

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

95-320

P14-95-320

А.Хофман

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ОБРАЗЦА  
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ОБЛУЧЕННОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ОХ18Н10Т

1995

## Влияние размеров образца на механические свойства облученной аустенитной стали ОХ18Н10Т

Исследовано влияние толщины образца и размеров зерна на предел текучести, предел прочности и удлинение стали ОХ18Н10Т. Показано, что происходит снижение прочностных свойств с уменьшением толщины образца при постоянном размере зерна. Определено соотношение толщины образца ( $t$ ) и среднего размера зерна ( $d$ ) как функции условного предела текучести для облученных и необлученных образцов стали. Установлено, что когда соотношение  $t/d$  выше, чем критическое значение, то пределы текучести миниатюрных и стандартных образцов совпадают.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н.Флерова ОИЯИ и Институте атомной энергии, Сверк, Польша.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1995

Перевод автора

Hofman A.

P14-95-320

## The Influence of Specimen Size on the Tensile Properties of Irradiated Austenitic Stainless Steel ОН18Н10Т

The effects of specimen thickness and grain size on the yield strength, ultimate tensile strength and total elongation of austenitic stainless steel ОН18Н10Т have been investigated. Generally the mechanical properties deteriorate with decreasing specimen thickness for a constant grain size. The ratio of specimen thickness ( $t$ ) to grain size ( $d$ ) as function of 0.2% yield strength is determined. When the value of  $t/d$  is larger than critical value, the 0.2% yield strength of miniature specimens becomes equal to the bulk materials.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR, and at the Institute of Atomic Energy, Swierk, Poland.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Широкая программа исследований конструкционных материалов для ядерных и разрабатываемых термоядерных реакторов создала необходимость уменьшения размеров образцов для испытаний механических свойств облученных материалов. Это связано в первую очередь с относительно небольшими пробегами ускоренных тяжелых ионов, которые широко применяются для моделирования нейтронного воздействия. Кроме того применение для испытаний миниатюрных образцов позволяет уменьшить влияние градиентов температуры и более однородно облучать их тяжелыми ионами, а также снизить радиационные нагрузки на персонал, который проводит послерадиационные исследования.

Цель настоящей работы - изучение возможностей применения миниатюрных образцов при исследовании механических свойств и определение условий, при которых результаты испытаний этих образцов будут соответствовать результатам, полученным на массивных образцах в инженерной практике.

## 2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для исследований использовалась аустенитная сталь OX18N10T в виде фольги с толщинами 50 и 100 мкм и ленты с толщиной 500 мкм. Химический состав представлен в таблице 1.

Таблица 1. химический состав стали OX18N10T (вес.%)

C	Ni	Cr	P	S	Mn	Ti	Fe
0.034	9.75	18.9	0.019	0.015	1.61	0.53	остальное

Образцы на растяжение имели размеры рабочей части 15x3 мм. Чтобы определить влияние толщины образца на механические свойства (условный предел текучести -  $\sigma_{0.2}$ , предел прочности -  $\sigma_B$ , удлинение -  $\delta$ ), образцы были изготовлены с вышеуказанными толщинами, кроме того из ленты толщиной 500 мкм были сделаны стандартные образцы согласно ГОСТ 1497-73. Все образцы были отфрезерованы в специальном

держателе. Поверхность образцов были отполированы механическим способом. После механической обработки образцы были отожжены в вакууме при температурах 1050°C и 1100°C в течение 20-100 мин, чтобы получить разную величину зерна. Для растяжения миниатюрных образцов был сконструирован специальный держатель. Подробно об условиях испытаний и подготовки образцов написано в работе [3].

Испытание на растяжение проведено при комнатной температуре на испытательных машинах INSTRON-1121 и TIRA-TEST при скорости деформации  $0.55 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ .

Облучение нейтронами ( $E > 0.1 \text{ МэВ}$ ) проведено в реакторе EWA - Сверх флюенсом  $1.38 \cdot 10^{17} \text{ н/см}^2$  при температуре примерно 80°C.

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

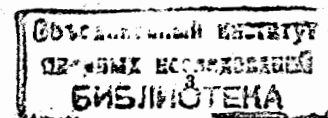
Основной объем экспериментального материала о зависимости механических свойств от толщины образцов был получен на необлученных образцах. На рис.1 представлена зависимость влияния толщины образца на условный предел текучести  $\sigma_{0.2}$  стали OX18N10T при определенной величине зерна. При оценке предела текучести поликристаллического металла следует рассматривать вклад в него от границ зерен и тела зерна. Предел текучести  $\sigma_y$  поликристаллического материала в зависимости от величины зерна  $d$  определяется уравнением Халла-Петца

$$\sigma_y - \sigma_f = K_y d^{-1/2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_f$  - напряжение трения препятствующее движению дислокаций в матрице,  $K_y$  - мера растягивающих напряжений, требуемых для распространения пластической текучести от одного зерна до другого.

Из рис.1 видно, что зависимость предела текучести от размера зерна достаточно хорошо описывается выражением (1). Кроме того видно, что условный предел текучести  $\sigma_{0.2}$  зависит от толщины образца. Для тонких образцов он меньше при той же средней величине зерна. При средней величине зерна ниже 20 мкм предел текучести такой же как и для образцов с разной толщиной.

На рис.2 представлено влияние толщины образца на предел прочности  $\sigma_B$  для испытания образцов на растяжение. Приближенные значения  $\sigma_B$  для изученных образцов можно наблюдать при малом размере зерна, менее 10 мкм.



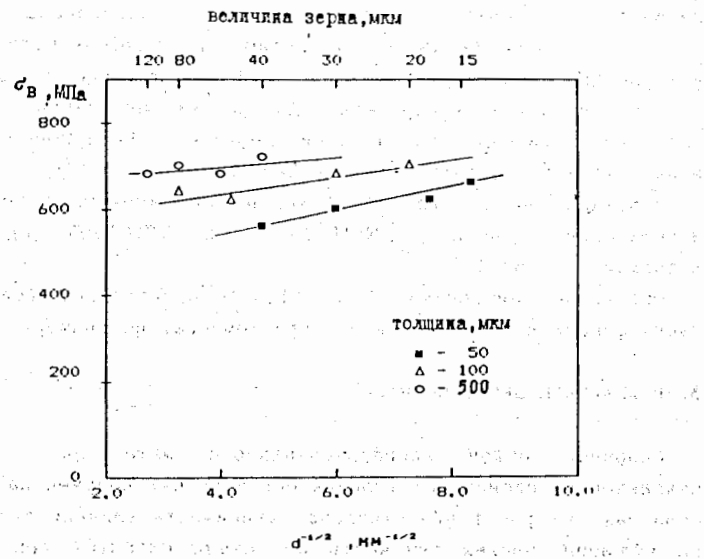


Рис. 1. Зависимость условного предела текучести  $\sigma_{0,2}$  стали OX18N10T от толщины образца и размера зерна

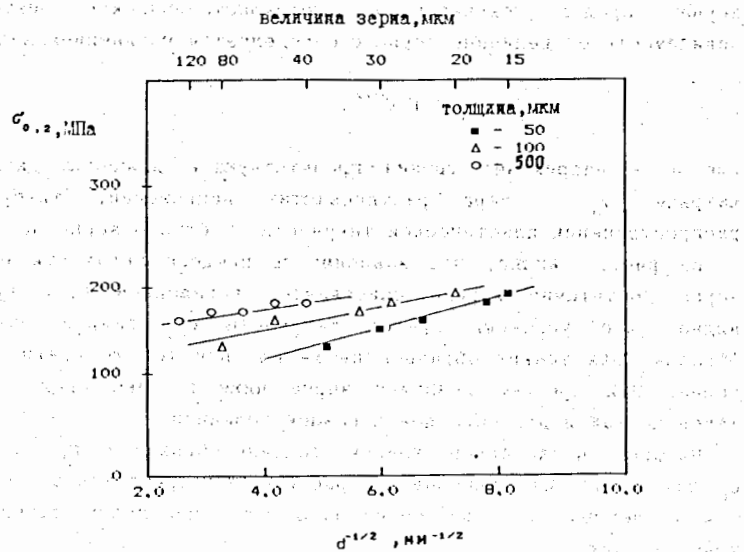


Рис. 2. Влияние толщины образца и размеров зерна на предел прочности  $\sigma_B$  для стали OX18N10T

На рис. 3 показано влияние толщины образца и размеров зерна на удлинение. Это влияние уменьшается с уменьшением толщины образца, но зависимость удлинения от размеров зерна относительно мала.

Зависимость предела текучести от толщины образца для аустенитных сталей 304 и 316 изучена в работах [4,5]. Известно, что способ скольжения в отдельных зернах сильно зависит от взаимодействия между соседними зернами. Считается, что это взаимодействие распространяется на достаточно большие расстояния через соседние зерна и что "напряжение течения" (истинное напряжение в шейке) уменьшается с уменьшением толщины образца, когда количество зерен на толщине образца меньше, чем критическая величина.

В работе [6] сделаны попытки оценить с помощью относительно простой модели радиус сферы взаимодействия и напряжения течения как функции размеров зерна. Определено, что существует зависимость "напряжения течения" от величины  $t/d$ , где  $t$  - толщина образца,  $d$  - средний размер зерна. Существует критическая величина  $t/d$  или, как считают другие исследователи, критическая толщина  $t_c$  [7], выше которой предел текучести не зависит от этих величин.

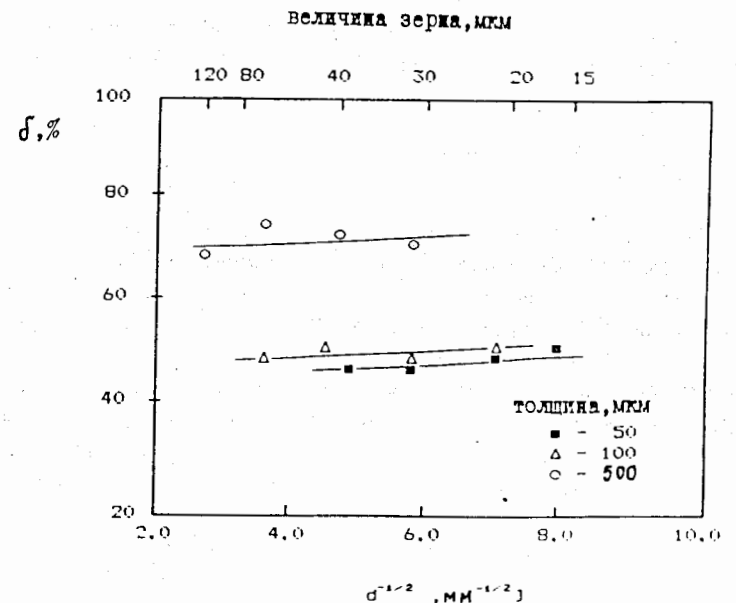


Рис. 3. Зависимость удлинения  $\delta$  от толщины образца и размеров зерна для стали OX18N10T



На рис. 4 показана зависимость условного предела текучести  $\sigma_{0,2}$  от величины  $t/d$  для необлученных и облученных образцов стали OX18N10T. Как для необлученных и облученных образцов - критическая величина  $t/d$  больше 3.5. При облучении очевидно имеет место радиационное упрочнение, но критическая величина  $t/d$  не меняется после облучения. Этот факт можно объяснить тем, что при таких дозах повреждений от нейтронов радиационное упрочнение является результатом упрочнения тела зерен, а не упрочнение границ зерен.

Этот вывод подтверждается результатами работы [8], в которой проанализировано влияние облучения на величину  $K_y$  (см. уравнение (1)).

Полученные в данной работе данные по значению параметра  $t/d$  сопоставимы с данными, которые получены в работах [4,9] для аустенитных сталей 304 и 316. Величины параметра  $t/d$  для тех же сталей были в пределах 2.5 - 5. В работе [7] определена критическая толщина  $t_c$  выше которой предел текучести не зависит от толщины. Например, для аустенитной стали JRCA (Fe-0.06C-16.22Ni-14.57Cr-2.37Mo-0.24Ti) критическая толщина была равна 6-кратному размеру зерна.

Для образцов с толщиной  $t$  меньше, чем критическая  $t_c$  в работе [7] предложено определять предел текучести для тонких образцов  $\sigma_{y(t)}$  из уравнения

$$\sigma_{y(t)} = \sigma_{y(c)} - \alpha (1/t - 1/t_c) K_y d^{1/2}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{y(c)}$  - предел текучести стандартного образца (по размерам),

$d$  - средний размер зерна,  $K_y$  и  $\alpha$  - постоянные коэффициенты.

Это уравнение можно вывести из уравнения Питца (1) и простого правила суммирования прочностных свойств зерна и границы зерен (или прочностных свойств фаза-граница раздела).

Зависимость предела прочности на растяжение от величины зерна и толщины образца (рис. 2) показывает, что критическая величина  $t/d$  больше 5. Зависимость удлинения от размеров зерна (рис. 3) мала, практически удлинение не меняется в пределах среднего размера зерна от 15 до 130 мкм. Трудно сказать при какой толщине удлинение миниатюрных и стандартных образцов можно сравнивать (в работе [4] при исследовании образцов стали 304 с толщиной 18-210 мкм эту толщину определили выше 200 мкм).

Одной из целей работы было определение насколько и в какой степени результаты испытаний механических свойств миниатюрных

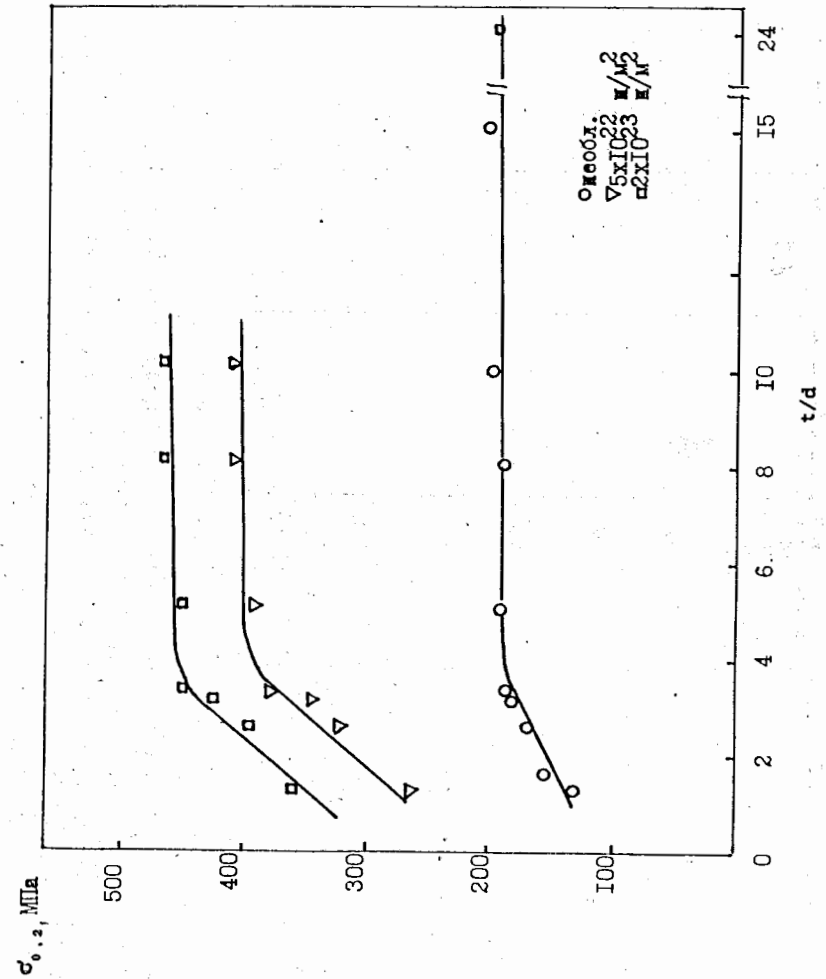


Рис. 4. Зависимость предела текучести от соотношения  $t/d$  для необлученных и облученных образцов стали OX18N10T

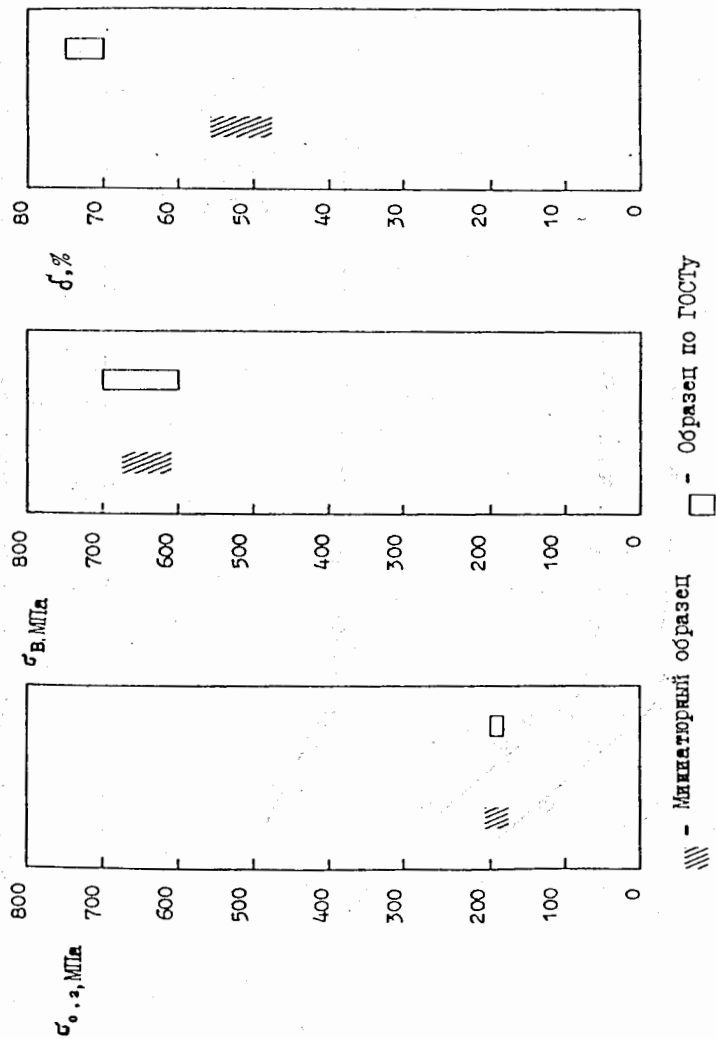


Рис. 5. Влияние размеров образца на механические свойства стали OX18Ni10T

образцов можно сравнивать с результатами испытаний стандартных образцов. На рис.5 представлены полученные данные по значениям  $\sigma_{0.2}$ ,  $\sigma_{в}$  и  $\delta$  для миниатюрных и стандартных образцов. Средний размер зерна изученных образцов находился в пределах 15 - 17 мкм при толщине 50 мкм. На таких образцах было изучено радиационное упрочнение стали OX18Ni10T после облучения тяжелыми ионами [1,2]. Как видно из рис.5 предел текучести миниатюрных и стандартных образцов не отличается, предел прочности отличается незначительно, а удлинение миниатюрных и стандартных образцов различно (стандартные образцы имели примерно на 40 % большее значение, чем миниатюрные образцы).

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предел текучести стали OX18Ni10T зависит от толщины образца  $t$  и размеров зерна  $d$ . Критическое соотношение  $t/d$  составляет примерно 3.5, когда оно выше чем 3.5, то предел текучести миниатюрных образцов равен пределу текучести стандартных образцов.

Предел прочности на растяжение стали OX18Ni10T также зависит от толщины образца и размеров зерна. Когда величина  $t/d$  выше 5 предел прочности миниатюрных образцов равен пределу прочности стандартных образцов.

Удлинение миниатюрных и стандартных образцов стали OX18Ni10T разное.

Величина предела текучести миниатюрных образцов стали OX18Ni10T толщиной 50 мкм и размерами зерна 15-17 мкм, которые были использованы в исследованиях радиационного упрочнения после облучения тяжелыми ионами и нейтронами [1,2], соответствуют пределу текучести стандартных образцов, и результаты испытаний миниатюрных образцов могут быть применены для инженерных целей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. A.Hofman, T.Kohanski, J.Chranovski, V.Shechegolev. Raport IAE-2137/VI, Otwock-Swierk, 1992.
2. A.Hofman, T.Kohanski, M.Krasnovski, V.Shechegolev. Nukleonika, v.39, No.3, p.35.
3. A.Hofman, T.Kohanski, A.Malczyk. Raport IAE-2152/VI. Otwock - Swierk, 1992.
4. N.Igata et al. J.Nucl.Mater., 122&123, 1984, p.354.
5. K.Miyahara et al. J.Nucl.Mater., 134&135, 1985, p.506.
6. S.Miyazaki, K.Shibata and H.Fujita. Acta Met., v.27, 1974, p.855.

7. A.Kohyama, K.Hamada and H.Matsui. J.Nucl. Mater., 179&181, 1991, p.417.
8. A.Hofman, T.Kohanski, A.Malczyk. Raport IAE-2999/VI, Otwock - Swierk, 1995.
9. J.Auer and A.A.Saques. Proc. Int. Conf. in Radiation Effects and Tritium Technology for Fusion Reactors, eds.J.S.Watson and F.H.Wiffen, Gatlinburg, Tennessee, USA, 1975, p.11-64.