

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Бабенко М.Г., Слесарев С.В. Влияние технологических факторов ультразвуковой стабилизации колец подшипников на стабильность их геометрических параметров // Вестник ПНИПУ. Машиностроение. Материаловедение. – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 40–45. DOI: 10.15593/2224-9877/2022.2.05

Please cite this article in English as:

Babenko M.G., Slesarev S.V. Influence of technological factors of ultrasonic stabilization of bearing rings on the stability of their geometric parameters. *Bulletin of PNRPU. Mechanical engineering, materials science*. 2022, vol. 24, no. 2, pp. 40-45. DOI: 10.15593/2224-9877/2022.2.05

---

**ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение**  
**Т. 24, № 2, 2022**  
**Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science**  
<http://vestnik.pstu.ru/mm/about/inf/>

---

Научная статья

DOI: 10.15593/2224-9877/2022.2.05

УКД 621.822

**М.Г. Бабенко<sup>1</sup>, С.В. Слесарев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

<sup>2</sup>Саратовский государственный медицинский университет имени  
В.И. Разумовского, Саратов, Россия

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ  
СТАБИЛИЗАЦИИ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ НА СТАБИЛЬНОСТЬ  
ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

Рассматриваются основные факторы, приводящие к снижению точности деталей. Увеличение отклонений их формы, вызываемое релаксацией напряжений, неизбежно приводит к снижению надежности и уменьшению срока службы машин, снижению их эксплуатационных свойств. Особенно остро задача стабилизации геометрических параметров стоит перед производством прецизионных подшипников качения классов точности 6 и выше, которые широко используются в различных машинах и агрегатах. Даже незначительное изменение размеров в течение определенного интервала времени приводит к резкой потере точности этих подшипников.

Анализ напряженного состояния деталей типа «кольцо подшипника» показывает, что если их поперечное и продольное сечение симметричны относительно главных центральных осей этих сечений, то отклонения геометрической формы колец с течением времени не возникает. В реальных условиях изготовления колец их поперечное и продольное сечение не являются симметричными относительно главных центральных осей этих сечений. Так как скорость релаксации зависит от уровня напряжений, то релаксация происходит, прежде всего, на тех участках кольца, где действуют максимальные напряжения.

Объектом исследований в данной работе являются кольца подшипникового узла ремennого натяжного устройства автомобиля (натяжных роликов) типов 2108-1006120-01, 2112-1006120-01. Контроль исследуемых параметров деталей проводился с применением следующего оборудования, а именно: дифрактометр MAP 3, координатно-измерительная машина FARO ARG EDGE.

Представлены теоретические и экспериментальные зависимости величин деформации колец подшипников и остаточных напряжений в зависимости от времени ультразвуковой стабилизации внутренних напряжений и необходимого времени ультразвуковой обработки от требуемых значений величин деформации и остаточных напряжений колец подшипников.

**Ключевые слова:** подшипник, остаточные напряжения, релаксация, овальность, параметры, контроль, среднее квадратичное отклонение, поле рассеяния, математическое ожидание, дисперсия, ультразвук.

M.G. Babenko<sup>1</sup>, S.V. Slesarev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation

<sup>2</sup>Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation

## INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS OF ULTRASONIC STABILIZATION OF BEARING RINGS ON THE STABILITY OF THEIR GEOMETRIC PARAMETERS

The article considers the main factors leading to a decrease in the accuracy of parts. An increase in deviations of their shape, caused by stress relaxation, inevitably leads to a decrease in reliability and a decrease in the service life of machines, and a decrease in their operational properties.

The task of stabilizing geometrical parameters is especially acute for the production of precision rolling bearings of accuracy classes 6 and higher, which are widely used in various machines and assemblies. Even a slight change in dimensions during a certain period of time leads to a sharp loss in the accuracy of these bearings.

An analysis of the stress state of parts such as a bearing ring shows that if their transverse and longitudinal sections are symmetrical about the main central axes of these sections, then there is no deviation in the geometric shape of the rings over time. In real conditions of manufacturing rings, their transverse and longitudinal sections are not symmetrical with respect to the main central axes of these sections. Since the relaxation rate depends on the level of stresses, relaxation occurs primarily in those parts of the ring where the maximum stresses act.

The object of research in this work are the rings of the bearing unit of the belt tensioner of the car (tension rollers) of the following types 2108-1006120-01, 2112-1006120-01. The control of the studied parameters of the parts was carried out using the following equipment, namely: a MAR 3 diffractometer, a FARO ARG EDGE coordinate measuring machine.

Theoretical and experimental dependences of bearing rings deformations and residual stresses depending on the time of ultrasonic stabilization of internal stresses and the required time of ultrasonic treatment on the required values of deformations and residual stresses of bearing rings are presented.

**Keywords:** bearing, residual stresses, relaxation, ovality, parameters, control, standard deviation, stray field, mathematical expectation, dispersion, ultrasound.

Одной из главных в современном машиностроении является проблема повышения надежности и долговечности машин и механизмов. Особенно остро проблема стабилизации точности стоит перед производством подшипников качения и других подобных изделий, которые широко используются в различных машинах и агрегатах. Требования к точности машин непрерывно возрастают. На современном этапе развития машиностроения одной из важнейших задач является разработка более эффективных технологических процессов изготовления деталей, обеспечивающих не только достижение высокой точности при минимуме затрат при изготовлении, но и сохранение первоначальных показателей точности в течение всего срока службы изделия [1].

Одним из основных факторов, приводящих к снижению первоначальной точности деталей, является релаксация остаточных напряжений [2–10]. Увеличение отклонений формы деталей, вызываемое релаксацией напряжений, неизбежно приводит к снижению надежности и уменьшению срока службы машин, снижению их эксплуатационных свойств [3; 11–15]. В связи с этим осуществляется и развернутое изучение основных закономерностей процесса формирования остаточных напряжений, и влияние на него параметров обработки [3; 11].

Для оценки влияния технологических факторов ультразвуковой стабилизации колец подшипников на стабильность их геометрических параметров были построены теоретические зависимости, которые позволяют определить степень влияния технологических параметров операции

ультразвуковой релаксации статочных напряжений через жидкую среду, возникающих в процессе механической обработки на стабильность геометрических показателей [2; 16–23].

На (рис. 1, 2) представлены теоретические и экспериментальные зависимости величин деформации колец подшипников и остаточных напряжений в зависимости от времени ультразвуковой стабилизации внутренних напряжений и необходимого времени ультразвуковой обработки от требуемых значений величин деформации и остаточных напряжений колец подшипников.

Представлена зависимость величины деформации колец подшипника ( $u$ ) от времени ультразвуковой стабилизации внутренних напряжений (рис. 1, а, б, в) при различных значениях остаточных напряжений колец. Как видим из экспериментальных данных и теоретических расчетов, эта зависимость является логарифмической функцией.

На (рис. 2) представлена теоретическая и экспериментальная зависимость необходимого времени ультразвуковой стабилизации от величины требуемого изменения остаточных напряжений колец подшипников, имеющих различную исходную величину деформации. Представленные зависимости имеют линейный характер, это позволяет сделать вывод о том, что обработка кольца, имеющего первоначальную деформацию  $u = 0,014$  мм, в течение 3 с позволяет снизить величину остаточных напряжений  $\sigma = 0,5$  до 0,2, для такого же уменьшения остаточных напряжений кольцо, имеющее  $u = 0,009$  мм, необходимо обрабатывать в течении 10 с, а кольцо подшипника, у которого деформация  $u = 0,005$  мм, для дос-

тижения такого же результата необходимо обрабатывать в течение 35 с. Таким образом, ультразвуковая обработка колец в течение 35 с позволяет получать кольца с весьма незначительной величиной остаточных напряжений  $\sigma = 0,2$ , независимо от исходной величины деформации кольца  $u$ .

Теоретический анализ напряженного состояния деталей типа «кольцо подшипника» показывает, что если их поперечное и продольное сечение, а также эпюры остаточных напряжений симметричны относительно главных централь-

ных осей этих сечений, то отклонения геометрической формы колец с течением времени не возникает. В реальных условиях изготовления колец их поперечное и продольное сечение, а также эпюры остаточных напряжений не являются симметричными относительно главных центральных осей этих сечений. Так как скорость релаксации зависит от уровня напряжений, то в этом случае релаксация начинается, прежде всего, на тех участках кольца, где действуют максимальные напряжения.

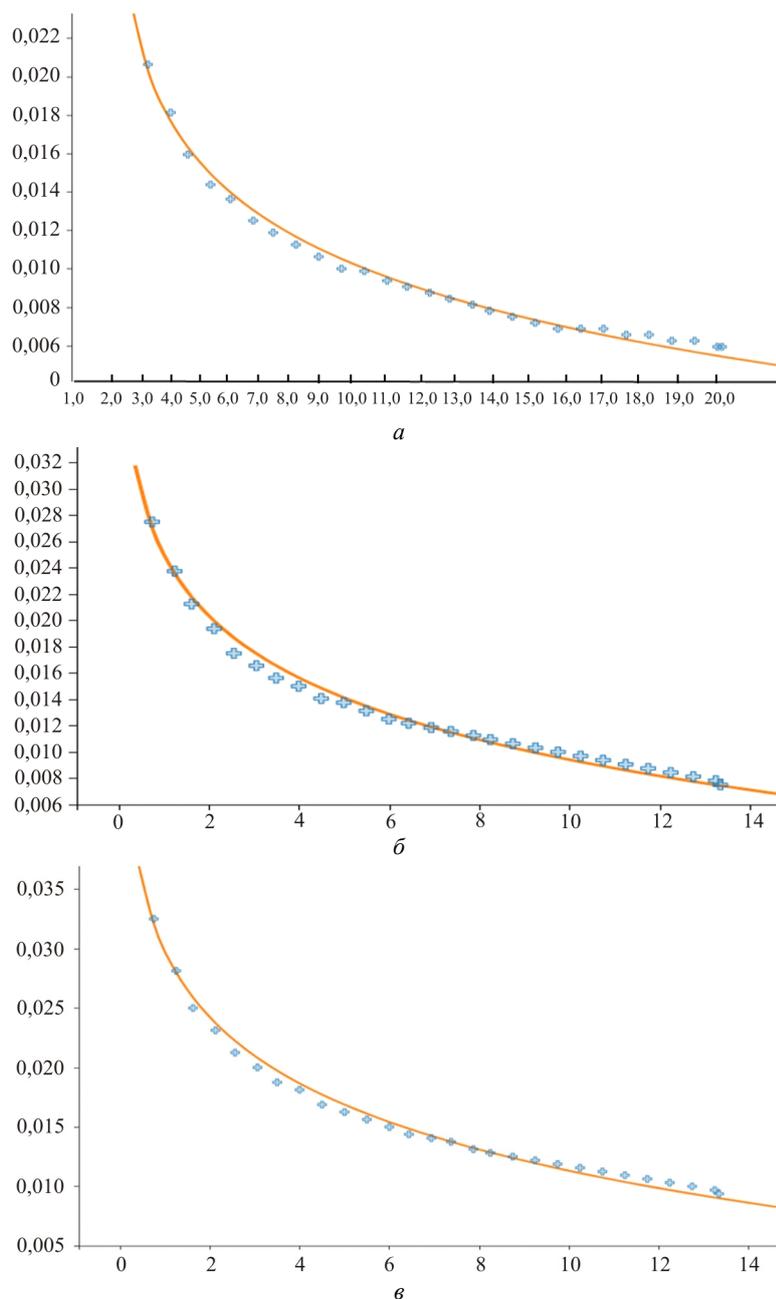


Рис. 1. Зависимость  $u = f(t)$  (величины деформации колец от времени ультразвуковой стабилизации внутренних напряжений):  $\blacklozenge$  – экспериментальная зависимость; — теоретическая зависимость):  $a - u = 0,014$ ;  $б - u = 0,005$ ;  $в - u = 0,009$

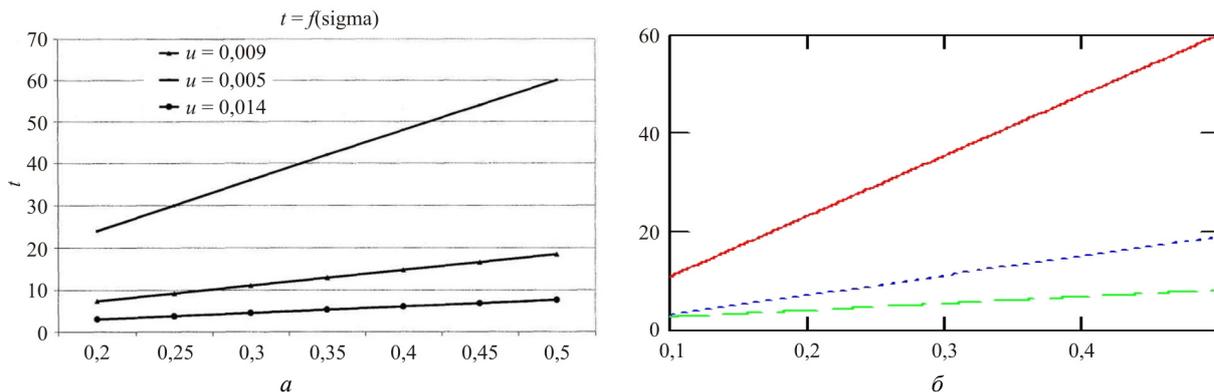


Рис. 2. Зависимость необходимого времени ультразвуковой стабилизации от величины требуемого изменения остаточных напряжений колец:  $a$  – экспериментальная зависимость;  $b$  – теоретическая зависимость

В результате релаксация напряжений по всему объему кольца протекает с разной интенсивностью, что приводит к нарушению равновесия поля остаточных напряжений и возникновению на разных участках кольца различных по величине неуравновешенных внутренних силовых факторов (сил и моментов), вызывающих отклонение геометрической формы колец. При прочих равных условиях величина отклонений геометрической формы колец будет тем больше, чем больше разница величин неравномерных сил и моментов, возникающих на разных участках кольца.

### Библиографический список

1. Слесарев С.В. Совершенствование технологии стабилизации остаточных напряжений в прецизионных деталях типа колец подшипников на основе применения ультразвуковой энергии: автореф. дис. ... кан. тех. наук. – Саратов, 2006. – 16 с.
2. Бабенко М.Г., Слесарев С.В. Стабилизация геометрических характеристик деталей точного машиностроения // Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы – перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов: сборник научных статей II Международной молодежной научно-технической конференции: в 2 т. – Саратов, 2016. – С. 29–32.
3. Королев А.В., Бабенко М.Г., Слесарев С.В. Ультразвуковое снятие остаточных напряжений с использованием эффекта кавитации // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 4, № 1 (42). – С. 52–56.
4. Болкунов В.В., Слесарев С.В. Релаксация остаточных напряжений в деталях машин энергией ультразвуковых колебаний сквозь жидкую среду // Наука, образование, производство / под общ. ред. М.Г. Шалыгина. – 2014. – С. 19–24.
5. Анализ способов определения и устранения остаточных напряжений в трубных заготовках / С.П. Буркин [и др.] // Достижения в теории и практике трубного производства. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2004. – С. 87–97.
6. Дроздов В.М., Казанцев А.С. Оценка механических методов определения остаточных напряжений // Новые методы испытания и обработки материалов. – Минск: Наука и техника, 1975. – С. 23–29.
7. Поздеев А.А., Няшин Ю.И., Трусов П.В. Остаточные напряжения: теория и положения. – М.: Наука, 1982. – 112 с.
8. Радченко В.П., Саушкин М.Н. Расчет релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочненном слое цилиндрического изделия в условиях ползучести // Вести. Сам. гос. техн. ун-та. Серия: Физ.-мат. науки. – Самара: СамГТУ, 2001. – № 12. – С. 61–73.
9. Давиденков Н.Н. К вопросу о классификации и проявлении остаточных напряжений // Заводская лаборатория. – 1959. – № 3. – С. 318–319.
10. Буркин С.П., Шимов Г.В. Экспресс-анализ остаточных напряжений в трубах. – 2012. – № 5. – С. 72–75.
11. А.с. СССР 1052550. МП1КС21D1/30B23P25/00. Способ снятия остаточных напряжений в металлических деталях / Полнов В.Г., Могильнер М.Н., Сагалевиц В.М. № 3427966; заяв. 23.04.1982; опубл. 07.11.1983.
12. Королев Р.Д., Слесарев С.В. К вопросу определения поверхностных остаточных напряжений в материалах измерением твердости // Юность и знания – гарантия успеха: сборник научных трудов международной научно-технической конференции / отв. ред. М.С. Разумов. – 2014. – С. 176–177.
13. Королев А.В., Балаев А.Ф., Яковичин А.С. Технология снятия остаточных напряжений при многоцикловогой обкатке колец подшипников // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2017. – № 1 (67). – С. 22–26.
14. The mechanism study for changing the precision parts dimensional accuracy such as bearing rings / M.G. Babenko, E.M. Samoiloova, S.V. Slesarev, L.G. Bokova, V.O. Gorbachev // Journal of Physics: Conference Series link is disabled. – 2021. – Vol. 1889(5). – P. 052025.
15. Бабенко М.Г., Слесарев С.В. Обработка хрупких материалов с применением ультразвуковой технологии // Качество в производственных и социально-экономических системах: сборник научных трудов 6-й Международной научно-технической конференции: в 2 т. / отв. ред. Е.В. Павлов. – 2018. – С. 51–55.
16. Бабенко М.Г., Слесарев С.В., Бабенко А.И. Измерение остаточных напряжений в материале техниче-

ских объектов методом зондирующего отверстия // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 2, № 2 (56). – С. 21–23.

17. Чернышев Г.Н., Попов А.Л., Козинцев В.М. Полезные и опасные остаточные напряжения // Природа. – 2002. – № 10.

18. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: Маш-гиз, 1963. – 232 с.

19. Controlling the periodicity of grinding wheel dressing with the application of expert decision support system / E.M. Samoylova, M.Yu. Zakharchenko, M.V. Vinogradov, M.G. Babenko, A.A. Ignatiev, S.V. Slesarev, V.A. Melentiev, L.G. Bokova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – 2020. – P. 32071.

20. Бабенко М.Г., Мелентьев В.А., Слесарев С.В. Применение методов автоматизации контроля изделий машиностроения // Перспективы развития технологической обработки и оборудования в машиностроении: сборник научных статей 5-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / под ред. А.А. Горохова. – 2020. – С. 36–39.

21. Бабенко М.Г., Слесарев С.В. К вопросу релаксации остаточных напряжений в тонкостенных деталях // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2021. – Т. 23, № 1. – С. 20–28.

22. Ферзуллаев Ф.М., Бабенко М.Г. Технологические методы стабилизации точности деталей машин // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сборник научных трудов 14-й Международной научно-практической конференции / Юго-Западный государственный университет. – 2019. – С. 200–204.

23. Папашев Д.А., Слесарев С.В. Акустический метод контроля механических напряжений в прецизионных деталях // Актуальные вопросы науки и техники. Студенческая международная научно-практическая конференция / под ред. А.А. Платонова, О.А. Калачевой, С.А. Прищеповой. – 2014. – С. 82–83.

## References

1. Slesarev S.V. Sovershenstvovanie tekhnologii stabilizatsii ostatochnykh napriazhenii v pretsizionnykh detaliakh tipa kolets podshipnikov na osnove primeneniia ul'trazvukovoi energii [Improving the Technology of Stabilizing Residual Stresses in Precision Parts such as Bearing Rings Based on the Application of Ultrasonic Energy]. PhD theses. Saratov, 2006, 16 p.

2. Babenko M.G., Slesarev S.V. Stabilizatsiia geometricheskikh kharakteristik detalei tochnogo mashinostroeniia [Stabilization of geometric characteristics of precision engineering parts]. *Metallobrabatyvaiushchie komplekсы i robototekhnicheskie sistemy – perspektivnye napravleniia nauchno-issledovatel'skoi deiatel'nosti molodykh uchennykh i spetsialistov: sbornik nauchnykh statei II Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*: v 2 t. Saratov, 2016, pp. 29–32.

3. Korolev A.V., Babenko M.G., Slesarev S.V. Ul'trazvukovoe sniatie ostatochnykh napriazhenii s ispol'zovaniem effekta kavitatsii [Ultrasonic removal of residual stresses using the cavitation effect]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 4, no. 1 (42), pp. 52–56.

4. Bolkunov V.V., Slesarev S.V. Relaksatsiia ostatochnykh napriazhenii v detaliakh mashin energiei ul'trazvukovykh kolebani skvoz' zhidkuiu sredu [Relaxation of residual stresses in machine parts by the energy of ultrasonic vibrations through a liquid medium]. *Nauka, obrazovanie, proizvodstvo*. Ed. M.G. Shalygina, 2014, p. 19–24.

5. S.P. Burkin et al. Analiz sposobov opredeleniia i ustraneniia ostatochnykh napriazhenii v trubnykh zagotovkakh [Analysis of methods for determining and eliminating residual stresses in pipe billets]. *Dostizheniia v teorii i praktike trubnogo proizvodstva*. Ekaterinburg: UGTU-UIPI, 2004, pp. 87–97.

6. Drozdov V.M., Kazantsev A.S. Otsenka mekhanicheskikh metodov opredeleniia ostatochnykh napriazhenii [Evaluation of mechanical methods for determining residual stresses]. *Novye metody ispytaniia i obrabotki materialov*. Minsk: Nauka i tekhnika, 1975, pp. 23–29.

7. Pozdeev A.A., Niashin Iu.I., Trusov P.V. Ostatochnye napriazheniia: teoriia i polozeniia [Residual Stresses: Theory and Provisions]. Moscow: Nauka, 1982, 112 p.

8. Radchenko V.P., Saushkin M.N. Raschet relaksatsii ostatochnykh napriazhenii v poverkhnostno uprochnennom sloe tsilindricheskogo izdeliia v usloviakh polzuchesti [Calculation of residual stress relaxation in the surface-hardened layer of a cylindrical article under creep conditions]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhn. universiteta. Seriia: Fiziko-matematicheskie nauki*. Samara: SamGTU, 2001, no. 12, pp. 61–73.

9. Davidenkov N.N. K voprosu o klassifikatsii i proiavlennii ostatochnykh napriazhenii [On the classification and manifestation of residual stresses]. *Zavodskaiia laboratoria*, 1959, no. 3, pp. 318–319.

10. Burkin S.P., Shimov G.V. Ekspres-analiz ostatochnykh napriazhenii v trubakh [Express analysis of residual stresses in pipes], 2012, no. 5, pp. 72–75.

11. Polnov V.G., Mogil'nsr M.N., Sagalevich V.M. Sposob sniatii ostatochnykh napriazhenii v metallicheskikh detaliakh [Method for relieving residual stresses in metal parts]. Patent A.s. CCCPSU no. 1052550 (1983).

12. Korolev R.D., Slesarev S.V. K voprosu opredeleniia poverkhnostnykh ostatochnykh napriazhenii v materialakh izmereniem tverdosti [On the Determination of Surface Residual Stresses in Materials by Hardness Measurement]. *Iunost' i znaniia – garantiia uspekha: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*, 2014, pp. 176–177.

13. Korolev A.V., Balaev A.F., Iakovishin A.S. Tekhnologiia sniatii ostatochnykh napriazhenii pri mnogotsiklovoi obkatke kolets podshipnikov [Residual stress relief technology for multi-cycle running in of bearing rings]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroeni*, 2017, no. 1 (67), pp. 22–26.

14. Babenko M.G., Samoiloa E.M., Slesarev S.V., Bokova L.G., Gorbachev V.O. The mechanism study for changing the precision parts dimensional accuracy such as

bearing rings. *Journal of Physics: Conference Series* this link is disabled, 2021, vol. 1889(5), p. 052025.

15. Babenko M.G., Slesarev S.V. Obrabotka khrupkikh materialov s primeneniem ul'trazvukovoi tekhnologii [Processing of brittle materials using ultrasonic technology]. *Kachestvo v proizvodstvennykh i sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh: sbornik nauchnykh trudov 6-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*, 2018, pp. 51–55.

16. Babenko M.G., Slesarev S.V., Babenko A.I. Izmerenie ostatochnykh napriazhenii v materiale tekhnicheskikh ob'ektov metodom zondiruiushchego otverstia [Measurement of residual stresses in the material of technical objects by the probing hole method]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 2, no. 2 (56), pp. 21–23.

17. Chernyshev G.N., Popov A.L., Kozintsev V.M. Poleznye i opasnye ostatochnye napriazheniia [Useful and dangerous residual stresses]. *Priroda*, 2002, no. 10.

18. Birger I.A. Ostatochnye napriazheniia [Residual stresses]. Moscow: Mashgiz, 1963, 232 p.

19. Samoylova E.M., Zakharchenko M.Yu., Vinogradov M.V., Babenko M.G., Ignatiev A.A., Slesarev S.V., Melentiev V.A., Bokova L.G. Controlling the periodicity of grinding wheel dressing with the application of expert decision support system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations*, 2020, p. 32071.

20. Babenko M.G., Melent'ev V.A., Slesarev S.V. Primenenie metodov avtomatizatsii kontrolya izdelii mashinostroeniia [Application of methods of automation of control of engineering products]. *Perspektivy razvitiia tekhnologii obrabotki i oborudovaniia v mashinostroenii: sbornik nauchnykh statei 5-i Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, 2020, pp. 36–39.

21. Babenko M.G., Slesarev S.V. K voprosu relaksatsii ostatochnykh napriazhenii v tonkostennykh detaliakh [To the question of residual stress relaxation in thin-walled parts]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2021, vol. 23, no. 1, pp. 20–28.

22. Ferzullaev F.M., Babenko M.G. Tekhnologicheskie metody stabilizatsii tochnosti detalei mashin [Technological methods for stabilizing the accuracy of machine parts]. *Sovremennye instrumental'nye sistemy, informatsionnye tekhnologii i innovatsii: sbornik nauchnykh trudov 14-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Iugo-Zapadnyi gosudarstvennyi universitet*, 2019, pp. 200–204.

23. Papishev D.A., Slesarev S.V. Akusticheskii metod kontrolya mekhanicheskikh napriazhenii v pretsizionnykh detaliakh [Acoustic method of mechanical stress control in precision parts]. *Aktual'nye voprosy nauki i tekhniki. Studencheskaia mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia*, 2014, pp. 82–83.

Поступила: 03.03.2022

Одобрена: 12.05.2022

Принята к публикации: 27.05.2022

### Об авторах

**Бабенко Марина Геннадьевна** (Саратов, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и систем управления Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. (Россия, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: babenkomg@mail.ru).

**Слесарев Сергей Валентинович** (Саратов, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры педагогики, образовательных технологий и профессиональной коммуникации Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского (Россия, 410012, г. Саратов, ул. Большая Казачья, 112, e-mail: ser-slesarev@yandex.ru).

### About the authors

**Marina G. Babenko** (Saratov, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Ass. Professor, Department of Technology and Control Systems of Yuri Gagarin State technical university of Saratov (77, Polytechnicheskaya st., Saratov, 410054, Russian Federation, e-mail: babenkomg@mail.ru).

**Sergey V. Slesarev** (Saratov, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Ass. Professor, Department of pedagogy, education technology and professional communication of the Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky (112, Bolshaya Kazachia st., Saratov, 410012, Russian Federation, e-mail: ser-slesarev@yandex.ru).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад всех авторов** равноценен.