

## МЕХАНИЗМ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ СПЛАВА 18-8

*Чуликова Ж.Е., Овчинников В.В.*

*Московский политехнический университет, Москва*

**Ключевые слова:** аустенитная сталь 08X18H10T, изотермическое старение, карбид,  $\sigma$ -фаза, интерметаллид, ферротитанид.

**Аннотация.** Исследования материала аварийных труб доказывают, что в процессе эксплуатации происходят фазовые и структурные превращения, протекающие в сплаве 18-8 при температурах выше проектной, хотя кратковременные механические свойства практически не меняются. Механизм изотермического старения металла сопровождается выделением карбидов и интерметаллидов, упрочняющих стальную матрицу. При этом, интерметаллиды обладают низкой пластичностью и сообщают повышенную хрупкость металлу на низких температурах.

## MECHANISM OF ISOTHERMAL AGING OF ALLOY 18-8

*Chulikova Zh.E., Ovchinnikov V.V.*

*Moscow Polytechnic University, Moscow*

**Keywords:** austenitic steel 08X18H10T, isothermal aging, carbide,  $\sigma$ -phase, intermetallic compound, ferrotitanide.

**Abstract.** Studies of the material of emergency pipes prove that during operation phase and structural transformations occur in the 18-8 alloy at temperatures above the design temperature, although short-term mechanical properties practically do not change. The mechanism of isothermal aging of metal is accompanied by the release of carbides and intermetallic compounds, which strengthen the steel matrix. At the same time, intermetallic compounds have low ductility and impart increased brittleness to the metal at low temperatures.

На нефтеперерабатывающих заводах широко используют промышленные установки гидроочистки дизельного топлива типа Л-24/6, Л-24/7 мощностью 900 тыс. т. в год.

Практика эксплуатации установок показывает, что по мере увеличения срока службы змеевиков имеет место учащение случаев аварийного разрушения труб. При сроках эксплуатации, исчисляемых десятками лет, в условиях повышенных температур в металле могут возникать «проблемные» нежелательные микроструктуры, снижающие длительную прочность и пластичность, сопротивление ползучести и релаксации напряжений.

Влияние температурно-временных параметров термического старения на механические свойства стали 08X18H10T оценивалось по результатам изменения прочностных и пластических характеристик при нормальной и повышенных до 750°C температурах после изотермических экспозиций длительностью до 10 тыс. часов при температурах 450, 550, 650°C. Результаты кратковременных испытаний представлены в таблице 1.

Из данных таблицы 1 видно, что длительные выдержки при повышенной температуре (изотермическое старение) вызывают рост временного сопротивления  $\sigma_b$ , который достигает максимума при 450°C нагрева и это более явно выражено для металла в состоянии после горячей прокатки, чем после

дополнительной аустенизации. При этом значения условного предела текучести  $\sigma_{0,2}$ , мало меняются после всех режимов изотермического старения и остаются выше минимального значения по ГОСТ 14249-80 ( $\sigma_{0,2} \geq 200$  МПа).

Табл. 1. Механические свойства стали 08X18H10T после изотермического старения

Состояние	Режимы изотермического старения		Фазовый состав	Температура испытаний	Механические свойства			
	Температура	Время			предел выносливости	предел текучести	относительно удлинение	относительно сужение
	$T_{ст}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{ст}, \text{тыс.ч.}$						
И + Ст	450	5	$\text{Me}_7\text{C}_3 + \text{TiC}$	20	743	350	47	72
				450	463	245	24	65
				550	427	221	26	67
				650	354	226	22	70
				750	241	196	39	85
И + Ст	450	10	$\text{Me}_{23}\text{C}_6 + \text{TiC}$	20	722	258	47	69
				450	438	223	24	60
				550	394	210	24	58
				650	341	213	22	63
А + Ст	450	2	$\text{Me}_7\text{C}_3 + \text{TiC}$	20	644	185	47	64
				450	365	146	25	57
				550	340	140	20	67
				650	273	147	27	64
А + Ст	450	5	$\text{Me}_7\text{C}_3 + \text{TiC}$	20	198	140	25	70
				450	680	264	49	70
				450	424	179	23	59
				650	308	150	23	70
А + Ст	450	5	$\text{Me}_7\text{C}_3 + \text{TiC}$	750	250	149	28	74
				20	620	282	60	66
				450	379	167	25	55
				550	337	132	32	53
А + Ст	550	2	$\text{Me}_7\text{C}_3 + \text{TiC}$	650	317	153	28	55
				20	600	251	56	54
				450	389	148	27	48
				650	312	126	23	57
А + Ст	550	5	$\text{Me}_{23}\text{C}_6 + \text{TiC}$	750	249	147	23	60
				20	667	246	42	68
				450	379	197	19	69
				550	344	184	16	70
И + Ст	650	2	$\sigma + \text{Me}_{23}\text{C}_6 + \text{TiC}$	650	297	170	23	71
				750	202	162	32	77
				20	732	313	39	62
				450	407	163	19	60
И + Ст	650	5	$\sigma + \text{Me}_{23}\text{C}_6 + \text{TiC}$	550	374	223	20	67
				650	328	189	22	68
				20	702	300	39	67
				450	413	243	23	60
А + Ст	650	2	$\text{Me}_7\text{C}_3 + \text{TiC}$	550	377	172	22	62
				650	313	189	22	64
				750	222	178	36	70
				20	650	277	41	69
А + Ст	650	5	$\text{Me}_{23}\text{C}_6 + \text{TiC}$	450	390	194	22	62
				650	323	178	18	69
				750	236	139	28	64
				20	650	277	41	69

Примечание: И – сталь в исходном состоянии; А – сталь после аустенизации и стабилизирующего отжига; Ст – изотермическое старение;  $\text{Me}_7\text{C}_3$ ,  $\text{Me}_{23}\text{C}_6$  – карбиды металлов, где Me – Cr, Fe, Mn, Mo; TiC – карбид титана;  $\sigma$  – интерметаллид ( $\sigma$ -фаза)

Влияние длительности изотермического старения на механические свойства при нормальной температуре выявило, что при старении при температуре нагрева 450°C различие между металлом после горячей прокатки и после аустенизации в значениях прочностных и пластических свойств после выдержки в течение 10 000 часов невелики, а их абсолютные значения сохраняются на высоком уровне.

Влияние старения в течение 5000 часов в интервале температур 450...650°C на временное сопротивление при разрыве ( $\sigma_b$ ) при повышенных температурах испытаний не обнаруживается и, вне зависимости от исходного состояния материала и температурно-временного режима старения. Временное сопротивление  $\sigma_b$  снижается с повышением температуры испытаний закономерно и аналогично состоянию до старения. Эта тенденция сохраняется и в отношении условного предела текучести  $\sigma_{0,2}$ , значения которого превышают допускаемые напряжения для соответствующих температур.

Вместе с этим температурная зависимость относительного удлинения  $\delta$  и относительного сужения  $\psi$  имеют характерные провалы с минимумом в диапазоне температур 450...650°C и последующим возрастанием пластичности при 750°C, что связано со структурными и фазовыми превращениями. Начальное падение относительного удлинения после старения 450°C вызвано выделением дисперсных карбидных частиц, особенно заметным в металле, предварительно подвергнутом аустенизации и состаренном при температуре 550°C.

В отличие от пластичности при удлинении провал вязкости, характеризуемый сосредоточенной деформацией, наблюдается в более широком интервале температур до 750°C для аустенизированного металла, при этом старение начинается при температуре 550°C, что дает наиболее неблагоприятное сочетание значений прочности и пластичности ( $\sigma_{0,2} = 132$  МПа,  $\delta = 32\%$ ,  $\psi = 53\%$ ).

В целом влияние изотермического старения на механические свойства при повышенных температурах проявляется в резком падении характеристик пластичности, особенно заметных для металла термообработанного на твердый раствор (аустенизация). При этом морфология карбидных выделений  $\sigma$ -фазы не оказывают решающей роли, в то время как для  $\sigma$ -фазы характерна повышенная травимость и заметная её коагуляция в периферийной зоне, что свидетельствует о нарушении когерентности на границах раздела фаз [1, 2].

При температурах 550-650°C происходит охрупчивание сплава вследствие выпадения промежуточной интерметаллидной фазы типа  $Fe_2Ti$  [3]. Данная фаза зарождается на границах раздела  $\sigma$ -фаза с обедненной хромом околোগраничной зоной аустенитной матрицы. Как и все интерметаллиды, ферротитанид упрочняет стальную матрицу и повышает химическую стойкость сплава. Однако он отличается низкой пластичностью и сообщает повышенную хрупкость металлу при низких температурах.

На основании вышесказанного можно констатировать следующее.

1. На ранних стадиях изотермического старения аустенитной стали 08X18H10T при 450-550°C образуются выделения мелкодисперсных карбидов, когерентных с аустенитной матрицей, что определяет при нормальной

температуре её упрочнение, эффект которого с повышением температуры испытаний снижаются и полностью исчезает при 750°C.

2. С увеличением длительности выдержки и температуры нагрева при изотермическом старении до 650°C резко увеличиваются размеры карбидных частиц  $Me_{23}C_6$  которые, при определенном сочетании температурно-временных параметров, превращаются в  $\sigma$ -фазу с низкой когерентностью  $\gamma$ -твердым раствором, однако это незначительно отражается на механические свойства стали 08X18H10T при комнатной температуре.

3. При повышенных температурах испытаний проявляется четкая взаимосвязь характеристик пластичности (провалы удлинения и сужения в интервале температур 450-650°C) со структурными изменениями. При этом для металла после аустенизации и стабилизирующего отжига характерно наиболее неблагоприятное сочетание минимальных значений кратковременной прочности и пластичности.

4. В целом, изотермическое старение сплава 18-8 вызывает изменение фазового состава обуславливающего горячее охрупчивание металла.

#### Список литературы

1. Чуликова Ж.Е., Овчинников В.В. Влияние длительных выдержек при повышенной температуре на жаропрочность стали 08X18H10T // Заготовительные производства в машиностроении. – 2024. – Т. 22, № 5. – С. 221-228.
2. Чуликова Ж.Е., Овчинников В.В. Эволюция структуры стали 08X18H10T при длительной выдержке при высокой температуре старения // СМИС-2023. Технология управления качеством: Материалы Международной научно-технической конференции. – М.: Московский политехнический университет, 2023. – С. 121-129.
3. Чуликова Ж.Е., Овчинников В.В. Жаропрочность стали 08X18H10T при изменении температурно-временных параметров старения // СМИС-2024. Технологии управления качеством: Материалы Международной научно-технической конференции. – М.: Московский Политех, 2024. – С. 99-105.

#### Сведения об авторах:

*Чуликова Жанна Евгеньевна* – старший преподаватель;

*Овчинников Виктор Васильевич* – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение».