

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Аннотация.

Актуальность и цели. Большое влияние на эксплуатационные свойства восстанавливаемых деталей автомобилей оказывает формирование и строение поверхностного слоя, характеристики которого зависят от протекающих при обработке процессах. При обработке деталей, восстановленных методом электродуговой наплавки под слоем флюса, одним из основных показателей эксплуатационных свойств поверхностного слоя является микротвердость, которая является следствием тепловых процессов, протекающих в поверхностном слое детали. На характер тепловых и силовых явлений при лезвийной обработке большое влияние оказывает способ охлаждения зоны резания. Влияние различных способов охлаждения зоны резания на тепловые процессы и на свойства поверхностного слоя изучено не достаточно. Целью работы является выявление влияния способа охлаждения на микротвердость поверхностного слоя восстановленных методом наплавки деталей после обработки.

Материалы и методы. Исследования температурных процессов в зоне резания осуществлялись путем получения картины тепловых полей тепловизором NEC G120 и анализом с использованием специального программного обеспечения Thermography Studio. Оценка физико-механических характеристик поверхностного слоя проводилась методом измерения микротвердости.

Результаты. Выявлено влияние способа охлаждения на глубину упрочненного слоя. Определена закономерность распределения микротвердости по глубине поверхностного слоя после лезвийной обработки при различных способах охлаждения. Определены температуры зоны резания в процессе лезвийной обработки восстановленных методом наплавки деталей при охлаждении зоны резания различными способами.

Выводы. Охлаждение аэрозольными водно-масляными технологическими средами позволяет обеспечить более эффективное охлаждение зоны резания (в сравнении с подачей поливом) при лезвийной обработке восстановленных методом наплавки деталей. Выявлено, что на глубину упрочненного слоя метод охлаждения не оказывает значительного влияния. Способ подачи охлаждающих сред влияет на характер распределения микротвердости по глубине деформированного слоя.

Ключевые слова: обработка, микротвердость, наклеп, температура резания, смазочно-охлаждающая технологическая среда, аэрозоль, наплавка, ремонт, восстановление, транспортные машины.

N. E. Kurnosov, Yu. A. Zakharov, A. A. Nikolotov

IMPROVING THE QUALITY OF THE SURFACE LAYER FOR THE MACHINING OF RESTORED PARTS OF TRANSPORT MACHINES

Abstract.

Background. The formation and structure of the surface layer, the characteristics of which depend on the processes occurring during processing, have a great influence on the operational properties of the restored car parts. When processing parts restored by the method of electric arc surfacing under a flux layer, one of the main indicators of the operational properties of the surface layer is microhardness, which is a consequence of the thermal processes occurring in the surface layer of the part. The nature of thermal and power phenomena during blade cutting is greatly influenced by the method of cooling the cutting zone. The influence of various methods of cooling the cutting zone on thermal processes and on the properties of the surface layer is not well understood. The aim of the work is to identify the effect of the cooling method on the microhardness of the surface layer of the parts restored after surfacing after processing.

Materials and methods. Investigations of temperature processes in the cutting zone were carried out by obtaining a picture of thermal fields with a NEC G120 thermal imager and analysis using special Thermography Studio software. The physico-mechanical characteristics of the surface layer were evaluated by the method of microhardness measurement.

Results. The effect of the cooling method on the depth of the hardened layer is revealed. The regularity of the distribution of microhardness over the depth of the surface layer after blade processing with various cooling methods is determined. The temperatures of the cutting zone in the process of blade processing of the parts restored by surfacing were determined while cooling the cutting zone in various ways.

Conclusions Cooling by aerosol water-oiled technological fluids allows more efficient cooling of the cutting zone (as compared with irrigation feed) during blade cutting of parts restored by surfacing. It was revealed that the cooling method does not have a significant effect on the depth of the hardened layer. The method of supplying cooling media affects the nature of the distribution of microhardness along the depth of the deformed layer.

Keywords: manufacture, micro hardness, hardening, cutting temperature, lubricating and cooling agents, aerosol, surfacing, repair, restoration, transport machines.

Введение

В процессе эксплуатации значительная часть деталей транспортных машин находится во фрикционном взаимодействии, что приводит к изнашиванию, а следовательно, и к изменению размеров и формы сопрягаемых деталей. Основным способом восстановления размеров и формы деталей является нанесение ремонтных покрытий (наплавка, напыление, гальваническое осаждение и др.) с последующей механической обработкой. Большое влияние на эксплуатационные свойства восстанавливаемых деталей автомобилей оказывает формирование и строение поверхностного слоя, расположенного под обработанной поверхностью и контактирующего с сопряженной деталью в процессе эксплуатации. Силы резания и нагрев, сопровождающие процесс

резания, вызывают пластическую деформацию тонких поверхностных слоев, расположенных под обработанной поверхностью. Процессы, происходящие в поверхностных слоях, связаны с наклепом и разупрочнением, с повышением микротвердости, образованием остаточных напряжений и оказывают решающее влияние на эксплуатационные свойства деталей [1]. Так, к примеру, повышению износостойкости деталей в большинстве случаев способствует предварительное упрочнение поверхностного слоя металла, которое уменьшает смятие и истирание поверхностей при наличии их непосредственного контакта [2]. Высокая твердость и прочность поверхностного слоя после наплавки приводит к возникновению высоких сил резания и температуры при обработке, что при отсутствии эффективного теплоотвода приводит к разупрочнению поверхностных слоев. Традиционным способом снижения теплонапряженности процесса механической обработки является подача охлаждающих сред в зону резания методом полива или под давлением.

Наплавленный металл по своему сечению имеет неоднородные физико-механические свойства, химический состав и микроструктуру. Механические свойства наплавленного металла значительно превосходят таковые у нормализованной стали, что приводит к иным уровням скоростей резания [3]. Кроме того, обработка восстановленных деталей сопряжена с высоким тепловыделением, прерывистым резанием и значительными силами резания, что вызывает необходимость применения высокоэффективных составов смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС), что приводит к заметному удорожанию ремонта. Поиск путей снижения затрат на обеспечение высокого качества обработки привел к необходимости минимизации количества подаваемых СОТС: так называемая технология MQL (Minimum Quantity Lubrication) [4] заключается в подаче в зону обработки небольших количеств жидких СОТС в аэрозольном виде. MQL-технология позволяет решать задачи снижения температуры обработки за счет использования испарительного охлаждения, а также эффективной смазки трущихся поверхностей благодаря высокой проникающей способности летящих с высокой скоростью мелкодисперсных капель.

1. Методика исследования

Для оценки эффективности охлаждения зоны резания при использовании различных способов подачи СОТС было проведено исследование распределения температуры по поверхности обрабатываемой детали.

Для исследования были подготовлены образцы деталей в виде цилиндров диаметром 80 мм и длиной 250 мм из стали 45. На поверхность деталей методом электродуговой наплавки под слоем флюса были нанесены восстанавливающие покрытия толщиной до 5 мм. В процессе проведения исследования образцы деталей протачивались на токарно-винторезном станке модели 16К20. При обработке зона резания охлаждалась поливом, подачей аэрозольных водно-масляных СОТС, и осуществлялась обработка без охлаждения. При чистовой обработке применялись резцы с наплавляемой пластиной Т30К4 с геометрией режущей части: $\varphi = 45^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\lambda = -2^\circ$. Для чернового точения использовался резец со сменной неперетачиваемой пластиной из сплава Т5К10. Геометрия режущей части при черновом точении: $\varphi = 45^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\lambda = 4^\circ$, $f = 0,2$ мм.

В соответствии с рекомендациями [5] при обработке выдерживались следующие режимы обработки:

- черновое точение: $t = 2,5$ мм, $s = 0,5$ мм/об, $v = 150$ м/мин;
- чистовое точение: $t = 0,5$ мм, $s = 0,2$ мм/об, $v = 215$ м/мин.

Получение картины тепловых полей в зоне резания осуществлялось тепловизором NEC G120 с максимальной температурой измерения до 1500 °С. Полученные термограммы обрабатывались и анализировались с помощью специального программного обеспечения – Thermography Studio 5.1.0.902.

Оценка физико-механических характеристик поверхностных слоев восстановленной детали проводилась с помощью измерения микротвердости $H\mu$ по глубине поверхностного слоя на косых шлифах под углом 2° микротвердомером ПМТ-3 методом восстановленного отпечатка при нагрузке 100 г и времени выдержки 15 с [6]. Использовался алмазный индентор с углом при вершине между противоположными гранями 136°.

Измерения микротвердости выполнялись в следующей последовательности:

- выбиралось место первого внедрения индентора на расстоянии не менее 5 мм от края образца для устранения искажений результатов, вызванных смятием кромки;
- затем проводили последовательное внедрение индентора вдоль оси образца с таким расчетом, чтобы расстояние между отпечатками составляло не менее одной диагонали и получался ряд из не менее пяти отпечатков;
- образец смещался перпендикулярно оси образца и выполнялся еще ряд измерений;
- продвижение перпендикулярно оси образца продолжалось до тех пор, пока последние три ряда отпечатков не показали разницу средних значений длины диагоналей, не превышающую 3 %.

При охлаждении зоны резания поливом использовался эмульсол при подаче свободно падающей струей с расходом 15 л/мин. Аэрозольные водно-масляные СОТС подавались (методика получения и подачи представлена [7]) в соотношении масляной и водной фракций 1:20 с общим расходом жидких компонентов аэрозоля 200 г/ч.

2. Результаты исследований

Полученные с тепловизора термограммы показывают конфигурацию тепловых полей на поверхностях обрабатываемой детали и инструмента (рис. 1).

В табл. 1 приведены результаты исследования распределения температур в зоне резания при различных способах охлаждения.

Термограммы показывают, что эффективность охлаждения зоны резания аэрозольными СОТС выше, чем при охлаждении поливом. Проникновение мелкодисперсных капель в зону резания обеспечивает снижение температуры детали, о чем свидетельствуют результаты обработки термограмм. Необходимо отметить, что стружка имеет температуру в 5–6 раз большую, чем инструмент и деталь, это вносит значительный вклад в теплоотвод из зоны резания.

Анализ термограмм показывает, что картина чистового точения принципиально не отличается от чернового. Также наблюдается высокая темпера-

тура с зоне взаимодействия, значительная часть тепла уносится стружкой. Основным отличием является более низкая теплонапряженность процесса из-за значительного снижения величины срезаемого слоя.

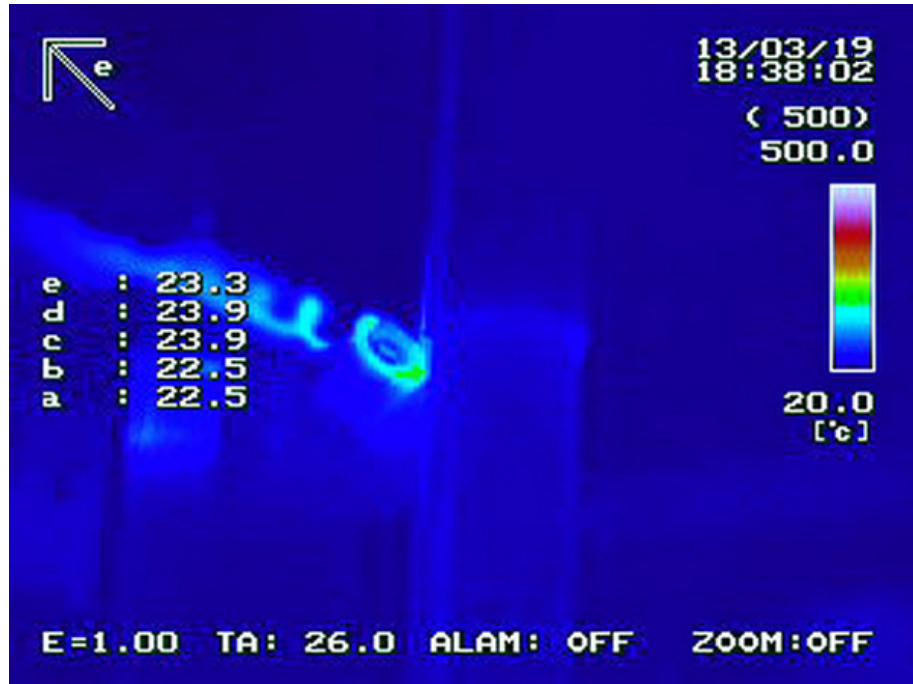


Рис. 1. Пример термограммы зоны резания

Таблица 1

Термограммы зоны резания при продольном точении восстановленных деталей (черновая обработка)

Способ охлаждения	Средняя температура при черновой обработке T , °C	Средняя температура при чистовой обработке T , °C
Без охлаждения	814	418
СОЖ в виде аэрозоля	423	298
Полив эмульсией	491	357

Проведенное исследование показало, что аэрозольные водно-масляные СОТС обеспечивают эффективное охлаждение зоны резания, это позволяет оказывать влияние на формирование поверхностных слоев детали.

Результаты исследования влияния метода охлаждения при продольном точении на глубину упрочненного слоя металла приведены в табл. 2 и 3.

Исследование показало, что глубина упрочненного слоя зависит от применения СОТС, при обработке без использования СОТС наблюдается увеличение глубины упрочненного слоя, что связано с более высокой степенью пластической деформации поверхностного слоя. Применение СОТС позволяет снизить глубину упрочненного слоя за счет снижения коэффициента трения детали по задней поверхности резца. В целом величина изменения толщины упрочненного слоя при различных методах смазки и охлаждения зоны резания незначительна.

Таблица 2

Глубина упрочненного слоя h_c , мм, при охлаждении (черновое точение)

Аэрозольные СОТС	Полив СОТС	Без охлаждения
0,356	0,354	0,415
0,374	0,367	0,411
0,352	0,37	0,421
Средние значения глубины поверхностного слоя		
0,361	0,364	0,416

Таблица 3

Глубина упрочненного слоя h_c , мм, при охлаждении (чистовое точение)

Аэрозольные СОТС	Полив СОТС	Без охлаждения
0,027	0,03	0,032
0,031	0,028	0,039
0,028	0,029	0,034
Средние значения глубины поверхностного слоя		
0,029	0,029	0,035

Более показательным для оценки влияния способа охлаждения зоны резания является распределение микротвердости по глубине деформированного слоя (рис. 2, 3).

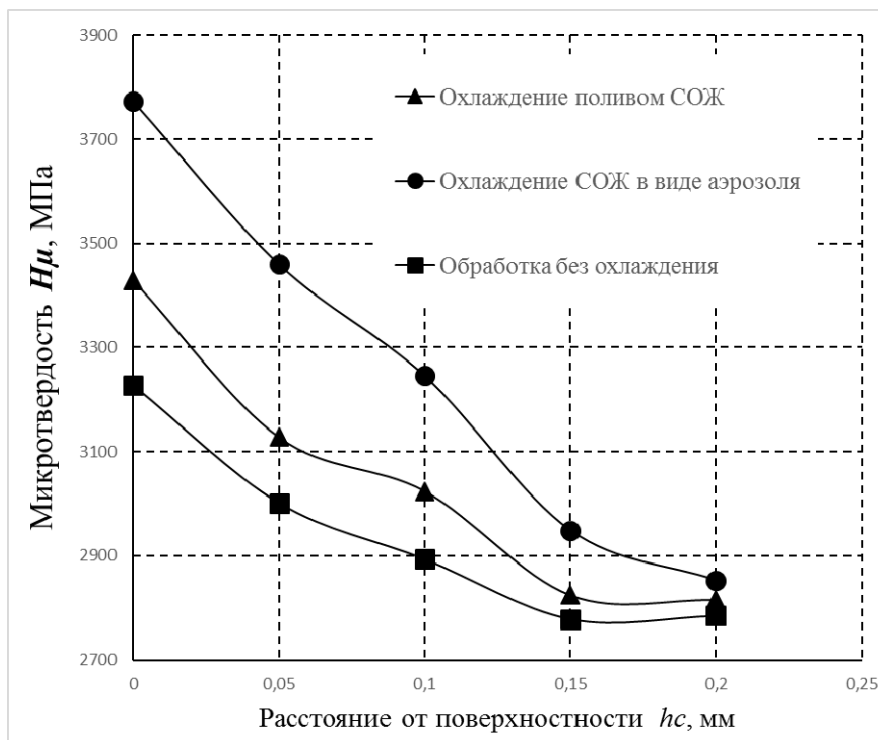


Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине при черновой обработке

При применении охлаждения формирование деформированного слоя зависит от одновременного протекания двух процессов: пластической дефор-

мации в результате взаимодействия детали и инструмента и тепловой деформации в результате локального нагрева детали при резании. Использование СОТС влияет как на процесс деформации, снижая силы трения при резании за счет реализации смазывающих свойств СОТС, так и на тепловую деформацию детали, снижая нагрев детали и предотвращая фазовые изменения структуры металла.

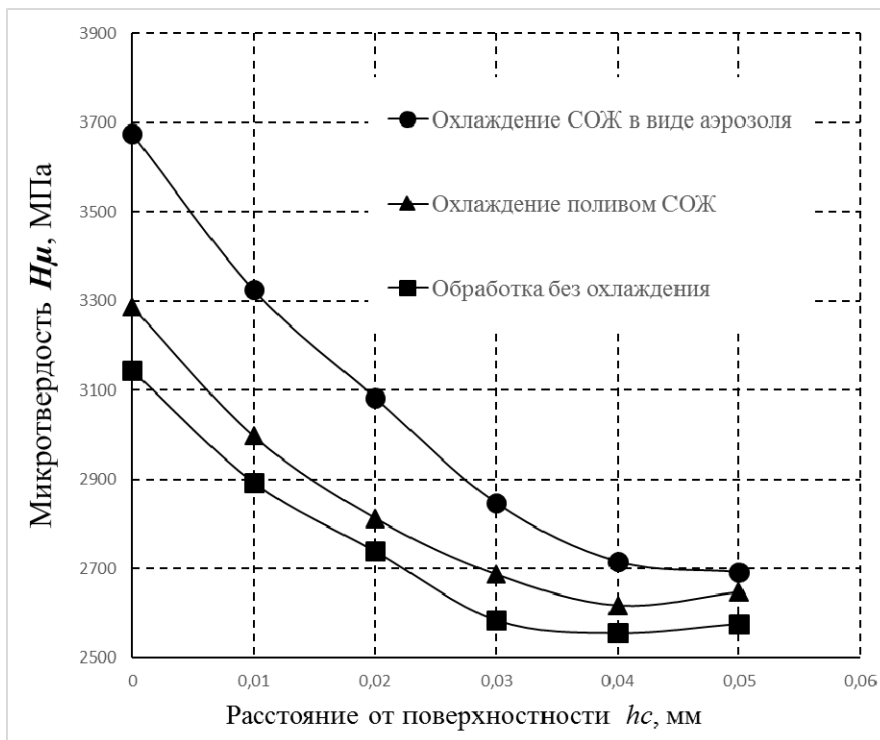


Рис. 3. Распределение микротвердости по глубине при чистовой обработке

Исследования показали, что при обработке происходит формирование на поверхности обработанной детали упрочненного слоя толщиной до 0,1 мм (рис. 2). При этом использование СОТС позволяет увеличить твердость этого слоя на 13–16 %. Выявленное влияние СОТС на характер распределения микротвердости по глубине деформированного слоя показывает, что при черновой обработке преобладает упрочнение за счет изменения структуры металла при интенсивном нагреве и быстром охлаждении.

Картина распределений микротвердости при чистовом точении показывает, что основным процессом возникновения наклепа является пластическая деформация поверхностных слоев металла. На это указывает некоторое снижение упрочнения при введении СОТС из-за уменьшения трения.

Заключение

Проведенное исследование показало:

1. Охлаждение аэрозольными водно-масляными СОТС позволяет обеспечить более эффективное (на 13,8 % при черновой обработке и на 16,5 % при чистовой обработке) в сравнении с подачей СОТС поливом охлаждение зоны

резания при лезвийной обработке восстановленных методом наплавки деталей.

2. Выявлено, что на глубину упрочненного слоя метод охлаждения не оказывает значительного влияния.

3. Способ подачи охлаждающих сред влияет на характер распределения микротвердости по глубине деформированного слоя. Охлаждение аэрозольными водно-масляными СОТС позволяет получать на 9–11 % большие значения микротвердости, чем при охлаждении поливом, и на 13–16 % больше по сравнению с сухим резанием.

Библиографический список

1. Восстановление деталей машин : справочник / Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Иванов, В. М. Константинов ; под ред. В. П. Иванова. – Москва : Машиностроение, 2003. – 672 с.
2. Маталин, А. А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин / А. А. Маталин. – Киев : Техника, 1971. – 144 с.
3. Воловик, Е. Л. Справочник по восстановлению деталей / Е. Л. Воловик. – Москва : Колос, 1981. – 351 с.
4. Потапов, В. А. Применение механической обработки с минимальным количеством СОЖ на Германских заводах / В. А. Потапов // Машиностроитель. – 1999. – № 11. – С. 46–52.
5. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2 / гл. ред. А. М. Дальский ; под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2001.
6. Харитонов, Л. Г. Определение микротвердости / Л. Г. Харитонов. – Москва : Metallurgiya, 1967. – 48 с.
7. Курносоев, Н. Е. Методика оценки охлаждающей способности распыленных СОТС / Н. Е. Курносоев, А. А. Николотов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 2 (10). – С. 166–175.

References

1. Panteleenko F. I., Lyalyakin V. P., Ivanov V. P., Konstantinov V. M. *Vosstanovlenie detaley mashin: spravochnik* [Car parts restoring: reference book]. Moscow: Mashinostroenie, 2003, 672 p. [In Russian]
2. Matalin A. A. *Tekhnologicheskie metody povysheniya dolgovechnosti detaley mashin* [Technological methods of car parts' lifespan improvement]. Kiev: Tekhnika, 1971, 144 p.
3. Volovik E. L. *Spravochnik po vosstanovleniyu detaley* [Part restoration handbook]. Moscow: Kolos, 1981, 351 p. [In Russian]
4. Potapov V. A. *Mashinostroitel* [Machine builder]. 1999, no. 11, pp. 46–52. [In Russian]
5. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitel'ya T. 2* [A handbook of a specialist in machine building. Vol. 2]. Editor-in-chief A. M. Dalsky; eds. A. G. Kosilovoy, R. K. Meshcheryakova, A. G. Suslova; 5th ed., rev. and suppl. Moscow: Mashinostroenie, 2001. [In Russian]
6. Kharitonov L. G. *Opreделение mikrotverdosti* [Microhardness determination]. Moscow: Metallurgiya, 1967, 48 p. [In Russian]
7. Kurnosov N. E., Nikolotov A. A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [University proceedings. Volga region. Engineering sciences]. 2009, no. 2 (10), pp. 166–175. [In Russian]

Курносов Николай Ефимович

доктор технических наук, профессор,
кафедра транспортных машин,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: TTMO-PGU@mail.ru

Kurnosov Nikolay Efimovich

Doctor of engineering sciences, professor,
sub-department of transport machines,
Penza State University (40 Krasnaya
street, Penza, Russia)

Захаров Юрий Альбертович

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой эксплуатации
автомобильного транспорта, Пензенский
государственный университет
архитектуры и строительства (Россия,
г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)

E-mail: avto@pguas.ru

Zakharov Yuriy Al'bertovich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, head of sub-department
of road transport operation,
Penza State University of Architecture
and Construction (28 Germana Titova
street, Penza, Russia)

Николотов Андрей Александрович

старший преподаватель, кафедра
транспортных машин, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: Nikolotov@mail.ru

Nikolotov Andrey Aleksandrovich

Senior lecturer, sub-department
of transport machines, Penza State
University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Образец цитирования:

Курносов, Н. Е. Повышение качества поверхностного слоя при обработке восстановленных деталей транспортных машин / Н. Е. Курносков, Ю. А. Захаров, А. А. Николотов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2019. – № 4 (52). – С. 112–120. – DOI 10.21685/2072-3059-2019-4-9.