

## **Раздел 9 Влияние температуры на прочность и пластичность материалов**

### **Тема 1 Жаропрочность. Ползучесть (2 часа)**

План лекции

1. Жаропрочность.
2. Предел кратковременной прочности.
3. Ползучесть.
4. Логарифмическая ползучесть.
5. Процесс возврата.
6. Скорость ползучести.
7. Повышение характеристик жаропрочности.

Длительные высокотемпературные испытания служат для оценки характеристик жаропрочности металлов и сплавов – их способности работать под напряжением в условиях повышенных температур без заметной остаточной деформации и разрушения.

*Жаропрочность* – это свойство металлов и сплавов длительно сопротивляться развитию пластической деформации и разрушению под действием постоянных нагрузок при высоких температурах. Численно жаропрочность может быть выражена пределом кратковременной прочности, пределом ползучести и пределом длительной прочности. Для определения предела кратковременной прочности используют обычные машины для испытаний на растяжение, снабженные нагревательными устройствами. Для измерения температуры на образцах укрепляют термопары.

Предел кратковременной прочности (предел прочности при повышенной температуре) не характеризует в полной мере свойства материала при температуре испытаний. Это характеристика дает представление о поведении материала при его горячей обработке давлением.

Длительная прочность является характеристикой сопротивления разрушению при длительном действии статической нагрузки и высокой температуры. Характеристикой длительной прочности является предел длительной прочности – величина напряжения, которое вызывает разрушение образца при данной температуре через определенный промежуток времени.

*Ползучесть* – явление непрерывной деформации под действием постоянного напряжения. В зависимости от температуры и уровня приложенного напряжения ползучесть протекает по разным законам. Наиболее известны 4 вида ползучести: высокотемпературная ползучесть (ползучесть Андраде), диффузионная ползучесть, низкотемпературная ползучесть (логарифмическая ползучесть), неупругая ползучесть (обратимая ползучесть). Изменение характера кривых ползучести с повышением температуры испытания при постоянном напряжении показано на рисунке 25.

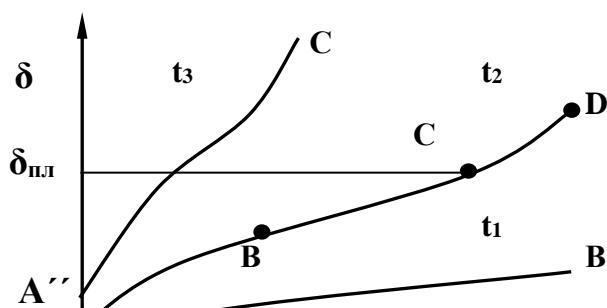


Рисунок 25 – Кривые ползучести при разных температурах ( $t_1 < t_2 < t_3$ )

*Логарифмическая ползучесть.* Представим себе, что в образце имеется какое-то количество дислокационных отрезков и каждый из них может переместиться один раз. После приложения нагрузки и неупругого удлинения образца ( $OA$ , рисунок 25) наиболее благоприятно ориентированные перемещаются и произойдет пластическая деформация. В условиях постоянства приложенного напряжения оставшиеся дислокации будут удерживаться препятствиями, но с течением времени флюктуации тепловой энергии вызовут движение большинства этих дислокационных отрезков (в основном за счет поперечного скольжения) и соответствующий прирост удлинения. Однако постепенно процесс термически активируемого скольжения будет затухать (истощаться) из-за уменьшения числа дислокационных отрезков, способных перемещаться и вызывать деформацию. В результате затухает скорость прироста относительного удлинения.

Логарифмическая ползучесть является неустановившейся: скорость ползучести непрерывно уменьшается со временем. С неустановившейся стадии начинается и высокотемпературная ползучесть (отрезок  $A'B$  на кривой  $OABC$ , рисунок 25). Затем начинается стадия установившейся ползучести ( $BC$ ), при которой  $v_n = \text{const}$ . Заканчивается кривая высокотемпературной ползучести участком разрушения  $CD$ , до которого при испытаниях на ползучесть никогда не доходят.

Основное отличие высокотемпературной ползучести от низкотемпературной заключается в более полном протекании возврата, который обеспечивается здесь переползанием дислокаций.

Принципиально ползучесть на установившейся стадии не отличается от неустановившейся. В металлах скорость установившейся ползучести контролируется обычно наиболее медленным процессом переползания дислокаций.

Пластическая деформация при ползучести вызывает увеличение плотности дислокаций и деформационное упрочнение. В то же время возврат приводит к уменьшению плотности дислокаций и разупрочнению металла. В результате возврата при высокотемпературной ползучести в металле формируется полигональная структура.

Основные процессы, определяющие возврат, - поперечное скольжение и переползание дислокаций.

Скорость ползучести  $v_n$ :

$$v_n = v/L^3 = (2 \cdot \sigma \cdot b^3 \cdot D) / L^2 \cdot k \cdot T,$$

где  $v$  – скорость миграции вакансий;

$\sigma$  – приложенное напряжение;

$T$  – абсолютная температура;

$b^3$  – объем, приходящийся на одну вакансию;

$L$  – длина стороны зерна;

$D$  – коэффициент диффузии.

Повышение характеристик жаропрочности (пределов ползучести и длительной прочности, релаксационной стойкости при высоких температурах) осуществляется теми же способами, что и применительно к прочностным свойствам при статических испытаниях.

Повышение жаропрочности при переходе от чистых металлов к сплавам достигается за счет образования твердых растворов на базе основного металла и частиц избыточных фаз. При выборе основы следует учитывать, что уровень жаропрочности чистого металла связан с температурой его плавления. Чем она выше, тем больше прочность межатомных связей, меньше скорость самодиффузии и, следовательно, меньше при той же температуре скорость ползучести, контролируемая скоростью переползания дислокаций. Исходя из этих же соображений, температура солидуса сплавов также должна быть по возможности выше. Если температура плавления сплава значительно ниже, чем металла-основы, то при высоких температурах чистый металл может оказаться прочнее сплава.

#### Рекомендуемая литература

1. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1998. – 306 с.
2. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1979. – 496 с.
3. Костин П.П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов. – М.: Машиностроение, 1990. – 296 с.
4. Шарай О.А., Куликов В.Ю., Шарый В.И. Учебное пособие по курсу «Механические свойства материалов», КарГТУ, 2004.

#### Контрольные задания для СРС (тема 1) [1], [2], [4], [12]

1. Высокотемпературная ползучесть.
2. Неупругая ползучесть.
3. Диффузионная ползучесть.
4. Низкотемпературная ползучесть.
5. Дислокационная модель ползучести.
6. Схема машины ИП-2 для испытаний на ползучесть.
7. Особенности пластической деформации при высокотемпературной ползучести.
8. Испытания на релаксацию напряжений.

## 9. Влияние различных факторов на жаропрочность.