

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ТОЧЕНИИ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

В.М. Ярославцев
Н.А. Ярославцева

mt13@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Приведено новое технологическое решение проблемы интенсификации чистовой и тонкой обработки при точении с опережающим пластическим деформированием. Экспериментально подтверждено, что использование упрочняющего устройства с возможностью одновременного контакта по двум поверхностям заготовки — поверхности резания и обработанной поверхности — позволяет на сравнительно больших подачах (до 0,53 мм/об) обеспечить шероховатость, достижимую в условиях тонкой и чистовой обработки обычного резания при подачах ~0,06 мм/об. Показано, что энергетическая общность и хорошая совместимость по физико-химическому механизму воздействия на материал обработки резанием и методов поверхностного пластического деформирования является базой для создания технологий с комплексом высоких технико-экономических показателей по производительности, периоду стойкости режущего инструмента, качеству поверхностного слоя, в частности шероховатости и благоприятным остаточным напряжениям

Ключевые слова

Высокоэффективные технологии, резание с опережающим пластическим деформированием, деформационное упрочнение, роликовое накатное устройство, обрабатываемость резанием, технологические показатели

Поступила в редакцию 08.02.2017
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Метод резания с опережающим пластическим деформированием (ОПД) предназначен для улучшения обрабатываемости резанием конструкционных материалов разных групп и относится к комбинированным методам обработки [1, 2]. Он основан на целенаправленном изменении физико-механических свойств материала заготовки путем его пластического деформирования, осуществляемого в процессе резания дополнительным механическим источником энергии [3]. В качестве таких энергетических источников применяют различные методы поверхностного пластического деформирования: накатывание роликами, выглаживание, ультразвуковое упрочнение, центробежную обработку, чеканку, хорошо совместимые по физико-химическому механизму воздействия на материал с обработкой резанием [4–6]. Резание с ОПД при рациональном выборе режимных параметров обработки и соответствующем конструктивном исполнении деформирующих устройств может обеспечивать при изготовлении деталей машин и их восстановлении такие техно-

логические эффекты, как увеличение производительности и точности обработки, повышение периода стойкости режущего инструмента, улучшение качества поверхностного слоя детали и микрогеометрии поверхности, дробление сливной стружки [1, 3, 6–14 и др.].

В настоящей работе рассмотрена высокоэффективная технология чистовой обработки точением с ОПД, позволяющая значительно повысить производительность и одновременно достичь высоких показателей качества обработанной поверхности. Такой технологический результат был получен вследствие использования упрочняющего инструмента специального конструктивного исполнения [1, 15], дающего возможность осуществлять его контактирование одновременно с двумя поверхностями заготовки: поверхностью резания и обработанной поверхностью, совмещая таким образом на длине прохода получение эффекта по технико-экономическим показателям от двух разнородных по своему технологическому назначению методов обработки: резания с ОПД и поверхностного пластического деформирования.

На рис. 1 приведена схема обработки точением, в которой используется упрочняющее устройство с накатным роликом, имеющим две рабочие поверхности. Одна из них воздействует на поверхность резания 4, обеспечивая уменьшение напряженности процесса резания, а другая — на обработанную поверхность заготовки 3, снижая тем самым шероховатость поверхности, увеличивая ее твердость и способствуя формированию в поверхностном слое благоприятных сжимающих остаточных напряжений. Дополнительную рабочую поверхность ролика выполняют либо с линейной образующей (рис. 1, а), либо с профильным радиусом R_r (рис. 1, б).

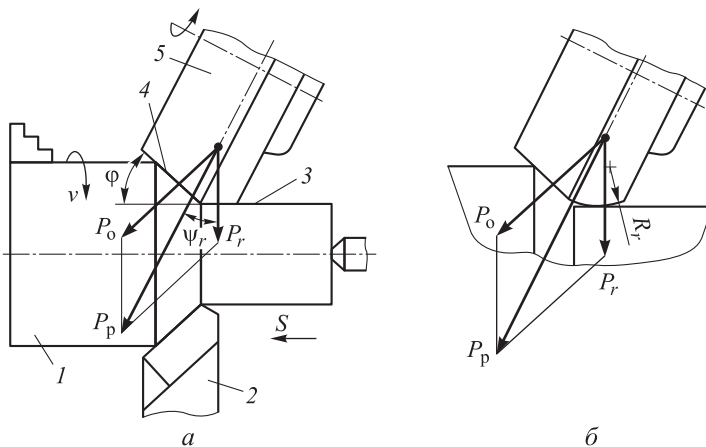


Рис. 1. Схема обработки при упрочнении роликом с двумя рабочими поверхностями: 1 — заготовка; 2 — резец; 3 — обработанная поверхность; 4 — поверхность резания; 5 — накатной ролик; дополнительная поверхность ролика с линейной образующей (а), с профильным радиусом (б); P_p — результирующая нагрузка ОПД на заготовку; P_o — нагрузка ОПД на поверхность резания; P_r — радиальная составляющая нагрузки ОПД, действующая на обработанную поверхность

Наибольшая эффективность от воздействия ролика с двумя рабочими поверхностями будет достигаться при усилиях P_o и P_r , когда P_o обеспечивает максимальный период стойкости инструмента (производительность процесса резания), а P_r — необходимое упрочнение или снижение шероховатости обработанной поверхности. Силы P_o и P_r определяются равнодействующей силой P_p давления ролика на заготовку и направлением ее приложения ψ_r . При известных P_o и P_r необходимые значения P_p и ψ_r могут быть найдены по формулам:

$$P_p = \sqrt{P_o^2 + P_r^2 + 2P_oP_r \cos \varphi}; \quad \psi_r = \text{arcctg} [P_r / (P_o \sin \varphi) + \text{ctg} \varphi],$$

где φ — главный угол резца в плане.

Влияние процесса резания с ОПД на микрогеометрию поверхности определяют путем сравнительной оценки параметров шероховатости Ra или Rz поверхностей образцов, полученных с применением четырех различных схем обработки (рис. 2). Экспериментальные исследования проводили на токарно-винторезном станке модели 16К20. Обработывали образцы заготовок диаметром $D_3 = 70$ мм и длиной $L = 500$ мм. Оптимальную нагрузку ОПД на поверхность резания (сила P_o) для различных условий обработки назначали путем определения минимального значения главной составляющей силы резания, при котором проявляется максимальное улучшение обрабатываемости материала [16]. Давление ролика P_r на обработанную поверхность (схемы III и IV) определяли по методике, изложенной в работе [17].

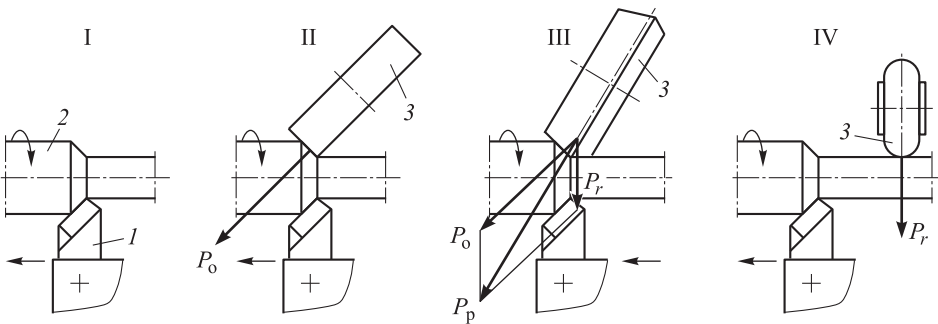


Рис. 2. Схемы обработки образцов для исследования шероховатости поверхности (1 — инструмент; 2 — заготовка; 3 — накатной ролик):

I — обычное точение; II — точение с упрочнением поверхности резания (ОПД); III — точение с упрочнением поверхности резания (ОПД) и обработанной поверхности; IV — точение и последующее упрочнение ППД обработанной поверхности

Результаты исследований показали, что точение с применением ролика с двумя рабочими поверхностями позволяет наряду с улучшением обрабатываемости материала резанием и повышением периода стойкости режущего инструмента снижать шероховатость поверхности на 2–4 класса по сравнению с обычным точением при одинаковых условиях обработки: режимах резания (v , S , t) и геометрических пара-

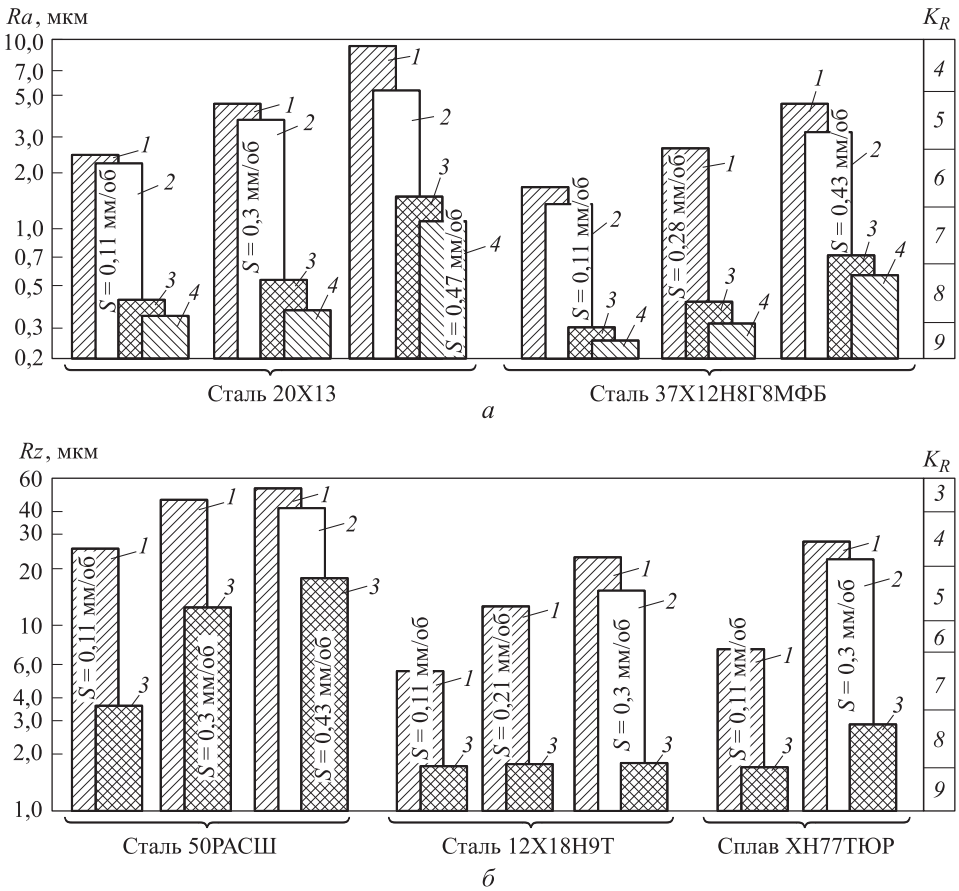


Рис. 3. Влияние обработки резанием с ОПД на R_a , R_z и класс шероховатости K_R обработанной поверхности (точение: 1 — обычное; 2 — ОПД; 3 — ОПД с применением ролика с двумя рабочими поверхностями; 4 — последующее обкатывание роликом):

a — сталь 20X13: резец ВК8 ($\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, $r_b = 1$ мм); $v = 1,47$ м/с, $t = 2,5$ мм, $P_r = 1400$ Н; сталь 37X12H8Г8МФБ: резец ВК6М ($\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, $r_b = 1$ мм); $v = 0,92$ м/с, $t = 1,5$ мм, $P_r = 1600$ Н; *б* — резец P18 ($\gamma = 8^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, $r_b = 0,5$ мм); $t = 2$ мм; сталь 50РАСШ — $v = 0,73$ м/с; сталь 12X18Н9Т — $v = 0,46$ м/с; сплав ХН77ТЮР — $v = 0,18$ м/с

метрах лезвия инструмента (γ , α , φ , φ_1 , r_b) — рис. 3, диаграммы 1 и 3. При этом достигнутые уровни параметра шероховатости практически не отличаются от уровней параметров, полученных при чистовом обкатывании роликом по схеме IV рис. 2 (диаграммы 3 и 4, рис. 3, *a*).

Тенденция к снижению шероховатости наблюдается и при точении с ОПД роликом без дополнительного выглаживания поверхности (схема II, см. рис. 2). В этом случае главной причиной благоприятного действия ОПД является повышение виброустойчивости технологической системы: трущиеся подвижные соединения и элементы привода накатного устройства ОПД поглощают часть энергии колебаний ролика, обусловленных вибрациями заготовки, и действуют на технологическую систему как виброгасители. Это подтверждается экспериментами по

точению жаропрочной стали 37X12H8Г8МФБ ($v = 0,94$ м/с; $S = 0,11$ мм/об; $t = 1,5$ мм). При обтачивании (схема I, см. рис. 2) заготовки с малой жесткостью в поперечном направлении ($D_3 = 18$ мм; $L = 350$ мм) возникают интенсивные вибрации, что приводит к резкому увеличению параметра шероховатости поверхности до $Ra = 6,3$ мкм. Процесс резания с ОПД (схема II; $P_o = 1320$ Н, см. рис. 2) при том же режиме обработки становится более устойчивым и обеспечивает $Ra = 2,5$ мкм, что приближается к шероховатости поверхности при точении с теми же условиями обработки относительно жесткой заготовки: $D_3 = 70$ мм; $L = 500$ мм (диаграмма 2, см. рис. 3, а).

При точении с упрочнением поверхности резания и одновременным деформированием обработанной поверхности (схема III, см. рис. 2) малая шероховатость может обеспечиваться при обработке со сравнительно большими подачами. В качестве примера на рис. 4 приведены зависимости $Ra(S)$, построенные по данным рис. 3, а для условий обычного резания (кривые 1) и обработки с ОПД с применением ролика с двумя рабочими поверхностями (кривые 2).

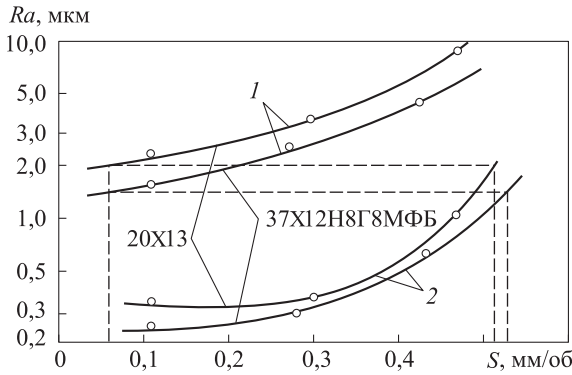


Рис. 4. Влияние подачи S на Ra при обычном точении (1) и точении с ОПД роликом с двумя рабочими поверхностями (2) (условия обработки см. рис. 3)

Видно, что при обычном точении стали 20X13 параметр $Ra = 2$ мкм достигается при $S \approx 0,06$ мм/об, в случае обработки с ОПД — при $S \approx 0,51$ мм/об. Аналогично при точении стали 37X12H8Г8МФБ для реализации параметра $Ra = 1,4$ мкм подача при чистовом и тонком точении благодаря применению метода ОПД может быть увеличена с 0,06 до 0,53 мм/об, т.е. примерно в 8 раз, что обеспечивает соответствующее повышение производительности процесса резания. Необходимо отметить, что увеличенные значения подач при резании с ОПД, на которых получают шероховатость, достижимую в условиях тонкой и чистовой обработки обычного резания, лежат в области рекомендуемых продольных подач чистовой и упрочняющей технологии обкаткой роликами, обеспечивающих максимальный технологический эффект методов поверхностного пластического деформирования [17].

Таким образом, обобщение результатов исследований показывает, что за счет использования специальной конструкции роликового накатного устройства можно значительно расширить технологические возможности метода резания с опережающим пластическим деформированием: наряду с решаемыми традиционными задачами [1, 3, 6–14 и др.] одновременно на длине одного прохода обеспечить упрочняюще-чистовую обработку, которая обычно выполняется как отдельная операция. Это позволяет рассматривать метод ОПД как высокоэффективное средство интенсификации процесса обработки резанием, особенно при окончательной и чистовой обработке, когда для обеспечения заданных требований к шероховатости обработанной поверхности резание осуществляют при малых значениях подач.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ярославцев В.М.* Разработка методологии поиска новых методов обработки и ее практическая реализация // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. 2007. № 2. С. 56–70.
2. *Дальский А.М., Сулов А.Г., Назаров Ю.Ф. и др.* Машиностроение. Энциклопедия. Т. III-3. Технология изготовления деталей машин. М.: Машиностроение. 2000. 840 с.
3. *Ярославцев В.М.* Особенности энергетического воздействия на материал заготовки при резании с опережающим пластическим деформированием // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 3. С. 1–14. DOI: 10.7463/0314.0700481 URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/700481.html>
4. *Ярославцев В.М.* Базовые положения общности технологических методов обработки // Материалы 7-го Всероссийского совещания-семинара «Инженерно-физические проблемы новой техники». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. С. 185–186.
5. *Ярославцев В.М.* Технологический процесс — энергетический преобразователь // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 7. С. 21–32. DOI: 10.7463/0712.0414854 URL: <http://old.technomag.edu.ru/doc/414854.html>
6. *Ярославцев В.М.* Эффективность методов опережающего деформационного упрочнения материала срезаемого слоя при обработке резанием // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2015. № 1. С. 119–127. DOI: 10.18698/0236-3941-2015-1-119-127
7. *Abeyama Shozo, Kumura Atsuyoshi, Nakamura Sadayuki.* Influence of cold working on machinability // Elec. Funace Steel. 1980. Vol. 51. No. 3. P. 188–194.
8. *Ингеманссон А.Р., Зайцева Н.Г., Крайнев Д.В., Бондарев А.А.* Повышение качества обработки и математическая модель формирования шероховатости поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16. № 4. С. 165–170.
9. *Иванов С.И., Филатов А.П.* Остаточные напряжения и сопротивление усталости деталей с резьбой, нарезанной по предварительно упрочненной поверхности // Вестник машиностроения. 1989. № 1. С. 23–24.
10. *Крайнев Д.В., Полянчиков Ю.Н., Бондарев А.А.* Повышение эффективности точения деформируемых сталей и сплавов с опережающим пластическим деформированием. Волгоград, 2015. 160 с.
11. *Щедрин А.В., Поляков А.О., Сергеев Е.С., Зинин М.А.* Влияние предварительного деформирования на параметры режущего прошивания отверстия // Вестник машиностроения. 2015. № 5. С. 51–54.

12. Ярославцев В.М. Технологическое обеспечение качества и надежности деталей машин методами обработки в условиях реновации // Методы менеджмента качества. 1997. № 12. С. 24–28.
13. Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Прогнозирование надежности реновируемых деталей машин на основе анализа структуры технологии восстановления // Методы менеджмента качества. 1999. № 8. С. 52–58.
14. Ярославцев В.М. Дробление стружки при точении с ОПД // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1974. № 2. С. 183–186.
15. Ярославцев В.М. Конструктивные особенности упрочняющих устройств для точения с опережающим пластическим деформированием // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 9. С. 15–29. DOI: 10.7463/0914.0725358. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/725358.html>
16. Ярославцев В.М. Определение оптимальных режимов накатки роликом при точении с опережающим пластическим деформированием // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1980. № 10. С. 124–127.
17. Кудрявцев В.С. Поверхностный наклеп для повышения прочности и долговечности деталей машин. М.: НТО Машпром, 1966. 97 с.

Ярославцев Виктор Михайлович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Ярославцева Нина Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Высокопроизводительная технология чистовой обработки при точении с опережающим пластическим деформированием // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2017. № 4. С. 97–105.
DOI: 10.18698/0236-3941-2017-4-97-105

HIGH-PERFORMANCE FINISHING TECHNOLOGY IN TURNING WITH LEADING PLASTIC DEFORMATION

V.M. Yaroslavtsev
N.A. Yaroslavtseva

mt13@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The purpose of this work is to give a new technological solution to the problem of intensification of finishing and fine machining when turning with leading plastic deformation. We experimentally confirmed that the use of a hardening device with the possibility of simultaneous contact on the two surfaces of the workpiece — cutting surface and machined surface — allows us with relatively high

Keywords

High-performance technology, cutting with leading plastic deformation, strain hardening, roller with two working surfaces, cutting workability, technological parameters

feedrate (up to 0,53 mm/Rev) provide roughness achievable in finishing and fine machining at $S \approx 0,06$ mm/Rev. Findings of the research show that the energy similarity and good compatibility with respect to the physicochemical action mechanism on the machined material by cutting and methods of surface plastic deformation are the basis for creating technologies with a complex of high technical and economic indicators for productivity, the period of cutting tool resistance, the quality of the surface layer, in particular, roughness and favorable residual stresses

REFERENCES

- [1] Yaroslavtsev V.M. Development and practical implementation of methodology of search of new methods of material processing. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostroyeniye*. [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2007, no. 2, pp. 56–70.
- [2] Dal'skiy A.M., Suslov A.G., Nazarov Yu.F. et al. Mashinostroyeniye. Entsiklopediya. T. III-3. Tekhnologiya izgotovleniya detaley mashin [Mechanical engineering encyclopedia. Vol. III-3. Machine parts production technology]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2000. 840 p.
- [3] Yaroslavtsev V.M. Features of energy impact on a billet material when cutting with outstripping plastic deformation. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Publication of BMSTU], 2014, no. 3, pp. 1–14 (in Russ.). DOI: 10.7463/0314.0700481
Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/700481.html>
- [4] Yaroslavtsev V.M. [Fundamental propositions of processing methods similarity]. *Materialy 7-go Vserossiyskogo soveshchaniya-seminara «Inzhenerno-fizicheskie problemy novoy tekhniki»* [Proc. 7th Russ. institute “Engineering and physics problems of new technique”]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2003, pp. 185–186 (in Russ.).
- [5] Yaroslavtsev V.M. Technological process as an energy conversion device. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Publication of BMSTU], 2012, no. 7, pp. 21–32 (in Russ.). DOI: 10.7463/0712.0414854
Available at: <http://old.technomag.edu.ru/doc/414854.html>
- [6] Yaroslavtsev V.M. Effectiveness of methods for leading strain hardening of the material of cut down layer in machining. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostroyeniye*. [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.] 2015, no. 1, pp. 119–127 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3941-2015-1-119-127
- [7] Abeyama Shozo, Kumura Atsuyoshi, Nakamura Sadayuki. Influence of cold Working on Machinability. *Elec. Furnace Steel*, 1980, vol. 51, no. 3, pp. 188–194.
- [8] Ingemansson A.R., Zaytseva N.G., Kraynev D.V., Bondarev A.A. The improvement of machining quality and the mathematical model of the surface roughness formation at turning with advancing plastic deformation. *Vestnik UGATU*, 2012, vol. 16, no. 4, pp. 165–170 (in Russ.).
- [9] Ivanov S.I., Filatov A.P. Residual strength and endurance strength of parts, threaded on prehardened surface. *Vestnik mashinostroyeniya*, 1989, no. 1, pp. 23–24 (in Russ.).

- [10] Kraynev D.V., Polyanchikov Yu.N., Bondarev A.A. Povyshenie effektivnosti tocheniya deformiruemyykh staley i splyavov s operezhayushchim plasticheskim deformirovaniem [Grinding efficiency upgrading of wrought steels and alloys with outstripping plastic deformation]. Volgograd, 2015. 160 s. (in Russ.).
- [11] Shchedrin A.V., Polyakov A.O., Sergeev E.S., Zinin M.A. Influence of predeformation on parameters of cutting broaching. *Vestnik mashinostroeniya*, 2015, no. 5, pp. 51–54 (in Russ.).
- [12] Yaroslavtsev V.M. Quality and machine parts reliability engineering support by processing techniques in conditions of renovation. *Metody menedzhmenta kachestva*, 1997, no. 12, pp. 24–28 (in Russ.).
- [13] Yaroslavtsev V.M., Yaroslavtseva N.A. Prediction of renovated machine parts reliability based on structure analysis of remanufacturing technique. *Metody menedzhmenta kachestva*, 1999, no. 8, pp. 52–58 (in Russ.).
- [14] Yaroslavtsev V.M. Chip control in grinding with outstripping plastic deformation. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie*, 1974, no. 2, pp. 183–186 (in Russ.).
- [15] Yaroslavtsev V.M. Design features of hardening turners with outstripping plastic deformation. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Publication of BMSTU], 2014, no. 9, pp. 15–29 (in Russ.).
DOI: 10.7463/0914.0725358 Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/725358.html>
- [16] Yaroslavtsev V.M. Optimal mode definition of rouletting in process of grinding with outstripping plastic deformation. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie*, 1980, no. 10, pp. 124–127 (in Russ.).
- [17] Kudryavtsev V.S. Poverkhnostnyy naklep dlya povysheniya prochnosti i dolgovechnosti detaley mashin [Surface cold working for hardening and durability raising of machine parts]. Moscow, NTO Mashprom Publ., 1966. 97 p.

Yaroslavtsev V.M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of Material Processing Technologies Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Yaroslavtseva N.A. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor of Material Processing Technologies Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Yaroslavtsev V.M., Yaroslavtseva N.A. High-Performance Finishing Technology in Turning with Leading Plastic Deformation. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinost.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2017, no. 4, pp. 97–105.
DOI: 10.18698/0236-3941-2017-4-97-105