

ВЛИЯНИЕ ГЕЛИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, АККУМУЛЯЦИЮ И ДИССИПАЦИЮ ЭНЕРГИИ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ АРМКО–ЖЕЛЕЗА

О.П. Максимкин, М.Н. Гусев

*Институт ядерной физики НЯЦ РК, г. Алматы, Республика Казахстан
e-mail:root@iae.almaty.kz, тел.: 7(3272)546-466*

Приведены результаты исследований изменений механических и энергетических характеристик при растяжении образцов армко–железа равномерно по объему имплантированных гелием (10^{-3} ат.%). Рассмотрено влияние гелия на прочность и пластичность, а также на величину латентной энергии, рассеянного тепла и работы деформации для интервала температур 293...473 К. Обнаружено, что имплантация гелия способствует сохранению пластичности армко–железа в области температур динамического деформационного старения.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для описания процесса пластической деформации используют принципы синергетики и нелинейной термодинамики, согласно которым деформируемый металлический материал рассматривают как открытую диссипативную систему, находящуюся вдали от равновесия. При этом широко применяются такие "энергетические" параметры как работа деформации и латентная энергия. Исследованию закономерностей изменения этих величин при различных условиях испытаний посвящено достаточно большое число работ (см., например, [1,2]), однако практически отсутствуют публикации, где рассматривались бы облученные материалы. В тоже время несомненно, что изучение процессов накопления и рассеяния энергии при деформации металлов и сплавов, содержащих радиационные дефекты, представляет большой научный и практический интерес. Об этом свидетельствует серия работ и в том числе выполненных нами по изучению тепловыделения и роли латентной энергии при деформации нержавеющей стали, облученной нейтронами [3–6]. Целью настоящей работы было исследование влияния облучения α -частицами на механические и энергетические характеристики технически чистого металла – армко-железа.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Плоские образцы армко-железа (предварительная термообработка – отжиг в вакууме при 1123К, 3 ч, охлаждение вакуумированной сборки водой) с размерами рабочей части 10x3.5x0.3мм имплантировали гелием на изохронном циклотроне У-150 НЯЦ РК (энергия α -частиц 50 МэВ) до равномерной по всему объему концентрации $1 \cdot 10^{-3}$ ат.%. Испытания исходных и облученных образцов проводили на установке, совмещающей прецизионный калориметр Кальве и микроразрывную машину [7]. При этом образец в специальной микросборке помещали непосредственно в калориметрическую ячейку (в другой ячейке находился аналогичный образец – эталон) и деформировали со скоростью растяжения $8,3 \cdot 10^{-4} \text{с}^{-1}$. Эксперименты проводили в интервале температур 293...473 К. Поскольку загрузка образца

всегда приводит к тепловому разбалансу калориметра, то в случае повышенных температур растяжению предшествовал вынужденный отжиг в течение 60 мин до полной стабилизации нуля измерительного прибора. В результате эксперимента получали диаграмму растяжения "нагрузка F – удлинение Δl (время t)" и термограмму "интенсивность тепловыделения dQ/dt – время t". Кроме стандартных механических характеристик (пределов текучести σ_m и прочности σ_b , относительного общего δ и равномерного δ_p удлинений) определяли также энергетические характеристики – работу деформации A, рассеянное тепло Q и полную запасенную энергию $E_s = A - Q$. С целью восстановления истинной термограммы из реальной, искаженной вследствие инерционности калориметра, применяли специально разработанную методику [9]. Это позволило учесть тепловые явления, происходящие после разрыва образца, и избежать их негативного влияния на количественную оценку результатов. В качестве показателей A и Q принимали соответственно интегральные величины совершенной над образцом механической работы и рассеянного тепла, зарегистрированных за время от начала пластической деформации до разрушения. За величину E_s принимали количество энергии, поглощенной образцом в течение того же промежутка времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Инженерные диаграммы растяжения необлученных и имплантированных гелием образцов армко-железа, деформированных при температурах 293...473 К приведены на рис. 1. Видно, что на кривых растяжения уже при 373 К регистрируется эффект Портевена–Ле Шателле – срывы нагрузки, зубчатость (рис.1). На полированной поверхности металла после испытания отчетливо видны многочисленные деформационные полосы. Зубчатость на кривых растяжения имплантированных гелием образцов начинает проявляться при 400 К, что несколько выше, чем для исходного железа. Отметим также, что зубчики появляются только по достижении некоторой степени деформации $\delta_{кр}$. На площадке текучести и непосредственно за ней коле-

бания и срывы нагрузки отсутствуют, в то время как на исходных образцах в этой же области деформации на кривых растяжения наблюдались зубцы с амплитудой до 50...70 МПа.

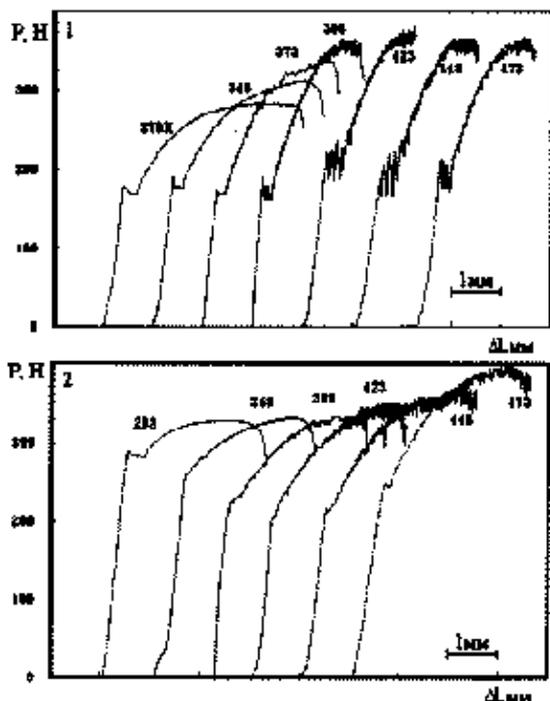


Рис. 1. Диаграммы растяжения исходного (1) и имплантированного гелием (2) армко-железа. Цифры у кривых - температура испытания, К

Расчитанные из экспериментальных кривых значения характеристик прочности и пластичности необлученного и облученного α -частицами армко-железа при различных температурах представлены на рис.2 и 3.

Из рис.2 видно, что нижний предел текучести исходного материала в интервале температур 293...473 К не претерпевает существенных изменений, а предел прочности несколько увеличивается, достигая максимального значения при 423 К. Для образцов, имплантированных гелием, во всем исследованном температурном интервале предел текучести выше, чем для исходных. Видно (рис.2), что он имеет некоторую тенденцию к снижению с ростом температуры, а при 423 К наблюдается локальный минимум. Предел прочности до 423 К изменяется слабо, а при более высоких температурах начинает заметно возрастать. Пластичность исходного армко-железа (рис.3) с ростом температуры снижается (практически вдвое при 473 К), что из литературы известно как явление синеломкости и связано с протеканием процесса динамического деформационного старения [8]. В исследованном температурном диапазоне пластичность имплантированного гелием армко-железа практически не изменялась.

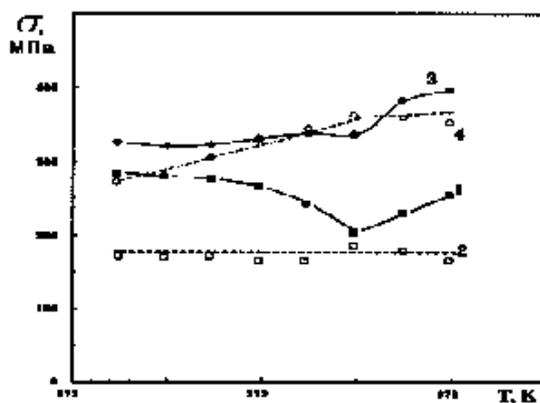


Рис.2. Температурная зависимость прочностных характеристик исходного (2,4) и имплантированного гелием (1,3) армко-железа. 1,2 - $\sigma_{0.2}$; 3,4 - σ_B

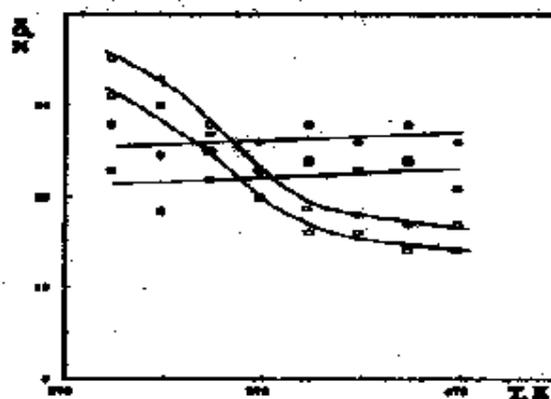


Рис. 3. Зависимость характеристик пластичности армко-железа от температуры деформации.

□ - исходный; ●■ - легированный гелием материал; □■ - равномерная деформация; ○● - полная деформация

На рис.4 приведены характерные кривые тепловыделения в процессе растяжения образцов в микрокалориметре. Найденные из них величины A, Q, E_s , а также их зависимости от температуры испытания, показаны на рис.5. Для исходного железа значения A и Q при увеличении температуры существенно снижаются, что обусловлено в основном уменьшением пластичности. Величина E_s , контролируемая главным образом, плотностью дислокаций, практически не изменяется.

Для имплантированного гелием железа на зависимостях энергетических параметров деформации от температуры можно выделить несколько особенностей. До 373 К величины A и Q уменьшаются, что, вероятно, связано с некоторым снижением прочностных характеристик вследствие отжига радиационных дефектов.

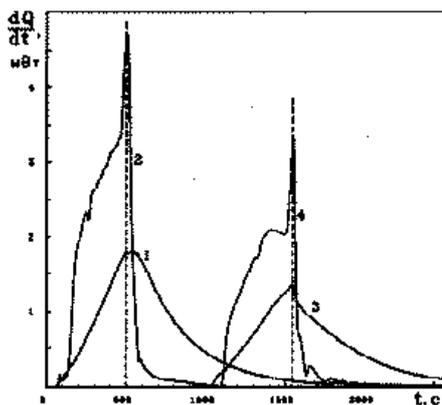


Рис. 4. Характерные кривые тепловыделения в процессе деформации ($T=293\text{ K}$) имплантированного гелием (1,2) и исходного (3,4) армко-железа; (графики 3,4 смещены вправо на 10^3 c). 1,3 – экспериментальные кривые; 2,4 – они же после восстановления по методике, описанной в [9]. Штриховая линия отмечает момент разрушения образца

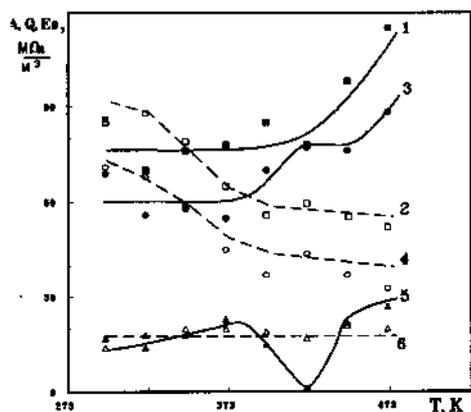


Рис. 5. Зависимости энергетических характеристик исходного (2,4,6) и имплантированного гелием (1,3,5) армко-железа от температуры деформации. А – 1,2, Q – 3,4 и E_s – 5,6.

При дальнейшем повышении температуры наблюдается интенсивный рост А и Q. В интервале 293...373 К величина энергии, запасаемой при деформации, в исходном и облученном железе практически одинакова, а при $T=423\text{ K}$ на зависимости $E_s(T)$ наблюдается локальный минимум, однозначно связанный с всплеском тепловыделения. Интересно отметить, что именно при этой температуре ранее наблюдали пик в спектре термодесорбции Ni и некоторых сплавов, который связывали с выделением гелия из материала [10]. Возможно в нашем случае деформирующие напряжения стимулировали разрушение ловушек и аннигиляцию части образовавшихся при этом дефектов, что сопровождалось дополнительными тепловыми эффектами.

Можно предположить, что при температурах выше 423 К деформационное поведение материала во многом определяется взаимодействием примесей с имплантированным гелием, приводя к тому, что прочностные характеристики армко-железа, и осо-

бенно величины работы и запасенной энергии, возрастают.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имплантация армко-железа гелием до концентрации $1 \cdot 10^{-3}$ ат. % и последующая деформация со скоростью $8,3 \cdot 10^{-4}\text{ c}^{-1}$ в интервале температур динамического деформационного старения (373...473 К):

способствует сохранению его пластических характеристик;

-повышает температуру проявления эффекта Портевена – Ле Шателье;

-увеличивает критическую степень деформации, соответствующую появлению зубчатости на кривых растяжения;

-увеличивает значения механической работы по растяжению и величину выделяющегося при этом тепла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.В.Беве, D.L.Holt, A.I.Titchener. The stored energy of cold work. //Oxford etc., Pergamon Press, 1973, 192 p.
2. М.А. Большанина, В.Е.Панин. Скрытая энергия деформации // Исследования по физике твердого тела, М., 1957.
3. А.В. Болотов, Ш.Ш.Ибрагимов, О.П.Максимкин. Выделение и накопление энергии в процессе растяжения облученной нейтронами стали 12X18H10T. //Атомная энергия. 1989, т.66, № 6, с. 430–431.
4. И.В.Астафьев, О.П.Максимкин, Б.Д.Уткелбаев. Накопление энергии и изменение микроструктуры в процессе деформации стали 12X18H10T. //Металлофизика. 1991, т.13, № 10, с. 36–40.
5. И.В.Астафьев, О.П.Максимкин. Калориметрическое изучение мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения при деформации облученной стали 12X18H10T //ФММ. 1994, т.77, № 3, с. 166–168.
6. И.В.Астафьев, О.П. Максимкин. О роли латентной энергии в мартенситном $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении при деформировании облученной нержавеющей Fe-Cr-Ni стали //ФММ. 1994, т.77, № 3, с. 90–95.
7. О.П. Максимкин и др. Автоматизированная установка для определения энергии, запасаемой в процессе растяжения материалов: Препринт 4–87, ИЯФ АН КазССР, Алма-Ата, 1987.
8. В.К.Бабич, Р.П.Гуль, И.Е.Долженков. Деформационное старение стали //М., 1972, 320 с.
9. И.В.Астафьев, О.П.Максимкин. Восстановление калориметрических термограмм в экспериментах по изучению тепловыделения и запасаения энергии при деформировании // Заводская лаборатория/ 1994, №1, с.44–46.
10. А.Г.Залужный, Ю.Н.Сокурский, В.Н.Тебус. Гелий в реакторных материалах // М.: "Энергоатомиздат", 1998, с. 224

11.