

УДК

**Константин Олегович Иванов<sup>1\*</sup>, Пырин Даниил Вадимович<sup>1</sup>, Сергей Владимирович Беликов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет<sup>1</sup>, г. Екатеринбург, Россия

\*Konstantin.ivanov@urfu.ru;

## СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ Х18Н9

В статье приведен обзор влияния метода исследования на изменение модуля упругости на примере коррозионностойкой хромоникелевой стали аустенитного класса Х18Н9. Методом микроиндентирования были проведены испытания для исследования контактного модуля упругости при комнатной температуре. Полученные данные сопоставлялись с изменением показаний модуля упругости при повышенных температурах до 600 °С. Исследование модуля Юнга при температурах, отличных от комнатной, проводилось при помощи методов RFDA (метод анализа затухания резонансной частоты) и DMA (метод динамического механического анализа). Выявлены зависимости изменения модуля Юнга от температуры и проведен сопоставительный анализ полученных данных по разным методам исследования.

*Ключевые слова:* Х18Н9, аустенитные стали, коррозионностойкие стали, модуль упругости, RFDA, DMA, микротвердость.

***Konstantin O. Ivanov, Daniil V. Pyrin, Sergey V. Belikov***

## COMPARISON OF DIFFERENT METHODS FOR DETERMINING THE MODULUS OF ELASTICITY OF AUSTENITIC STEEL H18N9

The article provides an overview of the influence of the research method on the change in the elastic modulus using the example of corrosion-resistant chromium-nickel austenitic steel X18N9. The microindentation method was used to conduct tests to study the contact modulus of elasticity at room temperature. The obtained data were compared with the change in the elastic modulus readings at elevated temperatures up to 600 °C. The study of Young's modulus at temperatures other than room temperature was carried out using the RFDA (resonance frequency decay analysis) and DMA (dynamic mechanical analysis) methods. The dependences of the change in Young's modulus on temperature were revealed and a comparative analysis of the data obtained using different research methods was carried out.

*Keywords:* X18N9, austenitic steels, corrosion-resistant steels, elastic modulus, aging, RFDA, DMA, microhardness.

### Введение

В настоящее время для определения модуля Юнга различных материалов применяются испытания на растяжение с применением

экстензометра. Данный метод является разрушающим и для получения статистики требуется наличие больших объёмов материала. В качестве альтернативы возможно применение динамических методов.

Поиск и разработка новых сплавов, обладающих высокой коррозионной стойкостью и конструктивной прочностью как при комнатных, так и при повышенных, в том числе выше 550 °С, температурах безусловно являются актуальными. На сегодняшний день химическая промышленность и атомная энергетика сталкиваются с новыми вызовами: предлагаемые более эффективные технологии предлагают более жесткие рабочие условия для конструкционных материалов. Увеличиваются температура эксплуатации и агрессивность сред, контактирующих с ними.

Одним из важнейших свойств для описания поведения сплава при повышенной температуре является модуль упругости.

Цель исследования – провести сравнительный анализ результатов измерений модуля упругости, измеренных различными методами. Описать зависимость изменения при повышении температуры от 25 до 600 °С.

#### Методика проведения исследования

В данном исследовании изучается сталь X18H9 — коррозионностойкая хромоникелевая сталь аустенитного класса, используемая для изготовления сварной аппаратуры, труб, деталей печной арматуры, теплообменников, муфелей, деталей выхлопных систем, листовых и сортовых деталей; аппаратов и сосудов, работающих при температуре от -196 до +600 °С под давлением, а при наличии агрессивных сред до +350 °С. Химический состав приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав стали X18H9, масс. %

Fe	Cr	Ni	Ti	C
Основа	18-20	8-10	Не более 1	не более 0.12

Измерения микротвердость образцов проводили на микротвердомере МНТ с нагрузкой 2 Н, действующей в течение 15 с; средние значения твердости и модуля упругости рассчитывали на базе 15 измерений.

RFDA (анализ затухания резонансной частоты): Модуль Юнга рассчитывается в соответствии со стандартом ASTM – С1259-08 [1]. Амплитуда приложенной деформации составляла около  $4 \times 10^{-5}$  Н. Для измерения модуля упругости использовались образцы размерами 70x19x3.3 мм [2]. Образцы нагревались от комнатной температуры до 600 °С в нагревательной печи со скоростью нагрева 10 °С/мин с измерением модуля Юнга периодичностью в 1 минуту [3]. Аналогичным образом проведены испытания методом динамического механического анализа (ДМА) [4].

## Результаты исследований и их обсуждение

Определенное среднее значение контактного модуля упругости при комнатной температуре, полученное с помощью метода микроиндентирования составило 160 ГПа, значение твердости 151 НV.

С использованием печи RFDA1050 был построен график изменения модуля упругости при нагреве от комнатной температуры до 600 °С. Как видно из рисунка 1, значение модуля упругости во время нагрева снижается с 195 ГПа до 150 ГПа соответственно.

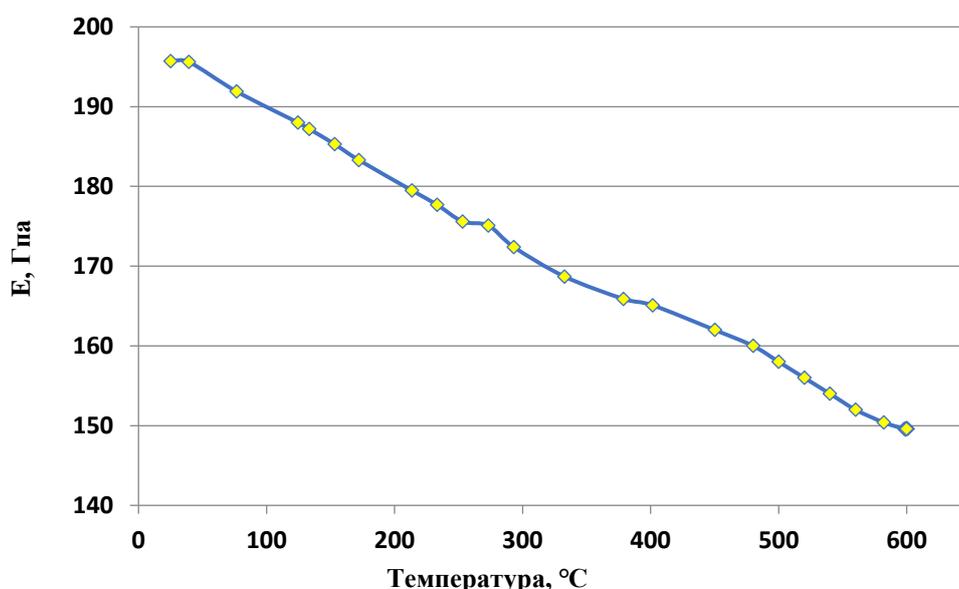


Рисунок 1 Изменение модуля упругости в зависимости температуры нагрева

Аналогичный эксперимент по измерению модуля упругости был проведен на установке DMA. Образцы так же подвергались нагреву до температуры 600 °С. График зависимости модуля упругости от температуры нагрева представлен на рисунке 2.

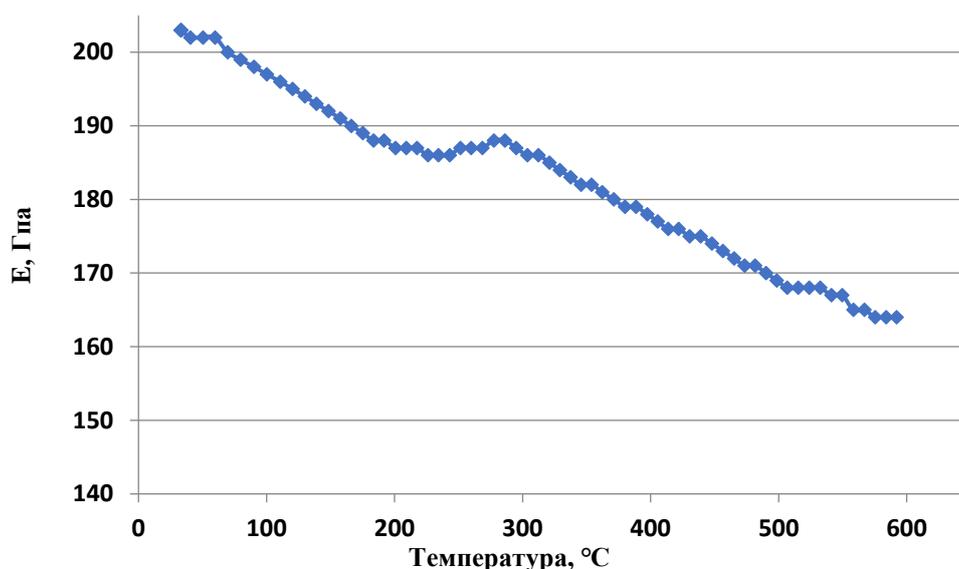


Рисунок 2 Изменение модуля упругости в зависимости от температуры нагрева

На рисунке 2 наблюдается снижение модуля Юнга при повышении температуры с 203 ГПа до 164 ГПа.

В процессе проведения работы были определены механические свойства стали X18H9 тремя различными методами, такими как RFDA, DMA, и методом микроиндентирования.

На основании измерения модуля юнга 3 различными методами основанными на различных физических явлениях, было установлено, что модуль юнга при комнатной температуре соответствует значениям порядка 200 ГПа.

Модуль упругости в двух испытаниях снижался монотонно, от 195 до 150 ГПа в случае RFDA и от 203 до 164 ГПа при использовании DMA соответственно, что связано с ослаблением межатомного взаимодействия.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ASTM, E., Standard test method for dynamic young's modulus. 1876, ASTM International
2. Popov, I. and M. Shitikova. Impulse excitation technique and its application for identification of material damping: An overview. in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. IOP Publishing
3. Brebels, A. and B. Bollen, Non-destructive evaluation of material properties as function of temperature by the Impulse Excitation Technique. The e-Journal of Nondestructive Testing, 2015. 20(6).
4. Ramakers-van Dorp, E., et al., On merging DMA and microindentation to determine local mechanical properties of polymers. Polymer Testing, 2018. 68: p. 359-364