

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ ГРАНИЦ ЗЕРЕН В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУР ГЕЛИЕВОГО ОХРУПЧИВАНИЯ

ИНЦ ХФТИ, г. Харьков.

А. А. Пархоменко

В работе исследовалось зернограничное внутреннее трение никеля, облученного высокоэнергетическими (e, γ) пучками до дозы 0,1 с.н.а. Показано, что гелий, образующий-

ся в материале за счет вторичных (γ, α)-реакций приводит к увеличению мощности границ зерен как стоков для матричных дислокаций.

Проведенные исследования микроструктуры поверхности никелевых облученных образцов, деформированных при температурах проявления эффекта высокотемпературного радиационного (гелиевого) охрупчивания показали, что в облученном материале вклад величины зернограничного проскальзывания (ЗГП) в общую деформацию увеличивается после облучения [1]. В этом находится существенное отличие от поведения необлученного материала, где вклад зернограничного проскальзывания снижается с увеличением степени высокотемпературной пластической деформации.

Учитывая прямую связь склонности материала к гелиевому охрупчиванию (ГО) и интенсификации зернограничного проскальзывания [2], представляется необходимым выяснить возможные механизмы, лежащие в основе такого различия в поведении материалов, с тем, чтобы более глубоко разобраться в физической природе самого эффекта ГО.

В частности, прояснить вопрос о влиянии облучения (гелия) на мощность границ зерен как стоков для матричных дислокаций, который до сего времени оставался совершенно неизученным.

Материалы и методика. В качестве объекта исследований был выбран никель технической чистоты (99,86 вес.%) на котором был проведен весь предыдущий комплекс исследований [1-4].

Образцы в виде тонких металлических пластин с размерами рабочей части $10 \times 3 \times 0,25$ мм были облучены на ускорителе ЛУ-2ГэВ ИНЦ ХФТИ при температуре $200^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ ($E = 225$ МэВ).

В результате концентрация гелия составила $2,5 \cdot 10^{-3}$ ат. %, при уровне повреждаемости 0,1 с.н.а.

Для исследования особенностей поведения границ зерен облученного материала был использован метод зернограничного внутреннего трения. Его применение основывалось на установленной нами ранее связи склонности материала к высокотемпературному (гелиевому) охрупчиванию и смещения зернограничного пика внутреннего трения (ЗГПВТ) в область низких температур [3]. Кривые внутреннего трения (температурные зависимости) снимались с помощью обратного низкочастотного крутильного маятника. Более подробно методика измерений описана в работе [3].

С помощью этого метода исследовалось изменение свойств границ зерен облученного никеля при взаимодействии их с матричными дислокациями, т. е. их дислокационно-адсорбционную способность, основываясь на том факте, что именно "наведенное" (стимулированное внутривзеренной деформацией) ЗГП является основным механизмом зернограничной

деформации облученных, деформированных при $T \geq 0,45 T/T_{пл}$ [4] материалов. В качестве "способа доставки" дислокаций на границы было использовано (применяющееся для этой цели) предварительное высокотемпературное деформирование ($T = 600^\circ\text{C}$) на сравнительно невысокие степени деформации [5, 6] – в данном случае 0,7; 1; 5 и 6% для облученных и до 15% у необлученных образцов. В качестве индикатора интенсивности ЗГП использовалось положение (температура максимума) зернограничного пика внутреннего трения [3, 7] – T_m .

Результаты и обсуждение. Представленные на рисунке зависимости T_m от степени высокотемпературной предварительной пластической деформации позволяют сказать следующее:

1. В необлученном и облученном материалах наблюдается, в целом, снижение, сдвиг температуры ЗГПВТ в сторону более низких температур. В соответствии с теорией [7] это свидетельствует об облегчении зернограничного проскальзывания. Причиной этого может являться введение "свежих" дислокаций в границы зерен.
2. В необлученном материале (кривая 1) уже при деформации ~ 1% начинает устанавливаться динамическое равновесие процессов адсорбции и релаксации границами зерен матричных дислокаций, о чем свидетельствует насыщение величины T_m как функции степени деформации.
3. В облученных образцах границ зерен насыщение дислокациями не наблюдается вплоть до 6% деформации. При этом, зарождение первых зернограничных микротрещин наблюдалось уже с деформаций $\leq 9\%$.

Эти результаты позволяют объяснить не только эффект интенсификации зернограничного проскальзывания за счет увеличения плотности "внесенных" зернограничных дислокаций, но также ответить на вопрос о механизмах связанного с гелиевым охрупчиванием эффекта затруднения зарождения внутризеренной структуры [2], которая начинает образовываться лишь после того, как границы зерен "насытятся" дислокациями.

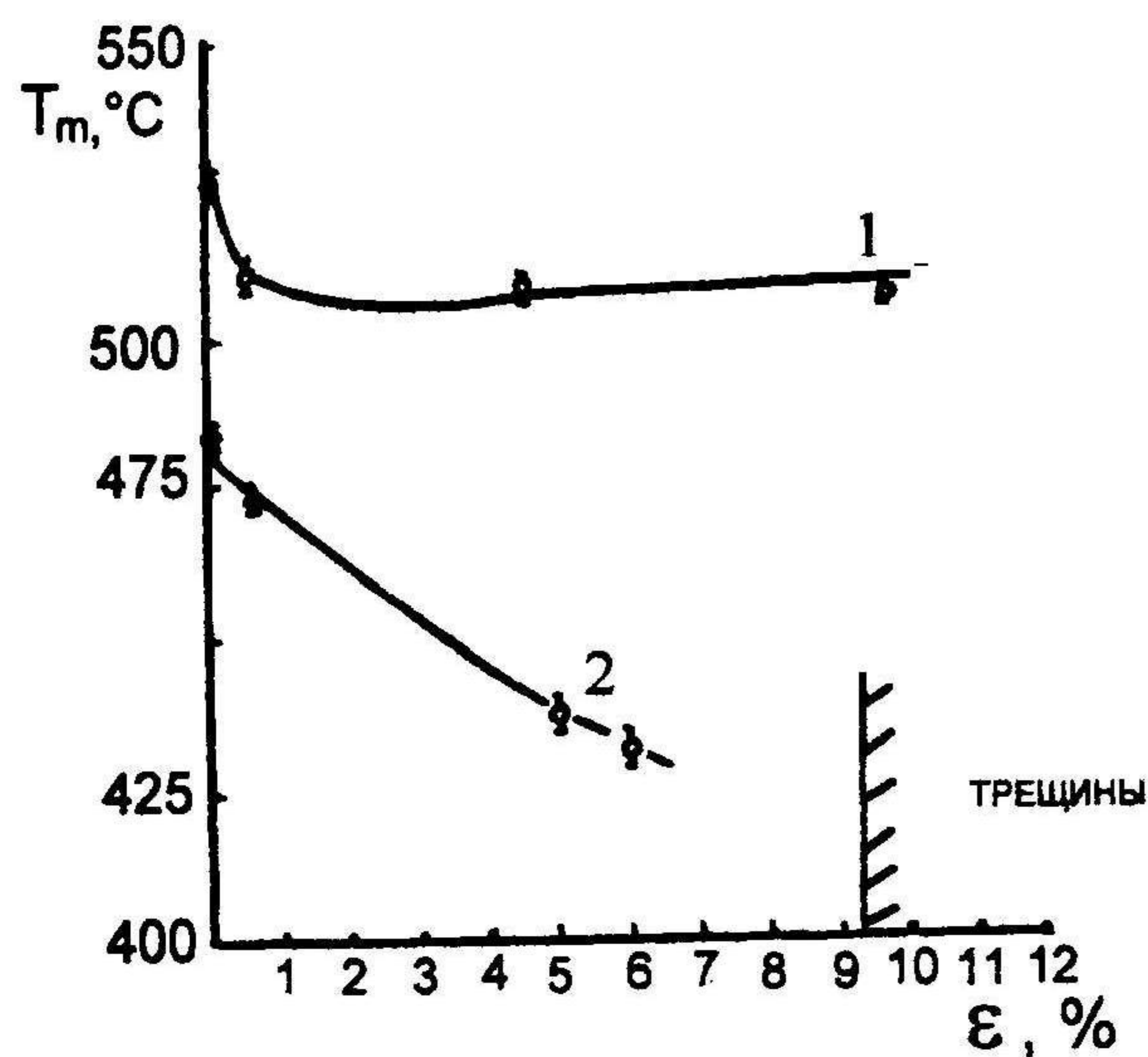


Рис. 1. Зависимость температуры зернограничного максимума внутреннего трения никеля от величины предварительной высокотемпературной деформации; 1 – исходный, 2 – облученный

Причиной повышения адсорбционно-дислокационной мощности ГЗ может являться повышение их энергии с увеличением концентрации гелия, что было показано ранее теоретически [8].

В свою очередь повышение степени неравновесности (энергии) границ зерен должно приводить к повышению мощности границ как стока для дислокаций, что было показано с помощью метода компьютерного моделирования [9].

Анализ полученных результатов позволяет предложить модель высокотемпературного гелиевого охрупчивания, облученного деформируемого материала. Образующийся под облучением гелий приводит к повышению энергий границ зерен, а также к увеличению дислокационно-адсорбционной способности границ. Это приводит к увеличению плотности зернограничных дислокаций. Следствием этого может являться интенсификация

процессов ЗГП, которое, как было показано нами ранее [1,2,4], стимулируют преждевременное образование клиновидных трещин в тройных стыках зерен, а значит и разрушение материала.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально изучено влияние мощности ГЗ как стока для матричных дислокаций в необлученном и облученном никеле.
2. Показано, что в облученном материале насыщенном гелием ГЗ являются, практически, ненасыщаемыми стоками для матричных дислокаций.
3. Полученные результаты позволяют объяснить, как эффект интенсификации ЗГП облученных, деформируемых при $T \geq 0,45T_m$ материалов, так и эффект затруднения образования в этих материалах внутривзеренной субструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ожигов Л. С., Пархоменко А. А., Клюкович В. А. и др. Высокотемпературная деформация никеля, облученного высокоэнергетическими электронами. Вопросы атомной науки и техники. Сер.: ФРП и РМ. Вып. 1 (43) 1988. С. 29-36.
- [2] Zelensky V. F., Neklyudov I. M., Ozhigov L. S., Parkhomenko A. A. effects of Irradiation on grain boundary deformation in nickel // Effects of Radiation on Materials Vol. 1. ASTM STP, Philadelphia, 1989. P. 295-300.
- [3] Криштал М. А., Выбойщик М. А., Кацман А. В., Слоневский Ю. Н., Неклюдов И. М., Ожигов Л. С., Пархоменко А. А. Влияние электронного облучения на процессы зернограницной релаксации в никеле. // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: ФРП и РМ. Вып. 1 (48), 1989. С. 53-56.
- [4] Неклюдов И. М., Ожигов Л. С., Пархоменко А. А. Связь высокотемпературного радиационного охрупчивания с изменением прочности матрицы и границ зерна никеля. Атомная Энергия. 1987, Том 63. С. 402-404.
- [5] Lojkowski W., Wyzzykowski J., Scripta Met. V. 22, № 1, 1988. P. 57-59.
- [6] Кайбышев О. А., Валиев Р. З. Границы зерен и свойства металлов. М.: Металлургия, 1987. С. 214.
- [7] Глейтер Г., Чалмерс Б. Большеугловые границы зерен. Москва, "Мир", 1975. 374 с.
- [8] Герасименко В. И., Михайлевский И. М. Вопросы атомной науки и техники. Сер.: ФРП и РМ. Вып. 51, 1989. С. 53.
- [9] Бойко В. С., Мазилова Т. И., Сидоренко И. И. Компьютерное моделирование на атомном уровне взаимодействия точечных, линейных и поверхностных дефектов. // Радиационное материаловедение // Т. 5. Харьков 1990. С. 134-141.