

Практическая работа №4

«Влияние деформаций на механические свойства металлов и сплавов»

Цель работы: изучение влияния пластической деформации и рекристаллизации на свойства металлов; получение навыков рационального применения этих процессов в технологических процессах обработки давлением.

1. Механические характеристики металлов

Деформация – изменение размеров и формы тела под действием приложенных сил. Способность металла к деформации, а также его прочность наиболее часто изучают с помощью испытаний на растяжение. При проведении этих испытаний образец исследуемого металла нагружают постепенно увеличивающейся силой P и регистрируют его удлинение Δl (рис. 3.1).

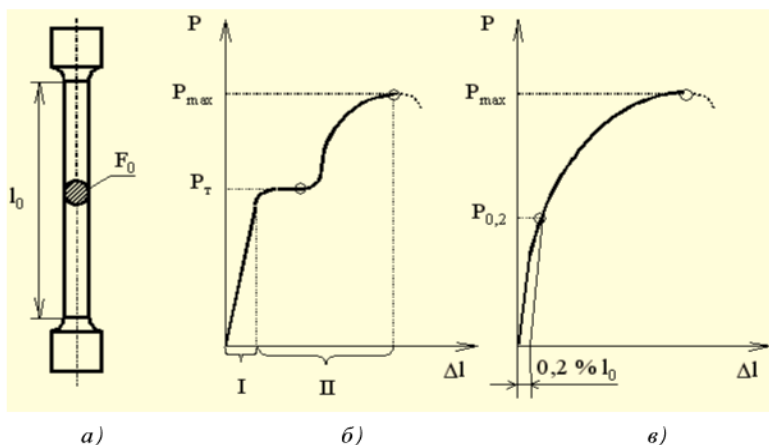


Рис. 3.1. Образец для испытаний на растяжение (а) и диаграмма растяжения при наличии (б) и при отсутствии (в) площадки текучести

При относительно небольших нагрузках металл деформируется упруго (участок I) и при снятии нагрузки способен возвратиться к прежней форме и размерам. При больших нагрузках металл деформируется упруго - пластически и при снятии нагрузки остается некоторое остаточное удлинение (участок II). Наконец, при достижении внешней силой некоторой критической величины P_{max} образец разрушится.

Для характеристики прочностных свойств материала пользуются отношением приложенной силы к площади сечения образца F_0 :

$$\sigma = \frac{P}{F_0}, \quad (3.1)$$

которое называется **напряжением**.

Несущую способность материала характеризует **предел текучести** σ_m или $\sigma_{0,2}$.

Предельная несущая способность материала соответствует нагрузке P_{max} и характеризуется **пределом прочности** (временным сопротивлением на разрыв) σ_B .

Пластичность характеризуют **относительное удлинение** δ и **относительное сужение** ψ :

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0}, \quad (3.2)$$

$$\psi = \frac{F_k - F_0}{F_0}, \quad (3.3)$$

где l_0 и F_0 – начальные длина и площадь поперечного сечения;

l_k – конечная длина образца;

F_k – площадь поперечного сечения в месте разрыва.

В ходе испытаний на растяжение нагрузка возрастает медленно (в течении нескольких минут), поэтому оно является **статическим**. В ходе **динамических** испытаний определяют склонность металла к разрушению при ударном приложении нагрузки, которая характеризуется **ударной вязкостью**. Для того чтобы сделать условия испытаний более жесткими, используют образец с надрезом. Ударная вязкость определяется как отношение величины работы, затраченной на разрушение образца, к площади его поперечного сечения и обозначается **КСU**, **КСV** или **КСТ**. Буквы **U**, **V** и **T** обозначают форму надреза (рис. 3.2).

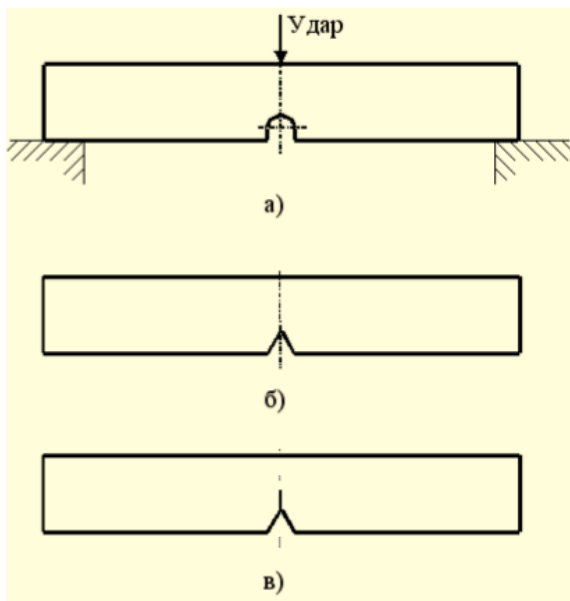


Рис. 3.2. Образцы для испытания на ударную вязкость: а) U-образный надрез, б) V-образный надрез и в) T-образный надрез

Способность металла к пластической деформации положительно коррелирует с величиной показателей δ и Ψ . Она играет важную роль при проведении обработки давлением: прокатке, штамповке и др.

2. Механизм пластической деформации и ее влияние на свойства металлов

Пластическая деформация происходит за счет движения дислокаций. При этом происходит сдвиг одной части кристалла относительно другой. В процессе пластической деформации постепенно увеличивается количество дислокаций и других дефектов кристаллического строения. Движение дислокаций затрудняется, соответственно, падает способность металла к пластической деформации.

Наклеп (нагартовка) – упрочнение металла при деформации. В результате наклепа увеличиваются прочностные характеристики (твердость и прочность) и понижаются пластичность и ударная вязкость. С увеличением степени деформации предел текучести растет быстрее предела прочности. Обе характеристики у сильно наклепанных металлов сравниваются, а пластичность полностью теряется. Такое состояние наклепанного металла является предельным, при попытке продолжить деформирование металл разрушается. Путем наклепа твердость и временное сопротивление удается повысить в **1,5 - 3** раза, а предел текучести – в **3 - 7** раз.

Упрочнение при наклепе может применяться для повышения механических свойств металла. В частности, наклеп поверхностного слоя повышает сопротивление усталостному разрушению.

3. Влияние нагрева на строение и свойства деформированных металлов

В процессе деформации образуется неравновесная структура. При нагреве происходит переход металла в более равновесное состояние.

В зависимости от температуры нагрева в наклепанных металлах происходит возврат или рекристаллизация. Возврат происходит при относительно низких температурах, рекристаллизация – при более высоких.

При **возврате** форма кристаллов остается неизменной. Прочность и твердость у отдельных металлов (алюминий, железо) незначительно снижаются, а у других (медь, латунь, никель) не меняются вовсе.

Рекристаллизация состоит из зарождения новых зерен и их постепенного роста, восстанавливается равновесная структура металла и его свойства.

Рекристаллизация протекает при температурах, превышающих *температурный порог рекристаллизации*. Температура рекристаллизации составляет некоторую долю от температуры плавления металла $T_{пл}$:

$$T_p = k \cdot T_{пл} \quad (3.4)$$

Температуру плавления сплавов системы Fe–Fe₃C можно определить по соответствующей диаграмме состояния (рис. 2 приложения). Значение коэффициента k зависит от чистоты металла. Для металлов технической чистоты $k = 0,3...0,4$. Уменьшение количества примесей может понизить k до $0,1...0,2$. Для твердых растворов $k = 0,5...0,6$, а в случае тугоплавких металлов может достигать $0,7...0,8$.

4. Учет изменения свойств металла при повышенных температурах в технике и технологии

Технологические процессы, в которых пластическое деформирование металла происходит при температурах, превышающих температурный порог рекристаллизации, называют *горячей обработкой давлением*. Если процесс деформирования металла происходит без значительного нагрева, то это *холодная обработка давлением*.

Процессы рекристаллизации играют важную роль при эксплуатации деталей машин при относительно высоких температурах, когда от действующей нагрузки возможна пластическая деформация металла. Если при этом происходит устранение упрочнения (наклепа) от деформации рекристаллизационными процессами, то деталь при нагрузке продолжает непрерывно деформироваться вплоть до разрушения. Это явление называется *ползучестью*. Критерием того, будет ли развиваться ползучесть, является температура рекристаллизации металла.

Пример решения

Исходные данные

При холодной листовой штамповке изделий типа “стаканчик” (рис. 3.3) для электротехнической промышленности (корпуса конденсаторов) из технического алюминия АД1 было обнаружено, что при выполнении второго технологического перехода возникают разрывы. Каковы причины брака и способы его устранения?

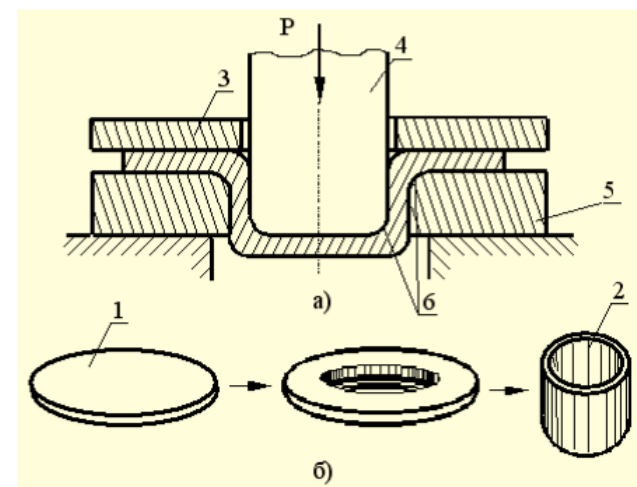


Рис. 3.3. Схема вытязки (а) и последовательность технологических переходов (б): 1 – заготовка; 2 – изделие; 3 – прижим; 4 – пуансон; 5 – матрица; 6 – скругления

Решение

Причина брака – потеря пластичности в результате наклепа. Для предотвращения брака необходимо проводить рекристаллизационный отжиг после первого технологического перехода. Его температура определяется по формуле (3.4), где $k = 0,4$ – коэффициент пропорциональности; $T_{пл} = 660$ °С – температура плавления алюминия (рис. 3 приложения). По абсолютной шкале $T_{пл} = 660 + 273 = 933$ К.

$$T_p = 0,4 \cdot 933 = 373\text{K} = 100^\circ\text{C} \quad (3.5)$$

Проведение рекристаллизационного отжига несколько выше 100 °С ($130...150$ °С) после первого технологического перехода позволит восстановить пластичность и избежать разрывов, т.е. хрупкого разрушения.

Задачи для решения

1. Как изменяется плотность дислокаций при пластической деформации?
2. Металлы с каким типом решетки наиболее упрочняемы наклепом?

3. Какой из приведенных металлов (табл. 3.1) более пластичен? Обоснуйте ответ, исходя из кристаллографических данных.

4. Укажите металл, наиболее упрочняемый наклепом (табл. 3.2).

5. Стальная проволока для тросов производится волочением (рис. 3.4). Чем объясняется их высокая прочность?

6. Как можно оценивать явление наклепа с точки зрения изменения свойств металла?

7. Каково влияние дефектов типа дислокаций на свойства металлов?

8. Учитывая явление анизотропии, подумайте, будут ли все зерна в структуре образца при напряжениях, не превышающих предел текучести ($\sigma \leq \sigma_m$), деформироваться только упруго?

9. Как влияет увеличение плотности дислокаций на внутреннюю энергию металла? Докажите свою точку зрения с помощью формулы.

10. Производство железной проволоки из черного сплава (табл. 3.3) осуществляется волочением (рис. 3.4). После определенных степеней утончения проволока рвется. Какова причина брака? Что нужно сделать для получения проволоки нужного сечения?

11. Какой обработкой (горячей или холодной) следует считать прокатку (рис. 3.5) свинца ($T_{пл} = 327^\circ\text{C}$) при комнатной температуре?

12. Будет ли возможна безаварийная работа детали из латуни Л80 ($T_{пл} \cong 1000^\circ\text{C}$): а) при 300°C ; б) 500°C ?

13. При запуске производства деталей типа «стаканчик» (рис. 3.3) из черного сплава (табл. 3.4) было установлено, что при выполнении второй вытяжки части разрывы листового металла. Какова причина брака? Назначьте технологическую операцию, которая устранил брак.

14. Для осуществления процесса волочения (рис. 3.4) необходимо приложить внешнюю силу P , создающую в металле определенные напряжения σ . Какую величину должны иметь эти напряжения? Выберите правильный вариант ответа: а) $\sigma \leq \sigma_T$; б) $\sigma_T \leq \sigma \leq \sigma_B$; в) $\sigma_B \leq \sigma$.

Таблица 3.1

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7
Металлы	Cu, Sc	Li, Cd	Cr, Be	$\text{Fe}_{\alpha}, \text{Fe}_{\gamma}$	Mo, Os	Cu, Mg	Tc, Ge

Таблица 3.2

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7
Металлы	Li, Te	Nb, Au	Ge, Mg	Rb, Cd	Ag, Zn	Ru, Ni	Ge, Sc

Таблица 3.3

№ варианта	1	2	3	4
Материал	Сталь 10	Сталь 20	Сталь 30	Сталь 45

Таблица 3.4

№ варианта	1	2	3	4
Материал	Сталь 08	Сталь 25	Сталь 35	Сталь 40

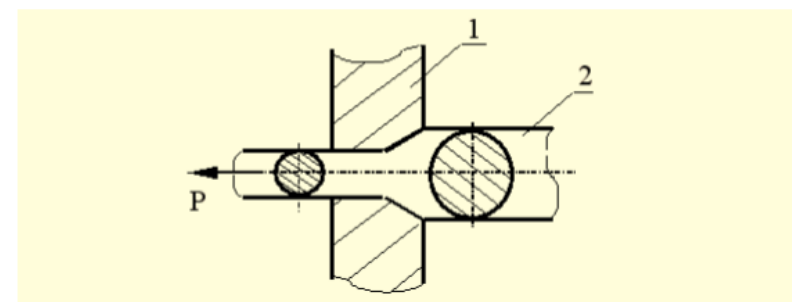


Рис. 3.4. Схема процесса волочения: 1 – матрица, 2 – заготовка

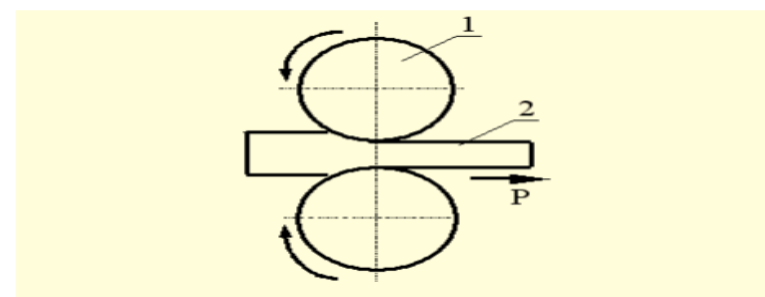


Рис. 3.5. Схема прокатки: 1 – валок; 2 – заготовка