

УДК 621.048

DOI: 10.12737/article\_5ac49dc30826b3.63726809

М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко, А.Г. Исаев

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ ШАРИКО-СТЕРЖНЕВЫМ УПРОЧНИТЕЛЕМ

Представлены результаты исследований обработки деталей многоконтактным виброударным инструментом - шарико-стержневым упрочнителем. Получены зависимости для определения звукового давления, собственных частот колебаний

детали и спектров шума. Разработан комплекс мероприятий по снижению шума при обработке.

**Ключевые слова:** шарико-стержневой упрочнитель, ШСУ, уровни звукового давления, спектры шума, защитные устройства.

М.А. Tamarkin, E.E. Tishchenko, A.G. Isaev

## ACOUSTIC SAFETY SUPPORT AT MACHINING FLAT PARTS WITH BALL-ROD HARDENER

On the result basis of theoretical and experimental investigations there is developed a procedure for noise and vibration decrease according to the sanitary code at machining with a ball-rod hardener (BRH) of beam-type blank flat surfaces at the assurance of specified quality parameters of a surface layer. There are obtained theoretical models allowing the fulfillment of the assessment of noise scopes at ball-rod hardening. An engineering procedure is developed for designing devices for the active and passive noise-suppressing in the operator's working area allowing the noise decrease up to standard values. The regularities of the impact of blank design parameters, devices and technological modes of processing upon sound pressure levels in the operator's working area are defined. On the basis of the obtained models of noise formation there is developed

an engineering procedure for the computation of sound pressure scopes at processing with BRH which is confirmed by experimental investigations. A theoretical model of a roughness formation process on the part under machining taking into account BRH design properties, technological modes and physical and mechanical properties of material of parts under machining is developed. Basic regularities in the hardening parameter formation of a surface layer of the parts under machining are defined. A procedure of the development of efficient technological processes of machining with BRH is offered.

**Key words:** ball-rod hardener, BRH, levels of sound pressure, noise scopes, protective devices.

В современном производстве важное значение имеет обеспечение акустической безопасности при ударных процессах обработки деталей машин. Известно, что защита работников от воздействия опасных и вредных производственных факторов является актуальной. Следует особо выделить воздействие шума, который является постоянно действующим высокоинтенсивным фактором. Воздействие шума и вибраций приводит к появлению профессиональных заболеваний и оказывает отрицательное влияние на производительность труда работающих. При этом следует отметить, что снижение шума до санитарных норм является в большинстве случаев чрезвычайно сложной задачей и выдвигается на одно из первых мест.

Шарико-стержневой упрочнитель (ШСУ) - новое устройство, предназначенное для обработки поверхности деталей поверхностно-пластическим деформированием. Универсальное приспособление позволяет производить обработку не только плоских поверхностей, но и поверхностей лекальной формы, обладающих небольшими перепадами высот. Приспособление изобретено на кафедре «Технология машиностроения» ДГТУ под руководством профессора А.П. Бабичева. Технологические возможности устройства сочетают преимущества вибрационной обработки (обработка гибкой гранулированной средой) и значительные усилия соударения, характерные для чеканки и дробеструйной обработки.

Устройство состоит из рабочего узла - упрочнителя, содержащего в себе набор элементов для осуществления обработки фасонных поверхностей, и привода, в качестве которого используется стандартный пневмомолоток, широко применяемый на операциях клепки в условиях авиационной промышленности.

Упрочнитель содержит упаковку инденторов 2, представляющих собой стальные стержни со сферической заточкой на одном из торцов, установленные в корпус 3 с использованием цангового зажима 6, а также несколько слоев закаленных стальных шариков 4, на которые осуществляется ударно-волновое воздействие при помощи бойка 1, возвращающегося в исходную позицию с помощью упругого элемента 7 (рисунок).

Боек, приводимый в движение пневмомолотком, передает ударные импульсы

через несколько слоев шариков торцом стержней-инденторов, которые своими сферическими наконечниками оказывают ударное воздействие на поверхность обрабатываемой детали.

Несколько слоев стальных закаленных шариков обеспечивают гибкость обработки в определенных пределах путем создания возможности огибания фасонной поверхности детали пакетом стержней со сферическими наконечниками. Благодаря этому ШСУ может использоваться для устранения небольших дефектов поверхностей типа каверн, а также для создания регулярного и частично регулярного микрорельефа.

Основными технологическими параметрами процесса обработки ШСУ являются энергия удара ударника, диаметр и число стержней, радиус заточки.

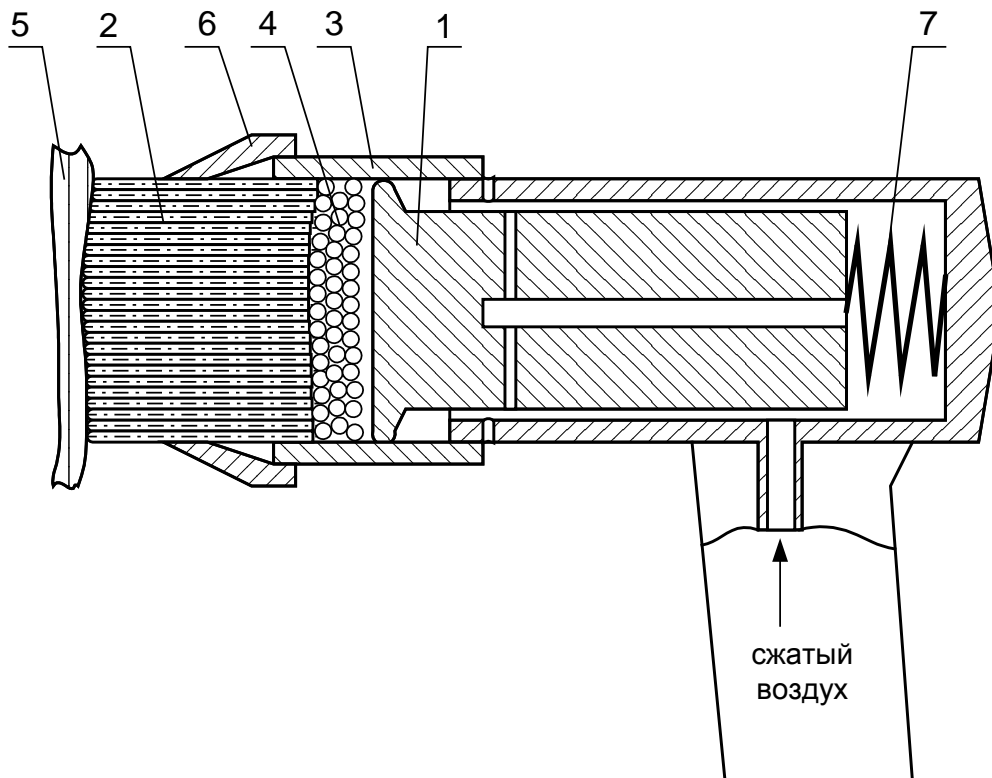


Рис. Схема многоконтактного виброударного инструмента (ШСУ):

1 - силовой привод с ударником; 2 - пакет круглых стержней;

3 - корпус упрочнителя; 4 - стальные шарики;

5 - обрабатываемая деталь; 6 - цанговый зажим;

7 - упругий элемент

Основной целью создания ШСУ являлась возможность местного упрочнения участков поверхности детали, содержащих концентраторы напряжений, а также доработка мест крепления крупногабаритных деталей на устройствах для ППД. В дальнейшем выяснилась возможность создания регулярных и частично регулярных микрорельефов при закреплении устройства в резцедержателе токарных станков либо на шпинделе фрезерных станков, позволяющих обеспечить необходимую скорость подачи устройства. Однако необходимо учитывать, что ударно-волновое воздействие на поверхность обрабатываемых деталей вызывает повышенное излучение шума (особенно при обработке деталей малой жесткости), что требует разработки мероприятий по устранению вредных условий труда на рабочем месте оператора путем снижения шума до нормативных значений.

Широкие технологические возможности обработки ШСУ вызвали необходимость проведения исследований влияния технологических режимов на качество обработанной поверхности и обеспечение акустической безопасности технологического процесса. Предварительные исследования, представленные в работах исследователей процесса обработки ШСУ [1; 2 и др.], показывают, что шум значительно превышает допустимые пределы. Среди всех опасных и вредных производственных факторов при обработке ШСУ шум является единственным фактором, который не удовлетворяет нормативным значениям. Это вызывает необходимость всесторонних исследований шумообразования при обработке ШСУ с целью разработки мероприятий по доведению шума до нормативных значений для обеспечения безопасных условий труда рабочего.

Технологический процесс обработки ШСУ плоских деталей реализуется в подавляющем большинстве случаев на универсальных фрезерных станках. Упрочнитель крепится на шпиндель фрезерного станка, который при этом не вращается. Фактически в формирование звукового поля в рабочей зоне оператора из элементов несущей системы станка вносит вклад

только привод подач. В современных фрезерных станках в приводе подач коробки с зубчатыми колесами не применяются, так как перемещение стола реализуется шариковой винтовой парой, вращение которой осуществляется от регулируемого двигателя. Такие механизмы характеризуются низким уровнем шума. Поэтому можно предположить, что спектры шума в рабочей зоне создаются звуковым излучением упрочняемых изделий и упрочнителя.

Упрочнению методом обработки ШСУ подвергаются длинномерные детали, у которых длина существенно больше размеров поперечного сечения (детали типа проката сложной формы, балок прямоугольного профиля, уголков, швеллеров, двутаврового профиля). В качестве модели источника шума для всех этих деталей можно принять линейный источник, звуковое давление которого, по данным работы [1], определяется по формуле

$$P = 9,5 \frac{v_k}{r} (f_k Fl)^{0,5}, \quad (1)$$

где  $v_k$  - скорость колебаний;  $f_k$  - собственные частоты колебаний;  $F$  - площадь излучающей звук поверхности;  $l$  - длина детали;  $r$  - расстояние от источника до расчетной точки.

При обработке ШСУ детали устанавливаются непосредственно на стол станка либо в приспособлениях. Поэтому собственные частоты деталей типа балок определяются как

$$f_k = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{\pi k}{l}\right)^4 \frac{EJ}{m_0} + \frac{j_{np}}{m_0}}, \quad (2)$$

где  $J$  - момент инерции детали;  $E$  - модуль упругости;  $m_0$  - распределенная масса;  $j_{np}$  - приведенная жесткость технологической системы;  $k$  - коэффициент, определяющий собственные частоты колебаний.

Для определения уровней звукового давления, создаваемых упрочненными изделиями типа балок, получено следующее выражение:

$$L = 20 \lg v_k + 10 \lg \left[ \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 \frac{EJ}{\rho} + \frac{j_{np}}{\rho} \right] \times F + 20 \lg \frac{l}{r} + 106, \quad (3)$$

где  $\rho$  - плотность материала заготовки.

Как видно из полученной зависимости, инженерный расчет уровней звукового давления сводится к определению скорости колебаний изделия на собственных частотах.

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + j_{np} y = P \delta(x - x_0), \quad (4)$$

где  $P$  - силовое воздействие со стороны технологического процесса;  $\delta(x - x_0)$  - дельта-функция смещения по координате  $x_0$ .

При шарико-стержневом упрочнении детали силовое воздействие упрочнителя на её поверхность перемещается со скоростью продольной или поперечной подачи. В этом случае дифференциальное уравнение изгибных колебаний имеет вид

Силовое воздействие представляет собой совокупность ударных взаимодействий каждого стержня упрочнителя с упрочненными изделиями. Поэтому уравнение изгибных колебаний примет вид

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + a^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 2 \frac{kP}{M} \sum_{k=1}^{\infty} \left( \sin \frac{\pi k x_1}{l} + \sin \frac{\pi k x_2}{l} + \dots + \sin \frac{\pi k x_k}{l} \right) \times \sin \frac{\pi k x}{l} \times \sin \frac{\pi k v}{l} t_1, \quad (5)$$

где  $x_k$  - координата расположения стержня упрочнителя;  $k$  - общее количество стержней;  $v$  - скорость перемещения стола с упрочняемым изделием;  $P$  - силовое воздействие единичного стержня;  $M$  - масса изделия;  $a^2 = \frac{EJ}{m_0}$ .

Решение данного уравнения относительно максимальной величины скорости колебаний за время реализации технологического процесса (по методу разделения переменных) имеет вид

$$v_k = y' = \frac{2\pi v k P}{Ml} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left( \sin \frac{\pi k x_1}{l} + \sin \frac{\pi k x_2}{l} + \dots + \sin \frac{\pi k x_k}{l} \right)}{a^2 \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + \frac{j_{np}}{m_0} - \left( \frac{\pi k v}{l} \right)^2}. \quad (6)$$

Как видно из полученных выражений, снижение шума в самом источнике возможно осуществить только путем вибропоглощения колебаний самой детали установкой её в специальном приспособлении, имеющем вибропоглощающие элементы вдоль поверхностей изделия, за исключением поверхности, которая и подвергается обработке ШСУ. В этом случае эффект снижения шума достигается как вибропоглощением, так и уменьшением площади поверхности излучения звуковой энергии. При проведении преобразований использован стандартный прием представ-

ления модуля упругости в комплексной форме [1]:

$$\tilde{E} = (1 + \eta) E,$$

где  $\eta$  - эффективный коэффициент потерь колебательной энергии упрочняемого изделия.

В этом случае скорость колебаний представляет собой комплексную величину. Для расчетов спектров шума, т.е. усредненных по октавам уровней звукового давления, достаточно определить действительную часть скорости колебаний. Тогда получим:

$$\operatorname{Re}\{v_k\} = \frac{2\pi k P}{Ml} \sum \frac{k \left( \sin \frac{\pi k x_1}{l} + \sin \frac{\pi k x_2}{l} + \dots + \sin \frac{\pi k x_k}{l} \right)}{\left\{ \left[ EJ \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + \frac{j_{np}}{m_0} - \left( \frac{\pi k v}{l} \right)^2 \right]^2 + (\eta EJ)^2 \left( \frac{\pi k}{l} \right)^3 \right\}^{0.5}} \times$$

$$\times \operatorname{sinarctg} \frac{-EJ\eta \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4}{EJ \left( \frac{\pi k}{l} \right)^4 + \frac{j_{np}}{m_0} - \left( \frac{\pi k v}{l} \right)^2 + (\eta EJ)^2 \left( \frac{\pi k}{l} \right)^3} \quad (7)$$

Следует учитывать, что в данном случае в расчет вводится суммарный коэффициент потерь колебательной энергии:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\sum_1^{a=1} \frac{E_i h_i^3}{(1 - M_i^2)} \eta_i}{\sum_1^{a=1} \frac{E_i h_i^3}{(1 - M_i^2)}}, \quad (8)$$

где  $a$  - количество слоев демпфирующей конструкции (1 - относится к самой детали).

Эффективность снижения шума в рассматриваемом случае может быть достигнута рациональным подбором как вибропоглощающего материала, так и его толщины. В том случае, когда применение такого способа не обеспечивает выполне-

$$\Delta L_{\Sigma} = 10 \lg \left( g \pi^2 \cdot \frac{h}{\lambda} \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) \cdot 10 \lg n, \quad (9)$$

где  $h$  - высота экрана;  $\lambda$  - длина волны в воздухе;  $\varphi$  - угол преломления звуковой волны;  $n$  - количество ребер экрана, через которые звуковая энергия проникает в расчетную точку.

Из формулы (9) получена зависимость высоты акустического экрана при условии выполнения санитарных норм шума:

$$h = 10^{0,1 \left( L_{pi} - L_{ci} + 1,1 - \lg f_i - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right)}, \quad (10)$$

ние санитарных норм шума, может быть существенно упрощена конструкция пассивной шумозащиты рабочей зоны станка.

При проведении исследований установлено, что для данных условий следует устанавливать плоский экран из поликарбонатного стекла, акустическая эффективность которого должна обеспечить выполнение санитарных норм уровней звукового давления во всем нормируемом диапазоне 31,5...2000 Гц. Практически требуемая акустическая эффективность экрана в данном конкретном случае обеспечивается его высотой, так как длина экрана определяется размерами стола установки. Поэтому из известной зависимости акустической эффективности [1; 3] получим:

где  $L_{pi}$  - фактические октавные уровни звукового давления;  $L_{ci}$  - октавные предельно допустимые уровни звукового давления;  $f_i$  - среднеквадратичные частоты октавных полос.

Высота экрана для октавных полос определяется следующим образом:

$$1\text{-я октава (f=31,5 Гц): } h = 10^{0,1 L_p - 10,6 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}.$$

$$2\text{-я октава (f=63 Гц): } h = 10^{0,1 L_p - 9,7 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}.$$

$$\begin{aligned}
 \text{3-я октава (f=125 Гц): } h &= 10^{0,1L_p - 9,1 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \\
 \text{4-я октава (f=250 Гц): } h &= 10^{0,1L_p - 8,9 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \\
 \text{5-я октава (f=500 Гц): } h &= 10^{0,1L_p - 8,9 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \\
 \text{6-я октава (f=1000 Гц): } h &= 10^{0,1L_p - 8,9 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \\
 \text{7-я октава (f=2000 Гц): } h &= 10^{0,1L_p - 9 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \\
 \text{8-я октава (f=4000 Гц): } h &= 10^{0,1L_p - 9,1 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} \\
 \text{9-я октава (f=8000 Гц): } h &= 10^{0,1L_p - 9,2 - \lg \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}
 \end{aligned}$$

При проведении экспериментальных исследований и внедрении предложенных решений в технологический процесс обработки ШСУ в рабочей зоне оператора достигнуто выполнение санитарных норм шума. По результатам расчета выбирается максимальное значение высоты акустического экрана. Экран также защищает оператора от травматизма при поломках инструмента или заготовки. В качестве материала экрана применяется поликарбонатное стекло.

Для обеспечения заданных параметров качества поверхностного слоя проведены теоретические исследования технологического процесса обработки шарикостержневым упрочнителем, целью которых является определение шероховатости поверхности, глубины упрочненного слоя и степени деформации при обработке.

Расчет параметров пластического отпечатка при внедрении сферического индентора в деформируемое полупространство подробно описан в работах И.В. Кудрявцева [4]:

- диаметр отпечатка

$$d = 4 \sqrt[4]{\frac{D \cdot E_y}{0,1HD}}; \quad (11)$$

- глубина отпечатка

$$h = \frac{d^2}{4D}, \quad (12)$$

где  $D$  - диаметр сферы;  $E_y$  - энергия удара;  $HD$  - динамическая твердость материала детали.

Согласно [7], динамическую твердость можно определить из соотношения

$$HB = 0,2HD^{0,89}, \quad (13)$$

где  $HB$  - твердость материала детали по Бринеллю.

Следовательно, можно записать:

$$HD = 6,1HB^{1,12}. \quad (14)$$

Тогда для ШСУ зависимость (1) можно представить в виде

$$d = 4 \sqrt[4]{\frac{D \cdot E_y \cdot \theta}{N \cdot HB^{1,12}}}, \quad (15)$$

где  $\theta$  - коэффициент полезного действия ШСУ;  $N$  - число стержней в пакете.

Для расчета высотных параметров шероховатости обработанной поверхности воспользуемся известной методикой П.П. Чебышева:

$$R_z = \frac{S^2}{8R}, \quad (16)$$

где  $S$  - подача устройства;  $R$  - радиус заточки индентора.

Назначим подачу при ШСУ для обеспечения равномерной шероховатости упрочненного слоя:

$$s = 0,3d. \quad (17)$$

После проведения преобразований получим зависимость для расчета шероховатости обработанной поверхности:

$$R_z = 0,03 \sqrt[4]{\frac{E_y \cdot \theta}{D \cdot N \cdot HB^{1,12}}}. \quad (18)$$

В работе [6] приведена зависимость для расчета глубины упрочненного слоя

при обработке поверхностным пластическим деформированием:

$$h_y = 2,5K\sqrt{D \cdot h}, \quad (19)$$

где  $K$  - коэффициент, зависящий от формы отпечатка (для ШСУ можно принять  $K=1$ ).

Используем эту зависимость для рассматриваемого метода обработки и после преобразований получим следующую зависимость для расчета глубины упрочненного слоя:

$$h_y = \sqrt[8]{\frac{\left(\frac{E_y \cdot \theta}{D \cdot N \cdot HB^{1,12}}\right)^3}{D}}. \quad (20)$$

Воспользуемся также известной зависимостью И.В. Кудрявцева для определения степени пластической деформации:

$$\varepsilon = \frac{d}{D}. \quad (21)$$

Согласно (11) и (14), после преобразований получим:

$$\varepsilon = 1,134\sqrt[4]{\frac{E_y \cdot \theta}{D^3 \cdot N \cdot HB^{1,12}}}. \quad (22)$$

Полученные теоретические зависимости прошли проверку при проведении комплексных экспериментальных исследований процесса обработки ШСУ. Установлена возможность их применения при проектировании технологических процессов обработки деталей.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований разработана методика проектирования техпроцессов обработки ШСУ с учетом обеспечения их акустической безопасности.

Проектирование технологических процессов начинается с перебора вариантов сочетаний технологических параметров, имеющихся в распоряжении технолога (мощность привода, число стержней в пакете, радиусы заточки стержней). Из всех вариантов выбирают такие, которые по расчетным зависимостям (18), (20), (22) обеспечивают необходимое качество поверхностного слоя.

Обычно время обработки принимают в пределах 10-20 секунд на ширину пакета стержней в направлении подачи. Если заданным условиям соответствует несколько вариантов технологического процесса, то выбирается вариант с наибольшей производительностью обработки.

По рассчитанным значениям технологических параметров определяются спектры шума при обработке. Если шум превышает нормативные значения, необходимо установить деталь в специальном приспособлении, имеющем вибропоглощающие элементы, что удастся редко из-за сложной конфигурации детали. При невозможности обеспечения акустической безопасности с использованием демфирующих элементов представляется возможным обеспечить её установкой экрана, параметры которого могут быть рассчитаны с применением рассматриваемой методики.

Представленные технологические рекомендации были внедрены в производство при обработке деталей шарикостержневым упрочнителем и прошли промышленные испытания в производственных условиях ЗАО «Донкузлитмаш».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чукарин, А.Н. Обеспечение комфортных условий труда при виброударной отделочной обработке фасонных деталей за счет снижения вибраций и шума / А.Н. Чукарин, Л.М. Щерба // Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении: сб. ст. по материалам всерос. науч.-техн. конф. - Н. Новгород; Арзамас, 2002. - С. 352-355.
2. 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 н/Д, 2003. - 166 с.

3. Иванов, Н.И. Расчет эффективности малых акустических экранов / Н.И. Иванов, М.М. Самойлов // Проблемы шумозащиты. - Днепропетровск, 1980. - С. 21-23.
4. Кудрявцев, И.В. Основы выбора режима упрочняющего поверхностного наклепа ударным спо-

- собом / И.В. Кудрявцев // Повышение долговечности деталей машин методами поверхностного наклепа. Труды ЦНИИТМАШ. - 1965. - Вып. 108. - С. 6-34.
5. Дрозд, М.С. Определение механических свойств металла без разрушения / М.С. Дрозд. - М.: Металлургия, 1965. - 172 с.
  6. Дрозд, М.С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М.С.

1. Chukarin, A.N. Assurance of convenient labor conditions at formed parts vibro-impact finishing at expense of vibration and noise decrease / A.N. Chukarin, L.M. Shcherba // *Efficient Technologies in Mechanical Engineering and Instrument Making Industry: Proceedings of All-Russian Scientific. Pract. Conf.* – N. Nowgorod; Arzamas, 2002. – pp. 352-355.
2. Shcherba, L.M. *Development of Technological Processes of Vibro-Impact Finishing with Ball-Rod Hardener Taking into Account Noise Decrease in Working Area*: Can. Eng. degree thesis / L.M. Shcherba. – Rostov-upon-Don, 2003. – pp. 166.
3. Ivanov, N.I. Efficiency computation of small acoustic screens / N.I. Ivanov, M.M. Samoilov // *Noise Proofing Problems.* – Dnepropetrovsk, 1980. – pp. 21-23.

Дрозд, М.М. Матлин, Ю.И. Сидякин. - М.: Машиностроение, 1986. - 224 с.

7. Сидякин, Ю.И. Разработка методов расчета упругопластических контактных деформаций в процессе упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 01.02.06 / Ю.И. Сидякин. - М., 2002. - 34 с.

4. Kudryavtsev, I.V. Fundamentals of mode choice for surface cold work hardening by impact way / I.V. Kudryavtsev // *Machinery Life Increase by Surface Cold Work Hardening. Proceedings of CNIT-MASH.* – 1965. – Issue 108. – pp. 6-34.
5. Drozd, M.S. *Nondestructive Metal Stress-Strain Properties Definition* / M.S. Drozd. – М.: Metallurgy, 1965. – pp. 172.
6. Drozd, M.S. *Engineering Computations of Elasto-Plastic Contact Deformation* / M.S. Drozd, M.M. Matlin, Yu.I. Sidiyakin. – М.: Mechanical Engineering, 1986. – pp. 224.
7. Sidiyakin, Yu.I. *Development of Methods for Computation of Elasto-Plastic Contact Deformations During Parts Hardening with Surface Plastic Deformation*: author's abstract of D. Eng. degree thesis: 01.02.06. / Yu.I. Sidiyakin. – М., 2002. – pp. 34.

Статья поступила в редколлегию 5.02.18.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета  
Киричек А.В.

#### Сведения об авторах:

**Тамаркин Михаил Аркадьевич**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета, e-mail: [tehn\\_rostov@mail.ru](mailto:tehn_rostov@mail.ru).

**Тищенко Элина Эдуардовна**, к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения» Донского

государственного технического университета, e-mail: [lina\\_tishenko@mail.ru](mailto:lina_tishenko@mail.ru).

**Исаев Александр Геннадьевич**, к.т.н., ст. преподаватель кафедры «Сервис и техническая эксплуатация автотранспортных средств» Донского государственного технического университета, e-mail: Isaev [278@rambler.ru](mailto:278@rambler.ru).

**Tamarkin, Michael Arkadievich**, D. Eng., Prof., Head of the Dep. "Engineering Techniques", Don State Technical University, e-mail: [tehn\\_rostov@mail.ru](mailto:tehn_rostov@mail.ru).

**Tishchenko Elina Eduardovna**, Can. Eng., Assistant Prof. of the Dep. "Engineering Techniques", Don State Technical University, e-mail: [lina\\_tishenko@mail.ru](mailto:lina_tishenko@mail.ru).

**Isaev Alexander Gennadievich**, Can. Eng., Senior Lecturer of the Dep. "Service and Maintenance of Vehicles", Don State Technical University, e-mail: Isaev [278@rambler.ru](mailto:278@rambler.ru).