

## РЕЛАКСАЦИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЁННОМ ПРИЗМАТИЧЕСКОМ ОБРАЗЦЕ ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЁННОМ СОСТОЯНИИ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ

Радченко В. П., Бербасова Т. И., Саушкин М. Н.

Самарский государственный технический университет, г. Самара,

[radchenko.vp@samgtu.ru](mailto:radchenko.vp@samgtu.ru)

*Ключевые слова:* упрочнение, призматический образец, остаточные напряжения, релаксация, ползучесть

Вопросы прочности, наряду с задачами теплофизики и гидродинамики, являются основными при проектировании элементов конструкций турбомашин. Многие эксплуатационные свойства деталей энергетического машиностроения, такие как износостойкость, прочность и сопротивление усталости, в значительной степени зависят от качества поверхностного слоя, формируемого в процессе механической обработки при их изготовлении. При этом исчерпание ресурса детали и её разрушение в большинстве случаев начинается с поверхностного слоя, например, возникновение и развитие усталостной трещины. Одним из способов повышения долговечности многих изделий являются технологии поверхностного пластического деформирования (ППД), в результате которых в поверхностном слое возникают сжимающие остаточные напряжения (ОН), повышающие многие показатели надёжности упрочнённых деталей по сравнению с неупрочнёнными. Однако в процессе эксплуатации турбомашин вследствие высоких температур и механических нагрузок в материале элементов конструкций возникают деформации ползучести и происходит релаксация остаточных напряжений (уменьшение величины ОН по модулю). Поскольку наличие ОН является благоприятным фактором повышения ресурса упрочнённых деталей, то естественным образом возникает задача оценки скорости релаксации. В настоящей работе эта постановка задачи рассматривается применительно к поверхностно упрочнённому призматическому образцу из сплава ЭП742 при  $T = 650$  °С в условиях двухосного нагружения. Отметим, что сплав ЭП742 широко используется для изготовления дисков газотурбинных двигателей.

Для моделирования процесса релаксации остаточных напряжений в гладком одноосном упрочнённом призматическом образце поставлены и решены следующие основные математические задачи:

1) разработан феноменологический метод реконструкции полей остаточных напряжений и пластических деформаций для поверхностно упрочнённого призматического образца с учётом эффектов деформационной анизотропии в приповерхностном слое;

2) разработана методика идентификации параметров разработанных математических моделей реконструкции остаточного напряжённо-деформированного состояния в упрочнённых плоских деталях при различных закономерностях распределения остаточных напряжений в приповерхностном слое;

3) выполнена проверка адекватности методов расчёта остаточного напряжённо-деформированного состояния для призматического образца из сплава ЭП742 по экспериментальным данным после ультразвукового упрочнения при четырёх режимах обработки поверхности длительностью 20, 40, 60 и 80 секунд;

4) разработана и реализована методика расчёта релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённом призматическом образце в условиях ползучести при температурно-силовом нагружении и выполнена её экспериментальная проверка в случае термоэкспозиции;

5) исследовано влияние двухосного нагружения плоского поверхностно упрочнённого образца на релаксацию остаточных напряжений в условиях ползучести для различных видов напряжённого состояния при постоянной интенсивности напряжений. В

модельных расчётах для образцов из сплава ЭП742 при  $T = 650$  °С установлено, что для растягивающих нагрузок происходит существенное уменьшение скорости релаксации остаточных напряжений в процессе ползучести в течение 100 часов по сравнению со случаем чистой термоэкспозиции, а при сжимающих нагрузках, наоборот, процесс релаксации интенсифицируется по сравнению с термоэкспозицией.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№19-19-00062).

Сведения об авторах

Радченко Владимир Павлович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедры «ПМиИ». Область научных интересов: математические модели неупругого деформирования и разрушения материалов поверхностно упрочнённых конструкций.

Бербасова Татьяна Игоревна, аспирант кафедры «ПМиИ». Область научных интересов: аналитические и численные методы механики упрочнённых конструкций.

Саушкин Михаил Николаевич, к.ф.-м.н., доцент кафедры «ПМиИ». Область научных интересов: математические модели неупругого деформирования и разрушения материалов поверхностно упрочнённых конструкций.

## **RELAXATION OF RESIDUAL STRESSES IN A SURFACE HARDENED PRISMATIC SAMPLE UNDER A COMPLEX STRESS STATE IN THE CONDITIONS OF CREEP**

Radchenko V.P., Berbasova T.I., Saushkin M.N.  
Samara State Technical University, Samara, Russia,  
[radchenko.vp@samgtu.ru](mailto:radchenko.vp@samgtu.ru)

*Keywords: hardening, prismatic sample, residual stresses, relaxation, creep*

Methods of reconstruction and relaxation of residual stresses in a surface-hardened prismatic sample under creep conditions under biaxial loading have been developed.