИВАЮЩИЕ ДЕМОНСТРАЦИЮ.

ВТОРОЙ СПОСОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА – ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, НАПРИМЕР, ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ .

В-ТРЕТЬИХ, СУЩЕСТВУЮТ РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ТМО), ОДНИМ ИЗ РАЗНОВИДНОСТЕЙ КОТОРОЙ ЯВЛЯЕТСЯ КОНТРОЛИРУЕМАЯ ПРОКАТКА (КП), НАПРАВЛЕННАЯ КАК РАЗ НА ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОГО ЗЕРНА ФЕРРИТА В СТАЛИ. ПРО ТМО И КП Я НАПИШУ В СКОРОМ ВРЕМЕНИ, ТАК ЧТО СОВЕТУЮ , ЧТОБЫ ЭТОТ СВЕТЛЫЙ МОМЕНТ НЕ УПУСТИТЬ.