

## РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

М.В. Гольцев<sup>1)</sup>, А.Хофман<sup>2)</sup>, Г.К.Ильич<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный медицинский университет, Беларусь, 220050, г.Минск, пр.Дзержинского,22, тел. +375-12-278-76-72, факс 278-76-10

<sup>2)</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Россия, 141980, г.Дубна, Московская обл., тел. +796-216-47-41

Исследовались радиационные эффекты хромоникелевой стали аустенитного класса типа X18H10T после облучения тяжелыми ионами <sup>22</sup>Ne и <sup>40</sup>Ar с энергиями 230 и 225 МэВ. Изучены структура и радиационное упрочнение, зависящие от флюенса и температуры. Установлена связь между дозой облучения и пределом текучести имплантируемых металлов.

### Введение

Хромоникелевые стали аустенитного класса характеризуются высокими физико-химическими свойствами: немагнитностью, вакуумной плотностью, коррозионной стойкостью, жаропрочностью и свариваемостью. Основными элементами, наиболее широко распространенных сталей типа X18H10T (тип 18-10) являются хром, обеспечивающий способность стали к пассивации, никель, переводящий сталь в аустенитный класс и титан, как стабилизирующий элемент для устранения межкристаллитной коррозии.

Отметим, что аустенитные хромоникелевые стали используются в машиностроении, в химической промышленности, в медицине (инструментарий, ортопедическая стоматология, лечебная аппаратура), для изделий криогенной техники и т.п.

Вместе с тем, стали типа X18H10T обладают низкой износостойкостью, схватыванием при трении-скольжении, относительно малой твердостью.

Для устранения указанных недостатков перспективным является использование методов радиационного упрочнения, например, обработка поверхности пучками концентрированной энергии [1,2].

Сталь типа X18H10T используется, как правило, в аустенизированном состоянии (нагрев до 1050°C с последующим охлаждением в воде или на воздухе), представляющем однофазное состояние твердого раствора со структурой ГЦК-решетки. При длительных воздействиях повышенных температур возможен распад твердого раствора с сегрегацией избыточных компонент или выделением упрочняющих фаз.

При облучении стали потоком частиц высокой энергии возможно повреждение структуры, а также превращения, величина и кинетика которых будут связаны с дозой и температурой облучения.

Целью данной работы является исследование радиационных эффектов изменения структуры и свойств стали типа X18H10T с моделированием кинетики структурных повреждений на образцах никеля, являющегося аналогом и основой аустенизации стали.

### Материалы и методика эксперимента

Исследования проводили на образцах в виде дисков из стали X18H10T, содержащих по мас.%. С – 0,034; Cr – 18,9; Ni – 9,75; Ti – 0,57; Si – 0,37; Mn – 1,61; Fe – остальное, и образцов технического Ni – 99,96 мас.%. После отжига при температуре 1050°C металл имел аустенитную структуру.

Образцы хромоникелевых сталей облучали потоком ионов <sup>40</sup>Ar (энергия 225 МэВ) и ионов <sup>22</sup>Ne (энергия 230 МэВ) на ускорителе У-300 Объединенного института ядерных исследований (г.Дубна).

Температура облучения составляла 900 К.

Микроструктуру исследовали в просвечивающих электронных микроскопах. Тонкие фольги из облученных образцов получали двухсторонним электролитическим утонением до достижения перфорации, подробно описанных в [3,4].

Радиационное упрочнение оценивали по данным микротвердости, прочности и пластичности при испытаниях на растяжение на универсальной машине "Instron-1121".

### Результаты и обсуждение

На рис.1 приведены структуры никеля и аустенитной хромо-никелевой стали X18H10T (тип 18-10). Сталь после аустенизирующего отжига (1050°C с охлаждением в воде или на воздухе) имеет обычную аустенитную структуру, вторичные фазы практически отсутствуют (рис.1а). Для удобства и наглядности рассмотрения повреждения структуры, на рис.1б приведена структура аналога стали – никеля после низкотемпературного облучения дозой порядка ~ 1 с.н.а. Видно, что тело зерна и двойниковая граница включают скопления кластеров, представляющих собой радиационные дефекты в виде дислокационных петель и черных точек [3].

Плотность кластеров на границах значительно выше, чем внутри зерна, причем средний размер кластеров практически не отличаются от кластеров, находящихся на границе и в теле зерна.

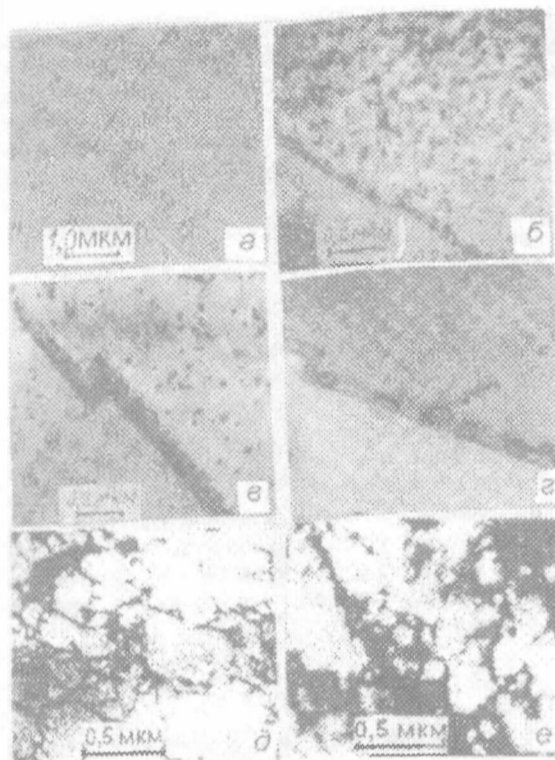


Рис.1. Структуры никеля и хромо-никелевых сталей: а – сталь 18-10 в аустенизированном состоянии, б – никель после низкотемпературного облучения; в – после отжига при 750 К, г – после отжига при 775 К; д – сталь 18-10 после отжига при 900 К; е – после облучения  $^{40}\text{Ar}$  ( $E = 225$  МэВ) при 900 К

Пострадиационный отжиг облученного никеля при температурах 750 К в течение 1 часа (приводит к увеличению отношения плотности петель и их среднего размера на двойниковой границе по сравнению с телом зерна (рис.1в).

После отжига при температуре 775 К дислокационные петли внутри тела зерна исчезают, в то же время на границах двойника они сохраняются (рис.1г). Причем, увеличение среднего размера петель, происходит, вероятно, за счет процессов коалесценции.

На рис.1д приведена структура образцов стали типа 18-10 после отжига при температуре 900 К, а на рис.1г структура образцов, облученных ионами аргона, энергией 225 МэВ при такой же температуре 900 К.

Анализ тонкой структуры образцов хромо-никелевых сталей облученных ионами аргона при 900 К с использованием ПЭМ в интервале повреждающих доз 0,1-1,0 с.н.а. показал, что в материале присутствует дефекты структуры в виде дислокационных петель размером  $\sim 140$  нм, вокруг которых располагаются мелкие точки, идентифицированные как микровыделения карбидов TiC. На границах зерен обнаружены более крупные выделения упрочняющей фазы, приписываемые карбидам хрома  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ .

Следует подчеркнуть, что из радиационно-термических эффектов распада аустенита формированием дефектов структуры и выделения вторичных фаз основную роль играют

радиационные эффекты, роль температурного фактора заметно проявляется лишь в поле ионного облучения.

Таким образом, в аустенитных сталях типа X18H10T при облучении ионами аргона, а также как будет показано ниже ионами неона, происходит выделение упрочняющих фаз высокодисперсных – в объеме зерен, и более крупных – по границам зерен. Одновременно с этим, методом микрорентгеноспектрального анализа установлено, что вблизи границ происходит перераспределение концентраций хрома и никеля – количество хрома уменьшается, а никеля увеличивается [4].

Как известно, вакансии радиационного происхождения участвуют в активации диффузионных процессов и компоненты стали X18H10T с относительно малым размером, к которым можно отнести Ni и Si, двигаясь по направлению к стокам вакансий участвуют в образовании выделений, таких как например,  $\gamma'$ -фазы ( $\text{Ni}_3\text{Si}_2$ ) и т.п.

Вызванные облучением структурно-фазовые превращения могут стать одной из причин изменения механических и коррозионных свойств хромо-никелевых сталей.

Прочность и пластичность стали X18H10T исследовали при растяжении образцов, вырезанных из полос толщиной 50 мкм. Облучение образцов проводилось ионами  $^{22}\text{Ne}$ ,  $^{40}\text{Ar}$  и  $^{124}\text{Xe}$  с энергией соответственно 230, 225 и 124 МэВ. Профили повреждения, сечение образования дефектов, проективные пробеги, энергия смещения рассчитывали по компьютерной программе TRIM-90.

Влияние облучения потоками ионов на механические свойства аустенитной стали типа 18-10 представлены на рис.2.

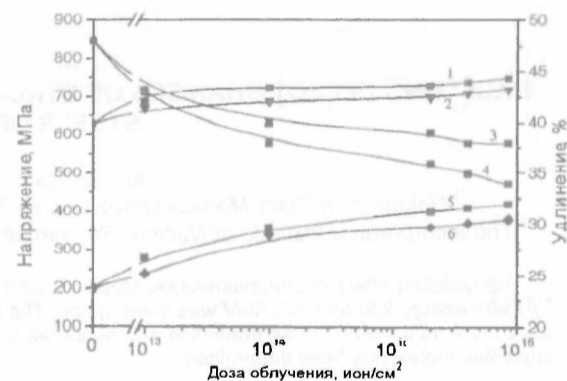


Рис.2. Зависимость механических свойств стали X18H10T от дозы ионов Ne: 1 -  $\sigma_a$ , 2 -  $\sigma_e$ , 3 -  $\delta$ , 4 -  $\delta$ , 5 -  $\sigma_{0.2}$  и Ar; 6 -  $\sigma_{0.2}$

Видно, что облучение повышает предел прочности и текучести и понижает пластичность. Причем эффект облучения Ar более заметный, чем Ne.

Важной характеристикой радиационного эффекта ионной имплантации является упрочнение материала, величину которого легко

оценить по данным показателя деформационного упрочнения "n":

$$\sigma = \sigma_0 + A\varepsilon^n, \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  - предел текучести;  
A - константа;  
 $\varepsilon$  - деформация.

Второй важной характеристикой является зависимость предела текучести от дозы облучения:

$$\Delta\sigma_{0,2} = A(1 - e^{-B\varphi t})^{1/2}, \quad (2)$$

где A, B – физические константы;  
 $\varphi, t$  – доза облучения.

Отметим, что показатель упрочнения "n" легко определить из графической зависимости  $\ln \varepsilon - \ln \sigma$  полученной экспериментально.

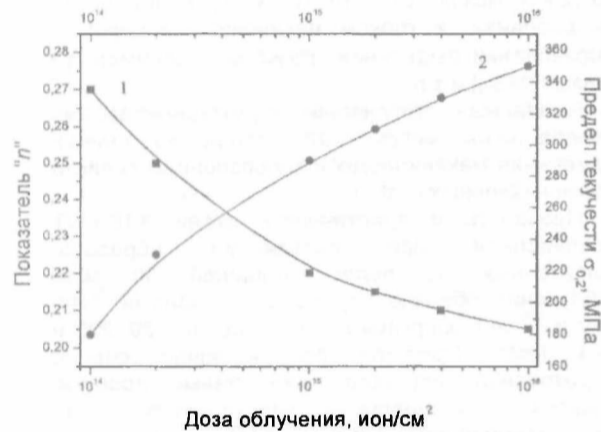


Рис.3. Зависимость показателя упрочнения «n» (1) и изменение предела текучести  $\sigma_{0,2}$  (2) от дозы облучения ионами стали X18H10T

На рис.3 представлены зависимости показателя деформационного упрочнения и изменения текучести от дозы облучения. Из рисунка следует, что показатель упрочнения уменьшается с ростом дозы облучения, что можно связать с преодолением барьеров стартовыми дислокациями, подавление этих барьеров и облегчения движения следующими за лидером дислокаций.

### Заключение

Результаты работы показали, что облучение хромоникелевых сталей аустенитного класса типа X18H10T высокоэнергетическими ионами неона и аргона активируют процессы выделения упрочняющих фаз в виде карбидов  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  по границам двойников и зерен и мелких образований TiC и, возможно,  $\gamma'$ -фазы  $\text{Ni}_3\text{Si}$ .

Облучение потоком ионов высоких энергий  $E > 1$  МэВ/а.е.т. приводит к упрочнению аустенитных сталей, величина эффекта упрочнения достигает 30-40%.

### Список литературы

1. Гольцев М.В., Хофман А. // Взаимод.излучения с твердым телом: Мат. III Межд.науч. конф. Ч.II. – Мн.: БГУ, 1999. – С.42-43.
2. Иващенко С.А. и др. Газотермические и вакуумно-плазменные покрытия со специальными физ.-мех. свойствами. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 236 с.
3. Радиационная физика твердого тела и реакторное материаловедение / Под ред. Волынова С., Гольцева В. и др., М.: Атомиздат. – 1970. – 264 с.
4. Хофман А. и др. // Металлы. – 2001. - № 3. – С.109-114.

## RADIATING EFFECT CHANGES OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF CHROMIUM-NICKEL STEELS OF AUSTENIC-CLASS

M.V.Goltsev<sup>1)</sup>, A.Hofman<sup>2)</sup>, G.K.Ilich<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Belarussian State Medical University, pr. F.Dzerginsky, 22, Minsk, Belarus, tel: +375-278-76-72

<sup>2)</sup>The Incorporated Institute of Nuclear Researches, 141980, Dubna, Moscow province, tel/fax: 096-216-47-41

The radiating effect of chromium-nickel steels of austenitic-class type X18H10T after their irradiation by heavy ion  $^{22}\text{Ne}$  and  $^{40}\text{Ar}$  with energy 230 and 225 MeV was investigated. The structure and radiating hardening is investigated which has appeared dependent from fluency of an irradiation and temperature. The connection between changes fluency and the limit of fluidity of implanted metais has been determined.