

Общие принципы управления качеством газопламенных покрытий при ремонте деталей

В.А. Марков^а, В.И. Кретинин^б, А.Н. Марков^с, А.В. Трофимов^д, В.А. Соколова^е

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, пер. Институтский 5, Санкт-Петербург, Россия

^аmactor85@mail.ru, ^бkvi_1960@mail.ru, ^сmactor85@mail.ru, ^дagregat9@yandex.ru, ^еsokolova_vika@inbox.ru

Статья поступила 5.04.2016, принята 21.04.2016

За последние годы Россия вышла на лидирующие позиции в мире по производству чугуна, стали, проката. Однако в технологических процессах изготовления и восстановления деталей еще имеются большие резервы, использование которых должно привести к повышению качества изделий и существенной экономии средств на их производстве. Качество получаемого покрытия должно соответствовать требованиям представленных температурных и динамических нагрузок. Газопламенное напыление является одним из перспективных технологических методов нанесения восстановительных и упрочняющих покрытий. Широкому внедрению этого способа напыления препятствует отсутствие системы управления качеством газопламенных покрытий. Данный метод восстановления деталей не требует покупки дорогостоящего оборудования, а, следовательно, подходит для большинства даже небольших предприятий. Для разработки принципов управления качеством газопламенных покрытий необходимо рассмотреть факторы, влияющие на качество напыляемых покрытий. Их можно разделить на две группы, к первой относятся факторы, определяющие параметры процесса газопламенного напыления — состав и расход горючей газовой смеси, свойства напыляемого материала, конструкция газопламенной горелки, скорость и температура струи горючей газовой смеси, а также напыляемых частиц. Ко второй группе относятся твердость и шероховатость напыляемой поверхности, дистанция напыления, температура основы, скорость перемещения напыляемой поверхности по отношению к горелке, условия охлаждения напыляемого покрытия, дополнительные воздействия на напыляемую деталь и покрытие. В качестве выходных параметров обычно принимают прочность сцепления покрытия с основой, коэффициент использования наносимого материала и пористость покрытия.

Ключевые слова: газопламенное напыление; упрочнение покрытий; прочность сцепления; управление качеством.

General principles for controlling the quality of gas-flame coatings while doing component overhaul

V.A. Markov^a, V.I. Kretinin^b, A.N. Markov^c, A.V. Trofimov^d, V.A. Sokolova^e

Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov; 5, Institutskiy per., Saint Petersburg, Russia

^amactor85@mail.ru, ^bkvi_1960@mail.ru, ^cmactor85@mail.ru, ^dagregat9@yandex.ru, ^esokolova_vika@inbox.ru

Received 5.04.2016, accepted 21.04.2016

Gas-flame spraying is one of perspective technological methods of applying recovery and hardening coatings. Lack of a quality-control system for gas-flame coatings are impeding widespread introduction of this way of spraying. This method of component restoration does not require purchasing the expensive equipment and, consequently, is suitable for the majority of enterprises, even if they are of a small scale. To develop the principles for controlling the quality of gas-flame coatings, the factors are necessary to be considered, influencing the coating quality. These factors can be divided into two groups. The first group contains the factors, defining the parameters of the gas-flame spraying process such as composition and consumption of the gas-flame mixture, properties of the sprayed material, design of a gas-flame torch, speed and temperature of the gas-flame stream and sprayed particles. The second group contains hardness and roughness of the sprayed surface, distance of spraying, foundation temperature, movement speed of the sprayed surface in relation to a gas-flame torch, refrigerating conditions for the sprayed coating, additional impacts on the sprayed component and the coating. As output parameters the coupling durability between coating and the foundation, the efficiency of the applied material and the coating porosity are usually accepted.

Key words: gas-flame spraying; coating hardening; coupling durability; quality control.

Введение

Газопламенное напыление является одним из перспективных технологических методов нанесения восстановительных и упрочняющих покрытий. Широкому внедрению этого способа напыления препятствует отсутствие системы управления качеством газопламен-

ных покрытий. Для разработки технологии восстановления детали необходимо проведение научно-исследовательской работы по определению оптимальных режимов газопламенного напыления, что связано с отсутствием общей методики проектирования этого процесса. Управление качеством газотермических по-

крытий включает в себя выбор технологических параметров процесса, влияющих на показатели качества покрытий, и регулирование ими (стабилизация или изменение по заданной программе).

Газопламенное напыление — это наиболее доступный из методов *газотермического напыления*. Газопламенное напыление предполагает формирование капель (частиц) малого размера расплавленного металла и перенос их на обрабатываемую поверхность, где они удерживаются, формируя тем самым непрерывное покрытие. Металлический либо полимерный порошковый, проволочный либо шнуровой материал подается в пламя ацетилен-кислородной либо пропан-кислородной горелки, расплавляется и переносится сжатым воздухом на напыляемую поверхность, где, остывая, формирует *покрытие*. Метод прост в освоении и применении, может использоваться как в ручном, так и в автоматизированном режиме [А.П. Кочненко, 1999].

С помощью газопламенного напыления наносят износостойкие и коррозионно-стойкие покрытия из железных, никелевых, медных, алюминиевых, цинковых сплавов, баббитовые покрытия *подшипников скольжения*, электропроводные, электроизоляционные и декоративные покрытия. Метод широко применяется для восстановления геометрии различных деталей.

Покрытия, полученные газопламенным напылением, отличаются *пористостью* в 2–10 % и могут обрабатываться *резанием* либо *шлифованием*.

За последние годы наша страна вышла на лидирующие позиции в мире по производству чугуна, стали, проката. Однако в технологических процессах изготовления и восстановления деталей еще имеются большие резервы, использование которых должно привести к повышению качества изделий и существенной экономии средств на их производстве.

На сегодняшний день существует лишь несколько типовых технологических процессов нанесения плазменных покрытий на простейшие детали (поршневые кольца двигателей, нитеводители текстильных машин и т. п.) [Ф.И. Пантелеенко и др., 2003].

Типовой технологический процесс восстановления деталей газопламенным нанесением покрытий включает следующие операции: подготовка напыляемой поверхности, нанесение подслоя (при необходимости), напыление покрытия, обработка покрытия. Каждая технологическая операция характеризуется определенным количеством факторов, оказывающих влияние на свойства покрытий. Изучению влияния различных факторов на свойства покрытий посвящено много работ. В итоге пришли к выводу, что на качество напыленного слоя влияют более 60 различных факторов [Ф.И. Пантелеенко и др., 2003].

Качество покрытия характеризуется следующими свойствами: прочность сцепления с основой; когезионная прочность напыленного слоя; пористость; равномерная толщина; уровень остаточных напряжений; однородность структуры и свойств (рис. 1).

Качество модели процесса напыления является регламентируемым элементом, что вызвано недостаточной разработкой вопросов управления свойствами покрытий. Основным фактором, от которого зависит

качество газопламенного покрытия, является точность математической модели процесса напыления, обеспечивающей стратегию и алгоритмы управления свойствами покрытий.

Для разработки принципов управления качеством газопламенных покрытий необходимо рассмотреть факторы и их влияние на качество напыляемых покрытий. При газопламенном напылении покрытия все факторы, влияющие на его качество, можно разделить на две группы. К первой группе относятся факторы, определяющие параметры процесса газопламенного напыления: состав и расход горючей газовой смеси, свойства напыляемого материала, конструкция газопламенной горелки, скорость и температура струи горючей газовой смеси, а также напыляемых частиц. Ко второй группе относятся твердость и шероховатость напыляемой поверхности, дистанция напыления, температура основы, скорость перемещения напыляемой поверхности по отношению к горелке, условия охлаждения напыляемого покрытия, дополнительные воздействия на напыляемую деталь и покрытие.

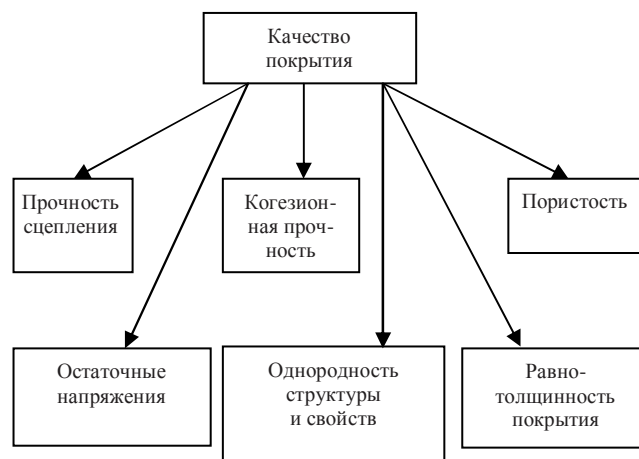


Рис. 1. Качество покрытия

Если, к примеру, речь идет о восстановлении деталей лесной техники, следует учитывать особенности ее эксплуатации — в течение всего года, с двумя сезонными перерывами, в жестких климатических условиях. При этом максимальная нагрузка, 60–70 % работы лесозаготовительных машин приходится на зимний период с отрицательными температурами до -40°C и ниже. В зимнее время, от трех до четырех месяцев, машины работают в снегу, глубина которого достигает 1 000 мм, в весенне-летний период — в условиях большой захламленности и увлажненности, когда глубина жидкой грязи может достигать 0,5 м. В предзимний период движение лесозаготовительных машин происходит по замерзшему твердому грунту, что увеличивает коэффициент динамичности в 1,5–2 раза. Исходя из этого, качество получаемого покрытия должно удовлетворять представленным температурным и динамическим нагрузкам [Т. Wilson, 2001].

Методика исследования. Обобщенная схема влияния факторов на показатели качества газопламенных покрытий и их связь с технологическими операциями напыления представлена на рис. 2.

Из обобщенной схемы видно, что от первой группы факторов зависят температура и скорость напыляемых частиц, которые достигают основы и определяют свойства покрытий. Постоянные величины температуры и скорости частиц достигаются стабильностью состава и расхода горючей газовой смеси, однородным фракционным составом напыляемого материала. Вторая группа факторов также влияет на все показатели качества покрытия. Поэтому повышение качества напыляемого покрытия может быть достигнуто с учетом комплексного влияния факторов первой и второй группы [Л.Х. Балдаев, 2007].

Вследствие неоднородности распределения по поперечному сечению газовой струи температурного и скоростного полей напыляемый порошок нагревается неодинаково. Соответственно, периферийные частицы нагреваются недостаточно, и попадание их в покрытие приводит к снижению его качества. Для предотвращения этого явления применяют экраны и насадки к горелке различных конструкций. Прочность сцепления покрытия с основой зависит от слоя, находящегося в контакте с поверхностью детали, поэтому необходимо, чтобы данный слой содержал по возможности меньше периферийных частиц. Их число зависит также от такого фактора, как скорость относительного перемещения газопламенной горелки и напыляемой поверхности. При недостаточной скорости нижний слой будет формироваться с большим количеством периферийных частиц, поэтому правильный выбор скорости относительного перемещения является важным.

Эффективным способом повышения прочности сцепления покрытия с основой является управление таким фактором, как охлаждение напыляемого покрытия с целью поддержания температуры основы в определенных пределах. Для этого применяют обдувку детали со стороны, противоположной напылению сжатым воздухом, азотом, сжиженным углекислым газом, смесью сжатого воздуха с водой и др. Предварительная подготовка напыляемой поверхности заключается в очистке от грязи, масел и создании определенной шероховатости. Повышение прочности сцепления покрытия с основой происходит за счет зацепления расплавленных частиц о микронеровности поверхности и увеличения площади взаимодействия. Так, площадь поверхности после абразивно-струйной обработки в три раза больше площади поверхности до обработки.

Важным фактором, влияющим на прочность сцепления напыляемого покрытия с основой, является величина промежутка времени между технологическими операциями подготовки поверхности и напылением покрытия. При разработке технологии напыления покрытий необходимо предусмотреть, чтобы этот промежуток времени был минимальным. Это позволит сохранить поверхность наиболее энергетически активной, что положительно скажется на прочности сцепления покрытия с основой [Ф.И. Пантелеенко и др., 2003].

В случае напыления покрытия из материала, значительно отличающегося от материала основы по коэффициенту термического расширения, например керамики на металл, необходимо применять подслоя из материала, который имеет промежуточное значение

коэффициента термического расширения, что обеспечит формирование более низкого уровня остаточных напряжений в переходной зоне «покрытие – подслоя – основа». В качестве материала подслоя обычно применяют порошки алюмината никеля или нихрома как наиболее доступные и не дорогие.

Получение покрытий равной толщины и минимальной волнистости зависит от стабильности работы порошкового питателя и скорости относительного перемещения напыляемой поверхности и горелки.

Дополнительные воздействия на напыляемую деталь и покрытие позволяют целенаправленно повысить любой из показателей качества покрытия. Например, снижение колебаний на напыляемую деталь позволяет снизить уровень остаточных напряжений в покрытиях [А.Г. Схиртладзе, 2012].

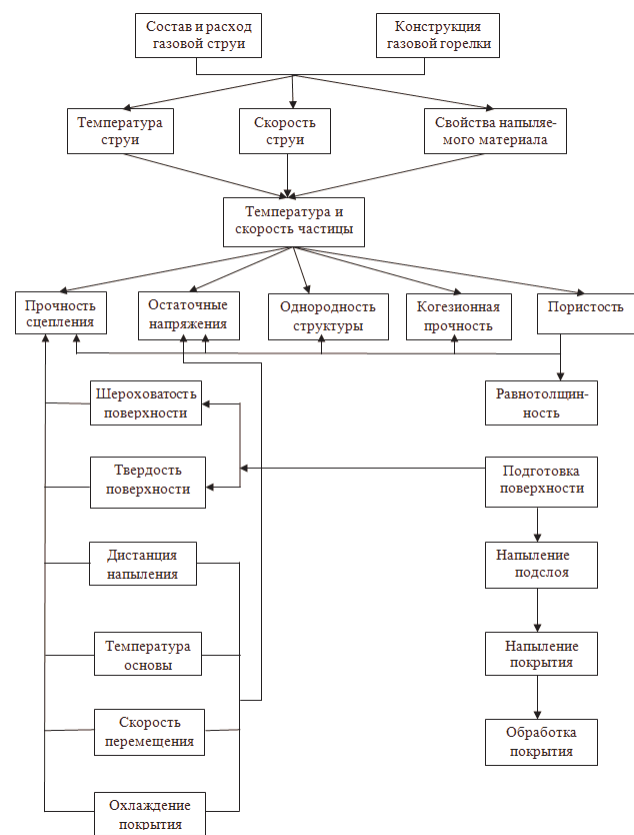


Рис. 2. Обобщенная схема влияния факторов на показатели качества газопламенных покрытий

Качество оборудования для газотермического напыления определяется ресурсом его стабильной работы, широтой диапазона регулирования параметров, возможностью быстрой переналадки, степенью механизации и автоматизации, а также эргономическими и экологическими показателями, влияющими на качество труда операторов. Качество заготовки, если не учитывать ее конструктивных особенностей, определяется качеством подготовки поверхности для напыления. Требования к качеству наносимого материала и рабочих газов приведены в соответствующих нормативных документах. Управляющие воздействия на показатели качества покрытий представлены на рис. 3.

Результаты исследования. В качестве выходных параметров обычно принимают прочность сцепления покрытия с основой, уровень остаточных напряжений, когезионную прочность, пористость, равнотолщинность, однородность структуры и свойств.

Управляющие воздействия можно объединить в следующие три группы:

1) параметры напыления (давление горючего газа — $P_{гг}$; давление кислорода — $P_{к}$; расход горючего газа — $Q_{гг}$; расход кислорода — $Q_{к}$; соотношение между горючим газом и кислородом — β);

2) кинематические параметры (дистанция напыления — L ; угол напыления — α ; скорость перемещения горелки — V ; скорость подачи горелки — S ; скорость вращения заготовки — n);

3) дополнительные воздействия (виброобработка, электроискровое легирование).

Современный этап развития газотермических способов напыления характеризуется совершенствованием методов получения покрытий и комбинированием их с другими технологиями с целью повышения качества напыляемых покрытий и управления их свойствами как при напылении, так и при последующей обработке. Возможны три варианта такого комбинирования: совмещение нескольких методов газотермического нанесения покрытий; применение при напылении приемов, не вносящих существенных изменений в схему процесса, но позволяющих улучшить свойства покрытий; дополнительная обработка покрытий.

Как было показано выше, качество покрытия характеризуется следующими показателями: прочность сце-

пления покрытия с основой, когезионная прочность напыленного слоя, пористость, равномерная толщина покрытия, уровень остаточных напряжений, однородность структуры и свойств покрытия.

Наибольшее влияние на эти показатели оказывают температура и скорость напыляемых частиц, температура подложки и свойства среды. Рассмотрим некоторые способы управления качеством покрытий.

Величину нагрева напыляемых частиц можно регулировать путем изменения длины газопламенной струи и состава горючей смеси, подогрева струи дополнительным потоком горючего газа либо интенсификации теплообмена газовой смеси с напыляемыми частицами [Ю.С. Борисов, 1987].

Активация поверхности основы за счет предварительного подогрева позволяет проводить процесс нанесения покрытий при оптимальной температуре, при которой происходит интенсивное химическое взаимодействие материалов основы и покрытия. Необходимо отметить, что величина предварительного подогрева металлической заготовки при напылении на воздухе ограничена критической температурой $T_{кр}$, превышение которой приводит к нежелательному увеличению толщины пленки оксида на поверхности подложки и, соответственно, снижению уровня остаточных напряжений [Л.М. Гурд, 1985].

Наиболее распространен предварительный подогрев напыляемой детали в термических печах либо непосредственно струей газопламенной горелки [V. Meller, 2010].

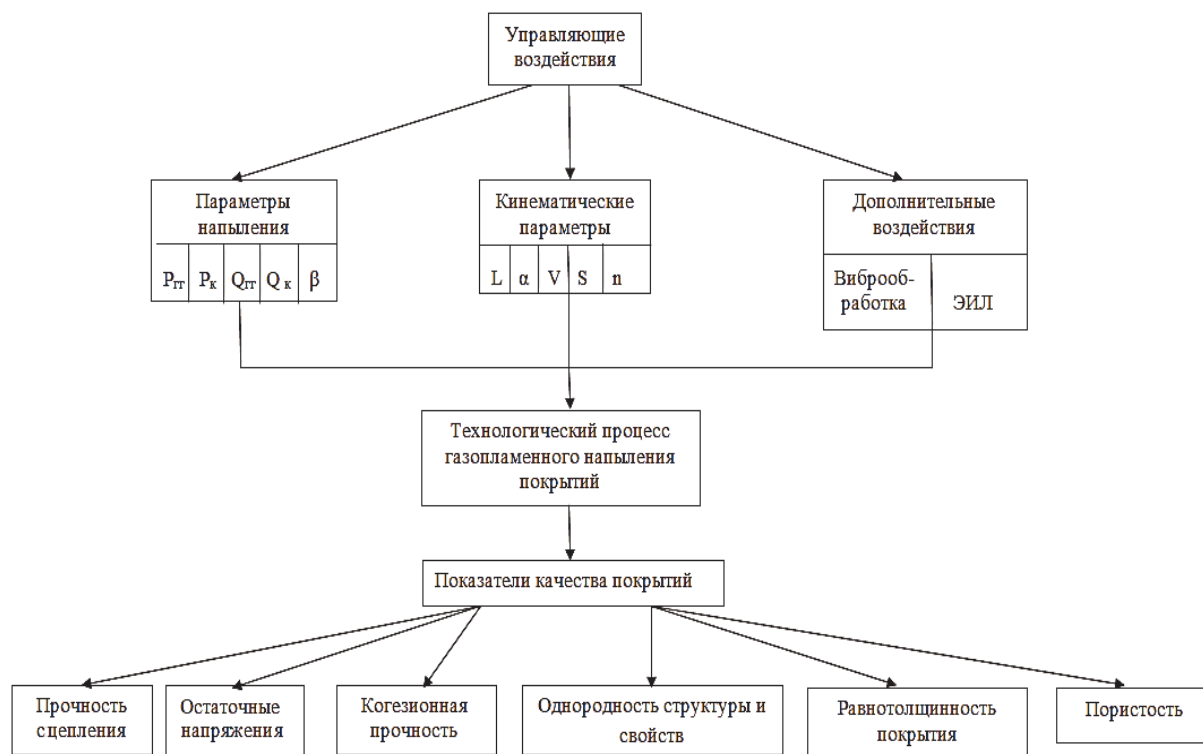


Рис. 3. Управляющие воздействия на показатели качества газопламенных покрытий

Одним из эффективных способов управления качеством является охлаждение напыляемого покрытия и детали в процессе нанесения покрытия. Это бывает необходимо при напылении покрытий на тонкостенные детали или покрытий большой толщины. Охлаждение напыляемого покрытия и детали обычно производят сжатым воздухом. Для более эффективного охлаждения можно применять водный аэрозоль или углекислоту.

Для получения качественного покрытия частицы с низкими скоростями, находящиеся в периферийной части газопламенной струи, необходимо удалять. С этой целью применяют специальные экраны (маски), отсекающие периферийную зону газопламенной струи

Выводы

На основе изложенного можно сформулировать общие принципы управления качеством газопламенных покрытий. Они заключаются в том, что на стадии создания модели восстанавливаемой детали задается качество покрытия с учетом условий эксплуатации и ресурса работы изделия. На стадии разработки модели технологического процесса газопламенного напыления производится выбор наносимого материала и горючей газовой смеси, осуществляется расчет параметров процесса напыления. В качестве выходных параметров обычно принимают прочность сцепления покрытия с основой, коэффициент использования наносимого материала и пористость покрытия.

Литература

1. Пантелеенко Ф.И. Восстановление деталей машин: справочник / под ред. В.П. Иванова. М.: Машиностроение, 2003. 672 с.
2. Балдаев Л.Х. Гатотермическое напыление порошковых материалов для получения защитных покрытий с заданными свойствами: дис. ... д-ра техн. наук. Курск: 2009, 317 с.
3. Балдаев Л.Х. Особенности процессов высокоскоростного газопламенного напыления // Технология машиностроения. 2005. № 3. 315 с.
4. Балихин В.В., Марков А.Н. Технология и организация восстановления деталей и сборочных единиц при сервисном обслуживании. СПб.: ЛТА, 2004. 115 с.
5. Балихин В.В. Оптимизация технологических процессов восстановления деталей при ремонте лесозаготовительных машин: втореф. дис. ... канд. наук. Л., 1990. 32 с.
6. Гриневич А.П. Газодинамическое напыление металлов. Кишинев, 1989. 134 с.
7. Анисимов Г.М. Условия эксплуатации и нагруженность трансмиссии трелевочного трактора. М.: Лесная промышленность, 1975. 165 с.
8. ГОСТ 27.002–83. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1984. 21 с.
9. Игнатов В.И., Еремеев Н.С., Селиванов А.А. Научные основы формирования стратегии технического обслуживания и ремонта лесных машин. М.: МГУЛ, 2000. 315 с.
10. Кершенбаум В.Я. Механико-термическое формирование поверхностей трения. М.: Машиностроение, 1987. 231 с.
11. Хасун А., Моригани О. Наплавка и напыление. М.: Машиностроение, 1985. 120 с.
12. Борисов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Киев: Наукова думка, 1987.

13. Гурд Л.М. Основы технологии напыления. М., 1985. 230 с.
14. Аджабян Н.А. Напыление в защитных газах: моногр. Ереван, 2003, 125 с.
15. Кочненко А.П., Кирс Л.О. Наплавка (Теория и практика). Киев: Машиностроение, 1999. 241 с.
16. Mattson D. The equipment of the wood industry. USA, 1999. 130 p.
17. Meller V. Die moderne Maschinenbauproduktion. Berlin, 2010. 102 p.
18. Wilson T. Modern methods of restoration of details. USA, 2001. 340 p.
19. Smith P. Composition materials in mechanical engineering. Vancouver, 2002. 302 p.
20. Smith P. Repair of forest cars. Vancouver, 2003. 150 p.

References

1. Panteleenko F.I. Recovery of machine parts: spravochnik / pod red. V.P. Ivanova. M.: Mashinostroenie, 2003. 672 p.
2. Baldayev of L.H. Gatotermicheskiye a dusting of powder materials for receiving sheetings with the set properties. The thesis for degree of the Doctor of Engineering. Kursk: 2009, 317 p.
3. Baldayev, L.H. Features of processes of a high-speed gas-flame dusting//Kursk: Technology of mechanical engineering. 2005. № 3. 315 p.
4. Balikhin V.V., Markov A.N. Technology and organization of details restoration and assembly units for servicing. SPb.: LTA, 2004. 115 p.
5. Balikhin V. V. Optimization of technological processes of restoration of details at repair of logging cars (Abstract). Leningrad, 1990. 32 p.
6. Grinevich A.P. Gasdynamic dusting of metals. Chisinau, 1989. 134 p.
7. Anisimov G.M. Operating conditions and loading of the transmission skidder. M.: Lesnaya promyshlennost', 1975. 165 p.
8. GOST 27.002–83. The reliability of the technique. Terms and Definitions. M.: Izd-vo standartov, 1984. 21 p.
9. Ignatov V.I., Eremeev N.S., Selivanov A.A. Scientific bases of formation of strategy of maintenance and repair of forest machinery. M.: MGUL, 2000. 315 p.
10. Kershenbaum V.Ya. Mechanical-thermal formation of the friction surfaces. M.: Mashinostroenie, 1987. 231 p.
11. Khasun A., Morigani O. Surfacing and spraying. M.: Mashinostroenie, 1985, 120 p.
12. Borisov Yu.S., Kharlamov Yu.A., Sidorenko S.L. Thermal coatings from powder materials. Kiev: Naukova dumka, 1987.
13. Gurd L.M. Fundamentals of spraying technology. M., 1985, 230 s.
14. Adzhabyan N. A. A dusting in protective gases (Monograph). Yerevan, 2003, 125 p.
15. Kochnenko A.P., Kirs L.O. Overlay welding (Theory and Practice). Kiev: Mashinostroenie, 1999. 241 p.
16. Mattson D. The equipment of the wood industry. USA, 1999. 130 p.
17. Meller V. Die moderne Maschinenbauproduktion. Berlin, 2010. 102 p.
18. Wilson T. Modern methods of restoration of details. USA, 2001. 340 p.
19. Smith P. Composition materials in mechanical engineering. Vancouver, 2002. 302 p.
20. Smith P. Repair of forest cars. Vancouver, 2003. 150 p.