

УДК 621.048

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ  
ШАРИКО-СТЕРЖНЕВЫМ  
УПРОЧНИТЕЛЕМ**

*Сосницкая Т. С., Тищенко Э. Э.*

Донской государственный технический  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[tamara.sosntskaya@mail.ru](mailto:tamara.sosntskaya@mail.ru)[lina\\_tishenko@mail.ru](mailto:lina_tishenko@mail.ru)

Представлены результаты проведенных исследований процесса обработки деталей шарико-стержневым упрочнителем. Описана область применения инструмента и представлена схема процесса обработки. Определены зависимости для расчета шероховатости поверхности, глубины упрочненного слоя, степени деформации и времени обработки. Исследована надежность технологического процесса. Даны технологические рекомендации для аналитического прогнозирования обеспечения надежности технологического процесса.

**Ключевые слова:** шарико-стержневой упрочнитель, глубина упрочненного слоя, шероховатость поверхности, степень деформации, надежность

**Введение.** Увеличение жизненного цикла изделия является одной из основных задач в современном машиностроительном производстве. Одним из основных методов, которые применяются для решения этой задачи, является метод обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД). Такие методы позволяют улучшить основные эксплуатационные свойства деталей машин, а именно износостойкость, усталостную прочность, контактную жесткость, долговечность и т.п. Среди известных методов ППД особое место занимают методы местной обработки, которым могут подвергаться детали разнообразных форм и размеров, изготовленные из различных металлов, в том числе и с концентраторами напряжений. Наличие конструктивных концентраторов напряжений (отверстия, канавки, галтели, пазы и т.п.) снижает эксплуатационные свойства детали, от которых зависит длительность ее жизненного цикла при работе в изделии.

Применение местного упрочнения позволяет вести обработку с большей производительностью и меньшей себестоимостью по сравнению с объемной обработкой ППД. При этом производительность упрочняющей обработки ППД определяется интенсивностью упруго-пластической деформации поверхности обрабатываемых деталей. По результатам обработки поверхности наблюдается изменение микрогеометрии и физико-механических свойств. Цель данной работы — формирование комплекса теоретических моделей с описанием

UDC 621.048

**PROVIDING THE RELIABILITY OF  
TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR  
PROCESSING ITEMS WITH  
A BALL-ROD HARDENER**

*Sosnitskaya T. S., Tishchenko E. E*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[tamara.sosntskaya@mail.ru](mailto:tamara.sosntskaya@mail.ru)[lina\\_tishenko@mail.ru](mailto:lina_tishenko@mail.ru)

The article presents the results of the carried out research on the processing items by a ball-rod hardener. The scope of the tool is described and the scheme of the processing is presented. The dependences for calculating the surface roughness, the depth of the hardened layer, the degree of deformation and the processing time are determined. The reliability of the technological process is investigated. Technological recommendations for analytical forecasting of ensuring the reliability of the technological process are given.

**Key words:** ball-rod hardener, surface roughness, depth of hardened layer, degree of deformation, reliability.

технологических параметров при шарико-стержневом упрочнении, разработка методики проектирования технологических процессов с учетом обеспечения их надежности, расчет показателей точности процесса.

**Основная часть.** Одним из новых устройств, предназначенных для реализации динамических методов обработки ППД с возможностью местного упрочнения, является шарико-стержневой упрочнитель (ШСУ). Это универсальное устройство способно совершать обработку и плоских поверхностей, и поверхностей сложной конфигурации с небольшими перепадами высот.

Для осуществления процесса местной обработки ППД деталей сложной конфигурации, имеющих небольшой перепад профиля по высоте, на кафедре «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета под руководством профессора А.П. Бабичева изобретено специальное устройство — шарико-стержневой упрочнитель (ШСУ), которое позволяет обеспечить упрочняющую обработку деталей небольшой площади, выполнить местное упрочнение участков поверхности, в том числе содержащих концентраторы напряжений [1, 2]. Схема устройства представлена на рис. 1. Приспособление имеет силовой привод (1) и специальный обрабатывающий инструмент с набором пакета круглых стержней (2), закрепленных с помощью специального цангового зажима (6) в корпусе упрочняющего устройства (3). Стальные шары (4) расположены между бойком и набором стержней в корпусе упрочнителя, что позволяет обрабатывать фасонные поверхности детали за счет контакта каждого индентора с упрочняемой поверхностью (5). В качестве силового привода приспособления могут быть использованы как пневмо-, так и электромототки [3].

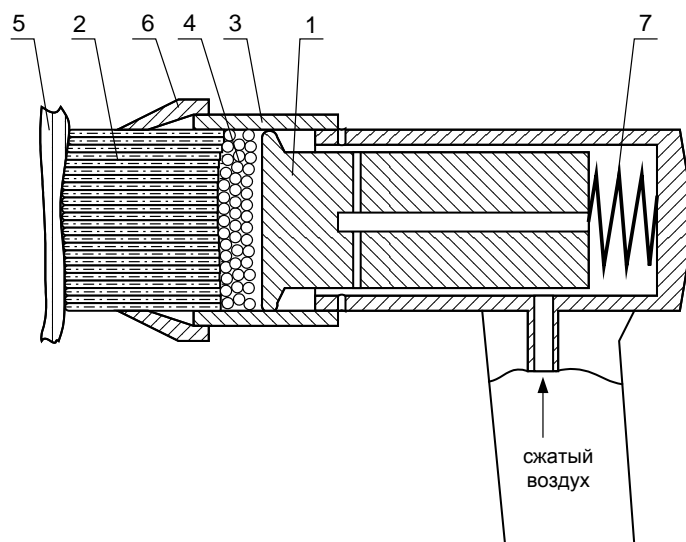


Рис. 1. Схема многоконтактного виброударного инструмента ШСУ:

- 1 — силовой привод, 2 — пакет круглых стержней, 3 — корпус упрочнителя, 4 — стальные шары,  
5 — обрабатываемая деталь, 6 — цанговый зажим, 7 — упругий элемент

В ходе исследования технологических возможностей процесса обработки ШСУ установлено, что наибольшее влияние на качество поверхностного слоя обработанных деталей оказывает энергия удара привода, диаметр (радиус) заточки стержней и число стержней в пакете, а также подача устройства вдоль обрабатываемой поверхности [1, 2]. Процесс обработки позволяет обеспечить снижение шероховатости обрабатываемой поверхности, высокую интенсивность упрочнения и формирование сжимающих остаточных напряжений, что, в свою очередь, вызывает повышение эксплуатационных свойств обработанных деталей.

Надежность технологического процесса — это его способность функционировать требуемый период времени при заданных условиях эксплуатации, обеспечивая необходимое

качество изделий и производительность. При контроле технологических процессов по рассеянию размеров после обработки поверхности детали определяют значения показателей точности [4].

В качестве объекта для исследования надежности выбран технологический процесс обработки ШСУ. Целью настоящих исследований является повышение эффективности и надежности рассматриваемого технологического процесса с учетом исследования формирования показателей точности на основании разработки комплекса адекватных теоретических моделей процесса обработки. К настоящему времени в результате проведенных исследований [1, 2] выявлены зависимости для расчета:

— шероховатости обработанной поверхности:

$$Rz = 0,03 \sqrt{\frac{E_y \cdot \eta}{D \cdot M \cdot HB^{1,12}}}, \quad (1)$$

где  $E_y$  — энергия удара,

$\eta$  — коэффициент полезного действия ШСУ,

$D$  — диаметр заточки стержней,

$M$  — число стержней в пакете,

$HB$  — твердость материала детали по Бринеллю.

— глубины упрочненного слоя:

$$h_y = \sqrt[8]{\left(\frac{E_y \cdot \eta}{D \cdot M \cdot HB^{1,12}}\right)^3} \cdot D \quad (2)$$

— степени деформации:

$$\varepsilon = 1,13^4 \sqrt{\frac{E_y \cdot \eta}{D^3 \cdot M \cdot HB^{1,12}}}. \quad (3)$$

— времени обработки:

$$t_F = \frac{4 \cdot h_{\max} \cdot F \cdot R^2}{V_s \cdot f_e}, \quad (4)$$

где  $F$  — число повторяющихся ударов в одну и ту же точку обрабатываемой поверхности,

$f_e$  — частота циклов воздействия на поверхность детали,

$h_{\max}$  — максимальная глубина внедрения индентора в поверхность детали,

$R$  — радиус заточки индентора,

$V_s$  — объем деформируемого металла при единичном взаимодействии.

Для анализа надежности технологических процессов ШСУ используются коэффициенты надежности согласно [1, 5]. При контроле технологических процессов по количественному признаку определены значения показателей точности по контролируемому параметру [4]:

1. Коэффициент точности (по контролируемому параметру)

$$K_p = \frac{\omega^P}{T}, \quad (5)$$

где  $\omega^P$  — поле рассеяния (или разность максимального и минимального значений контролируемого параметра за установленное время),

$T$  — допуск на контролируемый параметр.

При нормальном законе распределения контролируемого параметра

$$\omega^P = 6\sigma, \quad (6)$$

где  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение контролируемого параметра.

Процесс или его элемент стабильно обеспечивают точность контролируемого параметра, если

$$K_T \leq K_{To} \leq 1, \quad (7)$$

где  $K_{To}$  — нормативное (предельное, технически обоснованное) значение  $K_T$ .

2. Коэффициент мгновенного рассеивания (по контролируемому параметру)

$$K_p = \frac{\omega^P(t)}{T}, \quad (8)$$

где  $\omega^P(t)$  — поле рассеяния контролируемого параметра в момент времени  $t$ .

3. Коэффициент смещения (контролируемого параметра)

$$K_c(t) = \frac{\bar{\Delta}(t)}{T}, \quad (9)$$

где  $\bar{\Delta}(t)$  — среднее значение отклонения контролируемого параметра относительно середины поля допуска в момент времени  $t$ ,

$$\bar{\Delta}(t) = |\bar{y}(t) - y_0|$$

где  $\bar{y}(t)$  — среднее значение контролируемого параметра,

$y_0$  — значение параметра, соответствующее середине поля допуска (при симметричном поле допуска значение  $y_0$  совпадает с номинальным значением параметра  $y_{ном}$ ).

4. Коэффициент запаса точности (по контролируемому параметру):

$$K_z(t) = 0,5 - K_c - 0,5K_p. \quad (10)$$

При контроле точности должно выполняться условие  $K_z(\tau) > 0$ .

Проведен комплекс экспериментальных исследований процесса обработки ШСУ. Устройство для обработки ШСУ закреплялось на фрезерном станке. Экспериментальные исследования были проведены при различном количестве стержней, радиусов их сферической заточки, а также величины натяга. Исследованию подвергались образцы различных материалов (сталей).

Некоторые результаты проведенных исследований отображены на представленных ниже графиках. Сплошной линией показаны теоретические кривые, а точками — результаты экспериментальных исследований. Построены доверительные интервалы с доверительной вероятностью 95%.

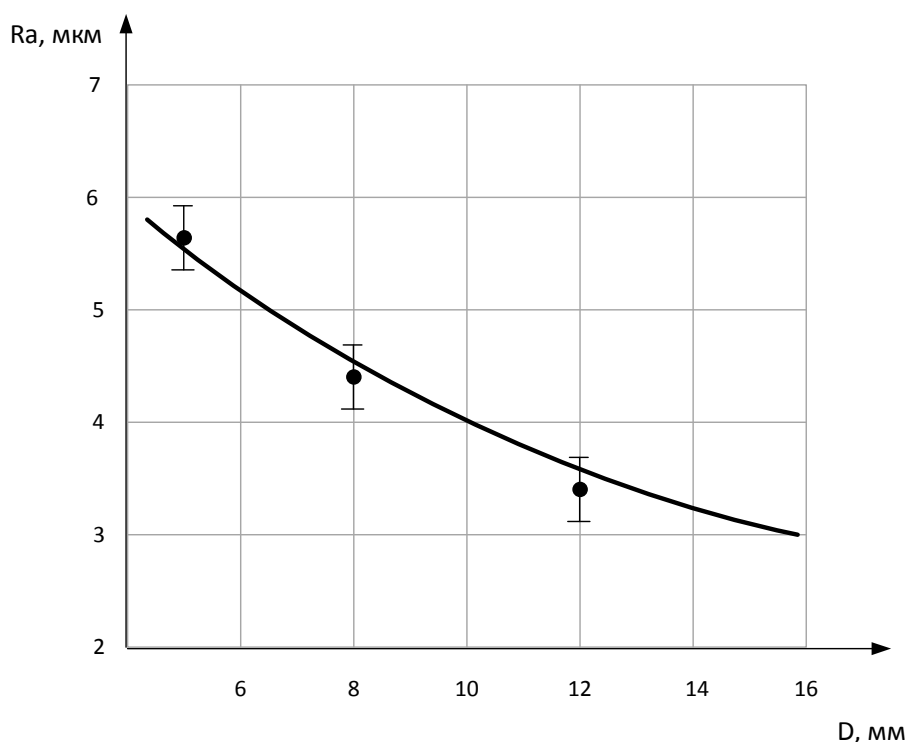


Рис. 2 Зависимость шероховатости обработанной поверхности от диаметра сферической заточки (число стержней  $M=19$ , натяг — 4,5 мм), материал образцов — сталь 45

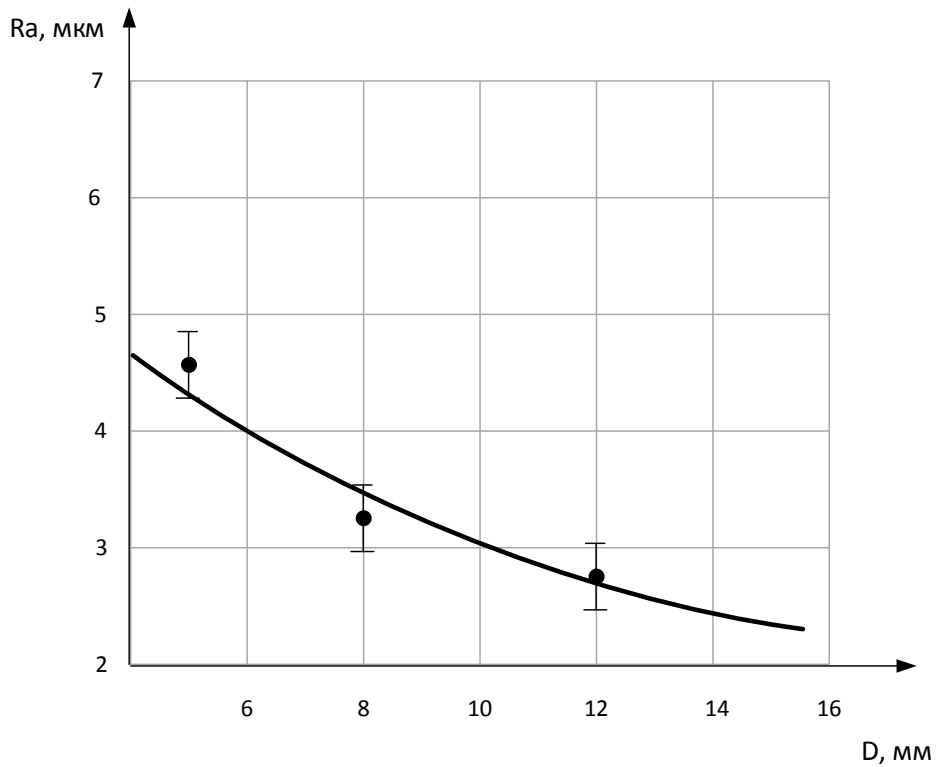


Рис. 3. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от диаметра сферической заточки (число стержней  $M=19$ , натяг — 1,5 мм), материал образцов — сталь 45

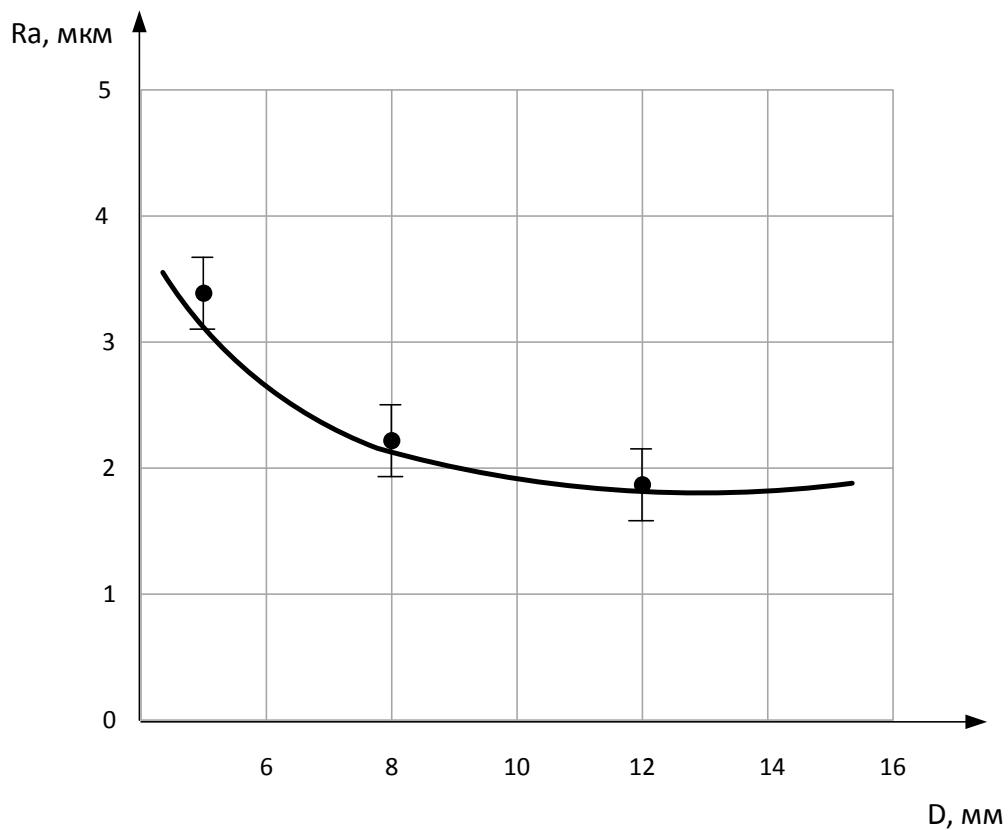


Рис. 4. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от радиуса сферической заточки (число стержней  $M=40$ , натяг — 1,5 мм), материал образцов — ХВГ

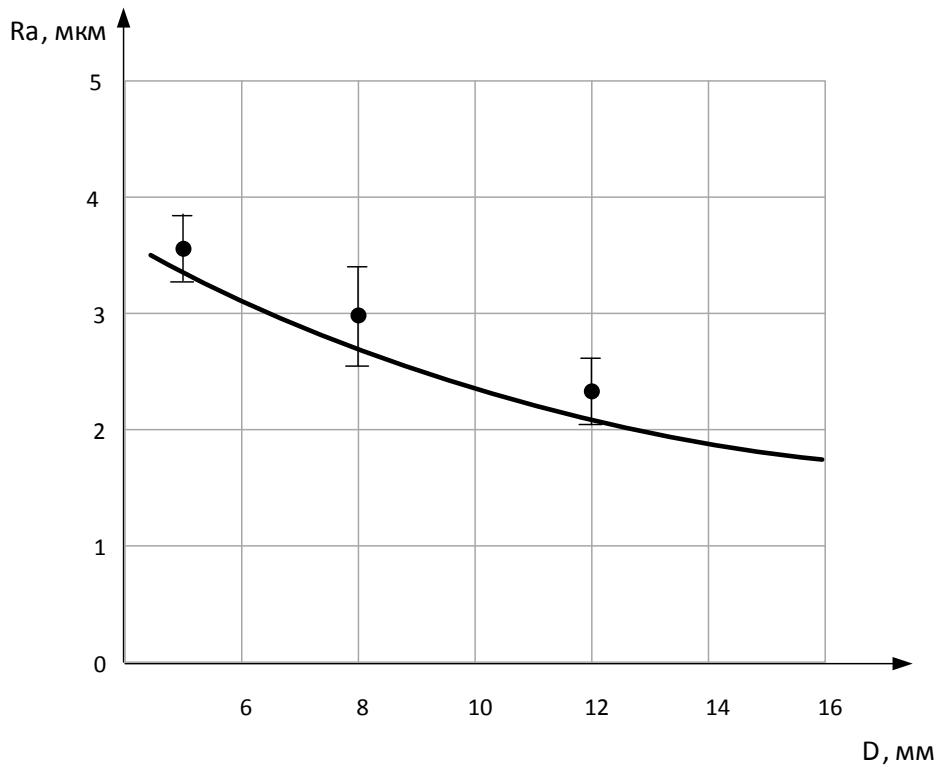


Рис. 5. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от радиуса сферической заточки (число стержней  $M=40$ , натяг — 4,5 мм, материал образцов — ХВГ)

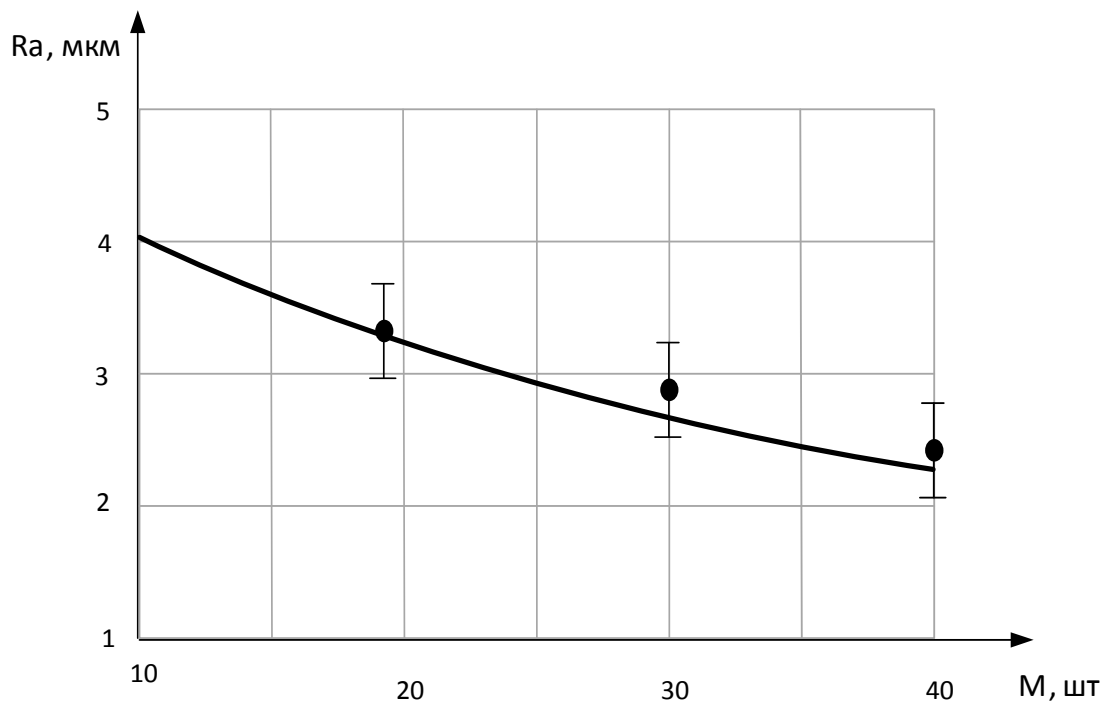


Рис. 6. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от числа стержней в насадке (диаметр заточки  $D=12$  мм, натяг — 4,5 мм), материал — сталь 45

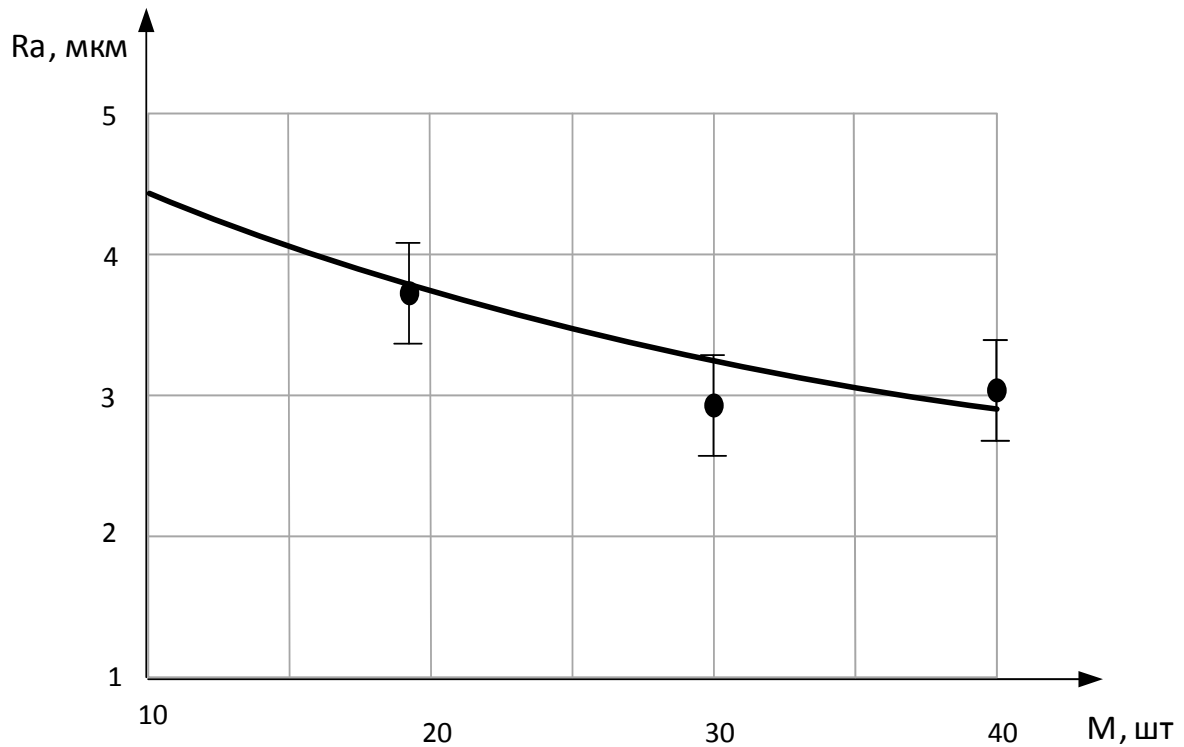


Рис. 7. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от числа стержней в насадке (диаметр заточки  $D=8$  мм, натяг — 4,5 мм), материал — сталь ХВГ

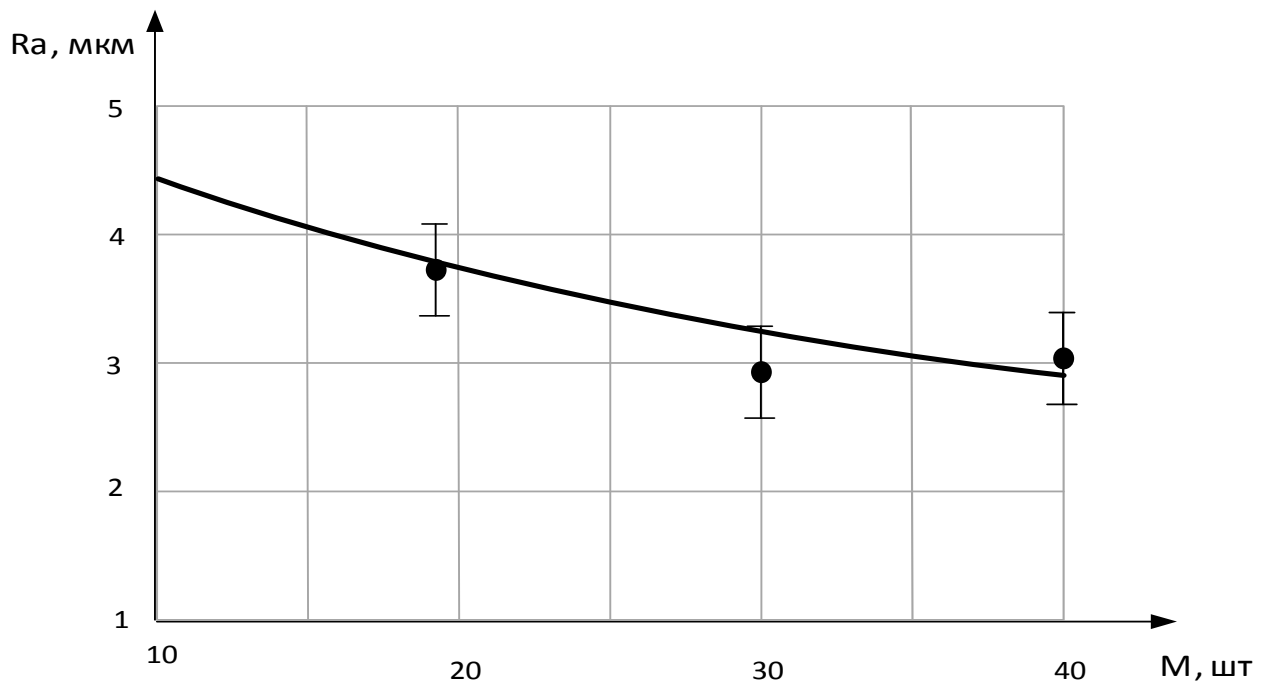


Рис. 8. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от числа стержней в насадке (диаметр заточки  $D=8$  мм, натяг — 4,5 мм), материал — сталь ХВГ

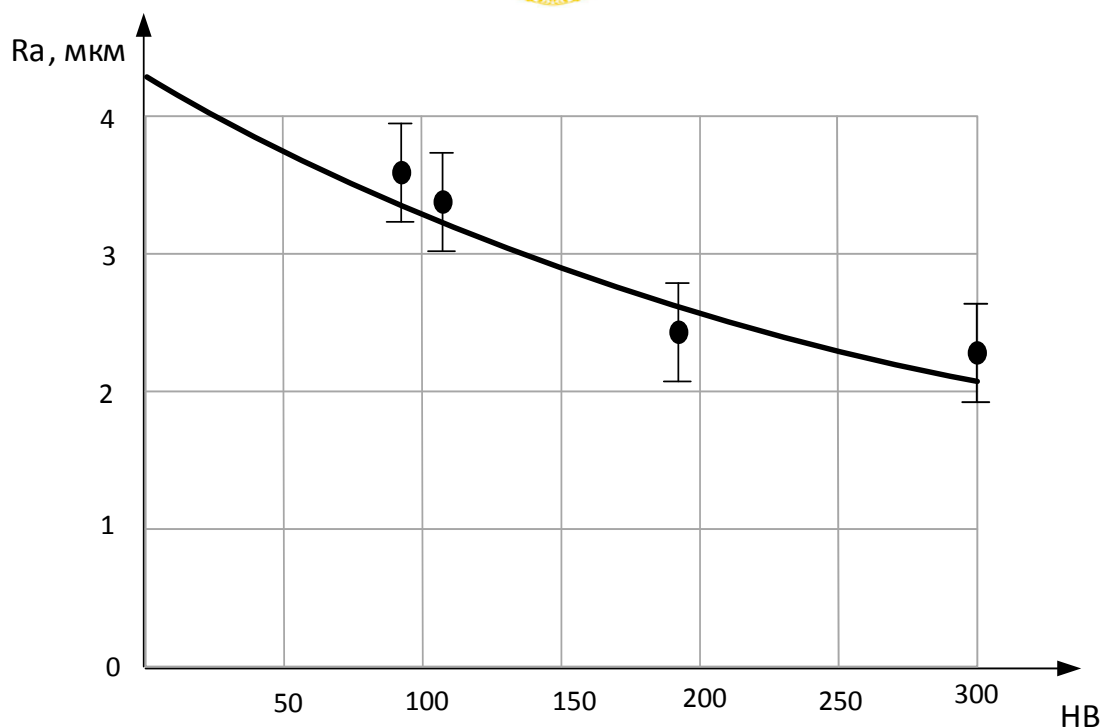


Рис. 9. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от твердости по Бринеллю (D=12 мм, натяг — 4,5 мм, число стержней — 40)

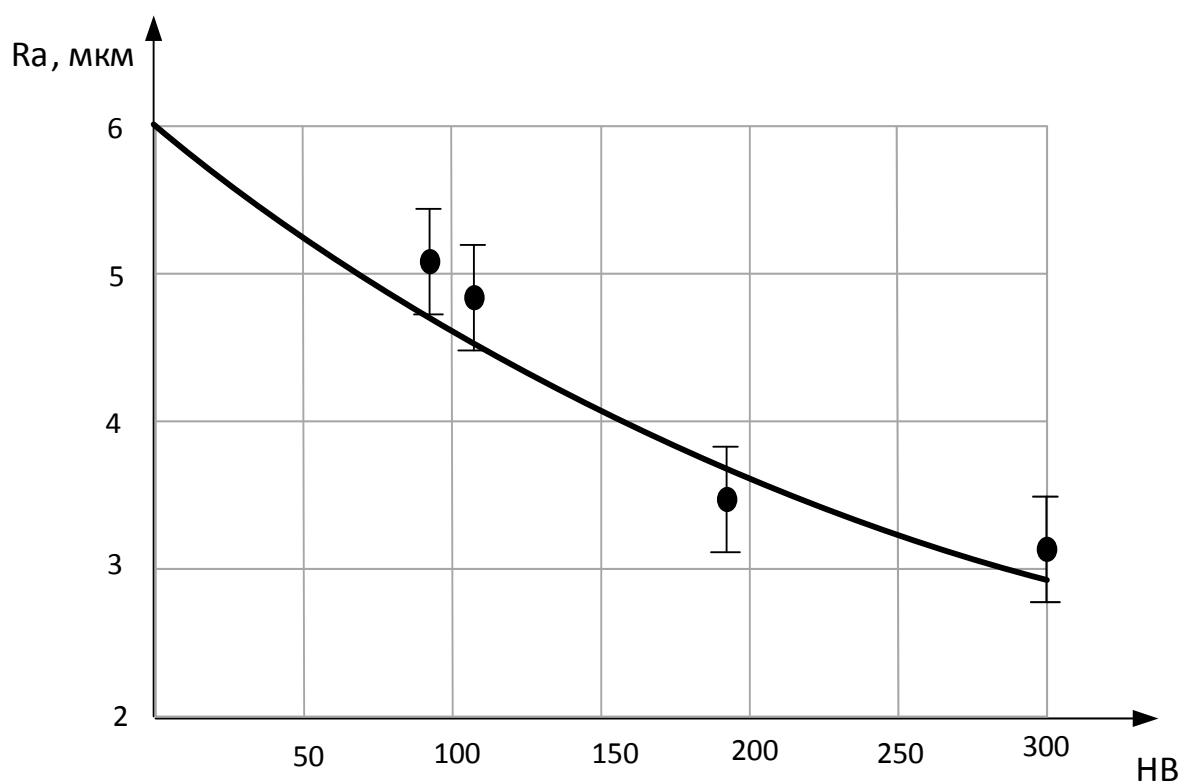


Рис. 10. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от твердости по Бринеллю (D=8 мм, натяг — 1,5 мм, число стержней — 19)

Анализируя результаты проведенных исследований, можно сделать вывод, что расхождение данных не превышает 15%, это свидетельствует об адекватности полученных теоретических моделей.



**Заключение.** Полученный комплекс теоретических моделей, описывающий основные технологические параметры при шарико-стержневом упрочнении, который прошел экспериментальную проверку, может быть использован для аналитического прогнозирования обеспечения надежности технологических процессов. Разработаны методика проектирования технологических процессов с учетом обеспечения их надежности и элементы САПР в виде программного модуля. С использованием программы рассчитываются показатели точности процесса по формулам 1–3, приведенным выше. Далее пользователем вводятся поля рассеяния исходных величин (технологических режимов и физико-механических свойств материала детали). Определяются поля рассеяния значений контролируемого параметра, среднее значение отклонения контролируемого параметра относительно середины поля допуска. Рассчитывается значение коэффициента запаса точности по зависимости (10). В случае выполнения условия  $K_3 > 0$  рассчитывается время обработки для каждого варианта сочетаний технологических параметров и выбирается вариант, обеспечивающий минимальное время обработки, которое и считается рациональным.

Результаты проведенных исследований и методика проектирования технологического процесса обработки ШСУ позволят обеспечить его надежность.

#### **Библиографический список**

1. Повышение качества поверхностного слоя и безопасности процесса при обработке деталей шарико-стержневым упрочнителем / М. А. Тамаркин [и др.] / Вестник РГАТА им. П. А. Соловьева. — 2017. — № 2 (41). — С. 82–88.
2. Исаев, А. Н. Обеспечение акустической безопасности технологического процесса обработки шарико-стержневым упрочнителем при достижении заданных параметров качества поверхностного слоя (на примере плоских деталей) : дис. ...канд. техн. наук / А. Н. Исаев. — Ростов-на-Дону, 2017. — 129 с.
3. Щерба, Л. М. Проектирование технологических процессов виброударной отделочной обработки шарико-стержневым упрочнителем с учетом снижения шума в рабочей зоне : дис. канд. техн. наук / Л. М. Щерба. — Ростов-на-Дону, 2003. — 166 с.
4. ГОСТ 27.204-83 «Надежность в технике (ССНТ). Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности» (действует с 1 января 1985 года) [Электронный ресурс] / Консорциум кодекс. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200010705> (дата обращения: 20.04.18).
5. Корольков, Ю. В. Повышение надежности технологического процесса центробежно-ротационной обработки в среде абразива : дис. канд. техн. наук / Ю. В. Корольков. — Ростов-на-Дону, 2011. — 186 с.