

УДК 621.91.01

DOI 10.18698/0536-1044-2017-8-41-45

Исследование влияния параметров обработки на шероховатость поверхности деталей из закаленной стали 40X при точении режущей керамикой

А.И. Пронин¹, В.В. Мыльников², Е.А. Чернышов³

¹ Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 681013, Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация, пр. Ленина, д. 27

² Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 603950, Нижний Новгород, Российская Федерация, ул. Ильинская, д. 65

³ Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 603022, Нижний Новгород, Российская Федерация, ул. Минина, д. 24

A Study of the Influence of Machining Parameters on the Surface Roughness of the 40Kh Tempered Steel Parts when Turning by Ceramic Cutters

A.I. Pronin¹, V.V. Mylnikov², E.A. Chernyshov³

¹ Komsomolsk-na-Amure State Technical University, 681013, Russian Federation, Komsomolsk-on-Amur, Lenin Ave., Bldg. 27

² Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 603950, Nizhny Novgorod, Ilinskaya St., Bldg. 65

³ Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 603022, Nizhny Novgorod, Minin St., Bldg. 24



e-mail: mdssov@knastu.ru, mrmylnikov@mail.ru, taep@nntu.nnov.ru



Проведено экспериментальное исследование влияния ряда факторов токарной обработки (подачи, скорости, глубины резания и износа режущей пластины по задней поверхности) на формирование шероховатости цилиндрической поверхности образца, изготовленного из стали 40X и закаленного до твердости 40 HRC. Диапазон скоростей и подач для обработки сталей 40X определен с помощью метода математического планирования эксперимента. Обтачивание выполнено на токарно-винторезном станке с ЧПУ 16K20Ф3С32. В качестве рабочего инструмента применены проходные резцы с механическим креплением сменных многогранных пластин. Материал режущей части инструмента — режущая керамика ВОК-60. Влияние износа режущей пластины на результаты минимизировано: при каждом проходе менялась ее режущая грань. Для измерения шероховатости поверхности использован профилометр TP200. Приведены зависимости шероховатости обработанной поверхности при обтачивании от параметров обработки. Представлены выводы и даны рекомендации по повышению производительности обработки.

Ключевые слова: режущая керамика, закаленная сталь, оптимальные режимы резания, твердое точение, скорость резания, сила резания



An experimental study of the influence of various factors of turning (feed, speed, cutting depth and flank wear of the cutter) on the roughness of the cylindrical surface of a sample made of the 40Kh steel tempered to the hardness of 40 HRC was performed. The range of speeds and feeds for machining steel of the 40Kh type was determined using the method of mathematical planning of the experiment. Grinding was performed on a screw-cutting CNC

lathe 16K20F3S32. To conduct the experiments, cut-in incisors with mechanical fastening of replaceable polyhedral plates were used. The VOK-60 cutting ceramic was selected as the material for the cutting part of the tool. The effect of insert wear on the results was minimized by changing the cutting face plate at each pass. Surface roughness was measured with a profilometer TP200. The dependences of the machined surface roughness on the machining parameters were described. The conclusions were presented and recommendations were given on increasing the processing capacity.

Keywords: cutting ceramics, tempered steel, optimum cutting modes, hard turning, cutting speed, cutting force

Среди важнейших задач современного машиностроения особое место занимает повышение эффективности обработки деталей машин. Эта задача включает в себя достижение самой высокой производительности обработки при заданном уровне качества поверхностного слоя деталей. Обеспечение качества обрабатываемой поверхности с максимально возможной производительностью — важнейшее задание, решаемое при проектировании технологических процессов изготовления деталей. Одним из резервов повышения производительности является выбор рациональных параметров процесса резания. В связи с этим становится актуальным исследование по определению параметров оптимальных режимов резания, обеспечивающих максимальную производительность для заданных условий обработки и требований к качеству создаваемых поверхностей [1–12].

В настоящее время проведено много исследований в области повышения качества поверхностей и выявлена тенденция к замене на отделочных операциях шлифования тонким точением [13–14]. Поэтому одним из перспективных путей решения этой задачи является использование высокоскоростной обработки инструментами, оснащенными пластинами из режущей керамики.

Цель работы — экспериментальное исследование влияния ряда факторов токарной обработки на формирование шероховатости цилиндрической поверхности образца, изготовленного из стали 40X по ГОСТ 1050–74 и закаленного до твердости 40 HRC.

Методика проведения исследования. В экспериментах использовали заготовки диаметром 110 мм и длиной 350 мм, выполненные из стали марки 40X (твердостью 40 HRC) и разделенные на участки по 20 мм канавками. Заготовку зажимали в трехкулачковом патроне и поджимали задним центром. Диапазон скоро-

стей и подач для обработки сталей 40X определяли с помощью метода математического планирования эксперимента [15]. Обтачивание осуществляли на токарно-винторезном станке с ЧПУ 16K20Ф3С32.

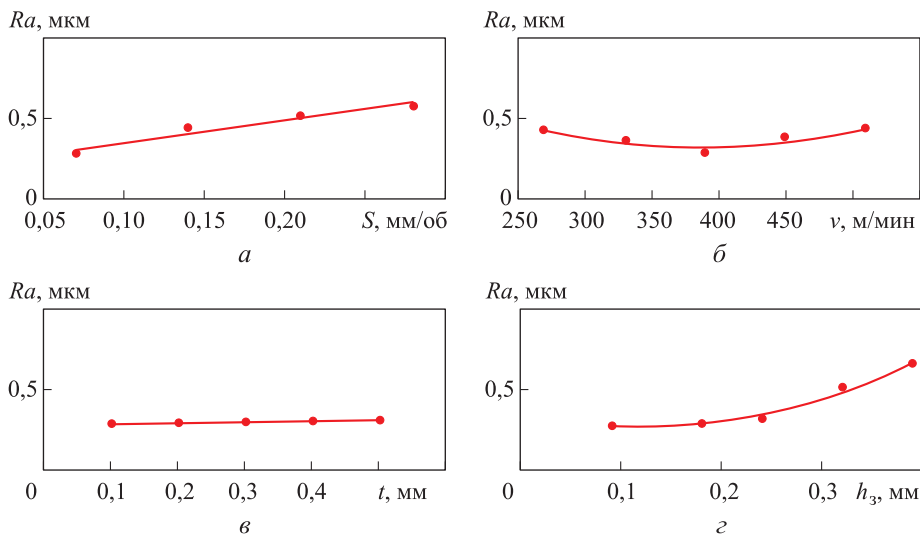
В качестве рабочего инструмента применяли проходные резцы с механическим креплением сменных многогранных пластин. Державки резцов имели сечение 20×20 мм. Геометрические параметры резцов: передний угол $\gamma = -8^\circ$, задний угол $\alpha = 8^\circ$, угол наклона кромки $\lambda = 5^\circ$. Материал режущей части инструмента — режущая керамика ВОК-60 (70 % Al_2O_3 + 30 % TiC). Сменные многогранные пластины ВОК-60 трехгранной формы класса U с длиной режущей кромки $l = 16,5$ мм, толщиной $s = 4,76$ мм, радиусом $r = 0,8$ мм (ГОСТ 25003–81). Резец закрепляли в револьверной головке.

Влияние износа режущей пластины на результаты минимизировано: при каждом проходе менялась режущая грань пластины. Шероховатость поверхности измеряли с помощью профилометра TP200 на базовой длине, равной 0,25 мм, в четырех плоскостях.

Результаты экспериментов и их обсуждение.

Влияние подачи на параметр шероховатости обработанной поверхности Ra показано на рисунке, а, где видно, что рост подачи с 0,08 до 0,24 мм/об вызывает увеличение этого параметра.

Влияние скорости резания на параметр шероховатости обработанной поверхности Ra приведено на рисунке, б. В интервале скоростей резания $v = 260 \dots 390$ м/мин параметр шероховатости Ra падает, а в диапазоне $v = 360 \dots 420$ м/мин он является устойчивым благодаря сокращению составляющих сил резания, стабилизирующих систему механической обработки. Если скорость больше, чем 430 м/мин, то кривые, связанные с шероховатостью, берут формы возрастания вследствие колебаний, вызванных высокими скоростями.



Влияние подачи S (а), скорости резания v (б), глубины резания t (в) и износа режущей пластины по задней поверхности h_3 (г) на параметр шероховатости Ra при заданных режимах резания:
 а — $v = 390$ м/мин, $t = 0,2$ мм; б — $S = 0,07$ мм/об, $t = 0,2$ мм; в — $v = 390$ мм/мин, $S = 0,07$ мм/об;
 г — $v = 390$ мм/мин, $S = 0,07$ мм/об, $t = 0,2$ мм; ● — эксперимент; — — аппроксимация

Влияние глубины резания на параметр шероховатости обработанной поверхности Ra представлено на рисунке, в. Увеличение глубины резания не приводит к какому-либо изменению параметра шероховатости Ra : он остается фактически устойчивым.

Влияние износа режущей пластины по задней поверхности на параметр шероховатости обработанной поверхности Ra показано на рисунке, г. Рост износа инструмента по задней поверхности приводит к повышению параметра шероховатости обработанной поверхности, так как увеличивающаяся поверхность контакта между инструментом и заготовкой вызывает трение. Это ухудшает поверхностное качество и увеличивает силы трения, а следовательно, и составляющие силы резания.

Выводы

1. Подача оказывает существенное влияние на шероховатость обработанной поверхности, так как ее рост приводит к появлению борозды от формы инструмента в результате взаимного движения резца и заготовки. При увеличении подачи борозды становятся более глубокими и широкими, поэтому в процессе резания следует использовать незначительное значение S .

2. Установлено, что существует диапазон скоростей $v = 360 \dots 420$ м/мин для закаленной стали 40Х (твердостью HRC 40), в котором параметр шероховатости Ra принимает минимальное значение. Изменение скорости резания от этого диапазона в меньшую и большую сторону приводит к возрастанию шероховатости.

3. Выявлено, что глубина резания незначительно влияет на шероховатость поверхности, что объясняется увеличением длины контакта между режущей кромкой инструмента и заготовкой, сопровождаемым выделением большого количества тепла, переходящего в стружку, и снижением сил резания из-за пластификации (разупрочнения) поверхностного слоя обрабатываемой заготовки и, как следствие, уменьшением сил резания в зоне обработки. Это улучшает условия отвода большого количества тепла.

4. Полученные зависимости позволяют рекомендовать для повышения производительности обработки увеличивать глубину резания, а не подачу.

5. Для достижения шероховатости поверхности, соответствующей таковой, полученной операцией шлифования, необходимо выполнять точение стали 40Х пластиной из режущей керамики ВОК-60 с износом по задней поверхности не более 0,2 мм.

Литература

- [1] Stephenson D.A., Agapiou J.S. *Metal Cutting Theory and Practice*. CRC Press, 2005. 864 p.
- [2] Ashley S. High-speed machining goes mainstream. *Mechanical Engineering*, 1995, vol. 177, is. 5, pp. 56–61.
- [3] Грубый С.В. *Оптимизация процесса механической обработки и управление режимными параметрами*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 149 с.
- [4] Luo S.Y., Liao Y.S., Tsai Y.Y. Wear characteristics in turning high hardness alloy steel by ceramic and CBN tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 1999, vol. 88, is. 2, pp. 114–121.
- [5] Plaza M. The prons and cons of high-speed machining. *Canadian Machinery and Metalworking*, 1995, September, pp. 8–10.
- [6] Schulz H., Moriwaki T. High-speed machining. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 1992, vol. 41, is. 2, pp. 637–642.
- [7] Плотников А.Л., Таубе А.О. *Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ*. Волгоград, РПК «Политехник», 2003. 184 с.
- [8] Tlusty J. High-speed machining. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 1993, vol. 42, is. 2, pp. 733–738.
- [9] Шустер Л.Ш., Мигранов М.Ш. Изнашивание инструментальных материалов с позиций термодинамики. *Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий*. Межвуз. сб. науч. тр., Уфа, УГАТУ, 2014, с. 96–100.
- [10] Енек М., Серебряков В.И., Шварцбург Л.Э. Влияние состава покрытия инструментальных пластин методом PVD на шероховатость поверхности при точении. *Технология машиностроения*, 2010, № 8, с. 25–28.
- [11] Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р. *Современные технологии обработки материалов*. Москва, Машиностроение, 2015. 304 с.
- [12] Юденков Н.П. Новые тенденции и решения при создании отечественного оборудования для автомобильной промышленности. *Автомобильная промышленность*, 2007, № 8, с. 1–4.
- [13] Пронин А.И., Мыльников В.В., Чернышев Е.А., Шетулов Д.И. Определение оптимальной скорости резания твердого точения с использованием сигналов акустической эмиссии. *Контроль. Диагностика*, 2014, № 4, с. 40–44.
- [14] Пронин А.И., Мыльников В.В., Чернышев Е.А. Причины низкой работоспособности пластин из режущей керамики при твердом точении. *Материаловедение*, 2014, № 5, с. 13–15.
- [15] Пронин А.И., В.В. Мыльников, Щелкунов Е.Б., Виноградов С.В. Применение ортогонального центрального композиционного планирования экспериментов для оптимизации точения закаленной стали 40X режущей керамикой. *Вестник машиностроения*, 2016, № 8, с. 43–48.

References

- [1] Stephenson D.A., Agapiou J.S. *Metal Cutting Theory and Practice*. CRC Press, 2005. 864 p.
- [2] Ashley S. High-speed machining goes mainstream. *Mechanical Engineering*, 1995, vol. 177, is. 5, pp. 56–61.
- [3] Grubyi S.V. *Optimizatsiia protsessa mekhanicheskoi obrabotki i upravlenie rezhimnymi parametrami* [Optimization of process of machining and management in regime parameters]. Moscow, Bauman Press, 2014. 149 p.
- [4] Luo S.Y., Liao Y.S., Tsai Y.Y. Wear characteristics in turning high hardness alloy steel by ceramic and CBN tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 1999, vol. 88, is. 2, pp. 114–121.
- [5] Plaza M. The prons and cons of high-speed machining. *Canadian Machinery and Metalworking*, Sep. 1995, pp. 8–10.
- [6] Schulz H., Moriwaki T. High-speed machining. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 1992, vol. 41, is. 2, pp. 637–642.
- [7] Plotnikov A.L., Taube A.O. *Upravlenie rezhimami rezaniia na tokarnykh stankakh s ChPU* [Control of cutting parameters on turning machines with CNC]. Volgograd, Politekhnik publ., 2003. 184 p.

- [8] Tlusty J. High-speed machining. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 1993, vol. 42, is. 2, pp. 733–738.
- [9] Shuster L.Sh., Migranov M.Sh. Iznashivanie instrumental'nykh materialov s pozitsii termodinamiki [Wear of tool materials from the standpoint of thermodynamics]. *Sovremennye tendentsii v tekhnologiiakh metalloobrabotki i konstruktivnykh metalloobrabatyvayushchikh mashin i komplektuiushchikh izdelii. Mezhvuz. sb. nauchn. tr.* [Modern trends in technologies and structures of Metalworking machinery and components. Interuniversity scientific collection]. Ufa, UGATU publ., 2014, pp. 96–100.
- [10] Enek M., Serebriakov V.I., Shvartsburg L.E. Vliianie sostava pokrytiia instrumental'nykh plastin metodom PVD na sherokhovatost' poverkhnosti pri tochenii [Influence of the tool plates' PVD coating composition on the surface roughness at steel turning]. *Tekhnologiya mashinostroeniia* [Industrial and manufacturing engineering]. 2010, no. 8, pp. 25–28.
- [11] Borovskii G.V., Grigor'ev S.N., Maslov A.R. *Sovremennye tekhnologii obrabotki materialov* [Modern technologies of materials processing]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2015. 304 p.
- [12] Iudakov N.P. Novye tendentsii i resheniia pri sozdanii otechestvennogo oborudovaniia dlia avtomobil'noi promyshlennosti [New trends and solutions for the creation of domestic equipment for the automotive industry]. *Avtomobil'naia promyshlennost'* [Automotive industry]. 2007, no. 8, pp. 1–4.
- [13] Pronin A.I., Myl'nikov V.V., Chernyshev E.A., Shetulov D.I. Opredelenie optimal'noi skorosti rezaniia tverdogo tocheniia s ispol'zovaniem signalov akusticheskoi emissii [Definition of optimum speed of cutting hard turning with use of signals acoustic emission]. *Kontrol'. Diagnostika* [Testing. Diagnostics]. 2014, no. 4, pp. 40–44.
- [14] Pronin A.I., Myl'nikov V.V., Chernyshev E.A. Prichiny nizkoi rabotosposobnosti plastin iz rezhushchei keramiki pri tverdom tochenii [Causes of low efficiency of cutting g ceramic plates with hard turning]. *Materialovedenie* [Materials]. 2014, no. 5, pp. 13–15.
- [15] Pronin A.I., V.V. Myl'nikov, Shchelkunov E.B., Vinogradov S.V. Primenenie ortogonal'nogo tsentral'nogo kompozitsionnogo planirovaniia eksperimentov dlia optimizatsii tocheniia zakalennoi stali 40Kh rezhushchei keramikoi [Application of orthogonal central composite design of experiments for optimization of turning processing of 40X quenched steel by cutting ceramics]. *Vestnik mashinostroeniia* [Russian Engineering Research]. 2016, no. 8, pp. 43–48.

Статья поступила в редакцию 17.04.2017

Информация об авторах

ПРОНИН Александр Иннокентьевич (Комсомольск-на-Амуре) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет (681013, Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация, пр. Ленина, д. 27, e-mail: mdssov@knastu.ru).

МЫЛЬНИКОВ Владимир Викторович (Нижний Новгород) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии строительства». Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (603950, Нижний Новгород, Российская Федерация, ул. Ильинская, д. 65, e-mail: mrmynikov@mail.ru).

ЧЕРНЫШОВ Евгений Александрович (Нижний Новгород) — доктор технических наук, профессор кафедры «Металлургические технологии и оборудование». Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (603022, Нижний Новгород, Российская Федерация, ул. Минина, д. 24, e-mail: taep@nntu.nnov.ru).

Information about the authors

PRONIN Aleksandr Innokentievich (Komsomolsk-on-Amur) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Technology of Mechanical Engineering Department. Komsomolsk-na-Amure State Technical University (681013, Russian Federation, Komsomolsk-on-Amur, Lenin Ave., Bldg. 27, e-mail: mdssov@knastu.ru).

MYLNIKOV Vladimir Viktorovich (Nizhny Novgorod) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Construction Technology. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (603950, Nizhny Novgorod, Ilinskaya St., Bldg. 65, e-mail: mrmynikov@mail.ru).

CHERNYSHOV Evgeniy Aleksandrovich (Nizhny Novgorod) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Metallurgical Technologies and Equipment. Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev (603022, Nizhny Novgorod, Minin St., Bldg. 24, e-mail: taep@nntu.nnov.ru).