

## ВЛИЯНИЕ ГЕЛИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ X15AG14, СОДЕРЖАЩЕЙ МАРТЕНСИТНУЮ $\alpha'$ -ФАЗУ

Максимкин О.П., Тиванова О.В.

*Институт ядерной физики*

Для интервала температур  $20 \div 800$  °С определены характеристики прочности и пластичности хромомарганцевой стали X15AG14, подвергнутой предварительной холодной деформации и облучению альфа-частицами. Показано, что растяжение на 20 и 40 % индуцирует  $\gamma \rightarrow \alpha'$  превращение и несколько улучшает механические свойства стали при повышенных температурах. В то же время сохраняется эффект высокотемпературного охрупчивания стальных образцов, равномерно по объему имплантированных гелием до концентрации  $10^{-3}$  ат. %.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы значительное внимание уделяется изучению физико-механических свойств хромомарганцевых нержавеющей сталей, одним из достоинств которых является сравнительно невысокая стоимость (вследствии отсутствия никеля) и незначительная наведенная радиоактивность, характеризующаяся относительно быстрым ее спадом со временем [1]. В связи с этим, а также благодаря высокой устойчивости против радиационного распухания и ползучести, хорошим теплофизическим и технологическим свойствам, хромомарганцевые стали рассматриваются в качестве возможных конструктивных материалов для различных ответственных узлов и деталей атомных реакторов и проектируемых термоядерных установок. Известно, что стали этого типа в аустенизированном состоянии метастабильны и в процессе холодной деформации в них индуцируется  $\gamma \rightarrow \alpha'$  превращение с образованием мартенситной ферромагнитной  $\alpha'$ -фазы. При нагреве мартенсит деформации может отжигаться, что приводит в отдельных случаях к проявлению эффекта «памяти формы» и образованию фазонаклепанного аустенита [2]. Это практически важное явление используется для модификации прочностных и пластических свойств нержавеющей сталей в широком диапазоне температур. Так в работе [3] показано положительное воздействие предварительной холодной деформации на высокотемпературные механические свойства аустенитной стали 12X18H10T, которое проявляется в случае образования мартенситной  $\alpha'$ -фазы во время растяжения необлученных и облученных альфа-частицами образцов. В то же время для случая, когда при холодной деформации не образуется  $\alpha'$ -фаза, наблюдается эффект высокотемпературного гелиевого охрупчивания (ВТГО) стали. В этой связи представляло определенный интерес проверить влияние эффекта от обратного мартенситного превращения на высокотемпературные свойства материала, более склонного к деформационному  $\gamma \rightarrow \alpha'$  переходу, чем хромоникелевая сталь 18-10.

В настоящей работе изучаются особенности температурных изменений характеристик прочности и пластичности хромомарганцевой стали типа

X15AG14, подвергнутой предварительной холодной деформации и облучению альфа-частицами.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводили на плоских образцах для механических испытаний с размерами рабочей части  $10 \times 3,5 \times 0,3$  мм (см. рис.1а), которые отжигали 5 мин при  $1050$  °С с последующей закалкой в воду. Перед облучением часть стальных образцов была подвергнута растяжению до различных степеней деформации (см. табл.1) при комнатной температуре со скоростью 0,5 мм/мин. При этом, с помощью специально разработанного устройства [4] оборудованного феррозондом, одновременно с диаграммой растяжения регистрировали изменение содержания магнитной  $\alpha'$ -фазы и ее распределение в области рабочей длины образца. Часть аустенизированных и деформированных образцов облучали альфа-частицами с энергией 50 МэВ на циклотроне У-150 с использованием метода равномерного объемного легирования [5] до концентрации в них гелия  $1,5 \cdot 10^{-3}$  ат. %. При облучении температура образца не превышала  $100$  °С. Авторадиография образца, демонстрирующая равномерность облучения рабочей части, приведена на рис. 1б. Механические испытания при температурах  $250 \div 800$  °С со скоростью растяжения 0,13 мм/мин. проводили на модернизированной установке «ИМАШ-5С-69» в вакууме  $3 \cdot 10^{-3}$  Па. Полученные данные использовали для определения характеристик прочности и пластичности стали X15AG14.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Анализ типичных диаграмм растяжения, полученных в результате испытания стали X15AG14 в исходном состоянии при комнатной температуре, а также одновременно с ней регистрируемой кривой накопления  $\alpha'$ -фазы с ростом удлинения образца, показал, что  $\alpha'$ -мартенсит в стали появляется при деформациях около 10% и наиболее интенсивный рост его количества происходит на стадии локализации пластического течения так, что при растяжении образца до значения абсолютного удлинения, равного 0,2 мм, количество  $\alpha'$ -мартенсита не превышает 0,5%, в то время как при удлинении 0,6 мм содержание ферромагнитной фазы достигает 4,2%.

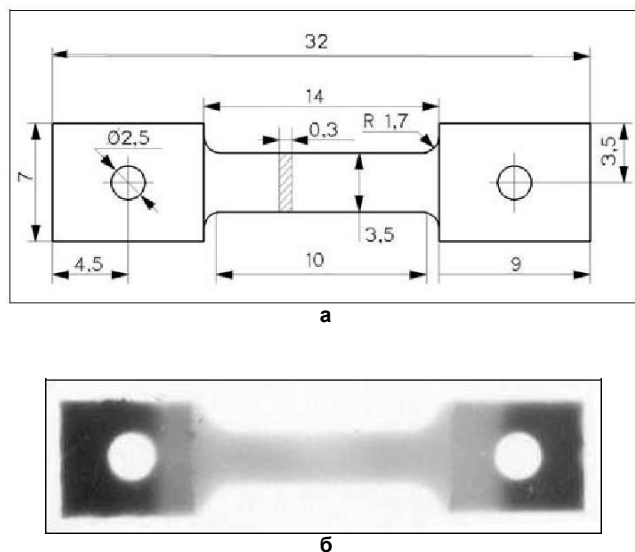


Рис.1. а) Форма и размеры образца для механических испытаний на одноосное растяжение. б) Авторадиография образца, облученного альфа-частицами с энергией 50 Мэв.

В таблице 1 приведены характеристики прочно-сти и пластичности необлученной и имплантированной гелием стали, испытанной при различных температурах. Как видно из этих результатов, пред-варительная холодная деформация оказывает значи-тельное влияние на механические свойства данного материала во всем исследованном диапазоне темпе-ратур. Различие характеристик исходной и холодно-обработанной стали особенно заметно в области  $200\div 400^{\circ}\text{C}$ , тогда как при более высоких температу-рах наблюдается тенденция к сближению как проч-ностных, так и пластических величин. Такое пове-дение характеристик прочности и пластичности обусловлено, по-видимому, не только и не столько влиянием наклепа, сколько проявлением эффекта «памяти формы», связанного с прохождением об-ратного мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha'$  превращения.

Эксперименты по изохронным (0,5 час.) отжигам образцов, растянутых до различных степеней де-формации, а значит содержащих различное количе-ство ферромагнитной фазы, показали, что темпера-тура полного исчезновения  $\alpha'$ -фазы может принимать значения от  $200$  до  $600^{\circ}\text{C}$ , увеличиваясь с ростом степени предварительной деформации.

Влияние гелия на механические свойства стали проверялось при температурах испытания  $600\div 800^{\circ}\text{C}$ , по аналогии с хромоникелевыми сталя-ми. Из таблицы видно, что наличие гелия в материа-ле не привело к существенному изменению прочно-стных свойств стали, однако пластичность при этих температурах резко уменьшается, т.е., как и в случае деформации хромоникелевых сталей, наблюдается эффект ВТГО.

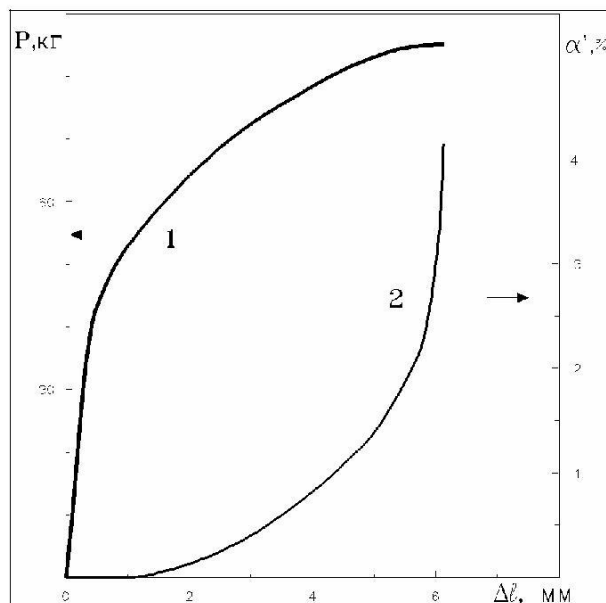


Рис. 2 Диаграмма растяжения (1) и кривая накопления мартенситной ферромагнитной фазы (2) при  $T=20^{\circ}\text{C}$ .

Табл.1. Механические характеристики стали X15AG14

Состояние стали	$T_{\text{исп.}}$ , $^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{0,2}$ , $\text{кг/мм}^2$	$\sigma_{\text{в}}$ , $\text{кг/мм}^2$	$\delta_{\text{р}}$ , %	$\delta$ , %
исх.	20	42	81	60	60
исх.	250	20	55	52	53
исх. + 40% х.д.		110	150	7	7
исх.	300	23	70	38	38
исх. + 20% х.д.		65	95	19	19
исх.	400	24	67	43	44
исх. + 40% х.д.		50	70	19	20
исх.	600	15	35	15	16
исх. + 20% х.д.		35	50	14	15
исх. + обл.		14	28	7	8,5
исх. + 20% + обл.		33	45	6	6,5
исх.	800	12	18	12	14
исх. + 30% х.д.		20	35	4	7
исх. + обл.		13	13	0,5	0,5
исх. + 30% + обл.		19	19	0,5	0,5

Таким образом, из результатов проведенных экс-периментов следует, что предварительная холодная деформация на  $20\div 40\%$  (до появления в образцах заметного количества мартенситной  $\alpha'$ -фазы) при-водит в целом к улучшению механических свойств стали X15AG14, особенно при повышенных темпе-ратурах испытания. Так, в диапазоне  $300\div 800^{\circ}\text{C}$  прочность ( $\sigma_{0,2}$ ) обработанной стали становится в 2-3 раза выше, чем необработанной, а пластичность (относительное удлинение) сохраняет довольно вы-сокий уровень:  $10\div 15\%$ . В то же время эффект вы-сокотемпературного гелиевого охрупчивания, кото-рый в данной марганцовистой стали наблюдается, в частности при  $800^{\circ}\text{C}$ , операцией предварительного холодного деформирования не устраняется.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Takahashi H., Takeyama T., Tanikawa K., Miura R. Damage structural behaviour by electron irradiation of Mn-Cr austenitic steels // J. Nuclear Materials, 1985, v.133-134, p.566-570.
2. Малышев К.А., Сагарадзе В.В., Сорокин И.П. и др. Фазовый наклеп аустенитных сплавов на железоникелевой основе. - М.: Наука, 1982.- 260с.
3. Максимкин О. П., Шиганаков Ш. Б., Курманов Б. Г. Влияние холодной деформации и облучения на высокотемпературные свойства стали 12Х18Н10Т // Атомная энергия, 1991г., т.71, вып.4, с.349-350.
4. Максимкин О. П., Челноков С. Ю. Устройство для непрерывной регистрации магнитной фазы, образующейся в процессе деформации метастабильных сталей // Изв. АН КазССР. Сер. физ-мат., 1985, № 6, с.85-86.
5. А.с. 531433 (СССР). Способ легирования материалов. / Ибрагимов Ш.Ш., Реутов В.Ф. Оpubл. в Б.И., 1978, №23.

**ҚҰРАМЫНДА МАРТЕНСИТТИ  $\alpha'$ -ФАЗАСЫ БАР X15AГ14  
БОЛАТТЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТІНЕ ГЕЛИЙДІҢ ӘСЕРІ**

**О.П. Максимкин, О.В. Тиванова**

*Ядролық физика институты*

Суықтай деформацияланған және  $\alpha'$ -бөлшектермен сәулеленген X15AГ14 болаттың механикалық қасиеттеріне сынақ температурасының әсері зерттелген. Алдын ала суықтай деформациялау беріктілік және созымдылық қасиеттерін жақсарту мен қатар сәулеленген болаттың жоғары температурада күйрелу құбылысы сақталатыны көрсетілген.

**HELIUM INFLUENCE ON MECHANICAL PROPERTIES OF CR15MN14 STEEL,  
WHICH CONTAIN  $\alpha'$ -MARTENSITIC PHASE**

**O.P. Maksimkin, O.V. Tivanova**

*Institute of Nuclear Physics, National Nuclear Center, Almaty, Republic of Kazakhstan*

The characteristics of strength and ductility at the temperature range 20-900°C for Cr15Mn14 chromium-manganese steel after cold deformation and irradiated by alpha-particles were determined. It is shown, that deformations by 20 and 40 % induce the  $\gamma \rightarrow \alpha'$  transformation and improve mechanical properties of steel at high temperatures. At the same time the effect of high-temperature embrittlement of steel samples after alpha-particle uniform implantation in volume up to the concentration of  $10^{-3}$  ат. He, is kept.