

ЭФФЕКТ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 03Н18К3М3Т ПРИ ЗАМЕДЛЕННОМ РАЗРУШЕНИИ

Березовская В.В.¹, Маслова О.В.¹, Овчинников В.В.²

¹ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
olenka1709@gmail.com

² Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Мартенситностареющие стали (МСС), обладая комплексом высоких физико-механических свойств, после низкотемпературного старения подвержены замедленному разрушению, усиливающемуся в присутствии влаги, водных растворов кислот и солей, водорода. В Ni-Ti-МСС, подверженной ЗР с высокой скоростью роста трещины после тепловой выдержки при 400 °С, выявлено наличие упорядоченной фазы Fe₃(Ni,Ti), в результате образования которой наблюдается повышение твердости, скорости коррозии и ЗР, а также снижение упругих характеристик ($\sigma_{0,001}$; $\sigma_{0,002}$; $\sigma_{0,005}$; E). В Ni-Cr-Cu-Ti-МСС наблюдаются аналогичные изменения свойств и механизм ранних стадий распада с предшествующим ему процессом выделения меди (ϵ -фазы) на дефектах кристаллического строения мартенсита. В Ni-Cr-Ti-МСС процесс старения мартенсита на ранних стадиях сопровождается распадом остаточного аустенита с последующим $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращением при охлаждении и при ЗР и резким повышением скорости роста трещины [1]. Этот режим старения опасен и требует особого внимания при производстве крупногабаритных изделий, подвергающихся самоотпуску после закалки, а также в сварных конструкциях.

Из существующих в настоящее время методов физического воздействия на поверхность металлов наиболее перспективным можно считать облучение поверхности деталей ионами различных элементов. При этом удастся достичь высокой прочности поверхностного или подповерхностного слоя, понизить химическую активность поверхности, изменить количество и морфологию дефектов кристаллической структуры и т.д. [2]. Использование ионного облучения для разработки методов повышения эксплуатационной надежности высоконагруженных изделий современной техники, работающих в условиях сложного нагружения, в которых проявляются эффекты замедленного разрушения и коррозионного растрескивания под напряжением, представляет не только научный, но и практический интерес. Изучение возможного влияния ионного облучения на свойства мартенситностареющих сталей было проведено в работах [3].

Цель данной работы состояла в изучении влияния имплантации ионов Ag⁺ в поверхность МСС 03М18К3М3Т на сопротивление замедленному разрушению. Химический состав стали приведен в табл.1.

Таблица 1 - Химический состав стали

Содержание легирующих элементов, масс. %									
C	Si	Mn	S	P	Ni	Co	Mo	Ti	Al
0,015	0,04	0,03	0,006	0,007	18,13	3,05	3,41	1,10	0,11

Для исследования выбраны структурные состояния стали после следующих режимов термообработки:

- (1) закалка от 820 °С в воде с последующим старением при 400 °С в течение 3 часов;
- (2) закалка от 820 °С, облучение ионами Ag⁺ и старение при 400 °С (3 ч);
- (3) закалка от 820 °С, старение при 400 °С (3 ч) и облучение ионами Ag⁺.

Имплантация ионов проводилась по методике, разработанной в Институте электрофизики УрО РАН на установке для ионно-лучевой имплантации ПУЛЬСАР, оснащенной ионным источником на основе тлеющего разряда с холодным полым катодом. Предварительные испытания позволили выбрать оптимальный режим облучения, включающий энергию ионов $E = 40$ кэВ, плотность ионного тока $j = 200$ мкА/см² и дозу облучения $D = 1 \cdot 10^{17}$ см⁻², как наиболее эффективный с точки зрения упрочнения поверхности. Твердость контролировали на приборе ПМТ-3. Испытания 3Р стали 03М18К3М3Т проводили методом Брауна в дистиллированной воде комнатной температуры по схеме чистого изгиба под действием статической нагрузки.

После испытаний микроструктуру стали исследовали с помощью оптического микроскопа OLYMPUS с использованием видеокамеры GX51 SIMAGIS 2M при поддержке программы Siams Photolab. Анализ характера разрушения стали проводили на растровом электронном микроскопе TESCAN с использованием вакуумной камеры VEGA II XMU, позволяющей создавать разряжение до 10^{-3} Па. За базу испытаний было выбрано время 100 часов [4].

Результаты испытаний механических свойств и параметров замедленного разрушения МСС 03М18К3М3Т приведены в табл. 2. Наиболее эффективно упрочняется поверхность стали при третьем режиме обработки, где последней стадией является облучение. Такая схема обработки позволила повысить сопротивление 3Р по параметру относительного снижения прочности более чем на 20% по сравнению с обработкой без облучения поверхности. Из таблицы видно, что эффекта облучения при испытаниях ударной вязкости не наблюдалось, что связано с кратковременностью воздействия нагрузки в отличие от испытаний 3Р.

Таблица 2 - Механические свойства и параметры 3Р стали

Режим обр-ки	Режим обработки	H _{μ100} , кг/мм ²	σ _к	σ _п	Δσ/σ _к , %	KCV, МДж/м ²
			МПа			
1	820 + 400 °С, 3 ч	220	1320	120	91	0,56
2	820 +Ar ⁺ + 400 °С, 3 ч	250	1570	350	78	0,56
3	820 + 400 °С, 3 ч + Ar ⁺	270	1900	570	70	0,58

В поперечном шлифе образца после режима обработки 2 в зоне стабильного роста трещины (СРТ) наблюдается ветвление вторичной трещины и межзеренный характер разрушения (Рис. 1а). На рис. 1б показана микроструктура после режима обработки 3: ветвление вторичной трещины выражено значительно слабее (Рис. 2б).

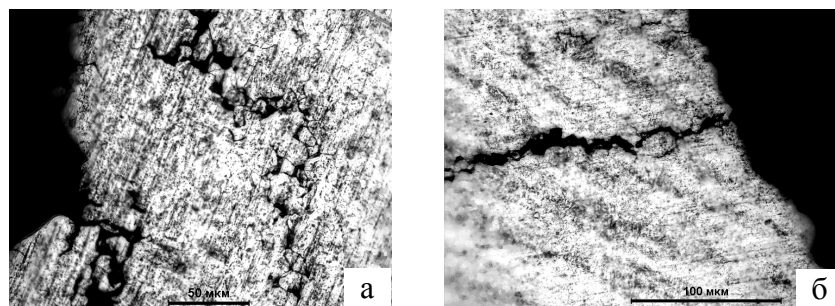


Рисунок 1 - Микроструктура стали 03Н18К3М3Т в зоне 3Р: а – режим обработки 2, ветвление вторичной трещины; б – режим обработки 3, вторичная трещина без заметного ветвления

Фрактографические исследования трех образцов, обработанных по разным режимам, показали, что, как и без облучения, замедленное разрушение стали после

обработки по режиму 2 носит межзеренный характер (рис. 3а, б). После обработки по режиму 3 разрушение носило характер квазискола, преимущественно по поверхностям раздела мартенситных кристаллов (рис. 3в), что свидетельствует о его более высокой энергоемкости разрушения по сравнению с двумя другими образцами.

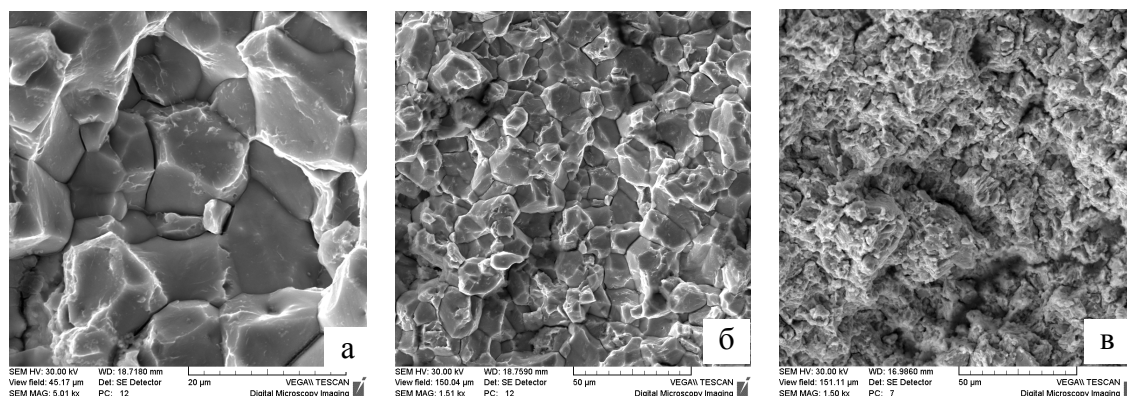


Рисунок 2 - Фрактограммы 3Р стали 03Н18К3М3Т после: а – обработки по режиму 1; б – по режиму 2; в – по режиму 3

Выводы

1. Использование режима облучения ионами аргона, включающего энергию ионов $E=40$ кэВ, плотность ионного тока $j=200$ мкА/см² и дозу облучения $D=1 \cdot 10^{17}$ см⁻² эффективно для упрочнения поверхности мартенситностареющей стали 03Н18К3М3Т до $H_{100}=270$ кг/мм² по сравнению с 220 кг/мм² без облучения.
2. Облучение стали по указанному режиму приводит к 3Р стали без ветвления вторичной трещины, как признака релаксации напряжений при ее распространении.
3. Для повышения сопротивления стали замедленному разрушению на 20% с переходом на более энергоемкое разрушение квазисколом вместо межзеренного эффективным является режим обработки стали: 820 °С + 400 °С, 3 ч + облучение Ar⁺.

Список литературы

1. Березовская В.В. Структура и замедленное разрушение мартенситно-стареющих сталей. Механизм старения и разрушения. Способы предотвращения. – Deutschland, Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2013. 222 с.
2. Овчинников В. В., Гущина Н. В., Чемеринская Л. С., Белых Т. А. модификация алюминиевых сплавов системы Al-Li ионами Ar⁺ средних энергий. В кн.: Труды V Междунар. науч. конф. «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах». Томск, август 2006. Томск: ТГУ. С. 257-260.
3. Овчинников В.В., Березовская В.В., Гущина Н.В., Белых Т.А., Токмаков А.О. Эффекты модифицирования поверхности мартенситностареющей стали ионами Ar⁺ при замедленном разрушении. В кн. «Прочность неоднородных структур». Сб. тезисов докладов IV Евразийской научно-практической конф. ПРОСТ 2008. 8-10 апреля 2008 г. Москва. Москва, МИСиС, 2008. С.97.
4. Березовская В.В., Звигинцев Н.В., Круглов А.А. Замедленное разрушение Fe–Ni–Mo–Ti-мартенситностареющих сталей в коррозионной среде. //ФММ, 1992, №5, с.88-94.