

УДК 621.787:539.319

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЯХ ПРИ ВЫБОРЕ ОБРАЗЦА-СВИДЕТЕЛЯ

В. П. САЗАНОВ¹, О. Ю. СЕМЕНОВА², В. А. КИРПИЧЕВ³, В. С. ВАКУЛЮК⁴

¹sazanow@mail.ru, ^{2,4}sopromat@ssau.ru, ³dean_fla@ssau.ru

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С. П. Королева»

Поступила в редакцию 28.03.2016

Аннотация. Методом математического моделирования первоначальных деформаций в упрочненном поверхностном слое определялось остаточное напряженно-деформированное состояние сплошных и полых цилиндрических деталей. Используя конечно-элементное моделирование и расчетный комплекс PATRAN/NASTRAN, проведены расчеты для различных вариантов распределения первоначальных деформаций, заданных в виде алгебраических функций. На основании проведенного исследования установлено, что при прогнозировании предела выносливости поверхностно упрочненных полых цилиндрических деталей в качестве образца-свидетеля следует использовать сплошной цилиндрический образец, диаметр которого равен удвоенной толщине стенки полых деталей.

Ключевые слова: математическое моделирование, остаточные напряжения, первоначальные деформации, упрочнение, образец-свидетель, предел выносливости.

ВВЕДЕНИЕ

Для оценки влияния различных методов поверхностного упрочнения на сопротивление усталости деталей необходимо знать не только величину сжимающих остаточных напряжений на поверхности, но и распределение этих напряжений по толщине упрочненного поверхностного слоя [1–3]. Для определения остаточных напряжений обычно из детали вырезаются образцы, на которых затем последовательно удаляются поверхностные слои и замеряются возникающие при этом перемещения или деформации. По измеренным перемещениям (деформациям) образцов расчетными методами определяются остаточные напряжения, действующие в поверхностном слое деталей [4–6]. Следовательно, при определении остаточных напряжений таким способом разрушаются реальные детали, что нецелесообразно с экономической точки зрения.

На практике для контроля стабильности назначенных режимов поверхностного упрочнения широко применяются образцы-свидетели, которые подвергаются упрочняющей обработке одновременно с деталями. По величине деформаций образцов-свидетелей можно сделать за-

ключение о стабильности назначенных режимов упрочнения. В связи с этим возникает вопрос о возможности использования образцов-свидетелей для моделирования остаточного напряженно-деформированного состояния в реальных деталях, упрочняемых одновременно с этими образцами. Для решения данной проблемы необходимо по первоначальным деформациям образца-свидетеля [4, 7–14] расчетными методами определить остаточные напряжения в реальной детали определенных форм и размеров.

Решение задачи о распределении остаточных напряжений в поверхностном слое упрочненных деталей аналитическими методами имеет определенные трудности и ограничения, что не позволяет в большинстве случаев получить их в замкнутой форме. Напротив, решение аналогичных задач численными методами намного шире по своим возможностям и объему, но вместе с тем не позволяет сделать общие выводы и выявить определенные закономерности в процессах поверхностного упрочнения деталей. Практика показывает, что наиболее целесообразным является применение комбинированных методов, которые используют одновременно возможности численных методов моделирова-

Варианты распределения первоначальных деформаций по толщине упрочненного поверхностного слоя деталей

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f(\xi)$	$1 - \sqrt{1 - \xi^2}$	ξ^2	ξ	$1 - (1 - \xi)^2$	$2\xi\sqrt{1 - \xi^2}$	$(1 - \xi)^2$	$1 - \xi^2$	$1 - \xi$	$\sqrt{1 - \xi^2}$

ния и современной вычислительной техники, а выводы основываются на математическом моделировании начальных процессов в виде известных алгебраических выражений, которые охватывают практически все возможные случаи распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя упрочненных деталей.

В работе [15] приведены результаты аналитического решения задачи о распределении дополнительных остаточных напряжений в наименьшем сечении упрочненной цилиндрической детали с концентратором напряжений в виде кругового надреза полукруглого профиля. При этом распределение остаточных напряжений в упрочненном слое для гладкой детали в местах, значительно удаленных от краевых зон, задавалось в виде достаточно простых алгебраических выражений. В работе [16] было проведено исследование и сделан положительный вывод о возможности использования конечно-элементного моделирования и современных расчетных комплексов при решении подобных задач с использованием математического моделирования распределения остаточных напряжений в упрочненном поверхностном слое гладкой детали в виде таких же алгебраических выражений.

РАСЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В настоящем исследовании рассматривается пример использования математического моделирования первоначальных деформаций в виде упомянутых выше алгебраических функций при назначении геометрических параметров образцов-свидетелей в технологических процессах поверхностного упрочнения деталей типа полых цилиндрических валов и прогнозировании приращения предела выносливости [1–3, 10–12, 14]. Применение такого моделирования обеспечивает практически все возможные случаи характера изменения остаточных напряжений в упрочненном поверхностном слое деталей. Алгебраические выражения различных функций (вариантов) распределения первоначальных деформаций $f(\xi)$ приведены в табл. 1, а их графики – на рис. 1.

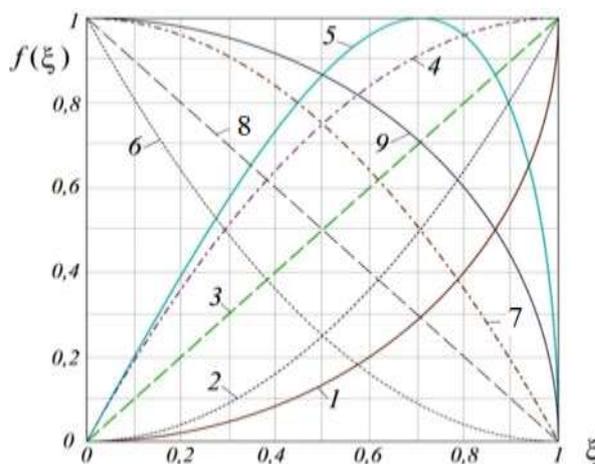


Рис. 1. Графики функции $f(\xi)$: номера кривых соответствуют вариантам табл. 1.

Выражение для первоначальных деформаций записывается в виде

$$\varepsilon(\xi) = \varepsilon_0 f(\xi), \quad (1)$$

где ε_0 – постоянная величина деформации; $f(\xi)$ – алгебраическая функция; $\xi = y/a$ – расстояние от поверхности гладкой детали до текущего слоя, выраженное в долях от толщины a упрочненного слоя (рис. 2); ξ изменяется в пределах от 0 до 1.

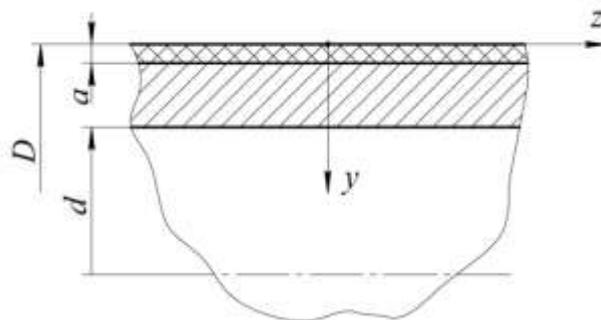


Рис. 2. Размеры полых цилиндрической детали

Варианты 1–5 распределения первоначальных деформаций (см. рис. 1 и табл. 1) соответствуют обработке деталей поверхностным пластическим деформированием с интенсивными режимами упрочнения и обработке деталей из материалов с низкой температуропроводностью [17], когда наблюдается спад сжимающих остаточных напряжений к поверхности, то есть

имеет место случай подповерхностного максимума напряжений. Такие эпюры остаточных напряжений реализуются, например, при обкатке роликом с большими усилиями накатывания. Упрочнение деталей на более «мягких» режимах, а также упрочнение деталей из материалов с высокой температуропроводностью приводит к распределению остаточных напряжений по вариантам 6–9, когда максимум напряжений находится на поверхности детали.

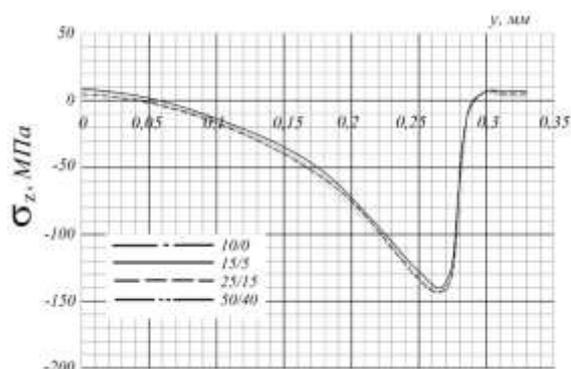
На основании проведенных в [15, 16] исследований были сделаны выводы о том, что для полых цилиндрических деталей с надрезом дополнительные остаточные напряжения, вызванные опережающим поверхностным пластическим деформированием, определяются толщиной стенки и не зависят от диаметра. Эти напряжения равны остаточным напряжениям сплошной детали, диаметр которой равен удвоенной толщине стенки полый детали.

Исходя из данных выводов и предположения о том, что при технологическом процессе упрочнения все детали получают одинаковые первоначальные деформации, в качестве образца-свидетеля для полых цилиндрических деталей может использоваться сплошной цилиндр из того же материала с диаметром, равным удвоенной толщине стенки полый детали.

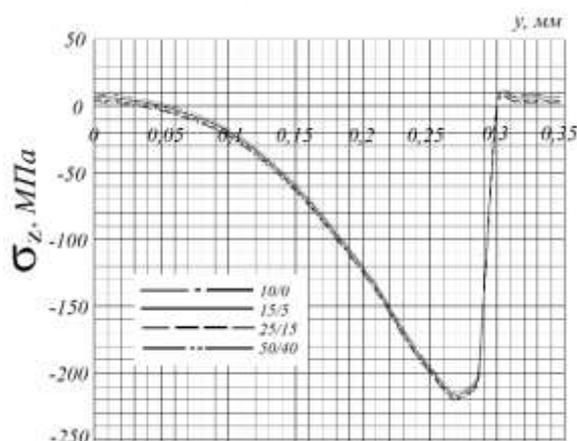
В данном исследовании необходимый объем расчетов был выполнен методом конечно-элементного моделирования с использованием расчетного комплекса PATRAN/NASTRAN на цилиндрических деталях с размерами: $D/d = 10/0$ мм/мм, $15/5$ мм/мм, $25/15$ мм/мм, $50/40$ мм/мм, где D – наружный диаметр и d – внутренний диаметр (см. рис. 2). В качестве образца-свидетеля в данной партии рассматривается сплошная цилиндрическая деталь диаметром 10 мм, а остальные полые детали имеют одинаковую толщину стенки, равную 5 мм.

Конечно-элементные модели деталей разработаны в осесимметричной постановке с наложением соответствующих граничных условий и с использованием треугольного шестиузлового конечного элемента типа 2d-solid. Моделирование первоначальных деформаций в упрочненном поверхностном слое выполнено методом термоупругости [18], а их распределение задавалось в виде алгебраических выражений по вариантам табл. 1. В проведенных расчетах для стальных деталей были приняты следующие параметры упрочнения: постоянная величина первоначальной деформации в выражении (1) $\varepsilon_0 = 0,001$, толщина упрочненного поверхностного слоя $a = 0,3$ мм. Такие параметры являются характерными при упрочнении

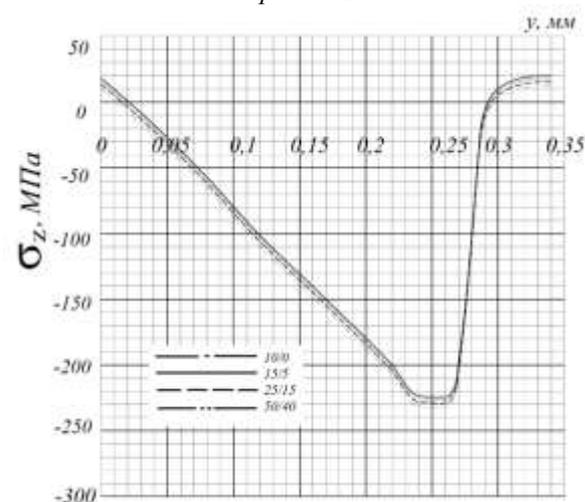
цилиндрических деталей из конструкционных сталей пневмо- и гидродробеструйной обработками. Результаты расчета осевых σ_z остаточных напряжений по толщине упрочненного поверхностного слоя y для вариантов 1–9 приведены на рис. 3, 4.



вариант 1

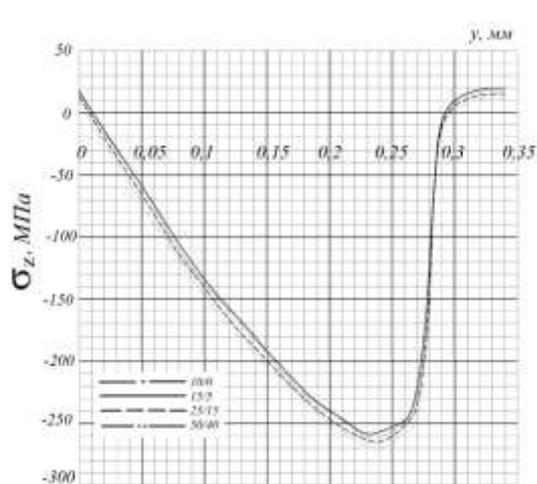


вариант 2

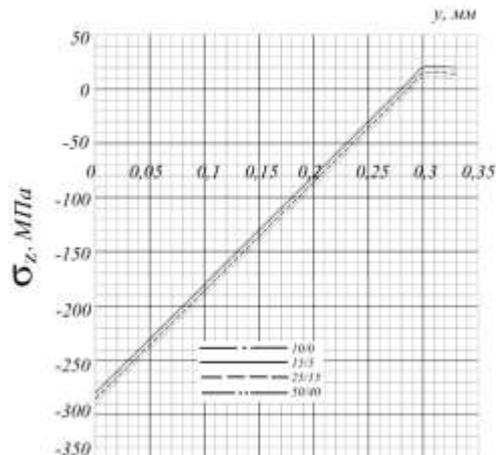


вариант 3

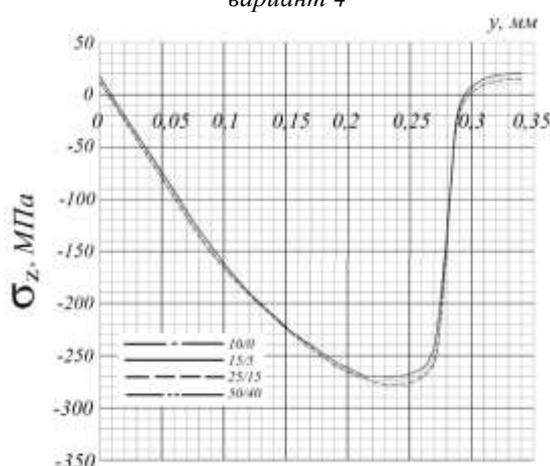
Рис. 3. Осевые σ_z остаточные напряжения для различных вариантов (см. табл. 1) распределения первоначальных деформаций по толщине упрочненного поверхностного слоя деталей



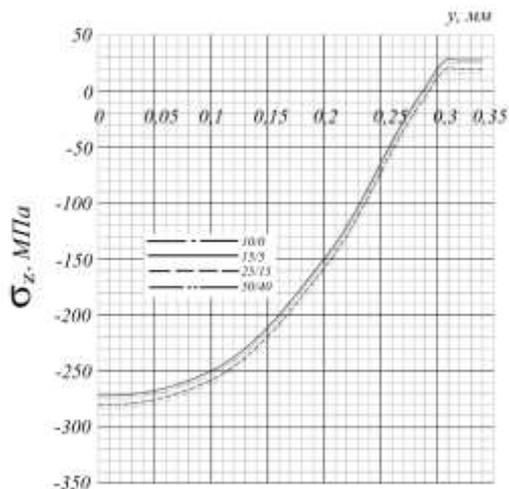
вариант 4



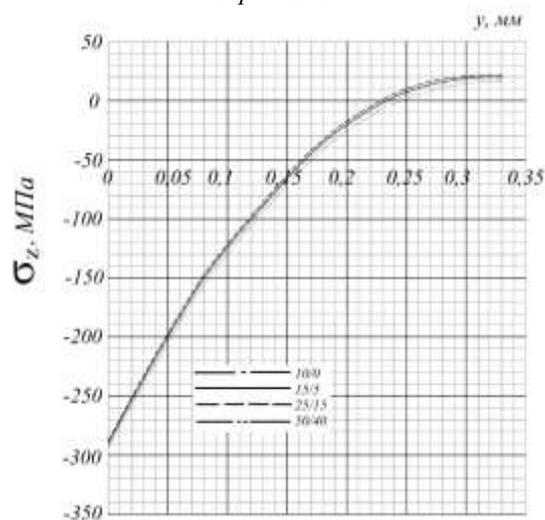
вариант 7



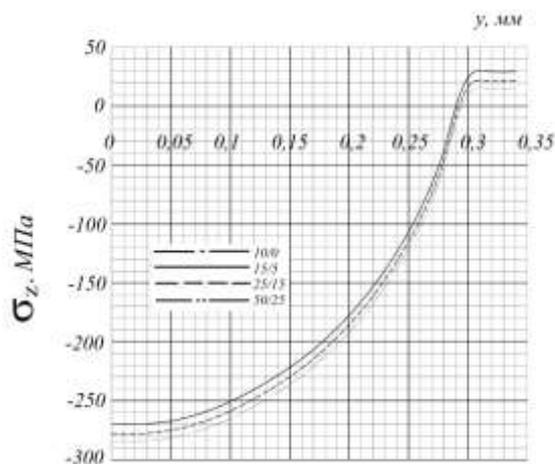
вариант 5



вариант 8



вариант 6



вариант 9

Рис. 4. Осевые σ_z остаточные напряжения для различных вариантов (см. табл. 1) распределения первоначальных деформаций по толщине упрочненного поверхностного слоя деталей

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Из анализа результатов расчета осевых остаточных напряжений по толщине упрочненного поверхностного слоя следует, что при раз-

личных вариантах распределений первоначальных деформаций остаточные напряжения достаточно близки по своим значениям для всех исследованных деталей, в том числе и для образца-свидетеля. Установлено, что при увеличении диаметра (жесткости) полый детали значения

Таблица 2

Различие между осевыми остаточными напряжениями

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Различие, %	0,89	1,54	2,19	1,54	3,26	1,73	2,84	3,62	4,03

осевых сжимающих остаточных напряжений незначительно возрастают, а растягивающие (реактивные), наоборот, несколько уменьшаются. Различие между максимальными по модулю осевыми остаточными напряжениями для полый цилиндрической детали при $D/d = 50/40$ мм/мм и образца-свидетеля $D/d = 10/0$ мм/мм в виде относительной величины приведено в табл. 2, из которой видно, что наибольшее расхождение находится в пределах 4%. Такое различие является приемлемым при определении остаточных напряжений на практике.

В тех случаях (*варианты 1–5*), когда на поверхности детали первоначальные деформации равны нулю, остаточные напряжения на поверхности являются растягивающими, причем величина этих напряжений уменьшается с увеличением диаметра, то есть жесткости детали. Толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями при всех вариантах распределения первоначальных деформаций меньше толщины упрочненного (наклепанного) слоя, и это различие уменьшается с увеличением жесткости детали. Следовательно, толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями в пределе стремится к толщине слоя с первоначальными деформациями, или, иначе, к толщине упрочненного поверхностного слоя детали.

Наиболее полное распределение сжимающих остаточных напряжений по толщине упрочненного поверхностного слоя детали при одинаковой наибольшей первоначальной деформации наблюдается в тех случаях (*варианты 4, 5, 8, 9*), когда площадь деформированного при упрочнении поверхностного слоя наибольшая. Эту закономерность следует учитывать при выборе оптимальных по сопротивлению усталости видов и режимов поверхностного упрочнения деталей [1–3, 10–12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенного исследования с использованием математического моделирования первоначальных деформаций по толщине упрочненного поверхностного слоя и полученных результатов расчета остаточных напряжений на конечно-элементных моделях с применением расчетного комплекса PATRAN/NASTRAN установлено, что определение остаточных напряжений в поверхностно упрочнен-

ных полых цилиндрических деталях с достаточной для практики точностью можно проводить на сплошном образце-свидетеле, диаметр которого равен удвоенной толщине стенки полый детали.

2. Толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями при всех исследованных вариантах распределения первоначальных деформаций меньше толщины упрочненного поверхностного слоя детали.

3. С увеличением жесткости детали при одинаковых первоначальных деформациях сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое увеличиваются незначительно; одновременно уменьшаются растягивающие (реактивные) остаточные напряжения в подслое.

4. Увеличение толщины деформированного поверхностного слоя приводит к созданию более полного распределения сжимающих остаточных напряжений, что необходимо учитывать при выборе оптимальных режимов поверхностного упрочнения. Также в результате этого наблюдается большее приращение предела выносливости у детали [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В. Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // Известия вузов. Машиностроение. 1986. № 8. С. 29–32. [V.F. Pavlov, "On connection between residual stresses and the endurance limit under bending in stresses concentration conditions," (in Russian), in *Izvestiya vusov* (Universities News). *Mashinostroeniye* (Mechanical Engineering), no. 8, pp. 29-32, 1986.]
2. Павлов В. Ф. Влияние характера распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя детали на сопротивление усталости // Известия вузов. Машиностроение. 1987. № 7. С. 3–6. [V.F. Pavlov, "The influence of the residual stresses along the part surface layer thickness distribution character on the fatigue resistance," (in Russian), in *Izvestiya vusov* (Universities News). *Mashinostroeniye* (Mechanical Engineering), no. 7, pp. 3-6, 1987.]
3. Павлов В. Ф., Кирпичев В. А., Вакулук В. С. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочненных деталей по остаточным напряжениям. Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. 125 с. [V.F. Pavlov, V.A. Kirpichev, V.S. Vakulyuk, *The prediction of surface hardened parts fatigue resistance by residual stresses*, (in Russian). Samara: Samara scientific centre Publishing House of the Russian Academy of Sciences, 2012. 125 pp.]
4. Биргер И. А. Остаточные напряжения. М.: Mashgiz, 1963. 232 с. [I. A. Birger, *Residual stresses*, (in Russian). Moscow: Mashgiz, 1963. 232 pp.]

5. **Иванов С. И.** К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок // Остаточные напряжения. Куйбышев: КуАИ, 1971. Вып. 53. С. 32–42. [S.I. Ivanov, "On determination of residual stresses in a cylinder by rings-and-stripes method," (in Russian), in *Residual stresses*, Kuibyshev: KuAI (Kuibyshev Aviation Institute), issue 53, pp. 32-42, 1971.]

6. **Иванов С. И., Трофимов Н. Г., Фрейдин Э. И., Фокин В. Г., Шатунов М. П.** Определение остаточных напряжений в резьбе болтов методом колец и полосок // Вестник машиностроения. 1980. № 5. С. 37–38. [S.I. Ivanov, N.G. Trofimov, E.I. Freydin, V.G. Fokin, M.P. Shatunov, "The determination of residual stresses in bolts thread by rings-and-stripes method," (in Russian), in *Vestnik mashinostroeniya* (Mechanical Engineering Bulletin), no. 5, pp. 37-38, 1980.]

7. **Павлов В. Ф., Столяров А. К., Вакулюк В. С., Кирпичев В. А.** Расчет остаточных напряжений в деталях с концентраторами напряжений по первоначальным деформациям. Самара: Издательство СЦ РАН, 2008. 124 с. [V. F. Pavlov, A. K. Stolyarov, V. S. Vakulyuk, V. A. Kirpichev, *Residual stresses calculation in parts with stress concentrators on initial deformations*, (in Russian). Samara: Samara scientific centre Publishing House of the Russian Academy of Sciences, 2008. 124 pp]

8. **Вакулюк В. С.** Исследование влияния толщины упрочненного слоя на остаточные напряжения во впадине концентратора методом первоначальных деформаций // Вестник СамГТУ. Сер.: физ.-мат. науки. 2010. № 1(20). С. 222–225. [V. S. Vakulyuk, "Hardened layer thickness influence on residual stresses in the concentrator cavity by initial deformations method investigation," (in Russian), in *Vestnik SamGTU* (Samara State Technical University bulletin), no. 1 (20), pp. 222-225, 2010.]

9. **Иванов С. И., Митряев К. Ф.** Об изучении остаточного напряженного состояния детали путем исследования образцов // Остаточные напряжения. Куйбышев: КуАИ, 1971. Вып. 53. С. 115–121. [S. I. Ivanov, K. F. Mitryaev, "On studying of part's residual strained state by specimens' investigation," (in Russian), in *Residual stresses*, Kuibyshev: KuAI (Kuibyshev Aviation Institute), issue 53, pp. 115-121, 1971.]

10. **Сазанов В. П.** Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочненных цилиндрических деталей из стали 20 по первоначальным деформациям образца-свидетеля // Вестник СГАУ. 2014. № 1(43). С. 150–158. [V. P. Sazanov, "Surface hardened cylindrical parts made of steel 20 endurance limit prediction by initial deformations of the reference specimen," (in Russian), in *Vestnik SGAU* (Samara State Aerospace University bulletin), no. 1 (43), pp. 150-158, 2014.]

11. **Вакулюк В. С., Сазанов В. П., Павлов В. Ф., Шадрин В. К.** Оценка влияния гидродробеструйной обработки на многоцикловую усталость цилиндрических деталей из сплава Д16Т по первоначальному деформациям образца-свидетеля // Вестник СамГТУ. Сер.:техн. науки. 2014. № 2(42). С. 87–93. [V. S. Vakulyuk, V. P. Sazanov, V. F. Pavlov, V. K. Shadrin, "The evaluation of the hydro blasting influence on the multicycle fatigue of cylindrical parts made of Д16Т alloy by the reference specimen initial deformations," (in Russian), in *Vestnik SamGTU* (Samara State Technical University bulletin), Technical sciences, no. 2 (42), pp. 87-93, 2014.]

12. **Павлов В. Ф., Вакулюк В. С., Сазанов В. П., Иванов В. Б., Микушев Н. Н.** Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочненных сплошных цилиндриче-

ских образцов из стали 45 по остаточным напряжениям образца-свидетеля // Известия вузов. Поволжский регион. 2014. № 3. С. 149–162. [V. F. Pavlov, V. S. Vakulyuk, V. P. Sazanov, V. B. Ivanov, N. N. Mikushev, "The prediction of surface hardened solid cylindrical specimens made of steel 45 endurance limit by the residual stresses of a reference specimen," (in Russian), in *Izvestiya vusov* (Universities News), Volga region, no. 3, pp. 149-162, 2014.]

13. **Вакулюк В. С., Сазанов В. П., Шадрин В. К., Микушев Н. Н., Злобин А. С.** Применение метода термоупругости при конечно-элементном моделировании напряженного состояния в поверхностно упрочненных деталях // Известия СЦ РАН. 2014. Т. 16, № 4. С. 168–174. [V. S. Vakulyuk, V. P. Sazanov, V. K. Shadrin, N. N. Mikushev, A. S. Zlobin, "Thermoelasticity method applying by Finite Elements Modeling of strained state in surface hardened parts," (in Russian), in *News of Samara scientific centre Publishing House of the Russian Academy of Sciences*, vol. 16, no. 4, pp. 168-174, 2014.]

14. **Саушкин М. Н., Сазанов В. П., Вакулюк В. С.** Исследование влияния упрочняющей обработки на предел выносливости цилиндрических образцов из конструкционных сталей по остаточным напряжениям образца-свидетеля // Вестник ПНИПУ. Механика. 2014. № 4. С. 178–196. [M. N. Saushkin, V. P. Sazanov, V. S. Vakulyuk, "The investigation of the hardening machining influence on the endurance limit of cylindrical specimens made of structural steels by the residual stresses of a reference specimen," (in Russian), in *News of Perm National Research Polytechnic University*, Mechanics, no. 4, pp. 178-196, 2014.]

15. **Кирпичев В. А., Семенова О. Ю., Павлов В. Ф., Чирков А. В.** Закономерности распределения дополнительных остаточных напряжений в упрочненных цилиндрических деталях с кольцевыми надрезами полукруглого профиля // Вестник СамГТУ. Сер.: физ.-мат. науки. 2010. № 1(20). С. 121–126. [V. A. Kirpichev, O. Yu. Semenova, V. F. Pavlov, A. V. Chirkov, "The regularities of additional residual stresses distribution in hardened cylindrical parts with circular cuts of semicircular profile," (in Russian), in *Vestnik SamGTU* (Samara State Technical University bulletin), no. 1(20), pp. 121-126, 2010.]

16. **Сазанов В. П., Чирков А. В., Самойлов В. А., Ларионова Ю. С.** Моделирование перераспределения остаточных напряжений в упрочненных цилиндрических образцах при опережающем поверхностном пластическом деформировании // Вестник СГАУ. 2011. № 3(27). Ч. 3. С. 171–174. [V. P. Sazanov, A. V. Chirkov, V. A. Samoylov, Yu. S. Larionova, "Residual stresses redistribution modeling in hardened cylindrical specimens under outstripping superficial plastic deforming," (in Russian), in *Vestnik SGAU* (Samara State Aerospace University bulletin), no. 3 (27), part 3, pp. 171-174, 2011.]

17. **Павлов В. Ф.** Влияние теплофизических характеристик материала на распределение остаточных напряжений у поверхности детали // Вестник машиностроения. 1986. № 5. С. 23–24. [V. F. Pavlov, "The influence of material thermophysical characteristics on the residual stresses distribution at the part surface," (in Russian), in *Vestnik mashinostroeniya* (Mechanical Engineering Bulletin), no. 5, pp. 23-24, 1986.]

18. **Сазанов В. П., Чирков А. В., Семенова О. Ю., Иванова А. В.** Моделирование остаточного напряженного состояния деталей в условиях концентрации напряжений с использованием программного комплекса NAS-TRAN/PATRAN // Вестник СамГТУ. Сер.: технич. науки. 2012.

№ 1(33). С. 106–114. [V. P. Sazanov, A. V. Chirkov, O. Yu. Semenova, A. V. Ivanova "The residual strain state of parts modeling under stress concentration conditions using the program complex NASTRAN/PATRAN," (in Russian), in *Vestnik SamGTU* (Samara State Technical University bulletin). Technical sciences, no. 1(33), pp. 106-114, 2012.]

ОБ АВТОРАХ

САЗАНОВ Вячеслав Петрович, доц. каф. сопротивления материалов. Дипл. инж.-мех. (КуАИ, 1978). Канд. техн. наук (СГАУ, 2010). Иссл. в обл. механики остаточных напряжений.

СЕМЕНОВА Ольга Юрьевна, доц. каф. высшей математики. Дипл. мат-ка, преп-ля матем. (Куйб.ГУ, 1989). Канд. техн. наук (СГАУ, 2012). Иссл. в обл. механики остаточных напряжений

КИРПИЧЕВ Виктор Алексеевич, проф. каф. сопротивления материалов. Дипл. инж.-мех. (Куйбышевск. авиац. ин-т (КуАИ), 1980). Д-р техн. наук по специальности «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» (СГАУ, 2009). Иссл. в обл. механики остаточных напряжений.

ВАКУЛЮК Владимир Степанович, проф. каф. сопротивления материалов. Дипл. инж.-мех. (КуАИ, 1974). Д-р техн. наук по специальности «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» (СГАУ, 2015). Иссл. в обл. механики остаточных напряжений.

METADATA

Title: Mathematical modeling of initial deformations in surface hardened parts for the choice of a reference specimen.

Authors: V. P. Sazanov¹, O. Yu. Semenova², V. A. Kirpichev³, V. S. Vakulyuk⁴

Affiliation:

Samara National Research University, Russia.

Email: ¹sazanow@mail.ru, ^{2,4}sopromat@ssau.ru, ³dean_fla@ssau.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 3 (73), pp. 31-37, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: Residual stress - strain state of solid and hollow cylindrical parts has been defined by the method of mathematical modeling of initial deformations in the surface hardened layer. The calculations for various variants of initial deformations given by algebraic functions distribution have been carried out using the Finite Elements Modeling method and PATRAN/NASTRAN program complex. On the base of conducted investigation it's been established that a solid cylindrical specimen, which diameter is equal double thickness of hollow part wall should be used for the surface hardened hollow cylindrical parts endurance limit prediction.

Key words: mathematical modeling, Residual stresses, initial deformations, hardening, reference specimen, endurance limit.

About authors:

SAZANOV, Vyacheslav Petrovich, Associate Prof., Dept. of Strength of Materials. Dipl. Eng.- mech. (Kuibyshev Aviation Institute, 1978). Cand. of Tech. Sci. (Samara State Aerospace University, 2010).

SEMENOVA, Olga Yurievna, Associate Prof., Dept. of Higher Mathematics. Dipl. Math. (Kuibyshev State University, 1989). Cand. of Tech. Sci. (Samara State Aerospace University, 2012).

KIRPICHEV, Victor Alexeevich, Prof., Dept. of Strength of Materials. Dipl. Eng.- mech. (Kuibyshev Aviation Institute, 1980). Cand. of Tech. Sci. (Moscow Aviation Technological Institute, 1990), Dr. of Tech. Sci. (Samara State Aerospace University, 2009).

VAKULYUK, Vladimir Stepanovich, Prof., Dept. of Strength of Materials. Dipl. Eng.- mech. (Kuibyshev Aviation Institute, 1974). Cand. of Tech. Sci. (Moscow State Institute of Civil Aviation, 1983), Dr. of Tech. Sci. (Samara State Aerospace University, 2015).