

УДК 669.11:620.193.55

*Досліджено вплив умов поліморфного перетворення заліза (0,03 і 0,06% С) на його деформацію в атмосфері водню. Деформація за цикл визначається температурно-швидкісними умовами на фронті перетворення*

*Ключеві слова: водень, поліморфні перетворення, деформація*

*Исследовано влияние условий полиморфного превращения железа (0,03 и 0,06%С) на его деформацию в атмосфере водорода. Деформация за цикл определяется температурно-скоростными условиями на фронте превращения*

*Ключевые слова: водород, полиморфные превращения, деформация*

*This article represents the influence of conditions of polymorphic transformation of iron (0,03 and 0,06%С) on the deformation in a hydrogen atmosphere. Deformation per cycle is determined by the temperature-rate conditions at the front of transformation*

*Key words: hydrogen, polymorphic transformation, deformation*

# ВЛИЯНИЯ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ НА ДЕФОРМАЦИЮ ЖЕЛЕЗА В АТМОСФЕРЕ ВОДОРОДА

**А. В. Толстенко**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра "Физика и материаловедение"  
Днепропетровский государственный аграрный университет  
ул. Ворошилова, 5, г. Днепропетровск, 49000  
Контактный тел.: (056) 371-10-79  
E-mail: agrophismat@rambler.ru

## 1. Введение

Одной из задач по повышению пластичности материалов, является их перевод в сверхпластическое состояние. Примерами таких способов являются: динамическая сверхпластичность /1/ и аномальная спонтанная деформация /2/.

Закономерности и механизмы протекающих процессов изучены не в полной мере. Основываясь на  $\gamma \rightarrow \alpha$  и  $\gamma \rightarrow \delta$  полиморфных превращениях железа проанализируем закономерности формоизменения, имеющих ряд принципиальных отличий.

Для динамической сверхпластичности характерны дислокационные механизмы /1/. Деформация, возникающая вследствие изменения объема при фазовом превращении, в направлении приложенного растягивающего напряжения, дополняется появлением и движением дислокаций, вызванных полиморфными превращениями.

Причиной аномальной спонтанной деформации /2/ является возникновение метастабильных водородонасыщенных зон на границе  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения железа. В металле, содержащем растворенный водород, происходит полиморфное превращение, приводящее к образованию кристаллической решетки, растворяющей меньшее количество водорода, остается избыточный водород, который концентрируется вблизи межфазной границы.

## 2. Материалы и методы исследования

Материалом для исследования служило карбонильное железо технической чистоты с 0,03 и 0,06% С.

Образцы для испытаний (цилиндры диаметром 0,005 м., длина рабочей части 0,025 м.) крепились в обойму из нержавеющей стали.

Размер печи выбирали из расчета, что зона термоциклирования вокруг полиморфных превращений будет совпадать с рабочей частью образца. Температура печи измерялась термомпарой ВР5/ВР20 с точностью 10К. Температурный интервал циклирования: 1120-1220К и 1570-1720К, скорость нагрева и охлаждения: 2 - 2,5 К/с.

Опыты проводили в аргоне высокой чистоты (объемная доля аргона 99,997%) и водорода (содержание примесей 0,007 объемных процента). Давление в автоклаве измерялось манометром с классом точности 0,1. Эксперименты проводились при давлении 0,1 МПа.

Изучение влияния растягивающей нагрузки на формоизменение образцов карбонильного железа, за один цикл превращения, проводилось при радиальном и аксиальном градиентах температуры в образцах.

Величина внешней механической нагрузки задавалась калиброванными грузами.

### 3. Результаты и обсуждение

В условиях радиального градиента температуры в образце, независимо от атмосферы в печи (аргон, водород) величина деформации при полиморфном превращении пропорциональна величине одноосного растягивающего напряжения. Существует линейная зависимость между относительной деформацией и приложенным напряжением. Без внешней механической нагрузки формоизменение при  $\alpha$ - $\gamma$  переходе отсутствует.

Полученные результаты согласуются с экспериментами для условий динамической сверхпластичности. Влияния водорода на деформацию при радиальном движении фронта  $\alpha$ - $\gamma$  превращения не обнаружено.

Прямые  $\alpha \rightarrow \gamma$  и обратные  $\gamma \rightarrow \alpha$  полиморфные превращения в железе отличаются не только величиной, но и направлением объемных эффектов. Это наблюдалось в атмосфере аргона и водорода при аксиальном градиенте температуры в образцах карбонильного железа.

При аксиальном градиенте температуры, без нагрузки, в инертной атмосфере наблюдается незначительная остаточная деформация, которая составляет 2% после 100 циклов  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  превращений. В водороде обнаружено увеличение деформации на порядок, изменение нагрузки от 0 до 0,3 МПа мало влияет на величину относительного удлинения.

Для определения деформации за один цикл  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  превращения (при аксиальном градиенте температуры) были поставлены дополнительные эксперименты. Деформация за цикл определялась как сумма деформаций, получаемых при нагреве ( $\alpha \rightarrow \gamma$  превращение) и охлаждении ( $\gamma \rightarrow \alpha$  превращение). При динамической сверхпластичности (в условиях аксиального градиента температуры)  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращение вызывает сокращение длины,  $\gamma \rightarrow \alpha$  – удлинение.

Замена атмосферы печи на водород, при прочих равных условиях, не оказывает заметного влияния на деформацию при нагреве ( $\alpha \rightarrow \gamma$  превращение). Кривые охлаждения обратимы только до начала  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения, а затем характер удлинения резко отличается от деформации в инертной атмосфере. При наличии водорода в металле, в момент полиморфного превращения, наблюдается необратимый «скачок» деформации.

После замены водорода на инертную атмосферу, образец продолжает деформироваться. Только многократная промывка печи аргоном способствует затуханию деформации и установлению ее на уровне динамической сверхпластичности. Подобный эффект можно объяснить тем, что для диффузии водорода из металла требуется некоторое время.

В атмосфере водорода основное влияние на интенсивность формоизменения оказывает градиент температуры, т.е. температурно-скоростные условия на фронте  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения карбонильного железа. Это указывает на принципиальное отличие явления спонтанной деформации в атмосфере водорода от динамической сверхпластичности. Теории пластичности рас-

сматривают объемную долю растущей и исчезающей фаз, не учитывая диффузионные процессы на границе фазового превращения. Для карбонильного железа, при заданных условиях, полиморфное превращение протекает по нормальному диффузионному процессу с перераспределением водорода между растущей ( $\alpha$ -Fe) и исчезающей фазой ( $\gamma$ -Fe), что и приводит к спонтанному формоизменению при аксиальном градиенте температуры в образце.

Можно предположить, что процесс формоизменения при термоциклировании у температур полиморфного превращения имеет двойственную природу. При нагреве ( $\alpha \rightarrow \gamma$  переход) наблюдается деформация, контролируемая изменением объема при фазовом превращении, при охлаждении ( $\gamma \rightarrow \alpha$  переход) деформация определяется диффузионными процессами на границе превращения. Многократные полиморфные превращения при аксиальном градиенте в образце, протекающие нормальным диффузионным механизмом, вызывают остаточную деформацию.

Исследования были проведены и в более широком интервале температур, охватывающих  $\gamma$ - $\delta$  превращение карбонильного железа. До температуры  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения образцы удлиняются, в интервале превращения их длина сокращается, в  $\gamma$ -области наклон кривой деформация-температура становится более крутым, в момент  $\gamma \rightarrow \delta$  превращения образцы скачкообразно удлиняются. Если сравнить с объемным эффектом в отсутствие растворенного водорода (в инертной атмосфере), то при  $\gamma \rightarrow \delta$  переходе наблюдается увеличение удлинения. Объяснить наблюдаемый эффект ростом величины изменения объема при полиморфном превращении нельзя. Видимо, такое поведение, связано с перераспределением водорода между растущей и исчезающей фазой, подобно тому, как это происходит во время охлаждения при  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращении. Последующее охлаждение приводит к сокращению длины образцов в момент  $\delta \rightarrow \gamma$  перехода. Однако эффект спонтанной деформации при высоких температурах более «размытый». После 100 циклов в интервале  $\gamma \leftrightarrow \delta$  превращений эффект аномальной спонтанной деформации был в три раза меньшим, чем в интервале  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  превращений.

### 4. Выводы

1. Зависимость относительного удлинения образцов карбонильного железа в момент  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  и  $\gamma \leftrightarrow \delta$  превращений в инертной атмосфере пропорциональна приложенной нагрузке;

2. В атмосфере водорода, при аксиальном градиенте температуры в образце наблюдается иной механизм формоизменения, который определяется температурно-скоростными условиями на фронте  $\gamma \rightarrow \alpha$  или  $\gamma \rightarrow \delta$  превращения.

### Литература

1. Пуарье Ж.П. Высокотемпературная пластичность кристаллических тел : пер. с фр. - М.: Металлургия, 1982. - 272 с.
2. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства Fe-C сплавов / В.И.Шаповалов.- М.: Металлургия, 1982.-232 с.