Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. А. Кирпичёв, Д. В. Иванов, М. Н. Саушкин, Остаточные напряжения в образцах из сплавов В95 и Д16Т после пневмодробеструйной обработки, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2009, выпуск 2(), 260–263

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu714>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.198.64.247

26 апреля 2023 г., 11:11:58

MSC: 74S05

METHODS OF PLANNING OF EXTREME EXPERIMENTS IN PROBLEMS OF OPTIMISATION OF PLATES AND COVERS

N. N. Stolayrov, N. I. Dedov, V. N. Isutkina

Samara State Technical University,
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100.

E-mail: tpm@samgtu.ru

Description of methods of planning of extreme experiments with reference to problems of optimization of covers is presented. Results of optimization for a plate in nonlinear statement are obtained.

Key words: stress, strain, optimization, planning, experiment.

Original article submitted 08/VII/2009;
revision submitted 13/VIII/2009.

Nikolay N. Stolayrov (Dr. Sci. (Phys. & Math.)), Professor, Dept. of Mechanics. *Nikolay I. Dedov* (Ph. D. (Techn.)), Associate Professor, Dept. of Mechanics. *Vera N. Isutkina* (Ph. D. (Phys. & Math.)), Assistant, Dept. of Higher Mathematics & Applied Computer Science.

УДК 539.319

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ОБРАЗЦАХ ИЗ СПЛАВОВ В95 И Д16Т ПОСЛЕ ПНЕВМОДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ

В. А. Кирпичёв¹, Д. В. Иванов¹, М. Н. Саушкин²

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет им. ак. С. П. Королёва, 443086, Самара, Московское ш., 34.

² Самарский государственный технический университет, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244.

E-mails: sopromat@ssau.ru, msaushkin@gmail.com

Исследованы остаточные напряжения в гладких образцах и образцах с надрезом из сплавов В95 и Д16Т после пневмодробеструйной обработки, а также после пневмодробеструйной обработки и термоэкспозиции при температуре $T = 125^\circ\text{C}$ в течение 100 часов. Установлено, что термоэкспозиция приводит к существенно большей релаксации остаточных напряжений в образцах из сплава В95, чем из сплава Д16Т.

Ключевые слова: остаточные напряжения, концентраторы напряжений, пневмодробеструйная обработка, термоэкспозиция, релаксация остаточных напряжений.

Исследовались остаточные напряжения в образцах диаметром 15 мм с отверстием диаметром 5 мм из сплавов В95 и Д16Т после упрочнения на пневмодробеструйной установке при давлении воздуха 0,25 МПа стальными шариками 1,5–2,0 мм. Механические характеристики исследуемых материалов приведены в таблице.

Виктор Алексеевич Кирпичёв (к.т.н., доц.), докторант, каф. сопротивления материалов. *Денис Всеволодович Иванов*, аспирант, каф. сопротивления материалов. *Михаил Николаевич Саушкин* (к.ф.-м.н., доц.), докторант, каф. прикладной математики и информатики.

Механические характеристики материалов

Материал	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	S_K , МПа
В95	645	679	6	17,3	755
Д16Т	451	618	11,9	13,3	684

Осевые σ_z и окружные σ_θ остаточные напряжения в образцах определялись методом колец и полосок [1, 2] как непосредственно после пневмодробеструйной обработки (ПДО), так и после ПДО с последующей термоэкспозицией в течение $t = 100$ часов при температуре $T = 125^\circ\text{C}$. Распределение остаточных напряжений в гладких образцах по толщине поверхностного слоя a приведено на рис. 1, из которого можно видеть, что в гладких образцах после упрочнения (кривые 1 и 2) остаточные напряжения для сплавов В95 и Д16Т до глубины $a = 0,3$ мм различаются незначительно, при этом в образцах из Д16Т сжимающие остаточные напряжения несколько больше. Начиная с глубины $a = 0,3$ мм напряжения в образцах из сплава Д16Т выше, чем из В95, причём смена знака остаточных напряжений в образцах из сплава Д16Т происходит на существенно большей глубине ($a = 0,64$ мм) в сравнении с образцами из В95 ($a = 0,44$ мм).

Большая толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями в упрочнённых образцах из Д16Т объясняется, по-видимому, большей пластичностью этого сплава по сравнению с В95 (см. таблицу), в связи с чем поверхностный слой образцов из Д16Т деформируется при упрочнении на большую глубину.

Следовательно, после упрочнения на одинаковых режимах распределение остаточных напряжений в образцах из сплава Д16Т является более полным, чем в образцах из В95. Это обстоятельство может оказать существенное влияние на сопротивление усталости. В соответствии с закономерностями, установленными в работе [3], приращение предела выносливости упрочнённых ПДО образцов из сплава Д16Т будет выше, чем из сплава В95.

Термоэкспозиция упрочнённых ПДО образцов привела к снижению (релаксации) сжимающих остаточных напряжений, особенно в образцах из сплава В95. Если в образцах из Д16Т максимальные напряжения до термоэкспозиции превышали аналогичные напряжения в образцах из В95 на 8 МПа (340 и 332 МПа соответственно), то после термоэкспозиции превышение составило 151 МПа (325 и 174 МПа). Кроме того, в образцах из сплава В95 глубина смены знака остаточных напряжений уменьшилась на 0,08 мм, в то время как в образцах из Д16Т она практически не изменилась. В связи с этим снижение характеристик сопротивления усталости для образцов из сплава В95 после термоэкспозиции будет больше, чем для образцов из Д16Т [3].

Далее на упрочнённые ПДО цилиндрические образцы из тех же сплавов (В95 и Д16Т) таких же размеров (наружный диаметр — 15 мм, диаметр отверстия — 5 мм) наносились круговые надрезы полукруглого профиля двух радиусов $R = 0,3$ и $R = 0,5$ мм. Надрезы наносились как на образцы непосредственно после упрочнения, так и после упрочнения с последующей термоэкспозицией в течение $t = 100$ часов при температуре $T = 125^\circ\text{C}$.

Остаточные напряжения в образцах с надрезом определялись расчётным путём по остаточным напряжениям гладких образцов (рис. 1) с учётом перераспре-

Рис. 1. Распределение остаточных напряжений в гладких образцах из сплавов В95 (1, 3) и Д16Т (2, 4): 1, 2 — после ПДО, 3, 4 — после ПДО и термоэкспозиции

деления остаточных усилий гладких образцов при нанесении надреза. При этом использовались как аналитический [4], так и численный методы. В случае решения задачи численным методом применялся программный комплекс ANSYS. Результаты расчётов распределения осевых σ_z остаточных напряжений в образцах с надрезом представлены на рис. 2 и 3, из которых следует, что после нанесения надрезов на упрочнённые ПДО образцы на их дне возникают значительные по величине сжимающие остаточные напряжения, которые для В95 составляют 686 МПа, а для Д16Т — 720 МПа. Следовательно, наибольшие напряжения выше не только предела текучести, но и предела прочности используемых в исследовании материалов (см. таблицу). Этому явлению дано объяснение в работах [5, 6], где показано, что наибольшие остаточные напряжения после поверхностного упрочнения могут быть выше сопротивления разрыву материала S_k на 15%. В нашем исследовании остаточные напряжения на дне надреза этого предела не превышают (см. таблицу).

Во всех случаях остаточные напряжения в образцах с радиусом надреза $R = 0,3$ мм выше, чем с $R = 0,5$ мм, что объясняется, во-первых, большей концентрацией напряжений и, во-вторых, большими средними значениями остаточных напряжений гладких образцов по толщине поверхностного слоя при $a = 0,3$ мм, чем при $a = 0,5$ мм (см. рис. 1). В результате дополнительные остаточные напряжения, возникающие за счёт перераспределения остаточных усилий гладкого образца при нанесении надреза в надрезанных образцах с $R = 0,3$ мм выше, чем с $R = 0,5$ мм.

Термоэкспозиция упрочнённых образцов привела к заметному снижению сжимающих остаточных напряжений, особенно в образцах из сплава В95, так как в гладких упрочнённых образцах из этого сплава, на которые наносились надрезы, остаточные напряжения значительно ниже, чем из сплава Д16Т. Поэтому следует ожидать, что приращение предела выносливости для образцов из сплава В95 за счёт ПДО будет ниже, чем для образцов из Д16Т [3].

Таким образом, проведённое исследование показало, что при пневмодробеструйной обработке на одних и тех же режимах как в гладких образцах, так и в образцах с надрезом из сплава Д16Т толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями существенно больше, чем из сплава В95. Термоэкспозиция образцов в течение 100 часов при температуре 125 °С приводит к релаксации остаточных напряжений, причём действие термоэкспозиции заметно выше для образцов из сплава В95. Выявленные закономерности формирования остаточных напряжений в результате упрочнения ПДО следует учитывать при прогнозировании предела выносливости деталей из сплавов В95 и Д16Т.

Рис. 2. Распределение остаточных напряжений в образцах с надрезом из сплава В95 после ПДО (1, 3), ПДО и термоэкспозиции (2, 4): 1, 2 — $R = 0,3$ мм; 3, 4 — $R = 0,5$ мм

Рис. 3. Распределение остаточных напряжений в образцах с надрезом из сплава Д16Т после ПДО (1, 3) ПДО и термоэкспозиции (2, 4): 1, 2 — $R = 0,3$ мм; 3, 4 — $R = 0,5$ мм

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию (проект РНП 2.1.1/3397) и РФФИ (проект № 07–01–00478–а).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов С. И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок / В сб.: *Остаточные напряжения*. Вып. 53. — Куйбышев: КуАИ, 1971. — С. 32–42.
2. Биргер И. А. Остаточные напряжения. — М.: Машгиз, 1963. — 232 с.
3. Павлов В. Ф. Влияние характера распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя детали на сопротивление усталости // *Известия вузов. Машиностроение*, 1987. — № 7. — С. 3–6.
4. Иванов С. И., Шатунов М. П., Павлов В. Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом / В сб.: *Вопросы прочности элементов авиационных конструкций*. Вып. 1. — Куйбышев: КуАИ, 1974. — С. 88–95.
5. Радченко В. П., Павлов В. Ф. К вопросу о наибольшей величине остаточных напряжений в упрочнённых деталях / В сб.: *Проблемы и перспективы развития двигателестроения*: Материалы докладов МНТК. Часть 1. — Самара: СГАУ, 2009. — С. 251–252.
6. Павлов В. Ф., Радченко В. П. О наибольшей величине остаточных напряжений в упрочнённых деталях / В сб.: *Труды Шестой Всероссийской конференции с международным участием*. Часть 1: Математические модели механики, прочности и надёжности элементов конструкций / Математическое моделирование и краевые задачи. — Самара: СамГТУ, 2009. — С. 186–189.

Поступила в редакцию 20/VII/2009;
в окончательном варианте — 31/VIII/2009.

MSC: 74A10, 74C05

RESIDUAL STRESSES IN SAMPLES OF D16T AND V95 ALLOY AFTER AIR SHOT PEENING TREATMENT

V. A. Kirpichev¹, D. V. Ivanov¹, M. N. Saushkin²

¹ S. P. Korolyov Samara State Aerospace University,
34, Moskovskoe sh., Samara, 443086.

² Samara State Technical University,
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100.

E-mails: sopromat@ssau.ru, msaushkin@gmail.com

Residual stresses in smooth samples and samples with a cut cast out of V95 and D16T alloys after air shot peening and also after air shot-peening and thermoexpositions are studied at temperature $T = 125^\circ\text{C}$ during 100 hours. It is established that thermoexposition leads to an essentially larger relaxation of residual stresses in samples cast out of V95 alloys than those cast out of D16T.

Key words: residual stresses, Stress concentrators, air shot peening, thermoexposition, residual stresses relaxation.

Original article submitted 20/VII/2009;
revision submitted 31/VIII/2009.

Viktor A. Kirpichev (Ph. D. (Techn.)), Doctoral Candidate, Dept. of Resistance Materials. Denis V. Ivanov, Postgraduate Student, Dept. of Resistance Materials. Mikhail N. Saushkin (Ph.D. (Phys. & Math.)), Doctoral Candidate, Dept. of Applied Mathematics & Computer Science.