

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЁННЫХ ВАЛОВ С НАПРЕССОВАННОЙ ВТУЛКОЙ ПО ОСТАТОЧНЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ

В. Ф. Павлов<sup>1</sup>, В. П. Сазанов<sup>2</sup>, О. В. Каранаева<sup>3</sup>, А. С. Букатый<sup>4</sup>, В. Э. Костичев<sup>5</sup>

<sup>1</sup>sopromat@ssau.ru, <sup>2</sup>sazanov@mail.ru, <sup>3</sup>karanaeva@mail.ru, <sup>4</sup>bukaty@inbox.ru, <sup>5</sup>thourvald@mail.ru

<sup>1-3</sup>ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)» (СГАУ)

<sup>4</sup>ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет» (ЯГТУ)

<sup>5</sup>ОАО «Автодизель» (Ярославский моторный завод) (ЯМЗ)

Поступила в редакцию 27 октября 2014 г.

**Аннотация.** Исследовано влияние обкатки роликом на предел выносливости при изгибе валов диаметром 25 мм и 50 мм из стали 20 и диаметром 25 мм из стали 40Х с напрессованной втулкой. Оценка влияния обкатки роликом на предел выносливости по критериям остаточных напряжений на поверхности и среднеинтегральных остаточных напряжений показала, что для прогнозирования приращения предела выносливости упрочнённых валов с напрессованной втулкой следует использовать критерий среднеинтегральных остаточных напряжений.

**Ключевые слова:** обкатка роликом; напрессованная втулка; предел выносливости; критерий среднеинтегральных остаточных напряжений.

В исследовании проводилась оценка влияния обкатки роликом на многоцикловую усталость поверхностно упрочнённых цилиндрических валов диаметром  $D = 25$  мм,  $D = 50$  мм из стали 20 и диаметром  $D = 25$  мм из стали 40Х с напрессованной втулкой. Механические характеристики используемых в исследовании материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Механические характеристики материалов

Материал	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	$S_k$ , МПа
сталь 20	522	395	26,1	65,9	1416
40Х	751	444	17,6	60,7	1330

Влияние поверхностного упрочнения на приращение предела выносливости  $\Delta\sigma_{-1}$  валов при изгибе в случае симметричного цикла оценивалось по двум критериям: осевым остаточным напряжениям на поверхности вала  $\sigma_z^{\text{пов}}$  [1–8] и среднеинтегральным остаточным напряжениям  $\bar{\sigma}_{\text{ост}}$  [9–12]

$$\Delta\sigma_{-1} = \Psi_{\sigma} \left| \sigma_z^{\text{пов}} \right|, \quad (1)$$

$$\Delta\sigma_{-1} = \bar{\Psi}_{\sigma} \left| \bar{\sigma}_{\text{ост}} \right|, \quad (2)$$

где  $\Psi_{\sigma}$  и  $\bar{\Psi}_{\sigma}$  – коэффициенты влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критериям  $\sigma_z^{\text{пов}}$  и  $\bar{\sigma}_{\text{ост}}$ , соответственно;

$$\bar{\sigma}_{\text{ост}} = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi, \quad (3)$$

где  $\sigma_z(\xi)$  – осевые остаточные напряжения в опасном сечении детали с концентратором по толщине поверхностного слоя  $a$ ;  $\xi = a/t_{\text{кр}}$  – расстояние от поверхности опасного сечения детали до текущего слоя, выраженное в долях  $t_{\text{кр}}$ ;  $t_{\text{кр}}$  – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей в упрочнённой детали с концентратором напряжений при работе на пределе выносливости.

Сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое валов создавались обкаткой роликом диаметром 60 мм с профильным радиусом 1,6 мм при усилии  $P = 0,5$  кН (ОР1) и  $P = 1,0$  кН (ОР2) с подачей 0,11 мм/об и скоростью вращения вала 400 об/мин. Распределение

осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя  $a$  определялось экспериментально методом колец и полосок [13] и (рис. 1, 2). Значения осевых остаточных напряжений  $\sigma_z^{нов}$  на упрочнённой поверхности валов (табл. 2).

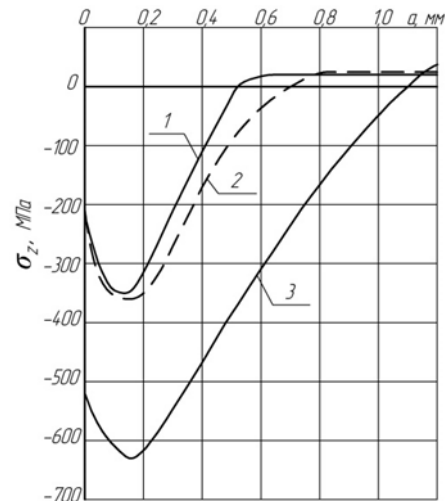
Из рис. 1 можно видеть, что при обкатке роликом на одних и тех же режимах ( $P = 1,0$  кН) распределение сжимающих остаточных напряжений в валах из стали 40Х существенно отличается от распределения остаточных напряжений в валах из стали 20. Сжимающие остаточные напряжения в валах из стали 40Х (эпюра 3) значительно выше как по величине, так и по глубине залегания, чем в валах из стали 20 (эпюра 2), то есть распределение остаточных напряжений в валах из стали 40Х по толщине упрочнённого роликом поверхностного слоя является более полным. Наблюдаемое явление объясняется тем, что у стали 40Х предел прочности  $\sigma_b$  и предел текучести  $\sigma_{0,2}$  выше, чем у стали 20 (табл. 1). Различие в характере распределения остаточных напряжений, как будет показано ниже, существенно сказывается на сопротивлении многоциклового усталости упрочнённых обкаткой роликом валов из сталей 20 и 40Х.

Из сравнения распределений остаточных напряжений в валах из стали 20  $D = 25$  мм (рис. 1) и  $D = 50$  мм (рис. 2) видно, что при одинаковых режимах обкатки роликом с увеличением диаметра вала сжимающие остаточные напряжения на поверхности уменьшаются на 40 МПа с одновременным увеличением глубины их залегания при усилии обкатки  $P = 0,5$  кН с  $a = 0,52$  мм до  $a = 0,56$  мм и при  $P = 1,0$  кН с  $a = 0,7$  мм до  $a = 0,75$  мм.

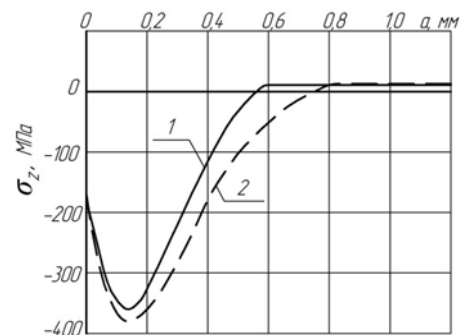
Следует обратить внимание также на значительную величину наибольших сжимающих остаточных напряжений в валах из стали 40Х, составляющих – 620 МПа и превышающих предел текучести материала (табл. 1). Этому явлению дано объяснение в работе [14], в которой показано, что наибольшая величина сжимающих остаточных напряжений в упрочнённом (наклёпанном) поверхностном слое деталей может превышать даже сопротивление разрыву  $S_k$  материала детали на 15 %. Из табл. 1 и рис. 1 видно, что этот предел в настоящем исследовании не достигнут.

Испытания валов с напрессованной втулкой на усталость при поперечном изгибе в случае симметричного цикла проводились на машинах УММ-01 ( $D = 25$  мм) и УМП-02 ( $D = 50$  мм)

[15], база испытаний –  $3 \cdot 10^6$  циклов нагружения. Значения пределов выносливости валов  $\sigma_{-1}$  (табл. 2). Можно видеть, что приращение предела выносливости упрочнённых роликом при  $P = 1,0$  кН валов диаметром  $D = 25$  мм из стали 40Х почти в два раза выше, чем валов из стали 20 такого же диаметра, что объясняется большей величиной сжимающих остаточных напряжений и более полным их распределением по толщине упрочнённого поверхностного слоя [12].



**Рис. 1.** Осевые остаточные напряжения  $\sigma_z$  в упрочнённых роликом валах диаметром 25 мм из стали 20 (1, 2) и стали 40Х (3) при:  $P = 0,5$  кН (1) и  $P = 1,0$  кН (2, 3)



**Рис. 2.** Осевые остаточные напряжения  $\sigma_z$  в упрочнённых роликом валах диаметром 50 мм из стали 20 при:  $P = 0,5$  кН (1) и  $P = 1,0$  кН (2)

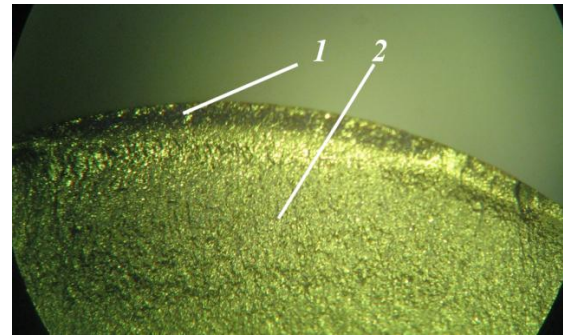
В табл. 2 коэффициент влияния поверхностного упрочнения  $\psi_\sigma$  на предел выносливости по критерию осевых остаточных напряжений на поверхности вала  $\sigma_z^{нов}$  изменяется от 0,111 до 0,350, то есть более чем в три раза. Поэтому

использование критерия  $\sigma_z^{\text{пов}}$  для оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости упрочнённых валов с напрессованной втулкой не представляется возможным.

На примере валов из стали 20 диаметром 25 мм, обкатанных роликом при  $P = 0,5$  кН и  $P = 1,0$  кН, можно проанализировать влияние характера распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя на предел выносливости. При практически одинаковых осевых остаточных напряжениях на поверхности валов ( $\sigma_z^{\text{пов}} = -220$  и  $-210$  МПа) и наибольших напряжениях ( $\sigma_z^{\text{наиб}} = -350$  и  $-360$  МПа) бóльшая глубина залегания сжимающих остаточных напряжений при  $P = 1,0$  кН ( $a = 0,70$  мм), чем при  $P = 0,5$  кН ( $a = 0,52$  мм), приводит к бóльшему увеличению предела выносливости. Приращение предела выносливости поверхностно упрочнённых валов при  $P = 0,5$  кН составляет 50 МПа, а при  $P = 1,0$  кН – 70 МПа, то есть на 40 % выше. Полученные результаты указывают на то, что распределение сжимающих остаточных напряжений в поверхностно упрочнённых деталях должно быть наиболее полным по толщине поверхностного слоя, равной критической глубине  $t_{\text{кр}}$  нераспространяющейся трещины усталости.

Аналогичный вывод следует и из анализа результатов определения остаточных напряжений и испытаний на усталость валов диаметром 50 мм из стали 20 с той лишь разницей, что приращение предела выносливости валов с  $D = 50$  мм меньше, чем валов с  $D = 25$  мм, так как с увеличением диаметра вала увеличивается глубина нераспространяющейся трещины усталости, следствием чего, в соответствии с формулой (3), является уменьшение среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{\text{ост}}$  (табл. 2).

Для определения критической глубины  $t_{\text{кр}}$  нераспространяющейся трещины усталости упрочнённые роликом валы, выстоявшие базу испытаний при напряжении, равном пределу выносливости, доводились до разрушения при бóльшем напряжении. На изломах этих валов были выявлены нераспространяющиеся усталостные трещины, средняя глубина которых приведена в табл. 2. На рис. 3 в качестве примера представлена фотография излома упрочнённого обкаткой роликом при  $P = 1,0$  кН вала диаметром 25 мм из стали 20, на которой видна серповидная нераспространяющаяся усталостная трещина 1.



**Рис. 3.** Фотография излома упрочнённого обкаткой роликом вала диаметром 25 мм из стали 20 после испытаний на усталость:  
1 – нераспространяющаяся трещина;  
2 – зона долома

Необходимо отметить, что полученные в исследовании значения  $t_{\text{кр}}$  зависят только от диаметра  $D$  опасного поперечного сечения вала и незначительно отличаются от величины критической глубины нераспространяющейся трещины усталости, вычисленной по формуле работ [12, 16]

$$t_{\text{кр}} = 0,0216 D. \quad (4)$$

Критерий среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{\text{ост}}$  вычислялся по формуле (3) по толщине упрочнённого поверхностного слоя валов, равной критической глубине  $t_{\text{кр}}$  нераспространяющейся трещины усталости. Значения  $\bar{\sigma}_{\text{ост}}$  приведены в табл. 2. Коэффициент влияния поверхностного упрочнения  $\bar{\psi}_{\sigma}$  на предел выносливости по критерию  $\bar{\sigma}_{\text{ост}}$  определялся по формуле (2) представлен в табл. 2. Анализируя значения коэффициента  $\bar{\psi}_{\sigma}$ , можно видеть, что для упрочнённых роликом валов из стали 40X этот коэффициент меньше, чем для валов из стали 20. Такое различие объясняется бóльшей чувствительностью деталей из стали 40X к концентрации напряжений, чем деталей из стали 20 [17].

В табл. 2 приведены значения эффективного коэффициента концентрации напряжений  $K_{\sigma}$ , определённого для вала с напрессованной втулкой по данным работы [17]. Видно, что для вала из стали 40X коэффициент  $K_{\sigma}$  в 1,7 раза больше, чем для вала из стали 20. В работе [18] на основании многочисленных экспериментов была установлена зависимость между коэффициентом влияния  $\bar{\psi}_{\sigma}$  и эффективным коэффициентом концентрации напряжений  $K_{\sigma}$  в виде

$$\bar{\psi}_{\sigma} = 0,514 - 0,065 K_{\sigma}. \quad (5)$$

Таблица 2

## Результаты определения остаточных напряжений и испытаний на усталость

Материал	D, мм	K <sub>σ</sub>	Неупрочнённые образцы σ <sub>-1</sub> , МПа	Упрочнённые образцы						
				обработка	σ <sub>-1</sub> , МПа	σ <sub>z</sub> <sup>пов</sup> , МПа	Ψ <sub>σ</sub>	t <sub>кр</sub> , мм	σ̄ <sub>ост</sub> , МПа	Ψ̄ <sub>σ</sub>
сталь 20	25	2,33	100	OP1	150	-220	0,227	0,535	-148	0,338
				OP2	170	-210	0,350	0,540	-201	0,348
	50	2,97	87,5	OP1	107,5	-180	0,111	1,02	-64	0,313
				OP2	112,5	-170	0,147	1,14	-82	0,305
40X	25	3,95	162,5	OP2	285	-520	0,235	0,523	-484	0,253

Значения коэффициента  $\bar{\Psi}_\sigma$ , определённые по зависимости (5), составили: для случая вала из стали 20 при  $D=25$  мм –  $\bar{\Psi}_\sigma = 0,362$ , при  $D=50$  мм –  $\bar{\Psi}_\sigma = 0,321$ , для случая вала из стали 40X –  $\bar{\Psi}_\sigma = 0,257$ . Таким образом, коэффициенты  $\bar{\Psi}_\sigma$ , полученные в настоящем исследовании (табл. 2), незначительно отличаются от вычисленных по формуле (5) величин.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На предел выносливости поверхностно упрочнённых деталей существенное влияние оказывает не только величина, но и характер распределения сжимающих остаточных напряжений в их опасном сечении по толщине поверхностного слоя, равной критической глубине  $t_{кр}$  нераспространяющейся трещины усталости. Для получения наибольшего эффекта от поверхностного упрочнения с увеличением размеров поперечного сечения деталей необходимо увеличивать толщину поверхностного слоя со сжимающими остаточными напряжениями.

2. Оценка влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию остаточных напряжений  $\sigma_z^{пов}$  на поверхности валов с напрессованной втулкой приводит к существенному рассеянию коэффициента  $\Psi_\sigma$ , что затрудняет использование критерия  $\sigma_z^{пов}$  на практике.

3. Оценка влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  с учётом эффективного коэффициента концентрации напряжений  $K_\sigma$  даёт приемлемые для практики результаты – коэффициент  $\bar{\Psi}_\sigma$  изменяется в существенно меньших пределах, чем коэффициент  $\Psi_\sigma$ .

4. Для прогнозирования предела выносливости поверхностно упрочнённых валов с напрессованной втулкой необходимо вычислить по формуле (3) критерий среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  по толщине упрочнённого поверхностного слоя вала, равной критической глубине  $t_{кр}$  нераспространяющейся трещины усталости, определяемой зависимостью (4). При этом коэффициент влияния поверхностного упрочнения  $\bar{\Psi}_\sigma$  на предел выносливости по критерию  $\bar{\sigma}_{ост}$  вычисляется по формуле (5) с использованием эффективного коэффициента концентрации напряжений  $K_\sigma$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свешников Д. А., Кудрявцев И. В., Гуляева Н. А. Сопротивление усталости цементированных и цианированных сталей применительно к зубчатым колёсам. М.: ВНИИТМАШ, ОНТИ, 1966. С. 48–55. [[ D. A. Sveshnikov, I. V. Kudryavcev, N. A. Gulyaeva, *Resistance of fatigue cemented and cyanided steel in relation to cogwheels*, (in Russian). Moscow: VNIITMASH, 1966. ]]
2. Кравченко Б. А., Митряев К. Ф. Обработка и выносливость высокопрочных материалов. Куйбышев: Куйбышевское книжное издательство, 1968. 131 с. [[ B. A. Kravchenko, K. F. Mitryaev, *Processing and endurance of high-strength materials*, (in Russian). Kuibyshev: Kuibyshev book publishing house, 1968. ]]
3. Серенсен С. В., Борисов С. П., Бородин Н. А. К вопросу об оценке сопротивления усталости поверхностно упрочнённых образцов с учётом кинетики остаточной напряжённости // Проблемы прочности. 1969. № 2. С. 3–7. [[ S. V. Serensen, S. P. Borisov, N. A. Borodin, "To a question of an assessment of resistance of fatigue of superficially strengthened samples taking into account kinetics of residual intensity," (in Russian), *Problems of strength*, no 2, pp. 3-7, 1969. ]]
4. Туровский М. Л., Шифрин Н. М. Концентрация напряжений в поверхностном слое цементированной стали // Вестник машиностроения. 1970. № 11. С. 37–40. [[ M. L. Turovskiy, N. M. Shifrin, "Stress concentration in the surface layer of cemented steel," (in Russian), *Vestnik of engineering*, no 11, pp. 37-40, 1970. ]]
5. Туровский М. Л. Остаточные напряжения во впадинах зубьев цементованных шестерён // Вестник маши-

ностроения. 1971. № 9. С. 38–40. [[ M. L. Turovskiy, "Residual tension in hollows of teeth of the cemented gear wheels," (in Russian), *Vestnik of engineering*, no. 9, pp. 38-40, 1971. ]]

6. **Митряев К. Ф., Егоров В. И., Мальков Г. Ф., Уланов Б. Н., Степанов В. В.** Повышение усталостной прочности жаропрочных материалов алмазным выглаживанием поверхности деталей // Остаточные напряжения. Куйбышев: КуАИ, 1971. Вып. 53. С. 150–159. [[ K. F. Mitryaev, V. I. Egorov, G. F. Malkov, B. N. Ulanov, V. V. Stepanov, "Increase of fatigue durability of heat resisting materials diamond burnishing of a surface of details," (in Russian), in *Residual stresses*, Kuibyshev: KuAI, 1971. ]]

7. **Иванов С. И., Павлов В. Ф.** Влияние остаточных напряжений и наклёпа на усталостную прочность // Проблемы прочности. 1976. № 5. С. 25–27. [[ S. I. Ivanov, V. F. Pavlov, "Influence of residual tension and peening on fatigue durability," (in Russian), *Problems of strength*, no. 5, pp. 25-27, 1976. ]]

8. **Иванов С. И., Павлов В. Ф., Прохоров А. А.** Влияние остаточных напряжений на сопротивление усталости при кручении в условиях концентрации напряжений // Проблемы прочности. 1988. № 5. С. 31–33. [[ S. I. Ivanov, V. F. Pavlov, A. A. Prokhorov, "Influence of residual tension on fatigue resistance at torsion in the conditions of concentration of tension," (in Russian), *Problems of strength*, no. 5, pp. 31-33, 1988. ]]

9. **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, "About connection of residual tension and a limit of endurance at a bend in the conditions of concentration of tension," (in Russian), *Izvestiya vuzov, Mechanical engineering*, no. 8, pp. 29-32, 1986. ]]

10. **Павлов В. Ф., Прохоров А. А.** Связь остаточных напряжений и предела выносливости при кручении в условиях концентрации напряжений // Проблемы прочности. 1991. № 5. С. 43–46. [[ V. F. Pavlov, A. A. Prokhorov, "Connection of residual tension and limit of endurance at torsion in the conditions of concentration of tension," (in Russian), *Problems of strength*, no. 5, pp. 43-46, 1991. ]]

11. **Радченко В. П., Афанасьева О. С.** Методика расчёта предела выносливости упрочнённых цилиндрических образцов с концентраторами напряжений при температурных выдержках в условиях ползучести // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки. 2009. № 2 (19). С. 264–268. [[ V. P. Radchenko, O. S. Afanasieva, "Method of calculating the endurance limit of hardened cylindrical samples with stress concentrators at temperature exposures under creep," (in Russian), *Vestnik SamGTU. Ser.: Sci. Science*, no. 2 (19), pp. 264-268, 2009. ]]

12. **Павлов В. Ф., Кирпичёв В. А., Вакулюк В. С.** Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2012. 125 с. [[ V. F. Pavlov, V. A. Kirpichev, V. S. Vakulyuk. *Prediction of the fatigue resistance of the surface hardened parts by residual stresses*, (in Russian). Samara: Publisher SNC RAN, 2012. ]]

13. **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, "Definition of the residual stresses in the cylinder by rings and strips," (in Russian), in *Residual stresses*. Kuibyshev: KuAI (Kuibyshev Aviation Institute), publication 53, pp. 32-42, 1971. ]]

14. **Радченко В. П., Павлов В. Ф.** Наибольшая величина сжимающих остаточных напряжений при поверхностном упрочнении деталей // Прочность материалов и элементов конструкций: труды МНТК. Киев: ИПП им. Г. С. Писаренко

НАНУ, 2011. С. 354–357. [[ V. P. Radchenko, V. F. Pavlov, "The highest value of compressive residual stresses in surface hardening of parts," (in Russian), in *Proc. of the IRTC "Strength of Materials and Structural Elements"*. Kiev: Institute for Problems of Strength name of G. S. Pisarenko NASU, 2011, pp. 354-357. ]]

15. **Филатов Э. Я., Павловский В. Э.** Универсальный комплекс машин для испытания материалов и конструкций на усталость. Киев: Наукова думка, 1985. 92 с. [[ E. Ya. Filatov, V. E. Pavlovskiy. *A universal complex of machines for test of materials and designs for fatigue*, (in Russian). Kiev: Naukova Dumka, 1985. ]]

16. **Павлов В. Ф.** Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали // Известия вузов. Машиностроение. 1988. № 8. С. 22–26. [[ V. F. Pavlov, "Influence on a limit of endurance of size and distribution of residual tension in a detail blanket with the concentrator. Message I. Solid details," (in Russian), *News of higher education institutions. Mechanical engineering*, no. 8, pp. 22-26, 1988. ]]

17. **Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М.** Несущая способность и расчёт деталей машин на прочность. М.: Машиностроение, 1975. 488 с. [[ S. V. Serensen, V. P. Kogayev, R. M. Shneyderovich. *The bearing ability and calculation of details of machines on durability*, (in Russian). Moscow: Mechanical engineering, 1975. ]]

18. **Кирпичёв В. А., Филатов А. П., Каранаева О. В., Чирков А. В., Семёнова О. Ю.** Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений // Прочность материалов и элементов конструкций: труды МНТК. Киев: ИПП им. Г. С. Писаренко НАНУ, 2011. С. 678–685. [[ V. A. Kirpichyov, A. P. Filatov, O. V. Karanaeva, A. V. Chirkov, O. Yu. Semyonova, "Forecasting of a limit of endurance of superficially strengthened details at various degree of concentration of tension," (in Russian), in *Proc. of the IRTC "Durability of Materials and Elements of Designs"*, Kiev: Institute for Problems of Strength name of G. S. Pisarenko NASU, 2011, pp. 678-685. ]]

#### ОБ АВТОРАХ

**ПАВЛОВ Валентин Федорович**, проф. каф. сопротивления материалов. Дипл. инж.-мех. (Куйбышевск. авиац. ин-т (КуАИ), 1967). Д-р техн. наук (КуАИ, 1988). Иссл. в обл. механики остаточных напряжений.

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

**КАРАНАЕВА Оксана Валериевна**, доц. каф. сопротивления материалов. Дипл. инж.-технолог (СГАУ, 2002). Канд. техн. наук (СГАУ, 2006). Иссл. в обл. механики остаточных напряжений.

**БУКАТЫЙ Алексей Станиславович**, ст. преп. каф. компьютерно-интегрированной технологии машиностроения. Дипл. инж. (Рыбинск. гос. авиац. техн. ун-т, 2007). Канд. техн. наук (СГАУ, 2009). Докторант каф. сопр. мат. (СГАУ). Иссл. в обл. обеспечения выносливости и геометрической точности деталей машин.

**КОСТИЧЕВ Владислав Эдуардович**, инж.-технолог. Дипл. инж.-технолог (ЯГТУ, 2013). Асп. каф. сопротивления материалов (СГАУ). Иссл. в обл. обеспечения выносливости и геометрической точности деталей машин.

## METADATA

**Title:** Prediction of the fatigue limit of surface hardened shafts with pressed sleeve on residual stresses.

**Authors:** V. F. Pavlov<sup>1</sup>, V. P. Sazanov<sup>2</sup>, O. V. Karanaeva<sup>3</sup>, A. S. Bukaty<sup>4</sup>, V. E. Kostichev<sup>5</sup>.

**Affiliation:**

<sup>1-3</sup>Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University) (SSAU), Russia,

<sup>4</sup>Yaroslavl State Technical University (YAGTU), Russia,

<sup>5</sup>JSC "Autodiesel" (Yaroslavl Motor Works (JMZ), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>sopromat@ssau.ru, <sup>2</sup>sazanov@mail.ru, <sup>3</sup>karanaeva@mail.ru, <sup>4</sup>bukaty@inbox.ru, <sup>5</sup>thourvald@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 19, no. 1 (67), pp. 79-84, 2015. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The influence of the burnishing by roller on the endurance limit in bending the shaft diameter of 25 mm and 50 mm made of steel 20 and 25 mm diameter steel 40X with pressed-on sleeve. Assessing the impact of burnishing on the endurance limit of the roller on the criteria of residual stresses on the surface and the mean integral residual stresses showed that for the prediction of the fatigue limit increment hardened shafts with pressed sleeve should use the criterion of mean integral residual stresses.

**Key words:** burnishing by roller; pressed-on sleeve; the endurance limit; the measure of mean integral residual stresses.

**About authors:**

**PAVLOV, Valentin Fedorovich**, Professor of materials resistance, SSAU. Mechanical engineer certificate of degree (Kuibyshev Aviation Institute, 1967). Doctor of Technical Sciences (Kuibyshev Aviation Institute, 1988).

**SAZANOV, Vyacheslav Petrovich**, Associate professor of Strength of Materials Department, SSAU. Mechanical engineer certificate of degree (Kuibyshev Aviation Institute, 1978). Candidate of Technical Sciences (SSAU, 2010).

**KARANAeva, Oksana Valerievna**, Associate professor of Strength of Materials Department, SSAU. Technologist engineer certificate of degree (SSAU, 2002). Candidate of Technical Sciences (SSAU, 2006).

**BUKATY, Alexey Stanislavovich**, a head teacher in the chair of "Computer-Integrated Manufacturing Engineering" (YAGTU). Engineer certificate of degree (Rybinsk State Aviation Technical University, 2007). Doctoral student in the strength of materials (SSAU).

**KOSTICHEV, Vladislav Eduardovich**, process engineer of JSC "Avtodiesel" (Yaroslavl motor plant). Process engineer certificate of degree (YaGTU, 2013). Graduate student of chair of strength of materials (SSAU).