

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА IN718 ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Бабенцова Л.П., Анциферова И.В.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

### Аннотация

В данной работе представлены экспериментальные данные, полученные по результатам испытаний на малоцикловую усталость (МЦУ) образцов из сплава Inconel 718, полученных методом селективного лазерного спекания на установке Eosint M280.

**Ключевые слова:** Малоцикловая усталость (МЦУ), сплав Inconel 718, селективное лазерное спекание (СЛС).

### ВВЕДЕНИЕ

Порошок IN718 является одним из перспективных сплавов для изготовления как корпусных деталей малоэмиссионных камер сгорания газовой турбины, так и смесителей фронтального устройства, поэтому, сегодня так остро стоит вопрос о его применении в машиностроении. Порошок NickelAlloy Inconel 718 (IN718) является тепло- и коррозионноустойчивым никелевым сплавом фирмы EOS. Характеризуется хорошей прочностью на растяжение, усталость, ползучесть и разрыв при температурах до 700 °C (1290 °F)[1-4].

Цель работы - провести экспериментальные исследования по оценке долговечности и прочности образцов, полученных селективным лазерным спеканием в условиях малоцикловой усталости в интервале рабочих температур.

### МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Заготовки были получены методом селективного лазерного спекания на установке EOSINT M280 из сплава Inconel 718 и выращивались в направлении, перпендикулярном слоям. Заготовки прошли термообработку по режиму: закалка при (980±10) °C, выдержка 1ч., охлаждение на воздухе (аргон); старение при (720±10) °C, выдержка 8ч., охлаждение с печью до 620 °C 2ч., далее выдержка при (620±10) °C, 8ч, охлаждение на воздухе (аргон).

Образцы для испытаний были получены из заготовок посредством механической обработки и полирования. Длина образца 60 мм, диаметр заготовки 12 мм (рис.1).



Рисунок 1 - Гладкий образец круглого сечения тип II для испытаний на МЦУ

Образцы были испытаны на МЦУ при осевом нагружении («жесткий» цикл - с контролируемой деформацией в цикле) при температурах: 20, 450, 650 и 700 °C.

Испытания на МЦУ были проведены на высокотемпературном экстензометре LFMZ-50 с базой 12.5 мм в соответствии с ГОСТ 25.502, ASTM E606.

Для нагрева образцов использовали штатные печи электросопротивления. Режимы нагружения имели следующие параметры: форма цикла - синусоидальная; частота  $f=0,6$  Гц; контролируемые параметры цикла - минимальная  $\epsilon_{\text{мин}}$  и максимальная  $\epsilon_{\text{макс}}$  деформации в цикле. Разделение образца на части считалось его разрушением и испытание прекращалось. Для построения кривых МЦУ (по размаху деформации  $\Delta\epsilon$  в цикле) обработка экспериментальных данных происходила в соответствии с рекомендациями [5].

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате испытаний образца (при заданных значениях температуры  $T$ , коэффициента асимметрии цикла  $R_\epsilon$  и размаха деформации в цикле  $\Delta_\epsilon$ ) определялось число циклов до разрушения  $Nf$  для каждого цикла нагружения, по которым затем определялись значения напряжений  $\sigma(N)_{\max}$  и  $\sigma(N)_{\min}$  в цикле с номером  $N = Nf/2$ .

На рисунках 2, 3 и 4 показаны экспериментальные данные и кривые МЦУ как зависимость числа циклов до разрушения  $Nf$  от размаха деформации в цикле  $\Delta_\epsilon$ .

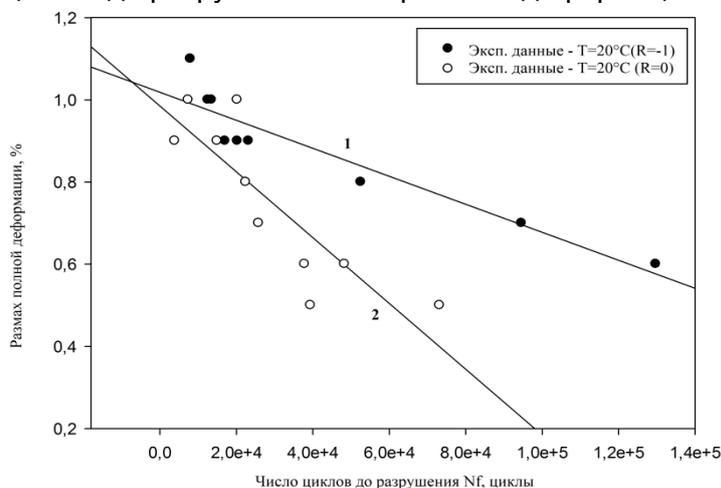


Рисунок 2 - Зависимость числа циклов до разрушения  $Nf$  от размаха деформации в цикле  $\Delta_\epsilon$ .  $T=20^\circ\text{C}$  (1 -  $R_\epsilon=-1$ ; 2 -  $R_\epsilon=0$ )

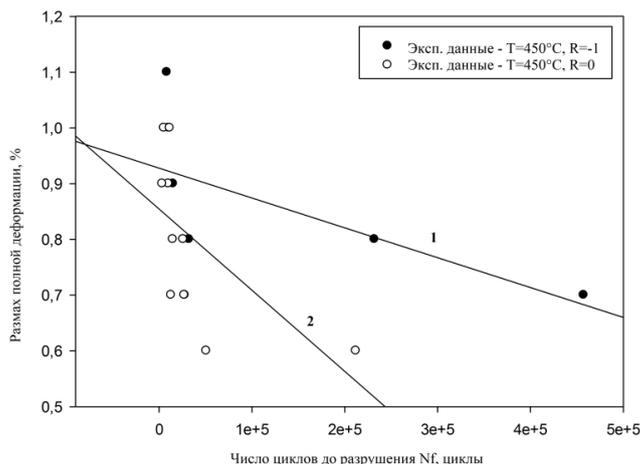


Рисунок 3 - Зависимость числа циклов до разрушения  $Nf$  от размаха деформации в цикле  $\Delta_\epsilon$ .  $T=450^\circ\text{C}$  (1 -  $R_\epsilon=-1$ ; 2 -  $R_\epsilon=0$ )

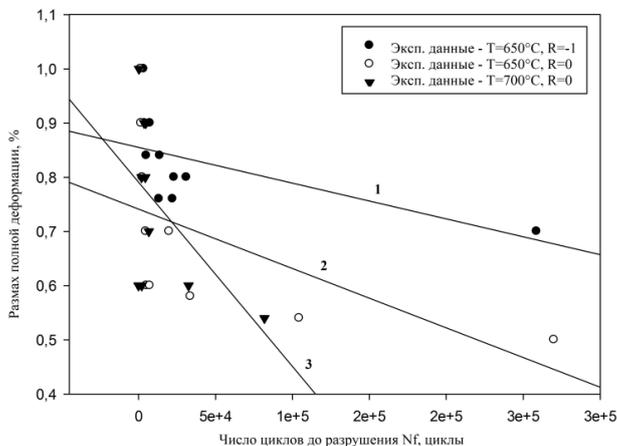


Рисунок 4 - Зависимость числа циклов до разрушения  $Nf$  от размаха деформации в цикле  $\Delta_\epsilon$ .  $T=650^\circ\text{C}$  (1 -  $R_\epsilon=-1$ ; 2 -  $R_\epsilon=0$ );  $T=700^\circ\text{C}$  (3 -  $R_\epsilon=0$ )

Как следует из рисунков 2, 3 и 4 разрушение образца при симметричном цикле ( $R_\varepsilon=-1$ ) происходит при более высоких значениях размаха деформации в цикле  $\Delta\varepsilon$  при температурах 20°C, 450°C и 650°C, чем при испытаниях с коэффициентом асимметрии  $R_\varepsilon=0$  при температуре 700°C. Образование трещины и начало разрушения при циклическом нагружении характеризуется резким нестабильным падением значения максимальной приложенной нагрузки и снижением напряжения.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании испытаний образцов, полученных селективным лазерным спеканием, на малоцикловую усталость в условиях осевого нагружения при различных температурах 20 °С (с коэффициентом асимметрии цикла  $R_\varepsilon= -1$ ,  $R_\varepsilon=0$ ), 450 °С ( $R_\varepsilon= -1$ ,  $R_\varepsilon=0$ ), 650 °С ( $R_\varepsilon= -1$ ,  $R_\varepsilon=0$ ) и 700 °С ( $R_\varepsilon=0$ ) установлено:

1. Разрушение образца при симметричном цикле ( $R_\varepsilon=-1$ ) происходит при более высоких значениях размаха деформации в цикле  $\Delta\varepsilon$  при температурах 20°C, 450°C и 650°C, чем при испытаниях с коэффициентом асимметрии  $R_\varepsilon=0$  при температуре 700°C.

2. Сплав IN718 обладает высокими механическими свойствами при статическом и циклическом деформировании, что обеспечивает долговечность и надежность конструкции в условиях циклической нагрузки при различных рабочих температурах.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.М.Кулиш, А.И.Мисюров. Изучение особенностей формирования структуры и свойств образцов из сплава in718 при выращивании методом коаксиального лазерного плавления. Всероссийская научно-техническая конференция студентов Студенческая научная весна 2016: Машиностроительные технологии.

2. Zemin Wang, Kai Guan, and Ming Gao. The microstructure and mechanical properties of deposited-IN718 by selective laser melting // Journal of Alloys Compounds, 513 (2012), 518–523.

3. K.N. Amato, S.M. Gaytan, and L.E. Murr. Microstructures and mechanical behavior of Inconel 718 fabricated by selective laser melting.// Acta Materialia, 60 (2012), 2229–2239.

4. I.V. Antsiferova, L.P. Babentsova, S.V. Komarov. Research of the quality of obtaining stocking from stainless steel by selective laser sintering// Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - 2018. - №9(3). - P. 162-171

5. Методические рекомендации по определению расчетных значений характеристик конструкционной прочности металлических материалов. - М., Авиаздат, 2013, 38с [Advisory Circular AVIAREGISTER IAC - № RC- AP-33.15-1].

#### Сведения об авторах

1. Анциферова Ирина Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры менеджмент и маркетинг, профессор кафедры материалов, технологий и конструирования машин Пермского национального исследовательского политехнического университета.

E-mail: iranciferova@yandex.ru. Тел.: 89128810067

2. Бабенцова Людмила Павловна, аспирант кафедры материалов, технологий и конструирования машин Пермского национального исследовательского политехнического университета.

E-mail: lydmila.babencova@yandex.ru. Тел.: 89082401403