

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ОБРАБОТКЕ ШАРИКО-СТЕРЖНЕВЫМ УПРОЧНИТЕЛЕМ

**Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Сосницкая Т.С., Коханюк А.Г., Кирейко А.А.**

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

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований процесса обработки многоконтактным виброударным инструментом – шарико-стержневым упрочнителем. Выведены теоретические зависимости для расчета шероховатости поверхности, глубины упрочненного слоя и степени деформации. Представлена формула для определения времени обработки. Исследована надежность технологического процесса обработки шарико-стержневым упрочнителем. Представлена методика проектирования технологического процесса обработки с учетом обеспечения его надежности.

**Ключевые слова.** Обработка шарико-стержневым упрочнителем, качество поверхности, надежность технологического процесса

## ENSURING SURFACE QUALITY AND PROCESS RELIABILITY DURING BALL-ROD HARDENING TREATMENT

**Tamarkin M.A., Tishchenko E.E., Sosnitskaya T.S., Kohanyuk A.G., Kireyko A.A.**

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

**Abstract.** The article presents the results of research of the process of treatment with a multi-contact vibration impact tool - ball-rod reinforcement. Theoretical constraints are derived to calculate surface roughness, depth of strengthened layer and degree of deformation. The formula for determining the processing time is presented. Reliability of technological process of treatment with ball-rod reinforcing agent is investigated. Method of process design with due regard to its reliability is presented.

**Keywords.** Ball-rod reinforcement treatment, surface quality, process reliability

Эксплуатационные свойства детали формируются на протяжении всех этапов технологического процесса её изготовления, в особенности на операциях финишной обработки. С помощью методов обработки деталей поверхностным пластическим деформированием (ППД), которые нашли широкое применение в машиностроении, можно значительно повысить эксплуатационные свойства, причем с экономической точки зрения наиболее выгодным является местное упрочнение участков деталей с концентраторами напряжений по сравнению с объемной обработкой всех поверхностей.

Обрабатывать отдельные поверхности деталей машин методами поверхностного пластического деформирования можно с помощью компактных устройств, одним из которых является шарико-стержневой упрочнитель (ШСУ). ШСУ представляет собой универсальное приспособление, которое позволяет производить обработку как плоских поверхностей, так и поверхностей сложной конфигурации, в том числе обладающих небольшим перепадом высот. Устройство ШСУ было изобретено на кафедре "Технология машиностроения" ДГТУ под руководством профессора А.П. Бабичева [1-7].

Шарико-стержневой упрочнитель довольно прост по конструкции. Он содержит силовой привод с ударником, а также пакет круглых стержней, установленных в специальном цанговом зажиме. Несколько слоев стальных шариков располагаются в замкнутом объеме и находятся между стержнями и приводом. В качестве силового привода используются пневмо- и электромолотки, которые широко распространены в промышленности.

Энергия удара привода передается на пакет стержней без значительных потерь при помощи стальных шариков. При этом стержни, имеющие сферическую заточку, копируют форму поверхности детали и осуществляют формирование пластического отпечатка.

К основным технологическим параметрам процесса обработки ШСУ относят энергию удара ударника, диаметр и число стержней, радиус сферической заточки стержней и натяг при обработке. К преимуществам процесса обработки ШСУ по сравнению с другими ударными методами обработки может быть отнесена высокая интенсивность обработки, формирование остаточных напряжений сжатия, возможность локального упрочнения.

Изначально ШСУ применялся как инструмент ручной обработки для участков крупногабаритных деталей, а также поверхностей предварительно собранных деталей. При этом наблюдались сложности соблюдения точности перемещения, натяга и обеспечения необходимого количества ударов. Однако даже вручную ШСУ позволяет осуществлять сглаживание каверн, упрочнять поверхностный слой и создавать сжимающие остаточные напряжения. В настоящее время ШСУ чаще всего закрепляется на токарном или фрезерном станке.

Для дальнейшего внедрения процесса обработки шарико-стержневым упрочнителем возникла необходимость проведения теоретических исследований и определения влияния технологических режимов на качество обработанной поверхности. Целью проводимых исследований является обеспечение повышения эффективности и надежности рассматриваемого технологического процесса с учетом исследованием формирования показателей точности. Необходима разработка комплекса адекватных теоретических моделей, описывающих формирование качества поверхности в процессе обработки. К настоящему времени выявлены такие зависимости [1-7]. Они позволяют определить:

- шероховатость обработанной поверхности:

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

- глубину упрочненного слоя:

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

- степень деформации:

$$\varepsilon = 1,134 \sqrt[4]{\frac{E_y \cdot \eta}{D^3 \cdot M \cdot HB^{1,12}}} \quad (3),$$

- времени обработки:

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

где  $D$  - диаметр заточки стержней,  $E_y$  - энергия удара,  $\eta$  - коэффициент полезного действия ШСУ,  $M$  - число стержней в пакете,  $HB$  - твердость материала детали по Бринеллю,  $F$  - число повторяющихся ударов в одну и ту же точку обрабатываемой поверхности,  $f_e$  - частота циклов воздействия на поверхность детали,  $h_{\max}$  - максимальная глубина внедрения индентера в поверхность детали,  $R$  - радиус заточки индентера,  $V_s$  - объема деформируемого металла при единичном взаимодействии

Вышеприведенные формулы прошли проверку при проведении комплексных экспериментальных исследований процесса обработки ШСУ.

Упрочняющее устройство для обработки ШСУ закреплялось на фрезерном или токарном станке. Использовался пневмомолоток КПМ -14М. Образцы изготавливались из различных материалов (алюминиевых сплавов Д16, В95, АВТ, а также сталей Ст3, 45, ХВГ), широко используемых в машиностроении и имеющих различные свойства. Это необходимо для оценки универсальности полученных теоретических моделей.

Радиусы сферической заточки стержней варьировались, в пакет помещалось разное количество стержней. Некоторые результаты сравнения теоретических данных и экспериментальных значений приведены на рис. 1 и 2. Теоретические зависимости на графиках показаны сплошными линиями. Точками отмечены результаты экспериментов с указанием доверительных интервалов (доверительная вероятность составляла 95%).

Анализ вышеприведенных данных показал, что расхождение теоретических и экспериментальных значений не превышает 15%, в связи с чем предложенные теоретические зависимости являются адекватными (установлена адекватность по критерию Фишера) и могут быть рекомендованы для расчетов при технологическом проектировании.

Исследование параметров надежности при обработке ШСУ является важным аспектом успешного проектирования технологического процесса, который гарантированно обеспечит заданное качество выпускаемой продукции. Для анализа надежности, согласно [7], используются коэффициенты надежности (согласно ГОСТ 27.202-83). При контроле технологических процессов по количественному признаку по зависимостям, представленным в [2], определены значения показателей точности по контролируемому параметру: коэффициент точности  $K_T$ , коэффициент мгновенного рассеивания  $K_p(\tau)$ , коэффициент смещения  $K_{см}(\tau)$  и коэффициент запаса точности  $K_3(\tau)$ . Для обеспечения надежности технологического процесса необходимо, чтобы коэффициент запаса точности  $K_3(\tau)$  был больше нуля.

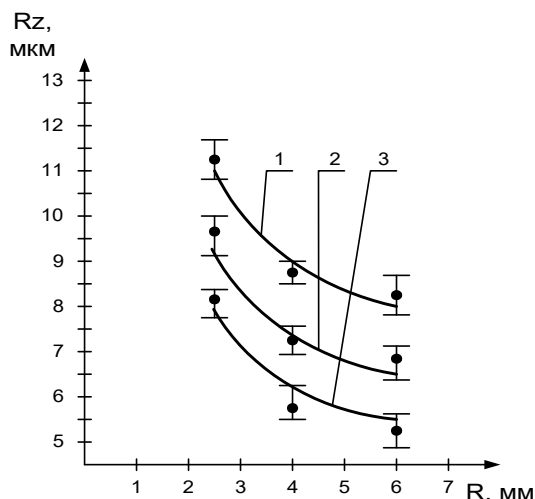


Рисунок 1 - Зависимость шероховатости обработанной поверхности от радиуса сферической заточки ( $M=19$ ,  $\eta=0,7$ ) для материалов: 1 - Д16, 2 - В95, 3 - сталь 45

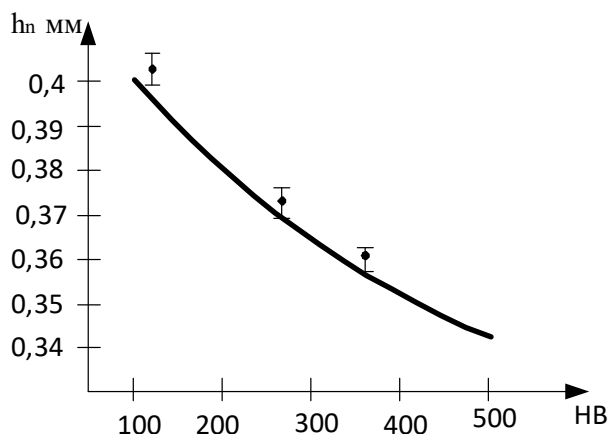


Рисунок 2 - Зависимость глубины упрочненного слоя от твердости по Бринеллю (число стержней  $M=19$ , энергия удара  $E_y=2.5$  Дж,  $\eta=0,7$ , радиус сферической заточки – 3 мм)

Расчеты показателей точности необходимы для аналитического прогнозирования уровня надежности технологического процесса обработки ШСУ. Анализ надежности позволяет обеспечивать качество продукции на заданном уровне. При возможном разбросе механических свойств материалов и режимов обработки на уровне 5-10-15 процентов были рассчитаны коэффициенты  $K_T$ ,  $K_p(\tau)$  и  $K_{см}(\tau)$ . Также определен коэффициент  $K_3(\tau)$ , который должен быть больше нуля. В этом случае технологический процесс является надежным. Некоторые результаты расчетов приведены на рис. 3 и 4.

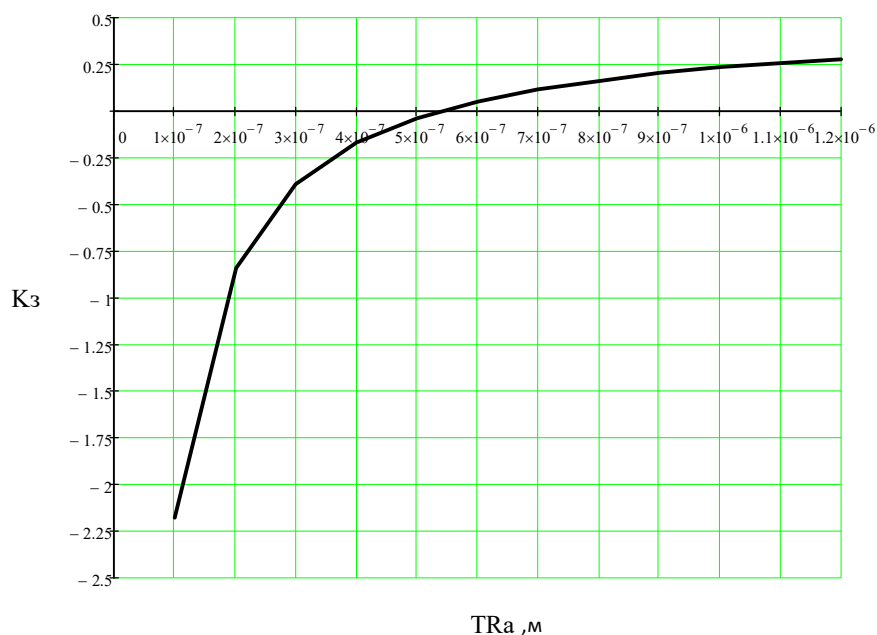


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента запаса точности от величины допуска на контролируемый параметр Ra. Материал детали - сталь 45, режимы обработки: M=19, D=5мм. Разброс технологических параметров – 5%

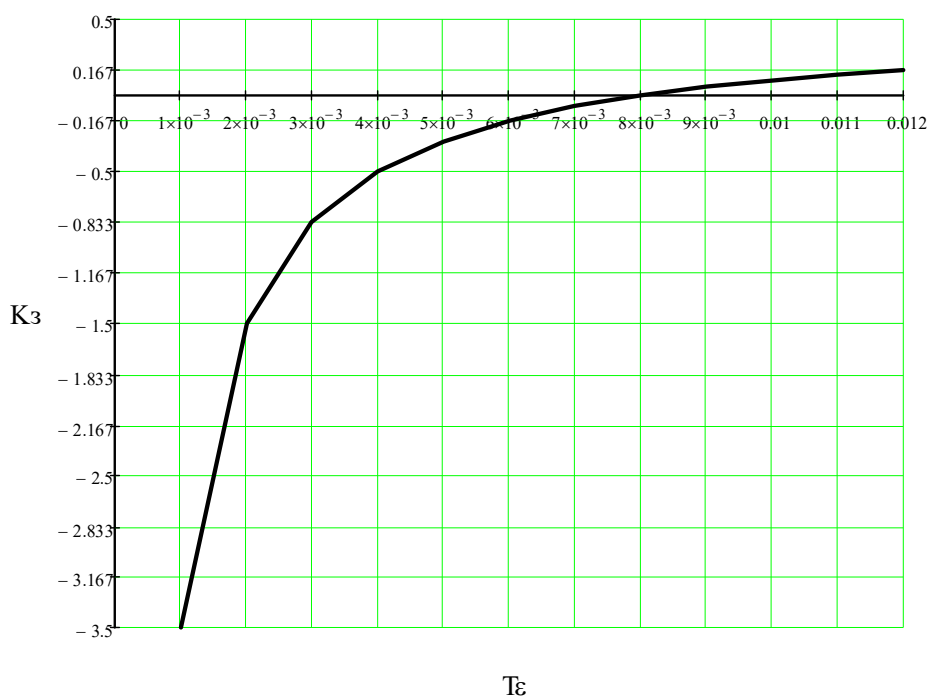


Рисунок 4 - Зависимость коэффициента запаса точности от величины допуска на контролируемый параметр ε. Материал детали – ХВГ, режимы обработки: M=40, D=8мм. Разброс технологических параметров – 10%

Выявлено, что технологический процесс позволяет обеспечить надежность получения заданного качества поверхностного слоя обработанных деталей в установленном для каждого случая диапазоне изменения технологических параметров.

Приведенный выше комплекс теоретических зависимостей, прошедший экспериментальную проверку, может использоваться для аналитического прогнозирования обеспечения надежности технологических процессов. На базе приведенных теоретических моделей разработана методика проектирования технологических процессов с учетом обеспечения их надежности и элементы САПР в виде программного модуля. С использованием предлагаемого пакета программ можно рассчитать показатели качества поверхностного слоя по формулам (1) - (3), приведенным выше. Пользователь

вводит поля рассеяния исходных величин (технологических режимов и физико-механических свойств материала детали), определяет поля рассеяния значений контролируемого параметра, среднее значение отклонения контролируемого параметра относительно середины поля допуска. Далее рассчитывается значение коэффициента запаса точности по зависимости, представленной в [2]. В случае выполнения условия  $K_3 > 0$ , рассчитывается время обработки по формуле (4) для каждого варианта сочетаний технологических параметров и выбирается вариант, обеспечивающий минимальное время обработки.

Полученная методика проектирования технологического процесса обработки ШСУ позволят обеспечить его надежность. Она прошла апробацию в производственных условиях и использована при внедрении процесса обработки деталей ШСУ на ООО «ДонКузлитМаш» в г. Азове.

#### **Список использованных источников**

1. Исаев А.Г. Обеспечение акустической безопасности при шарико-стержневом упрочнении с учетом достижения заданных параметров качества поверхностного слоя (на примере плоских деталей). Дис. ... канд.техн. наук, Ростов н/Д, 2017. - 129 с.

2. Tamarkin M.A., Tishchenko E.E., Melnikov A.S., Chernishov E.N. Background technology of finish-strengthening part processing in granulated actuation media/ Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019

3. Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Исаев А.Г., Сосницкая Т.С. Обеспечение высоких эксплуатационных свойств деталей при обработке шарико-стержневым упрочнителем Междунар.научно-технич. Конф. "Машиностроение и техносфера XXI века"10-18 сентября 2018 г. Севастополь, 2018

4. Шведова А.С. Повышение эксплуатационных свойств деталей при обработке динамическими методами поверхностного пластического деформирования. Дис. ... канд. техн. наук, Ростов н/Д, 2016. - 144 с

5. Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э., Шведова А.С. Увеличение жизненного цикла деталей при обработке динамическими методами поверхностного пластического деформирования / Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 9. С. 403-408

6. Копылов, Ю. Р. Динамика процессов виброударного упрочнения/ Ю. Р. Копылов. Воронеж.: ИПЦ «Научная книга», - 2011. - 569 с.

7. ГОСТ 27.202-83 Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции