Моделирование конструкций из жаропрочных сталей в условиях интенсивного термосилового нагружения

Выполнил: студ. гр. 2-33м Воробьев М.А. Руководитель: к.т.н., ст. преп. Пирогов Д.А.

Цель и задачи работы

Целью работы является моделирование авиационных конструкций, выполненных из жаропрочной стали в условиях кратковременного интенсивного термосилового нагружения.

Задачи:

- экспериментальное исследование механических характеристик стали ВНС-2 при температуре 450°С;
- проведение расчета на прочность носового отсека крылатой ракеты с учетом полученных экспериментальных данных.

Ползучестью называется процесс нарастания остаточной деформации во времени при постоянном напряжении и температуре.



Рис. 1. Графики, иллюстрирующие явление упругой (а) и пластической (б) ползучести

Особенностью расчетов на ползучесть является учет фактора времени



Испытательное оборудование



Рис. 3. Общий вид испытательной установки

Рис. 4. Рабочая зона с датчиком деформаций

Эксперимент №1.Испытание образца из стали ВНС-2 при температуре 450°С на кратковременную прочность

а₀ = 20 мм – начальная ширина образца

b₀ = 2 мм – начальная толщина образца

F₀ = 40 мм² – начальная площадь поперечного сечения

F_к = 19.5 мм² – площадь поперечного сечения после разрыва

l₀ = 45 мм – начальная расчетная базовая длина (расстояние между кернами)

l_к = 47 мм – конечная базовая длина

Р_{тах} = 33.95 кН – максимальная нагрузка

 $\sigma_{\rm B} = P_{\rm max}/F_0 = 843.4 \text{ M}\Pi a$ – временное сопротивление

 $E = 1.4*10^9 \Pi a - модуль упругости$

 $\delta = (l_k - l_0)/l_{0*} 100\% = 4.4\%$ - относительное удлинение после разрыва

 $\psi = (F_0 - F_k)/F_0 + 100\% = 51\%$ - относительное сужение образца



Рис. 5. Зависимость изменения нагрузки, теплового потока и деформации



Рис. 6. Зависимость $\sigma = f(\varepsilon)$



Рис. 7. Фотография разрушенного образца

Эксперимент №2. Испытание образца из стали ВНС-2 при температуре 450°С в условиях ползучести

а₀ = 20 мм – начальная ширина образца

b₀ = 2 мм – начальная толщина образца

F₀ = 20.9 мм² – начальная площадь поперечного сечения

F_к = 17.1 мм² – площадь поперечного сечения после разрыва

l₀ = 45 мм – начальная расчетная базовая длина (расстояние между кернами)

l_к = 48 мм – конечная базовая длина

 $P_0 = 23.43 \text{ кH} -$ расчетное усилие

 $\sigma_0 = P_0/F_0 = 568.8 \text{ МПа} -$ расчетная нагрузка

 $E = 1.35*10^9 \Pi a - модуль упругости$

Р_{тах} 32.54 кН – максимальная нагрузка

 $\sigma_{\rm B} = P_{\rm max}/F_0 = 814 \ {\rm M}\Pi a$ – временное сопротивление

 $\delta = (l_k - l_0)/l_{0*}100\% = 6.7\%$ - относительное удлинение после разрыва

 $\psi = (F_0 - F_k)/F_{0*}100\% = 47.8\%$ - относительное сужение образца



Рис. 8. Зависимость изменения нагрузки, теплового потока и деформации

11



Рис. 9. Зависимость $\sigma = f(\epsilon)$

12



Рис. 10. Фотография разрушенного образца



Рис. 11. Геометрия исследуемой модели



Рис. 12. Диаграмма растяжения при 450°С

 $\dot{\epsilon_{\pi}} = C1 \sigma^{C2} \epsilon_{\pi}^{C3} e^{\frac{C4}{T}}$ Уравнение модели деформационного упрочнения в степенноэкспоненциальном виде

 $\dot{\epsilon_{\pi}}$ – скорость деформации ползучести;

σ – действующее напряжение;

 ε_{π} –деформация ползучести, накопленная за время t;

Т – температура испытания.





Рис. 13. Конечно-элементная сетка и закрепление

Steps	Time [s]	▼ Temperature [°C]		
1	0,	22,		
1	1,	450,		
2	2,	= 450,		
3	3,	= 450,		
4	4,	= 450,		
5	5,	= 450,		
6	6,	= 450,		
7	7,	= 450,		
8	8,	= 450,		
9	9,	= 450,		



Рис. 14. Тепловое состояние модели

Steps	Time [s]	✓ X [N]	✓ Y [N]] ✓ Z [N
1	0,	0,	0,	0,
1	1,	0,	-15000	0,
2	2,	= 0,	= -15000	= 0,
3	3,	= 0,	= -15000	= 0,
4	4,	= 0,	= -15000	= 0,
5	5,	= 0,	= -15000	= 0,
6	6,	= 0,	= -15000	= 0,
7	7,	= 0,	= -15000	= 0,
8	8,	= 0,	= -15000	= 0,
9	9,	= 0,	= -15000	= 0,



Рис. 15. Расчетная нагрузка



Рис. 16. Эквивалентные напряжения по Мизесу Рис.17. Распределение напряжений во

времени



Рис. 18. Упругие деформаций

Рис.19. Распределение упругих деформаций

во времени



Рис. 20. Пластические деформаций

Рис.21. Распределение пластических

деформаций во времени



Рис. 22. Деформации ползучести

Рис.23. Распределение пластических деформаций во времени

Выводы

•В результате экспериментального исследования были получены данные по поведению стали ВНС-2 в условиях ползучести и вычислены константы ползучести, что позволило провести моделирование конструкции в условиях ползучести с приемлемой точностью.

•Необходимо отметить значительное снижение прочностных характеристик данной стали при температуре 450°С (в среднем на 30%).

•По результатам расчета можно сделать вывод о том, что деформации ползучести за заданный период времени не превышают 0.34%, что позволит изделию сохранить необходимую функциональность на протяжении заданного промежутка времени.

•Полученные экспериментальные данные дают возможность выполнять расчеты любых деталей и конструкций из данной стали в аналогичных температурных условиях.