

УДК 669.245:620.169.2

**И. В. Иликбаев, Д. А. Шведов, А. Ю. Жилияков\*, С. В. Беликов**

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург

\**a.y.zhilyakov@urfu.ru*

## АНОМАЛИИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ni–Cr–Mo

Методами резистометрии, дилатометрии, дифференциального термического анализа, лазерной вспышки и динамического механического анализа исследовано изменение свойств сплавов в интервале температур от комнатной до 1000 °С. Изменения относительного удлинения сплавов, температуропроводности, удельного электрического сопротивления, модуля упругости и теплоемкости при нагреве имеют аномалии в интервале 200...730 °С.

*Ключевые слова:* резистометрия, дилатометрия, дифференциальный термический анализ, лазерная вспышка, динамический механический анализ, никель-хром-молибденовые сплавы.

***I. V. Ilikbaev, D. A. Shvedov, A. Yu. Zhilyakov, S. V. Belikov***

## ANOMALIES OF PHYSICAL PROPERTIES OF CORROSION-RESISTANT ALLOYS OF THE Ni–Cr–Mo SYSTEM

Resistometry, dilatometry, differential thermal analysis, laser flash and dynamic mechanical analysis have been used to study the change in the properties of alloys in the temperature range from room temperature to 1000 °C. Changes in the relative elongation of alloys, thermal diffusivity, resistivity, elastic modulus and heat capacity during heating have anomalies in the range 200...730 °C.

*Keywords:* resistometry, dilatometry, differential thermal analysis, laser flash, dynamic mechanical analysis, nickel-chromium-molybdenum alloys.

Никель-хром-молибденовые коррозионностойкие сплавы применяются в различных агрессивных средах при повышенных температурах (выше 150 °С). Развитию процессов межкристаллитной коррозии, которая считается одной из наиболее опасных для конструкции, а также факторам, влияющим на них, посвящено множество исследований. Менее изученным остается вопрос стойкости никелевого твердого раствора в целом. Известно, что в интервале температур 200...700 °С в никель-хром-молибденовых сплавах наблюдаются эффекты ближнего и дальнего порядка. Эти явления сказываются на физических свойствах материала и в частности на потенциалах коррозии. Разрушение порядка

обычно является следствием ослабления химического взаимодействия между атомами, т. е. ослабление межатомных сил. Следовательно, процессы электрохимической коррозии будут протекать интенсивнее. Определить температуры, при которых кардинально изменяется поведение сплава можно по изменению физических свойств, которые являются чувствительными к тонким эффектам перехода «порядок-беспорядок».

Материалом исследований послужили коррозионностойкие сплавы С4 и ХН63МБ, химический состав сплавов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследованных сплавов, масс. %

Сплав	Химический состав исследованных сплавов									
	С	Мn	Cr	Mo	Fe	P	Ti	Co	Si	S
	Не более				Не более					
С4	0,009	1,0	14,5...17,5	14,0...17,0	3,0	0,020	0,7	2,0	0,05	0,010
ХН63МБ	0,02	1,0	20,0	16,0	0,5	0,015	0	0	0	0,012

*Прим.:* основа – Ni; состав сплава, масс. %.

Исходная структура обоих сплавов представляла собой твердый раствор на основе никеля с незначительным содержанием неметаллических включений.

Методами резистометрии, дилатометрии, дифференциального термического анализа, лазерной вспышки и динамического механического анализа исследовано изменение свойств сплавов в интервале температур от комнатной до 1000 °С. Изменение относительного удлинения сплавов, температуропроводности, удельного электрического сопротивления, модуля упругости и теплоемкости при нагреве имеют аномалии в интервале 200...730 °С (рис. 1). Для всех свойств, кроме модуля упругости, общими являются аномалии в области температур 600...650 °С. По всей видимости в этом интервале в твердом растворе происходит переход «порядок-беспорядок», следовательно, выше 650 °С сплавы будут значительно менее стойкими в коррозионной среде, чем ниже этой температуры. Интересен небольшой прирост в значениях модуля упругости в интервале температур 200...300 °С. Возможно этот эффект связан с возникновением ближнего порядка в сплавах и соответствующим усилением межатомного взаимодействия. Другие свойства оказались менее чувствительными к этому явлению за исключением удельной теплоемкости, где на кривой виден небольшой тепловой эффект.

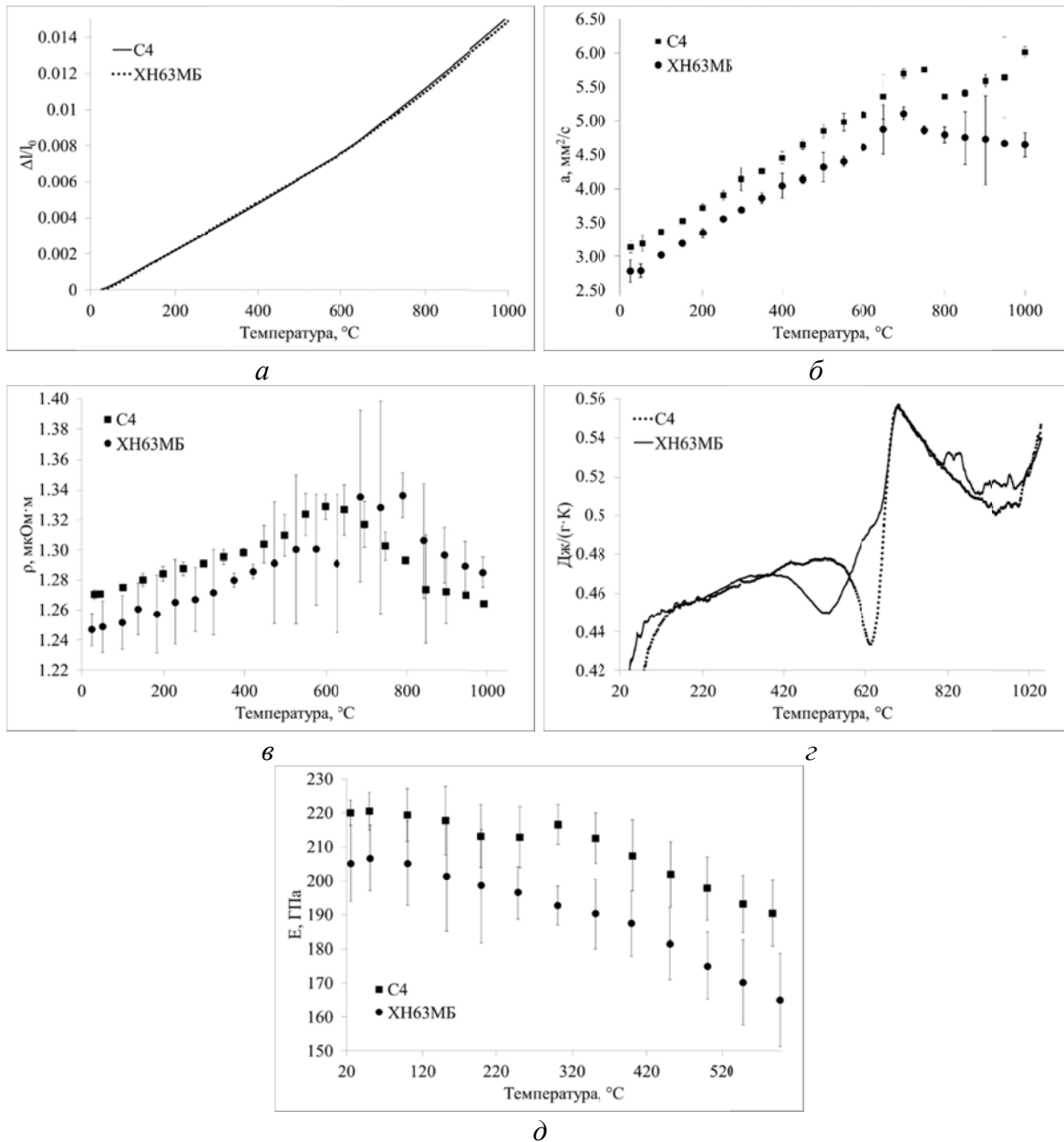


Рис. 1. Физические свойства сплавов С4 и ХН63МБ при нагреве: *a* – относительное удлинение, *б* – температуропроводность, *в* – удельное электросопротивление, *г* – удельная теплоемкость, *е* – модуль упругости

Таким образом, на основании изучения физических свойств коррозионно-стойких никель-хром-молибденовых сплавов при нагревании можно регламентировать максимальную температура их эксплуатации.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК-1032.2017.8.*