

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

97-145

P14-97-145

В.Ф.Реутов, В.К.Семина, А.С.Сохацкий

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ,
НАСЫЩЕННОЙ ГЕЛИЕМ
И ПОДВЕРГНУТОЙ ПОСЛЕРАДИАЦИОННОЙ
ФАЗОВОЙ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Направлено в журнал «Поверхность: физика, химия, механика»

1997

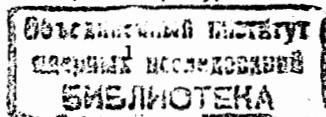
В работе [1] было обнаружено, а дополнительными результатами [2] подтверждено новое проявление влияния гелия на термически необратимую структурно-фазовую дестабилизацию углеродистых сталей. Показано, что в условиях послерадиационного полиморфного превращения только в участках образца углеродистой стали, легированных гелием, имеет место термически необратимое размельчение размера феррито-перлитных зерен с одновременным возрастанием доли ферритной фазы. Если измельчению зерна можно найти объяснение за счет известного влияния гелия на рост аустенитных зерен, то увеличение доли ферритной фазы, а следовательно, уменьшение цементита было неожиданным. Естественно встал вопрос о наличии углерода или изменении его состояния в областях стали, легированных гелием.

В настоящей работе приводятся результаты электронно-микроскопических исследований углеродистой стали, облученной высокоэнергетичными α -частицами и подвергнутой послерадиационной фазовой перекристаллизации.

Экспериментальные методы

В качестве объекта для исследований был взят доэвтектоидный сплав железа с 0,58% углерода. После разрезки, прокатки до толщины около 0,1 мм и отжига в вакууме при 900°C в течение двух часов в образцах была сформирована классическая феррито-перлитная структура.

Облучение сборки из двух фольг проводилось на циклотроне У-200 (ОИЯИ, Дубна) α -частицами с начальной энергией 36 МэВ. С целью формирования в фольгах продольных зон, легированных гелием, их облучение проводилось через набор цилиндрических поглощающих фильтров по методике [3]. Доза облучения составляла $3 \cdot 10^{17}$ α -част./см², температура - не более 100°C.



После облучения образцы отжигались в вакууме при температуре 900°C в течение пяти часов с последующим охлаждением с печью. Макроскопическое состояние структуры образцов контролировалось с помощью оптического микроскопа. Электронно-микроскопические исследования проводились на микроскопе ЭМ-125. Образцы изготавливались на установке "Микрон" [4] с использованием электролита следующего состава: 25 г CrO₃, 40 мл воды, 133 мл ледяной уксусной кислоты.

Результаты и обсуждение

Металлографические исследования данных образцов показали структурные изменения, как и в работе [2], а именно: уменьшение доли перлитной составляющей и размера ферритных и перлитных зерен в участках образца, подвергнутых легированию гелием.

Электронно-микроскопическое исследование участков образца, не подвергнутых легированию гелием, показали, что в структурах феррита и перлита имеет место повышенная плотность дислокаций. Это является естественным следствием фазового наклепа при охлаждении углеродистой стали с температур γ -области диаграммы Fe-C.

В участках образца, легированных гелием, наблюдаются гелиевые поры. Характер их развития значительно отличается в ферритных и перлитных зернах.

В ферритных зернах (рис.1) гелиевые поры достаточно равномерно распределены по телу зерна, хотя и отмечается их гетерогенный (на дислокациях) характер зарождения. При этом средний размер гелиевых пор составляет 75 нм, плотность - $2,8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, относительный объем - 7,5%.

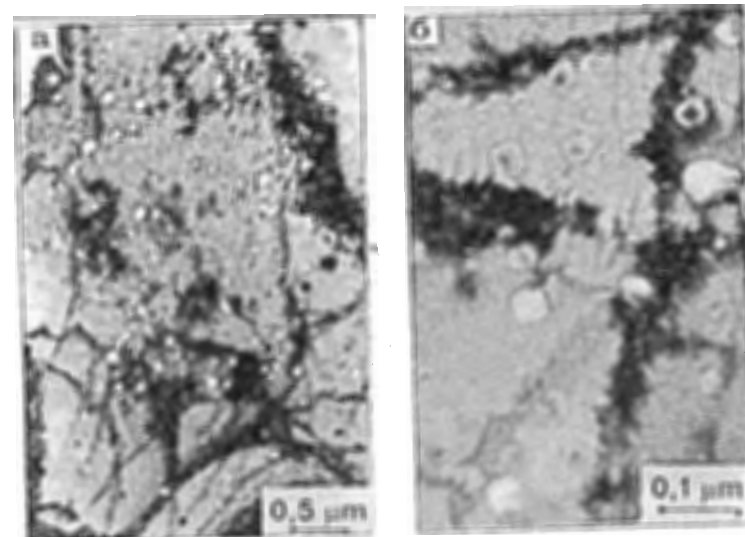


Рис.1. Гелиевые поры в ферритном зерне углеродистой стали (Fe+0,58%С): а - общий вид; б - поры, заполненные углеродом.

Основной отличительной особенностью гелиевых пор в ферритных зернах является тот факт, что их изображение имеет темный контраст, не обусловленный фазовым контрастом. Это дает основание предположить, что гелиевые поры заполнены углеродом, состояние которого не ясно и представляет предмет последующих исследований. Как показали оценки, объем пор достаточен для объяснения наблюдающегося уменьшения количества (доли) перлита. Косвенным подтверждением заполнения гелиевых пор углеродом являются результаты эксперимента с дополнительным отжигом при 900°C ПЭМ-образца с данными порами. Как видно из рис.2, гелиевые поры являются источником образования на них выделений. Этот факт указывает на то обстоятельство, что гелиевые поры являются как стоком, так и источником атомов углерода. Именно это, на наш взгляд, является причиной невосприимчивости объема малоуглеродистой стали.

легированного гелием, к дополнительному его науглероживанию, как это отмечалось в работе [2].

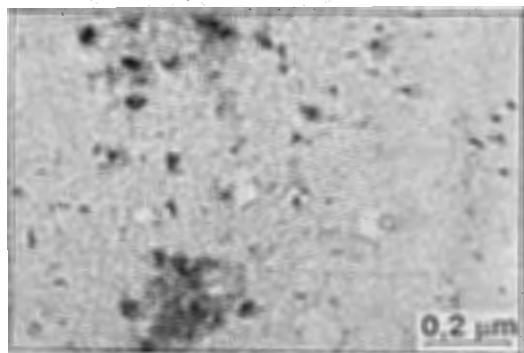


Рис.2. Образование выделений на гелиевых порах в результате дополнительного отжига ПЭМ-объекта с гелиевыми порами, заполненными углеродом

На рис.3 приведена характерная структура перлитного зерна, легированного гелием. Как и в ферритном зерне, наблюдаются гелиевые поры. Примечательным является тот факт, что все гелиевые поры располагаются вдоль границы пластинчатого цементита с ферритом. При этом их кристаллографическая форма не

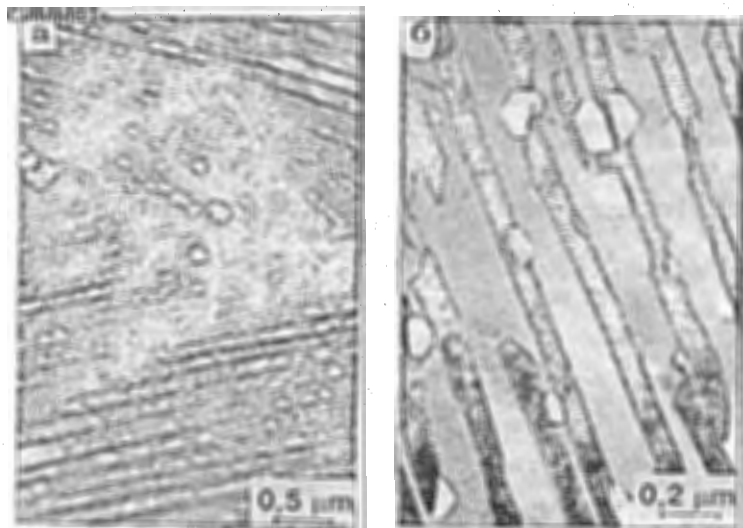


Рис.3. Гелиевые поры в перлитном зерне углеродистой стали (Fe+0,58%С): а - общий вид; б - гелиевые поры на цементитных пластинках

рична: на границе цементита наблюдается только одна удлиненная грань поры, в то время как в ферритной матрице пора имеет многогранную структуру. Это указывает на то, что поверхностная энергия границы цементитной пластины значительно меньше поверхностной энергии кристаллографических граней поры в ферритной матрице.

Примечательным является факт расположения всех пор в перлите по цементитным выделениям и их отсутствие в ферритной матрице между цементитными пластинами. Трудно предположить, что зарождение и рост гелиевых пор происходит в фазе остывания объекта, после его нагрева и выдержки при 900°C в течение пяти часов. Как показали ПЭМ-исследования, в некоторых ферритных и перлитных зернах гелиевые поры образуют полосчатую структуру (рис.4). Это указывает на преимущественное зарождение гелиевых пор в ферритной матрице в фазе нагрева образца в области температуры до $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения.

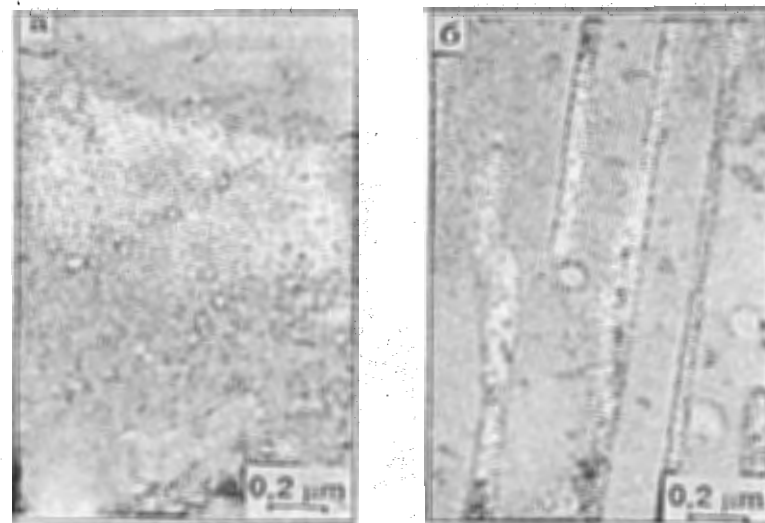


Рис.4. Развитие полосчатой структуры распределения гелиевых пор в ферритном (а) и перлитном (б) зернах

В свете вышесказанного следует предположить, что наблюдаемый характер расположения гелиевых пор в перлитном зерне, по-видимому, обусловлен направленной миграцией пор в поле упругих напряжений, создаваемых цементитными пластинами в фазе их роста. При этом подобная миграция возможна для гелиевых пор, незаполненных или частично заполненных углеродом.

Следует заметить, что в некоторых перлитных зернах, где нарушается непрерывная пластинчатость цементитных выделений, гелиевые поры наблюдаются и в ферритной матрице. При этом они практически все заполнены углеродом. Это обстоятельство косвенно свидетельствует о наличии движущей силы (градиента напряжений) для миграции гелиевых пор в объеме ферритной матрицы между цементитными пластинками.

Сохранение индивидуальной морфологии гелиевых пор в их ансамбле на цементитном выделении, несмотря на их пересечения, свидетельствует о том, что поверхность этих пор декорирована слоем углерода. Подобные ансамбли гелиевых пор, заполненные углеродом и объединенные общим объемом, достаточно часто встречаются и в ферритных зернах (рис.5).

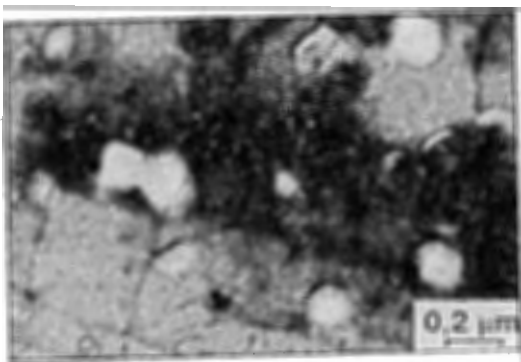


Рис.5. Скопления гелиевых пор, заполненных углеродом, объединенные общим объемом

Таким образом, настоящие результаты позволили установить причину влияния гелия на формирование мелкозернистой феррито-перлитной структуры и увеличение относительной доли

ферритной фазы в условиях послерадиационной фазовой перекристаллизации углеродистой стали, заключающуюся в том, что гелиевые поры являются мощным стоком для углерода и способствуют, по-видимому, формированию стабильной графитовой фазы.

Литература

1. V.F.Reutov, L.G.Turubarova, N.G.Silnyagina. Influence of post-irradiation phase recrystallization upon structural changes in carbon steels irradiated by high energy alpha-particles. Scripta Metallurgica, 1993, vol.29, p.807-810.
2. V.F.Reutov, V.K.Semina, L.G.Turubarova. Helium effect on phase structural changes in carbon steel under post-irradiation phase recrystallization. Препринт ОИЯИ Е14-95-55, 1995, 14 с.
3. В.Ф.Реутов, С.П.Вагин. Способ создания профилей ионной повреждаемости в образцах. А.с.1865063. БОИПОТЗ, 1985, N8 (199).
4. В.Ф.Реутов, Н.В.Багаева, А.Н.Подилько. Устройство "Микрон" и способ приготовления объектов для просвечивающей электронной микроскопии из высокорadioактивных материалов. Препринт 5-87, ИЯФ АН Каз ССР, Алма-Ата, 1987, 15 с.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 апреля 1997 года.

Реутов В.Ф., Семина В.К., Сохацкий А.С.

P14-97-145

Электронно-микроскопическое исследование углеродистой стали, насыщенной гелием и подвергнутой послерадиационной фазовой перекристаллизации

Методом ПЭМ исследована структура углеродистой стали, подвергнутой облучению высокоэнергетичными α -частицами и послерадиационной фазовой перекристаллизации. Установлено, что причина наблюдаемого измельчения зернистой структуры с одновременным уменьшением перлитной составляющей — образование гелиевых пор и захват ими атомов углерода.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н.Флерова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1997

Перевод авторов

Reutov V.F., Semina V.K., Sokhatsky A.S.

P14-97-145

Transmission Electron Microscopy Study of Helium Saturated and Post-Irradiation Phase Recrystallized-Carbon Steel

Structure of carbon steel irradiated with high energy α -particles and post-irradiation crystallized was studied by transmission electron microscopy. It was found that reasons of observed refining of grain structure and simultaneous decreasing of pearlite fraction are helium holes formation and carbon atoms capture by them.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1997