

Информатика

УДК 004.422.8

БЛОК РАСЧЁТА НАЧАЛЬНОГО НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ STRELAX

М. Н. Саушкин, В. А. Смыслов

Самарский государственный технический университет,
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244.

E-mail: msaushkin@gmail.com

Аннотируется разрабатываемый программный комплекс Strelax, предназначенный для расчёта релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённом слое элементов конструкций в условиях ползучести. Описывается блок комплекса по обработке экспериментальных данных, который позволяет рассчитать поля остаточных напряжений и деформаций в упрочнённом слое конструкции (на примере цилиндрических образцов) после деформационного упрочнения по одной или двум экспериментально измеренным компонентам остаточных напряжений, а также найти параметры наилучшей аппроксимации для этих компонент.

Ключевые слова: программный комплекс, остаточные напряжения, остаточные деформации, расчёт, экспериментальные данные.

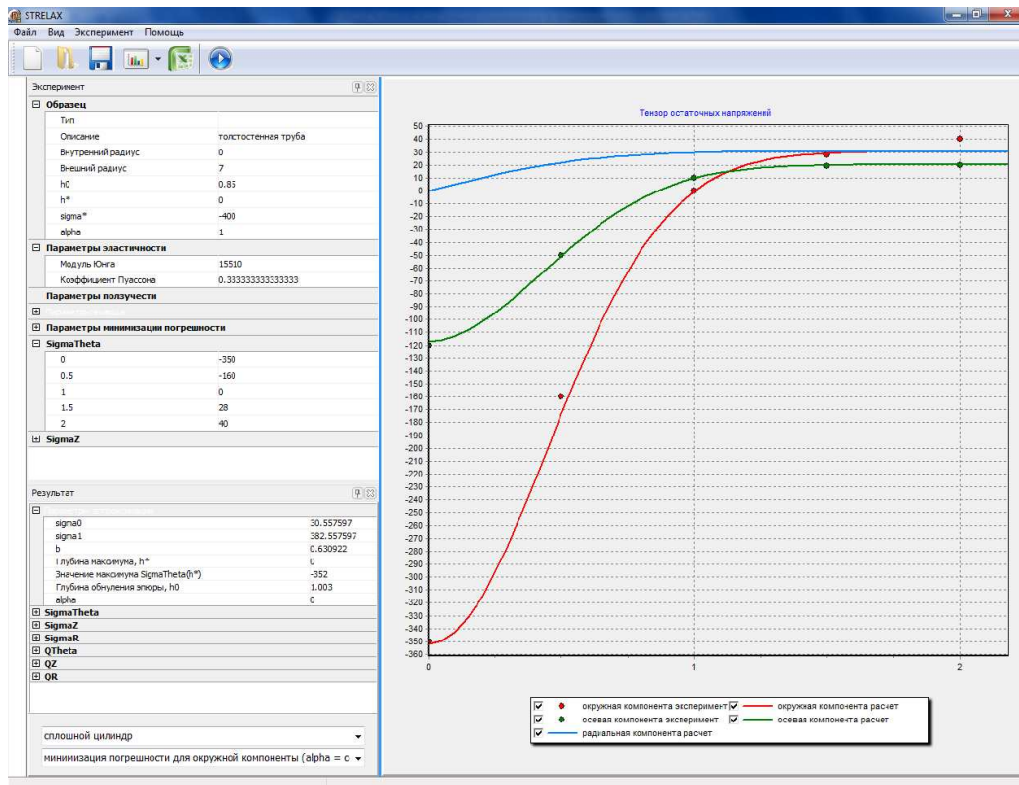
Эксплуатация деталей, как правило, всегда сопровождается механическим, тепловым и другими воздействиями на поверхностный слой, поэтому возникновение и развитие усталостной трещины, коррозии и другие деградационные процессы начинаются на нём. Наведение в слое сжимающих остаточных напряжений, которые препятствуют выходу различного рода дислокаций и вакансий, способствует повышению долговечности изделий. В процессе эксплуатации при высоких температурах из-за явления ползучести происходит процесс релаксации остаточных напряжений (уменьшение сжимающих напряжений по модулю), сопровождающийся реологическим деформированием самой конструкции. В связи с этим становится значимой оценка величины наведённых остаточных напряжений и скорости их релаксации, что особенно важно при переходе на эксплуатацию и ремонт «по техническому состоянию».

Существующие на сегодняшний день расчётно-экспериментальные методы дают возможность экспериментально получить только одну или две компоненты остаточных напряжений в упрочнённом слое и не позволяют определить компоненты тензора остаточных пластических деформаций. В работах [1–4 и др.] разработан феноменологический подход расчёта напряжённо-деформированного состояния в упрочнённом внешнем слое элементов конструкций, основанный на экспериментально известной частичной информации о поле остаточных напряжений. Определённые с помощью разработанного подхода остаточные напряжения могут быть использованы в качестве исходных (начальных) данных задачи о релаксации остаточных напряжений, принципы решения которой для различного рода конструктивных элементов изложены в работах [1, 2, 5–7 и др.].

Михаил Николаевич Саушкин (к.ф.-м.н., доц.), докторант, каф. прикладной математики и информатики. Виталий Андреевич Смыслов, студент, каф. прикладной математики и информатики.

Подходы и методы, разработанные в [1–9 и др.] творческим коллективом, в который входят авторы, были использованы для создания программного продукта **Strelax**. **Strelax** — это расчётный комплекс, позволяющий рассчитывать поля остаточных напряжений и пластических деформаций в элементах конструкций после их упрочнения и в процессе эксплуатации последних при высокотемпературной ползучести. Программный продукт **Strelax** состоит из двух основных подсистем: интерфейса пользователя и ядра программы. Интерфейс пользователя представлен win32-приложением (см. рисунок), написанным на **Delphi** и использующим стандартные компоненты, представленные в библиотеке **VCL**. Расчётное ядро продукта написано на языке **C++** и представляет собой кросс-платформенное консольное приложение. Обе подсистемы написаны с использованием объектно-ориентированного программирования; все процедуры и функции реализованы внутри классов.

В настоящей работе анонсируются блоки программного продукта **Strelax**, ответственные за расчёт начального напряжённо-деформированного состояния поверхностно упрочнённого слоя конструкции (на примере сплошных и полых цилиндрических образцов) по одной или двум экспериментально замеренным компонентам остаточных напряжений. Расчётное ядро состоит из нескольких блоков, каждый из которых выполняет определённую функцию. Так, блок анализа задачи по входным данным определяет, какая компонента экспериментально известна и по какой методике необходимо производить расчёт, а затем передаёт управление блоку расчёта. Блок расчёта производит расчёт полей остаточных напряжений и пластических деформаций согласно выбранной методике. В этом блоке реализован алгоритм поискового метода оптимизации, описанный в работе [9] и обеспечивающий минимизацию погрешности для расчётных и экспериментальных данных. После проведения всех



Вид главного окна программного комплекса **Strelax**

расчётов управление передаётся блоку вывода результатов, который выводит рассчитанные параметры модели, компоненты остаточных напряжений и пластических деформаций одним файлом в формате XML.

Входными данными для расчётного ядра являются экспериментальные зависимости компонент остаточных напряжений, геометрические параметры образцов, а также характеристики материала (модуль Юнга и коэффициент Пуассона), представленные в формате XML в виде одного файла, который может быть сгенерирован при помощи интерфейса пользователя. При подготовке входных данных интерфейс пользователя позволяет загружать экспериментальные данные для тензора остаточных напряжений как из обыкновенных текстовых файлов, так и непосредственно из растровых изображений, производя при этом оцифровку данных с помощью программы `g3data` (<http://www.frantz.fi/software/g3data.php>). С помощью интерфейса пользователя (см. рисунок) можно назначить параметры вывода результатов, задать границы вариации параметров используемой модели, а также шаг их подбора, и запустить расчётное ядро на выполнение. По выходным данным, полученным в расчётном ядре, с помощью интерфейса пользователя можно просмотреть вычисленные параметры модели, построить эпюры остаточных напряжений и пластических деформаций, а также экспортировать всю табличную и графическую информацию относительно входных и расчётных параметров в файл формата Microsoft Excel.

Работа выполнена в рамках Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект № РНП.2.1.1/3397).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радченко В. П., Саушкин М. Н. Ползучесть и релаксация остаточных напряжений в упрочнённых конструкциях. — М.: Машиностроение-1, 2005. — 226 с.
2. Радченко В. П., Саушкин М. Н. Математические модели восстановления и релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённом слое цилиндрических элементов конструкций при ползучести // *Изв. вузов. Машиностроение*, 2004. — № 11. — С. 3–17.
3. Саушкин М. Н., Кирпичёв В. А., Смыслов В. А. Феноменологический подход к моделированию напряжённо-деформированного состояния в поверхностно упрочнённом слое цилиндрического изделия // *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2009. — № 1(18). — С. 159–168.
4. Саушкин М. Н., Афанасьева О. С., Дубовова Е. В., Просвиркина Е. А. Схема расчёта полей остаточных напряжений в цилиндрическом образце с учётом организации процесса поверхностного пластического деформирования // *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2008. — № 1(16). — С. 85–89.
5. Радченко В. П., Саушкин М. Н. Расчёт релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённом слое цилиндрического изделия в условиях ползучести // *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2001. — № 12. — С. 61–73.
6. Исследование процесса релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённом слое отверстия диска газотурбинного двигателя Саушкин М. Н., Афанасьева О. С. // *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2007. — № 2(15). — С. 51–59.
7. Саушкин М. Н., Просвиркина Е. А., Афанасьева О. С. О влиянии угловой скорости вращения лопатки на релаксацию остаточных напряжений в поверхностно упрочнённом слое / В сб.: *Труды четвёртой Всероссийской научной конференции с международным участием (29–31 мая 2007 г.)*. Часть 1: Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций / Матем. моделирование и краев. задачи. — Самара: СамГТУ, 2007. — С. 231–240.
8. Радченко В. П., Саушкин М. Н. Прямой метод решения краевой задачи релаксации остаточных напряжений в упрочнённом изделии цилиндрической формы при ползучести // *ПМТФ*, 2009. — Т. 50, № 6. — С. 90–99; англ. пер.: Radchenko V. P., Saushkin M. N. Direct method of solving the boundary-value problem of relaxation of residual stresses in a hardened cylindrical specimen under creep conditions // *J. Appl. Mech. Tech. Phys.*, 2009. — Vol. 50, No. 6. — P. 989–997.
9. Радченко В. П., Саушкин М. Н. Идентификация параметра анизотропии упрочнения при поверхностно пластическом деформировании цилиндрического образца / В сб.:

Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: Сборник трудов Международной конференции (Воронеж, 20–22 сентября 2010 г.). — Воронеж: Воронежский государственный университет, 2010. — С. 307–312.

Поступила в редакцию 05/VII/2010;
в окончательном варианте — 30/IX/2010.

MSC: 74-04

CALCULATION BLOCK OF INITIAL STRESS-STRAIN STATE FOR CONSTRUCTIONS OF A PROGRAM COMPLEX STRELAX

M. N. Saushkin, V. A. Smyslov

Samara State Technical University,
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia.
E-mail: msaushkin@gmail.com

The developed software package for calculating residual stresses relaxation in the surface hardened layer of structural elements under creep conditions is announced. Block of software package for calculating the fields of residual stresses and strains in the hardened layer of constructions (cylindrical samples) after strain hardening is described. The calculation is produced for one or two components of the experimentally measured residual stresses.

Key words: *software complex, residual stresses, residual straines, calculation, experimental data.*

Original article submitted 05/VII/2010;
revision submitted 30/IX/2010.

Mikhail N. Saushkin (Ph. D. (Phys. & Math.)), Doctoral Candidate, Dept. of Applied Mathematics & Computer Science. *Vitaliy A. Smyslov*, Student, Dept. of Applied Mathematics & Computer Science.