

УДК 621.923

**В.В. Малыхин**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

**Н.М. Гайдаш**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

**Ю.А. Артеменко**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

**С.Г. Новиков**, канд. техн. наук, доцент, ЧОУ ВО «Региональный открытый социальный институт» (Курск, Россия) (e-mail: novikov1950sergey@yandex.ru)

**Ф.В. Новиков**, д-р техн. наук, профессор, НБОУ ВО «Харьковский национальный экономический университет» (Харьков, Украина) (e-mail: fokusnik1@rambler.ru)

## ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГРУЗОВОГО И ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

*Рассмотрено обеспечение высоких показателей точности и производительности механической обработки изношенных после длительной эксплуатации деталей, восстановленных с применением материалов с повышенными физико-механическими свойствами; приведена технология восстановления изношенных поверхностей деталей; для восстановления геометрических размеров одних деталей была выбрана технология газотермического напыления, исключая недопустимый перегрев восстанавливаемых деталей, а для других деталей процесс ручной аргоно-дуговой наплавки; приведены некоторые технические характеристики деталей трамвая, троллейбуса, автомобиля «Камаз», трактора ДТ-75, восстановленных наплавкой, нанесением покрытия и прошедших механическую обработку.*

*Проведен теоретический анализ условий уменьшения величины упругого перемещения, возникающего в технологической системе при механической обработке и определяющего параметры точно-сти обработки. Теоретически обоснованы возможности повышения точности и производительности обработки при шлифовании и резании лезвийными инструментами деталей с упрочненными (износостойкими) наплавочными материалами твердостью до HRC 63) рабочими поверхностями; аналитически описаны закономерности съема припуска при шлифовании деталей, восстановленных износостойкими наплавочными материалами, и определены пути повышения эффективности их обработки, состоящей в применении метода глубинного шлифования периферией круга с относительно небольшой скоростью детали. Показаны возможности повышения производительности обработки, уменьшения энергоемкости обработки и толщин срезов зернами круга, а соответственно и интенсивности износа круга. Расчетами установлено, что, осуществляя глубинное шлифование наплавочного материала, можно до 8 раз увеличить производительность обработки (при одной и той же толщине среза отдельным зерном круга) по сравнению с глубинным шлифованием сплошного (однородного) материала. Показана возможность значительных резервов шлифования деталей, восстановленных износостойкими наплавочными материалами, что открывает новые перспективы механической обработки восстановленных и упрочненных поверхностей деталей грузового и пассажирского транспорта. Установлены резервы повышения эффективности обработки приведенных деталей лезвийными инструментами из синтетических сверхтвердых материалов, из твердых сплавов с износостойкими покрытиями, использование демпфирующих резцов, а также алмазно-абразивное шлифование.*

**Ключевые слова:** технология, восстановление, детали грузового и пассажирского транспорта, газотермическое напыление, аргонодуговая наплавка, механическая обработка, точность и производительность обработки, теоретический анализ, величина упругого перемещения, лезвийные инструменты из сверхтвердых материалов, из твердых сплавов с износостойкими покрытиями, демпфирующие резцы, алмазно-абразивное шлифование.

DOI: 10.21869/2223-1560-2017-21-1-16-23

**Ссылка для цитирования:** Технология восстановления деталей грузового и пассажирского транспорта / В.В. Малыхин, Н.М. Гайдаш, Ю.А. Артеменко, С.Г. Новиков, Ф.В. Новиков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 1(70). С. 16 – 23.

\*\*\*

Обеспечение высоких показателей точности и производительности механи-

ческой обработки деталей, изготовленных из материалов с повышенными фи-

зико-механическими свойствами, является одной из важнейших задач технологии машиностроения. К таким деталям следует отнести детали с упрочненными рабочими поверхностями. В последние годы для восстановления изношенных поверхностей деталей широко применяются износостойкие наплавки и покрытия. В осо-

бой мере это относится к деталям грузового и пассажирского транспорта. На рисунке 1 и в таблице приведены некоторые детали трамвая, троллейбуса, автомобиля «Камаз», трактора ДТ-75, восстановленные наплавкой, нанесением покрытия и прошедшие механическую обработку.

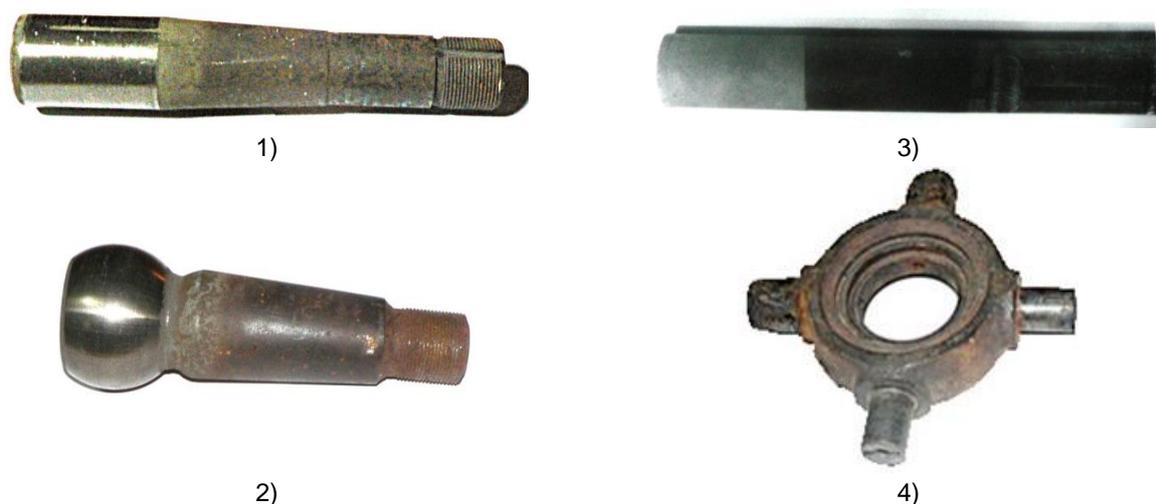


Рис. 1. Детали-представители, восстановленные методами наплавки и нанесения покрытий: а – штырь поворотного кулака троллейбуса; б – палец шаровый реактивной штанги автомобиля «Камаз»; в – вал вилки муфты сцепления трактора ДТ-75; г – крестовина карданного вала трамвая Т-3М

#### Характеристика деталей-представителей, восстановленных после износа

№	Наименование детали	Материал	Характеристика износа	Способ восстановления	Примечание
1	Штырь поворотного кулака троллейбуса	Сталь 12ХН3А	Износ посадочного места под подшипник скольжения	Газотермическое напыление	Твердость восстановленной поверхности HRC 34-40
2	Палец шаровый реактивной штанги автомобиля «Камаз»	Сталь 45	Износ сферической поверхности	Газотермическое напыление	Твердость восстановленной поверхности HRC 38-42
3	Вал вилки муфты сцепления трактора ДТ-75	Сталь 35	Износ посадочного места под подшипник скольжения	Газотермическое напыление	Твердость восстановленной поверхности HRC 38-42
4	Крестовина карданного вала трамвая Т-3М	Сталь 45	Износ посадочных мест под подшипники	Аргон-дуговая наплавка	Твердость восстановленной поверхности HRC 54-58

Штырь поворотного кулака и палец шаровой опоры являются ответственными деталями ходовой части троллейбуса и грузового автомобиля «Камаз» и при выборе технологии восстановления исключают применение способов с расплавлением металла восстанавливаемой детали.

Вал вилки муфты сцепления трактора имеет малый диаметр при большой длине, что сохраняет определенный риск деформации при восстановлении дугowymi способами наплавки. Поэтому для восстановления геометрических размеров деталей 1-3 была выбрана технология газотермического напыления, исключающая недопустимый перегрев восстанавливаемых деталей.

Процесс напыления деталей 1-3 включал следующие операции: подготовку порошков, предварительную обработку изношенной поверхности деталей, напыление порошков на изношенную поверхность, механическую обработку покрытия после напыления. Предварительно напыляли подслоем порошком ПН85Ю15; толщина подслоя 0,15-0,2 мм. Рабочий слой напыляли порошком ПТ-ЮНХ16СР3. Общая толщина подслоя и рабочего напыленного слоя 2 мм. Применяли комплект для газотермического напыления «Термика-2». Режимы напыления: давление кислорода – 0,5 МПа, давление ацетилена – 0,07 МПа, расход кислорода 22 л/мин, расход ацетилена 10 л/мин, грануляция порошка – 40 – 100 мкм, дистанция напыления 90 -130 мм; частота вращения детали 60 об/мин, скорость перемещения горелки 3-4 мм/об.

Процесс восстановления крестовины карданного вала трамвая выполнялся способом ручной наплавки в среде аргона. В качестве неплавящегося электрода при-

меняли вольфрамовые электроды из лантанированного вольфрама марки ВЛ по ТУ 48-19-27-77 диаметром 3 мм.

Режимы ручной аргонодуговой наплавки: сварочный ток – постоянный, полярность – прямая, ток наплавки – 130 А, напряжение – 35 В, расход аргона – 12 л/мин. Присадочный материал – порошковая проволока.

Как показывает практика, механическая обработка таких деталей лезвийным инструментом протекает с высокой силовой напряженностью, что резко снижает точность и производительность обработки. Например, при обработке восстановленных газотермическим напылением поверхностей на деталях 1 и 2 точением резцом с пластиной из твердого сплава Т5К10 приходится уменьшать подачу и скорость резания в 2 раза для достижения нормативной стойкости инструмента и требуемой точности размеров обработанных поверхностей. При этом, шероховатость поверхности составляет  $R_a = 3,2 \dots 6,3$  мкм. После точения требуется выполнить шлифование упрочненных поверхностей для достижения точности размеров по 7 качеству и шероховатости  $R_a = 1,0 \dots 2,0$  мкм. Интенсификация режимов резания при точении вызывает уменьшение стойкости резцов до двух раз, появление вибраций и погрешности формы обработанных поверхностей. Необходимо отметить, что вопросам обработки деталей, восстановленных нанесением наплавкой и напылением износостойких материалов, в научно-технической литературе постоянно уделяется большое внимание в связи с их широким применением [1,10].

Важным резервом повышения эффективности обработки приведенных деталей следует рассматривать резание лезвийными инструментами из синтетиче-

ских сверхтвердых материалов, из твердых сплавов с износостойкими покрытиями, использование демпфирующих резцов, а также алмазно-абразивное шлифование [2,5,6,7,8].

Установлено, что одним из производительных методов их обработки является алмазное шлифование [2,6,7]. Однако его эффективно применять при обработке наплавочных материалов твердостью  $HRC < 60$ . При большей твердости наплавочного материала алмазный круг на органической связке быстро изнашивается, а на металлической связке интенсивно засаливается (даже при его непрерывной электроэрозионной правке) и процесс шлифования протекает нестабильно.

В связи с многообразием способов обработки деталей, восстановленных наплавкой и напылением, необходимо теоретически обосновать условия эффективного применения абразивной и лезвийной обработки наплавочных материалов высокой твердости по критериям точности и производительности обработки. Поскольку при обработке таких деталей точность обработки определяется в основном упругими перемещениями, возникающими в технологической системе, то представляет интерес решить задачу выбора оптимальных параметров обработки на основе теоретического описания и анализа условий уменьшения упругих перемещений, возникающих в технологической системе при обработке приведенных деталей на круглошлифовальных станках.

Теоретически установлено, что наиболее производительным циклом круглого шлифования, обеспечивающим заданную точность обработки, является цикл, включающий этап ускоренного создания в технологической системе начального натяга  $y_{уст}$ , а затем шлифование по схеме

выхаживания (рис. 2,а). Основное время обработки определяется в этом случае по зависимости [3]:

$$\tau_{min} = \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot l \cdot \sigma}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}} \cdot \ln \left( \frac{y_{уст}}{y_0} \right), \quad (1)$$

где  $D_{дет}$ ,  $l$  – диаметр и длина обрабатываемой детали, м;  $y_{уст} = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{K_{ш} \cdot c \cdot V_{кр}}$  – уста-

новившееся значение величины упругого перемещения, возникающего в технологической системе, м;  $\sigma$  – условное напряжение резания,  $H/m^2$ ;  $K_{ш} = P_z / P_y$  – коэффициент шлифования;  $P_z$ ,  $P_y$  – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;  $c$  – приведенная жесткость технологической системы, Н/м;  $Q_{ном} = S \cdot V_{дет} \cdot t$  – номинальная производительность обработки,  $m^3/c$ ;  $S$  – продольная подача, м/об;  $V_{дет}$ ,  $V_{кр}$  – скорости вращения детали и круга, м/с;  $t$  – номинальная глубина шлифования, м;  $y_0$  – заданная погрешность обработки (после выхаживания), определяемая величиной упругого перемещения в технологической системе, м. Если, величина снимаемого припуска  $\Pi$  превышает величину натяга  $y_{уст}$

$\Pi \gg y_{уст}$  (где  $\Pi$  – величина снимаемого припуска, м), целесообразно использовать цикл шлифования, показанный на рис. 2,б. В этом случае между  $y_{уст}$  и номинальной производительностью обработки  $Q_{ном}$  существует пропорциональная связь по зависимости:

$$y \approx y_{уст} = \frac{\sigma \cdot Q_{ном}}{K_{ш} \cdot c \cdot V_{кр}}. \quad (2)$$

Основными условиями повышения  $Q_{ном}$  с учетом ограничения по точности обработки являются (рис. 2): применение

многопроходного, глубинного шлифования и шлифования по упругой схеме, поскольку, согласно (2), величина  $y_{уст}$  не зависит от схемы шлифования, а определяется номинальной производительностью обработки  $Q_{ном}$ .

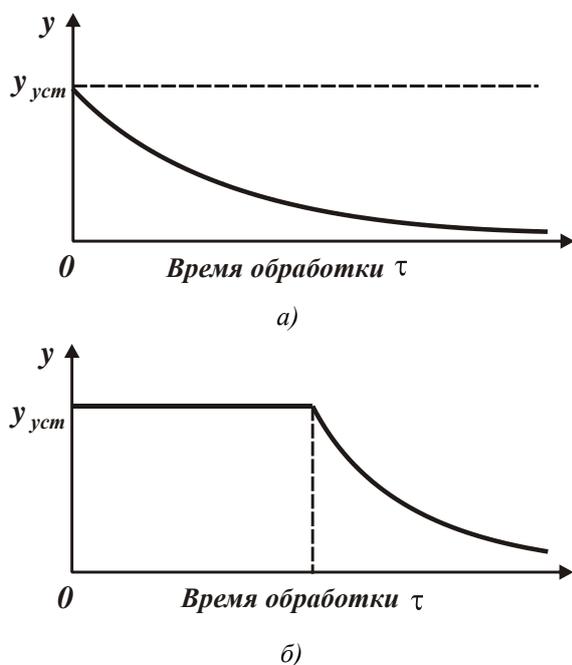


Рис. 2. Зависимость натяга  $y_{уст}$  от времени обработки  $\tau$  для оптимального цикла шлифования (а) и для цикла шлифования, включающего этапы черного шлифования и выхаживания (б)

Необходимо отметить, что создание и непрерывное поддержание в технологической системе заданного натяга  $y_{уст}$  является основным направлением эффективного ведения процесса круглого шлифования рабочих контактных поверхностей (упрочненных наплавленными материалами твердостью HRC 62-63) поскольку данный процесс осуществляется в условиях низкой жесткости технологической системы [4]. Поэтому определение оптимального значения натяга  $y_{уст}$  является важной задачей. Поддержание в процессе заданного значения  $y_{уст}$  позволит обеспечить равенство фактической и номинальной глубины шлифования, т.е.

максимальное использование режущей способности шлифовального круга.

Анализ формул (1) и (2) показывает, что уменьшить погрешность обработки без снижения номинальной производительности обработки  $Q_{ном}$  можно уменьшением условного напряжения резания (энергоёмкости обработки)  $\sigma$  и увеличением параметров  $K_{ш}$ ,  $s$  и  $V_{кр}$ . Это достигается в первую очередь обеспечением высокой режущей способности шлифовального круга. Поскольку, как известно, при шлифовании параметр  $\sigma$  всегда больше, чем при резании лезвийным инструментом, то целесообразно при финишной обработке переходить от шлифования к лезвийной обработке. Это позволит повысить производительность и точность обработки, что подтвердили испытания демпфирующих резцов [4,5,8,9]. Структурную схему, отражающую условия повышения производительности обработки наплавленных поверхностей с учетом точности, можно представить следующим образом (рис. 3).

Анализ структурной схемы показывает, что добиться повышения эффективности обработки износостойких наплавочных материалов можно шлифованием по предлагаемым схемам или лезвийной обработкой. Из способов шлифования наиболее перспективным является глубинное, а при лезвийной обработке использование резцов с режущей частью из композита и демпфирующих резцов. Расчетами установлено, что, осуществляя глубинное шлифование наплавочного материала, можно до 8 раз увеличить производительность обработки (при одной и той же толщине среза отдельным зерном круга) по сравнению с глубинным шлифованием сплошного (однородного) материала.

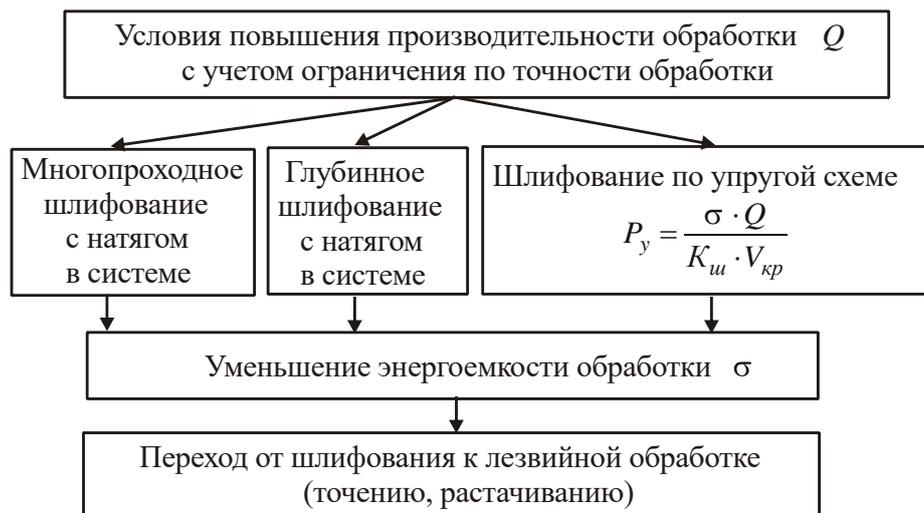


Рис. 3. Структурная схема условий повышения производительности обработки

Это свидетельствует о существовании значительных резервов при шлифовании упрочненных поверхностей.

Таким образом, анализ обработки деталей, восстановленных наплавкой и напылением износостойких материалов, позволил с единых позиций определить условия уменьшения величины упругого перемещения, возникающего в технологической системе и влияющего на параметры точности обработки. Теоретически обоснованы возможности достижения требуемой точности при обеспечении высокой производительности обработки при шлифовании и резании лезвийными инструментами, что открывает новые перспективы механической обработки восстановленных и упрочненных поверхностей деталей грузового и пассажирского транспорта.

#### Список литературы

1. Рыжов Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. – Киев: Наук. думка, 1994. – 180 с.
2. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями:

дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – Харьков, 1989. – 210 с.

3. Малыхин В.В., Новиков Ф.В. Принципы управления процессом алмазного электроэрозионного шлифования // Машиностроение – основа технологического развития России ТМ-2013: сб. науч. статей V Междунар. науч.-техн. конф. (22-24 мая 2013 г.). – Курск, 2013. – С. 577-583.

4. Повышение устойчивости процесса точения демпфирующим резцом / С.Г. Новиков, В.В. Малыхин, Е.А. Кудряшов, Е.И. Яцун, Е.В. Павлов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – №3(36). – С.122-125.

5. Эффективная обработка виброгасящим инструментом закалённых сталей / Е.И. Яцун, Е.А. Кудряшов, В.В. Малыхин, А.Н. Астапов // Машиностроение – основа технологического развития России ТМ-2013: сб. науч. статей V Междунар. науч.-техн. конф. (22-24 мая 2013 г.). – Курск, 2013. – С. 395-400

6. Анализ влияния условий шлифования на работоспособность алмазных кругов / В.В. Малыхин, С.Г. Новиков, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков // Физические и компьютерные технологии: сб. ма-

териалов 15 Междунар. науч.-техн. конф. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2009. – С. 82-86.

7. Новіков Ф.В., Рябенков І.О. Теоретичні основи механічної обробки високоточних деталей: монографія. – Харьков: Вид. ХНЕУ, 2013. – 352 с.

8. Малыхин В.В., Яцун Е.И., Новиков С.Г. Повышение эксплуатационных характеристик демпфирующих резцов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – №2. – С.43-46.

9. Малыхин В.В., Яцун Е.И., Новиков С.Г. Виброакустическая диагностика состояния режущего инструмента и микронеровностей обработанной поверхности // Справочник: инженерный журнал. – 2014. – № 4. – С. 31 – 35.

10. Артеменко Ю.А., Рыжков Е.В., Болотин Н.С. Моделирование процессов модифицирования износостойких наплавочных сплавов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – №2. – С. 9-11.

*Поступила в редакцию 17.11.16*

UDC 621.923

**V.V. Malihin**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

**N.M. Gaidah**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

**Yu.A. Artemenco**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

**S.G. Novikov**, Candidate of Engineering Sciences, Regional Open Social Institute " (Kursk, Russia) (e-mail: novikov1950sergey@yandex.ru),

**F.V. Novikov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Kharkov National Economic University (Kharkov, Ukraine) (e-mail: fokusnik1@rambler.ru)

## **FREIGHT AND PASSENGER VEHICLES PARTS RECONDITIONING TECHNIQUE**

*High accuracy and efficiency indices of machining of worn-out after continuous service parts, reconditioned using materials with high physical and mechanical properties have been studied; a reconditioning technique for worn-out surfaces of parts have been presented; to restore the dimensions of some parts, thermal spraying technique without inadmissible excessive heating of the parts has been chosen, and for another group of parts the process of manual argon-arc surfacing has been chosen; some specifications of the parts of the tram, trackless trolley bus, "KAMAZ", DT-75 tractor reconditioned by means of surfacing, coating and machining are given.*

*Theoretical analysis of the conditions of the reduction of the elastic displacement value, appearing in a technological system during mechanical processing and determining the parameters of machining precision has been performed. Machining accuracy and efficiency improving features for grinding and cutting with cutting tools of parts with hardened (wear-resistant hardfacing materials with hardness up to HRC 63) function surfaces have been theoretically substantiated; some regularities of stock removal while grinding parts reconditioned using wear-resistant hardfacing materials have been analytically described, ways to improve the efficiency of their machining involving application of the method of deep grinding with the wheel periphery with rather low parts speed have been defined. Some ways to increase machining efficiency, to reduce energy consumption of machining and thickness of the cutting by grains of the wheel, and thus the wheel wear rate are presented. By means of calculations it was found out that realizing deep grinding of facing material, machining efficiency can increase by up to 8 times (with the same cutting thickness by a wheel grain) compared with the deep grinding of a solid (homogenous) material. Significant potential for grinding parts restored using wear-resistant surfacing materials, which opens new prospects for machining of resurfaced and face-hardened parts for freight and passenger vehicles, is shown. Potential for machining efficiency*

enhancement of the mentioned parts with cutting tools made of superhard synthetic materials, hard alloys with wear-resistant coatings, the use of damping cutters, and diamond-abrasive grinding is specified.

**Key words:** technology, reconditioning, freight and passenger vehicles parts, thermal spraying, argon-arc surfacing, machining, machining accuracy and performance, theoretical analysis, elastic displacement value, superhard, hard alloy cutting tools with wear-resistant coating, damping cutters, diamond-abrasive grinding.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2017-21-1-16-23

**For citation:** Malihin V.V., Gaidah N.M., Artemenco Yu.A., Novikov S.G., Novikov F.V. Freight and Passenger Vehicles Parts Reconditioning Technique, Proceeding of Southwest State University, 2017, vol. 21, no. 1(70), pp. 16-23 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Ryzhov Je.V., Klimenko S.A., Gucalenko O.G. Tehnologicheskoe obespechenie kachestva detalej s pokrytijami. – Kiev: Nauk. dumka, 1994. – 180 s.

2. Novikov G.V. Povyshenie jeffektivnosti almazno-iskrovogo shlifovanija detalej s vysokop-rochnymi pokrytijami: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.02.08. – Har'kov, 1989. – 210 s.

3. Malyhin V.V., Novikov F.V. Principy upravlenija processom almaznogo jelektrojerozionnogo shlifovanija // Mashinostroenie – osnova tehnologicheskogo razvitija Rossii TM-2013: sb. nauch. statej V Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. (22-24 maja 2013 g.)/ – Kursk, 2013. – S. 577-583.

4. Povyshenie ustojchivosti processa tochenija dempfirujushhim rezcom / S.G. Novikov, V.V. Malyhin, E.A. Kudrjashov, E.I. Jacun, E.V. Pavlov // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2011. – №3(36). – S.122-125.

5. Jeffektivnaja obrabotka vibrogasjashhim instrumentom zakaljonnyh stalej / E.I. Jacun, E.A. Kudrjashov, V.V. Malyhin, A.N. Astapov // Mashinostroenie – osnova tehnologicheskogo razvitija Rossii TM-2013: sb. nauch. statej V Mezhdunar.

nauch.-tehn. konf. (22-24 maja 2013 g.). – Kursk, 2013. – S. 395-400.

6. Analiz vlijanija uslovij shlifovanija na rabotosposobnost' almaznyh krugov / V.V. Malyhin, S.G. Novikov, F.V. Novikov, G.V. Novikov // Fizicheskie i komp'juternye tehnologii: sb. materialov 15 Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. – Har'kov: HNPK «FJeD», 2009. – S. 82-86.

7. Novikov F.V., Rjabenkov I.O. Teoretichni osnovi mehanichnoï obrobki visokotochnih detalej: monografija. – Har'kov: Vid. HNEU, 2013. – 352 s.

8. Malyhin V.V., Jacun E.I., Novikov S.G. Povyshenie jekspluacionnyh karakteristik dempfirujushhh rezcov// Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii. – 2012. – №2. – S.43-46.

9. Malyhin V.V., Jacun E.I., Novikov S.G. Vibroakusticheskaja diagnostika sostojanija rezhushhego instrumenta i mikronerovnostej obrabotannoj poverhnosti // Spravochnik: inzhenernyj zhurnal. – 2014. – № 4. – S. 31 – 35.

10. Artemenko Ju.A., Ryzhkov E.V., Bolotin N.S. Modelirovanie processov modifikirovanija iznosostojkih naplavochnyh splavov // Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii. – 2012. – №2. – S. 9-11.