

УДК 621.787.4
DOI:10.30987/2223-4608-2020-12-7-12

С.А. Зайдес, д.т.н.,
Фам Ван Ан, аспирант
(Иркутский национальный исследовательский технический университет
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83)
E-mail: zsa@istu.edu; vananhtdh0202@gmail.com

Оценка отклонения от круглости цилиндрических деталей при орбитальном выглаживании

Приведены результаты исследований влияния основных параметров орбитального выглаживания на отклонение от круглости упрочненных цилиндрических поверхностей. Установлено, что после орбитального выглаживания отклонение от круглости снижается в 2 – 3 раза, что оказывает положительное влияние на повышение точности формы упрочненных деталей.

Ключевые слова: отклонение от круглости; упрочняющая обработка; орбитальное выглаживание; деформирующий инструмент; режимы упрочнения.

S.A. Zaides, Dr. Sc. Tech.,
Fam Van An, Post graduate student
(Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov Str., Irkutsk, 664074)

Assessment of roundedness deviation in cylindrical parts at orbital smoothing

The investigation results of orbital smoothing basic parameter impact upon deviations from roundness in strengthened cylindrical surfaces are shown. It is defined that after orbital smoothing a deviation from roundness decreases by two to three times, which has a positive impact upon shape precision increase in strengthened parts.

Keywords: deviation from roundness; strengthening; orbital smoothing; deforming tool; strengthening modes.

Введение

Качество деталей машин оценивается геометрическими характеристиками поверхности и физико-механическими свойствами поверхностного слоя [1 – 5]. В понятие геометрических характеристик точности изделий входят: размерная точность, точность формы, точность взаимного расположения поверхностей, шероховатость, волнистость и др. [3, 6].

Точность формы для цилиндрических деталей – это отклонения от цилиндричности, ососности, перпендикулярности. На машиностроительных предприятиях также контролируют отклонение от круглости, радиальное и торцовое биения, точность профиля продольного сечения [6].

Важной характеристикой цилиндрических деталей является отклонение от круглости в поперечном сечении, частной формой такого

отклонения является овальность и огранка [2, 7]. Геометрическое несовершенство в виде отклонения от круглости оказывает существенное влияние на качество машиностроительных изделий.

В гладких цилиндрических упругих сопряжениях с натягом неровности поверхности влияют на прочность соединения неразъемных соединений и затрудняют сборку-разборку сборочных единиц типа «вал – втулка» [2].

Первостепенное влияние отклонение от круглости оказывает на износостойкость цилиндрических деталей [5, 8, 9]. Интенсивность изнашивания зависит от величины фактического контакта и напряженного состояния изнашиваемого тела, которые в большой степени зависят от размеров и формы неровностей.

Отклонение от круглости оказывает непосредственное влияние и на выносливость деталей машин, так как концентрация напряже-

ний в свою очередь зависит от глубины рисок и радиуса их закруглений во впадинах [2].

Коррозия металлов и особенно коррозионное растрескивание тоже в немалой степени зависят от величины некруглости поперечного сечения деталей [4, 7, 10]. Если в разъемных соединениях получается зазор, то неровности поверхности оказывают влияние на точность центрирования. Степень вибрации оборудования и уровень шума от производственного оборудования также зависят от некруглости отдельных деталей машин [2].

Отклонение от круглости детали имеет наследственные связи и на заключительных этапах механической обработки его можно как снизить, так и наоборот увеличить.

Для повышения качества поверхностного слоя деталей машин на практике достаточно широко применяют отделочно-упрочняющие методы обработки, основанные на поверхностном пластическом деформировании (ППД), которые оказывают непосредственное влияние и на характеристики точности деталей [11 – 15]. Поэтому при выборе технологического процесса ППД или разработке нового способа упрочнения необходимо иметь информацию об отклонении от круглости деталей при окончательной механической обработке.

В Иркутском национальном исследовательском техническом университете разработан новый способ ППД, основанный на орбитальном движении рабочего инструмента [16]. Эффективность нового процесса доказана в работе [15] при нагружении плоской поверхности деформирующим инструментом с орбитальным движением.

Предлагаемая технология отделочно-упрочняющей обработки орбитальным выглаживанием является новым процессом поверхностного пластического деформирования, поэтому в настоящее время отсутствует информация о влиянии параметров деформирования на геометрические изменения, которая имеет важное значение для внедрения этого вида обработки в технологию изготовления деталей машин.

Целью работы является исследование влияния основных параметров орбитального выглаживания на отклонение от круглости упрочненных цилиндрических поверхностей.

Методика выполнения экспериментов

На рис. 1 представлена схема процесса орбитального выглаживания цилиндрических

поверхностей, который осуществляется за счет вращения деформирующего инструмента относительно оси, перпендикулярной оси заготовки. При этом траектория вращения осевой линии деформирующего инструмента образует в пространстве коническую поверхность с углом при вершине 2α . В качестве деформирующего инструмента используют индентор, имеющий стержневую форму со сферическим наконечником с радиусом $R_{и}$. Деформирующий инструмент (рабочий инструмент) прижимается к вращающейся обрабатываемой заготовке и перемещается в осевом направлении по направлению подачи s .

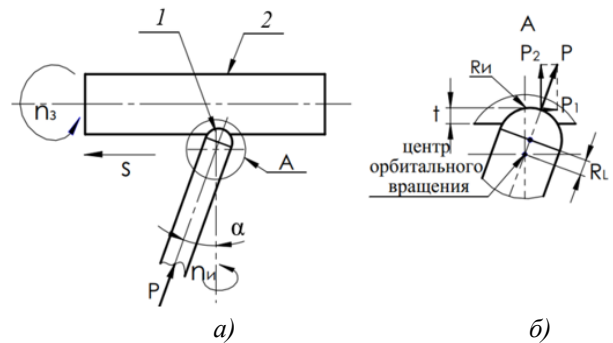


Рис. 1. Схема процесса орбитального выглаживания (а) и вид рабочей зоны инструмента (б):
1 – рабочий инструмент; 2 – обрабатываемая заготовка

Отклонение от круглости – это геометрическая величина, численно равная наибольшему расстоянию от точек реального профиля до прилегающей окружности. На рис. 2 отклонение от круглости обозначено как $\Delta_{кр}$. Прилегающая окружность – окружность минимального диаметра, описанная вокруг реального профиля наружной поверхности вращения, или окружность максимального диаметра, вписанная в реальный профиль внутренней поверхности вращения. Из схемы на рис. 2 следует, что для определения величины $\Delta_{кр}$ необходимо провести множество замеров по контуру поперечного сечения детали, чтобы установить наибольшую величину отклонения от круглости.

Для экспериментального определения влияния основных параметров орбитального выглаживания на отклонение от круглости упрочненных поверхностей изготовили цилиндрические образцы из стали 45 диаметром 26 мм (рис. 3). Образцы были разделены канавками на шесть участков, каждый из которых упрочнен с использованием разных параметров рабочего инструмента и режимов упрочнения.

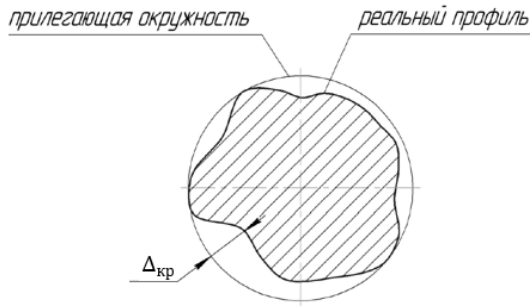


Рис. 2. Отклонение от круглости цилиндрической поверхности

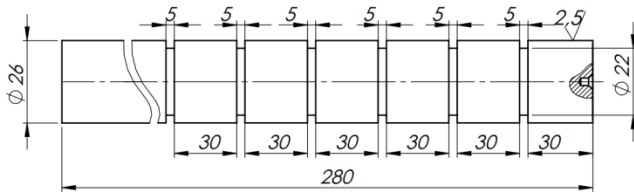


Рис. 3. Экспериментальный образец для оценки качества поверхности

Экспериментальные исследования проведены на токарном станке 1К62 с помощью устройства для создания орбитального движения рабочему инструменту (рис. 4). В качестве технологической смазки использовано масло И-40А.

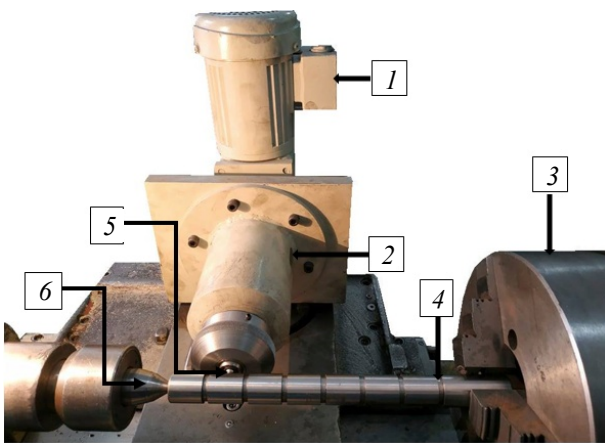


Рис. 4. Устройство для орбитального выглаживания цилиндрических деталей:

1 – мотор-редуктор; 2 – корпус для закрепления деформирующего инструмента; 3 – трехкулачковый патрон; 4 – обрабатываемая заготовка; 5 – деформирующий инструмент; 6 – задний центр

В качестве базовых параметров рабочего инструмента и режимов упрочнения приняты: угол наклона рабочего инструмента $\alpha = 5^\circ$; частота вращения заготовки $n_3 = 100$ мм/об; $R_{и} = 4$ мм; радиус орбитального вращения

$R_L = 1$ мм; частота вращения рабочего инструмента $n_{и} = 60$ об/мин; величина натяга $t = 0,075$ мм; частота вращения рабочего инструмента $s = 0,11$ мм/об.

Измерение отклонения от круглости поперечного сечения образцов проводили электроконтактным способом с помощью портальной координатно-измерительной машины (КИМ) Carl Zeiss Contura G2 Aktiv (рис. 5, а). Работа КИМ основана на поочередном измерении координат определенного числа точек поверхности объекта измерения и последующих расчетах линейных и угловых размеров, отклонений размера, формы и расположения в соответствующих системах координат. Активная сканирующая измерительная головка VAST XT позволяет производить проверку формы с максимальной скоростью при высоком качестве результатов измерения. Погрешность измерения при касании – 1,8 мкм; при касании во время сканирования – 2,5 мкм. Диапазон измерения по осям X, Y, Z – 700×700×600 мм.

Для цилиндрических образцов оптимальной траекторией движения измерительной головки является окружность, показанная на рис. 5, б. Измерение с точностью 1,0 мкм было выполнено в 375 точках по каждому поперечному сечению.

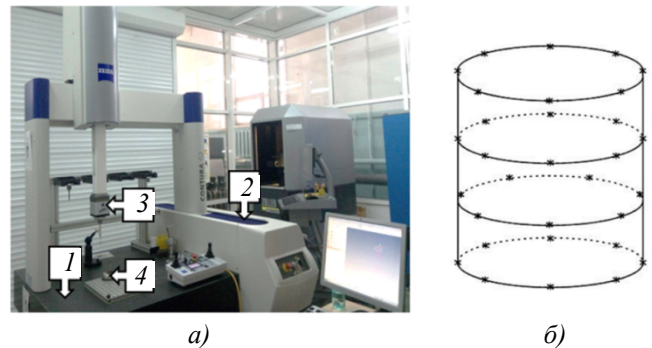


Рис. 5. Общий вид портальной координатно-измерительной машины (КИМ) CONTURA G2 (а) и траектория движения измерительной головки (б): 1 – стол; 2 – блок управления; 3 – измерительная головка; 4 – образец

Результаты экспериментальных исследований

Результаты измерения представлены в виде профилограмм поперечных сечений и значений отклонения от круглости. На рис. 6 показаны профилограммы поперечного сечения цилиндра до и после обработки орбитальным выглаживанием. Даже визуально можно наблюдать улучшение круглости детали после упрочнения.

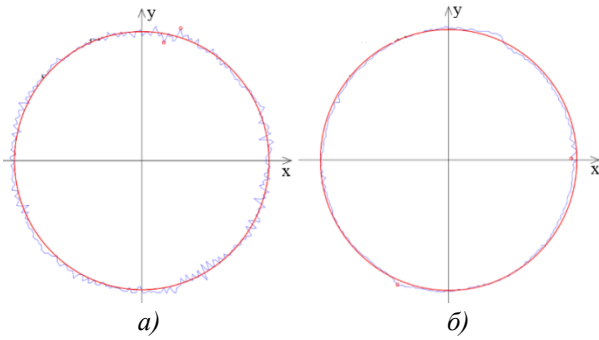


Рис. 6. Профилограммы поперечных сечений:

a – до упрочнения; *b* – после орбитального выглаживания

Результаты экспериментального измерения показывают, что после орбитального выглаживания отклонение от круглости снижается, что свидетельствует о повышении точности формы упрочненных деталей. На рис. 6 исходное отклонение от круглости партии деталей составило 18,2 мкм, а наибольшее отклонение от круглости после орбитального выглаживания – 7,7 мкм.

При упрочнении цилиндрических деталей орбитальным выглаживанием, основными параметрами, влияющими на отклонение от круглости поверхностного слоя, являются продольная подача, величина натяга, частота вращения заготовки и рабочего инструмента, угол наклона рабочего инструмента, радиус орбитального вращения.

Влияние величины подачи рабочего инструмента на отклонение от круглости поверхностного слоя представлено на рис. 7.

Результаты опытов показывают, что отклонение от круглости поверхности после орбитального выглаживания уменьшается на 20 % при снижении продольной подачи рабочего инструмента от 0,23 до 0,07 мм/об. При повышении величины подачи степень пластического воздействия на материал снижается, что отрицательно сказывается на форме поперечного сечения.

Существует оптимальный диапазон величины натяга ($t = 0,05 \dots 0,1$ мм), при котором обеспечивается минимальное отклонения от круглости. При большой величине натяга ($t \geq 0,2$ мм) происходит не только значительный рост отклонения от круглости, но и повреждение поверхности образца в результате перенаклепа.

Влияние частоты вращения заготовки (n_3) и рабочего инструмента ($n_и$) на отклонение от круглости поверхности представлено на рис. 8.

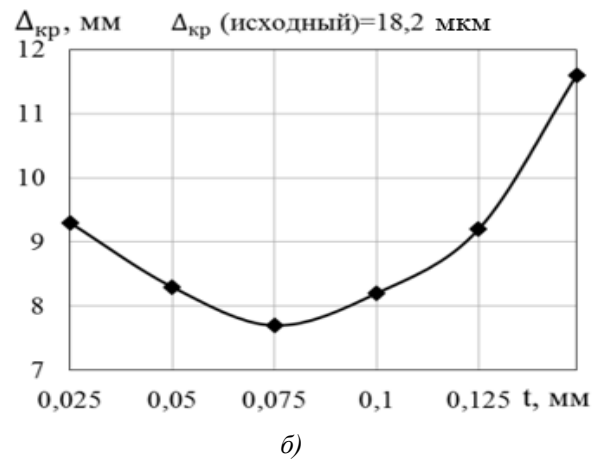
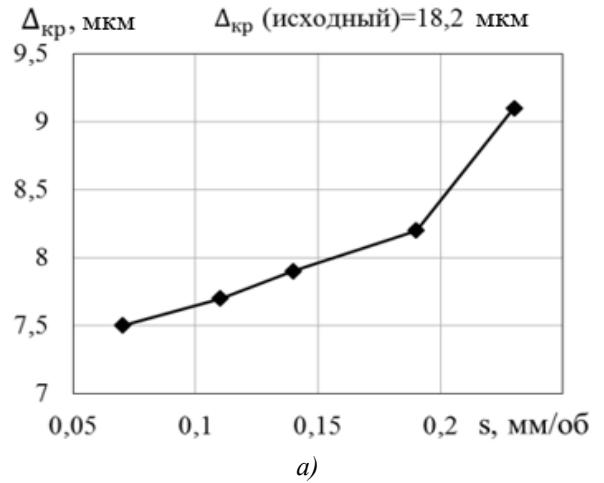


Рис. 7. Влияние продольной подачи (*a*) и величины натяга (*b*) на отклонение от круглости

Анализ кривых зависимостей (см. рис. 8) показывает, что с увеличением частоты вращения заготовки отклонение от круглости повышается. Достаточно низкое отклонение от круглости получено при невысокой частоте вращения заготовки. Влияние частоты вращения рабочего инструмента – обратное. При увеличении частоты вращения заготовки от 50 до 250 об/мин, отклонение от круглости повышается на 90 %, а при увеличении частоты вращения рабочего инструмента от 20 до 100 об/мин, $\Delta_{кр}$ уменьшается на 20 %.

Влияние угла наклона рабочего инструмента (α) и радиуса орбитального вращения (R_L) на отклонение от круглости поверхности представлено на рис. 9.

С увеличением угла наклона рабочего инструмента и радиуса орбитального вращения отклонения от круглости повышаются, но степень этого повышения разная. Так, при увеличении угла α от 3-х до 7-ми градусов отклонение от круглости повышается на 15 %, а при увеличении радиуса орбитального вращения от 0,5 до 2,5 мм, $\Delta_{кр}$ повышается на 25 %.

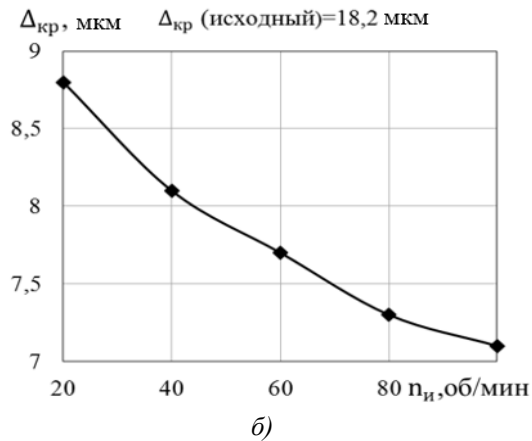
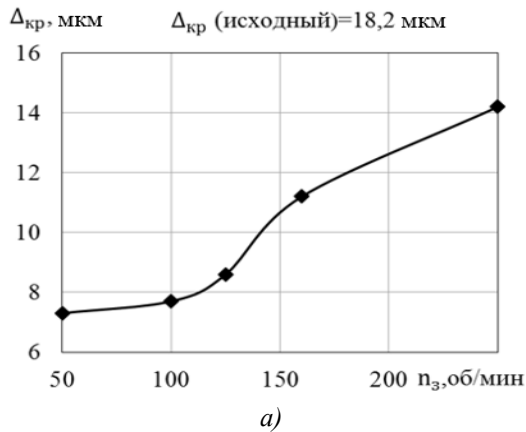


Рис. 8. Влияние частоты вращения заготовки (а) и рабочего инструмента (б) на отклонение от круглости

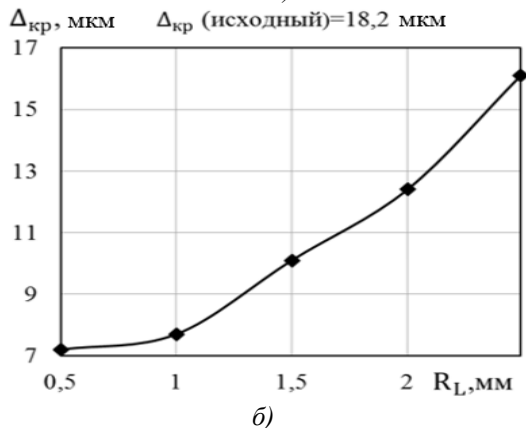
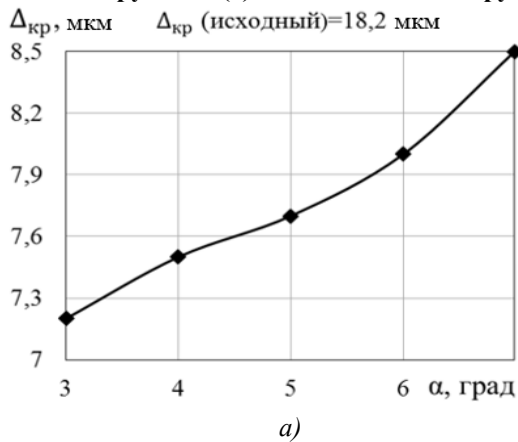


Рис. 9. Влияние угла наклона рабочего инструмента α и радиуса орбитального вращения R_L на отклонение от круглости

Таким образом, установлено влияние основных параметров и режимов орбитального выглаживания на отклонение от круглости поперечных сечений цилиндрических деталей.

Выводы

1. Отклонение от круглости поверхности после орбитального выглаживания уменьшается на 20 % при снижении продольной подачи рабочего инструмента от 0,23 до 0,07 мм/об. Существует оптимальный диапазон величины натяга (в данном случае $t = 0,05 \dots 0,1$ мм), при котором обеспечивается минимальное отклонение от круглости.

2. Достаточно низкое отклонение от круглости получено при невысокой частоте вращения заготовки. При увеличении частоты вращения заготовки от 50 до 250 об/мин, отклонение от круглости повышается на 90 %, а при увеличении частоты вращения рабочего инструмента от 20 до 100 об/мин, $\Delta_{кр}$ уменьшается на 20 %.

3. С увеличением угла наклона рабочего инструмента и радиуса орбитального вращения отклонение от круглости повышается, что свидетельствует о снижении точности формы упрочненных деталей. При увеличении угла α от 3 до 7° отклонение от круглости повышается на 15 %, а при увеличении радиуса орбитального вращения от 0,5 до 2,5 мм, $\Delta_{кр}$ повышается на 25 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Папшев, Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1987. – 152 с.
2. Дунин-Барковский, И.В., Карташова, А.Н. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 232 с.
3. Инженерия поверхности деталей / Кол. авт.; под ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
4. Сулов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
5. Сулов, А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
6. Справочник технолога / под общ. ред. Сулова А.Г. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
7. Демкин, Н.Б., Рыжов, Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.
8. Демкин, Н.Б. Контактное шлифование шероховатых поверхностей. – М.: Наука, 1970. – 228 с.

9. Рахимьянов, Х.М., Семенова, Ю.С. Технологическое обеспечение геометрических параметров качества поверхности при ультразвуковом пластическом деформировании // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2012. – № 3 (56). – С. 33-36.

10. Горленко, О.А. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных показателей деталей машин // *Трение и износ*. – 1997. – Т. 18. – № 3. – С. 361-368.

11. Лебедев, В.А. Эффективные технологии поверхностного пластического деформирования и комбинированной обработки / под ред. А.В. Киричека. – М.: Издательский дом «Спектр», 2014. – 403 с.

12. Зайде, С.А. Новые способы поверхностного пластического деформирования при изготовлении деталей машин // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2018. – Т.16. – № 3. – С. 129-139.

13. Зайдес, С.А., Нго Као Кыонг. Поверхностное деформирование в стесненных условиях: монография. – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2018. – 236 с.

14. **Технология** и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник: в 2-х т. Т.1 / под общ. ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2014. – 480 с.

15. Зайдес, С.А., Бобровский, И.Н., Фам Ван Ань. Влияние кинематики локального деформирования на напряженное состояние поверхностного слоя // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2019. – №5 (95). – С. 32-38.

16. Пат. РФ № 2705043 Устройство для поверхностного пластического деформирования / Зайдес С.А., Фам Ван Ань; заявл.....; опубл. 01. 10. 2019.

REFERENCES

1. Papshev, D.D. *Finish Strengthening with Surface Plastic Deformation*. – М.: Mechanical Engineering, 1987. pp. 152.

2. Dunin-Barkovsky, I.V., Kartashova, A.N. *Measurement and Analysis of Roughness, Rippling and Non-Roundness of Surface*. – М.: Mechanical Engineering, 1978. – pp. 232.

3. *Parts Surface Engineering*/ authors' group; under the editorship of A.G. Suslov. – М.: Mechanical Engineering, 2008. – pp. 320.

4. Suslov, A.G. *Surface Layer Quality in Machinery*. – М.: Mechanical Engineering, 2000. – pp. 320.

5. Suslov, A.G. *Parameter State Technological Support of Parts Surface Layer*. – М.: Mechanical Engineering, 1987. – pp. 208.

6. *Technologist's Reference Book* / under the general editorship of Suslov A.G. – М.: *Innovation Mechanical Engineering*, 2019. – pp. 800.

7. Dyomkin, N.B., Ryzhov, E.V. *Surface Quality and Machinery Contact*. – М.: Mechanical Engineering, 1981. – pp. 244.

8. Dyomkin, N.B. *Rough Surfaces Contacting*. – М.: Science, 1970. – pp. 228.

9. Rakhimyanov, H.M., Semyonova, Yu.S. Technological support of surface quality geometrical parameters at ultrasonic plastic deformation // *Metal Processing (technology, equipment, tools)*. – 2012. – No.3(56). – pp. 33-36.

10. Gorlenko, O.A. Technological support and operation index increase in machinery // *Friction and Wear*. – 1997. – Vol.18. – No.3. – pp. 361-368.

11. Lebedev, V.A. *Efficient Technologies of Surface Plastic Deformation and Combined Processing*/ under the editorship of A.V. Kirichek. – М.: “Spectrum” Publishers, 2014. – pp. 403.

12. Zaides, S.A. New methods for surface plastic deformation at machinery manufacturing // *Bulletin of Nosov State Technical University of Magnitogorsk*. – 2018. – Vol.16. – No.3. – pp. 129-139.

13. Zaides, S.A., Ngo Kao Kyong. *Surface Deformation under Narrow Conditions*: monograph. – Irkutsk: IRRITU Publishers, 2018. – pp. 236.

14. *Technology and Tools for Parts Finish-Strengthening with Surface Plastic Deformation*: reference book: in 2 Vol., Vol.1 / under the general editorship of A.G. Suslov. – М.: Mechanical Engineering, 2014. – pp. 480.

15. Zaides, S.A., Bobrovsky, I.N., Fam Van An. Local deformation kinematics impact upon stress state of surface layer // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2019. – No.5(95). – pp. 32-38.

16. Pat. the RF No.2705043 Device for Surface Plastic Deformation / Zaides S.A., Fam Van An; applied: ...; published: 01.10.2019.

Рецензент д.т.н. В.П. Кольцов