

УДК: 621.9.079

DOI 10.36910/775.24153966.2022.73.2

**В.В. Бурыкин<sup>1</sup>, Ю.Э. Рыжов<sup>1</sup>, Л.Г. Полонский<sup>2</sup>, Н.А. Балицкая<sup>2</sup>, Ю.А. Харламов***Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев<sup>1</sup>,  
Государственный университет «Житомирская политехника»<sup>2</sup>***СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДЫ  
ПРИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ С ПОКРЫТИЯМИ**

*Представлена классификация основных типов смазочно-охлаждающих технологических сред при хонинговании и полировании напыленных покрытий. Рассмотрены результаты исследований влияния сред на шероховатость обработанной поверхности и остаточные напряжения в поверхностном слое деталей. Показана возможность продления сроков службы сред за счет использования передвижной установки для очистки от примесей, обеспечивая улучшение качества обработанных поверхностей.*

*Ключевые слова:* качество поверхности, полирование, хонингование, шероховатость, остаточные напряжения.

**В.В. Бурикін, Ю.Е. Рижов, Л.Г. Полонський, Н.О. Балицька, Ю.О. Харламов****МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧІ ТЕХНОЛОГІЧНІ СЕРЕДОВИЩА  
ПРИ ФІНІШНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ З ПОКРИТТЯМИ**

*Представлено класифікацію основних типів мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ при хонінгуванні та поліруванні напылених покриттів. Розглянуто результати досліджень впливу середовищ на шорсткість обробленої поверхні та залишкові напруження в поверхневому шарі деталей. Показано можливість продовження термінів служби середовищ за рахунок використання пересувної установки для очищення від домішок, забезпечуючи покращення якості оброблених поверхонь.*

*Ключові слова:* якість поверхні, полірування, хінінгування, шорсткість, залишкові напруження.

**V.V. Burykin, Yu.E. Ryzhov, L.G. Polonsky, N.O. Balytska, Yu.O. Kharlamov****COOLING AND LUBRICATION SYSTEMS WHILE FINISHING COATED PARTS**

*The article presents a classification of the main types of cooling and lubrication systems for honing and polishing of sprayed coatings is presented. The study's results of the systems influence on the treated surface roughness and residual stresses in the parts surface layer are considered. The authors have shown the possibility of extending the service life of the cooling and lubrication systems through the use of a mobile installation for cleaning from impurities, providing an improvement in the quality of the treated surfaces.*

*Key words:* surface quality, polishing, hining, roughness, residual stresses.

**Постановка проблеми.** Одним из важных направлений повышения эксплуатационных характеристик деталей машин является разработка новых и совершенствование уже существующих прогрессивных технологических процессов их изготовления и ремонта. Для технологического обеспечения восстанавливаемых и упрочняемых поверхностей деталей машин существуют различные методы нанесения покрытий: плазменное, газопламенное, дуговое, детонационное и высокочастотное напыления; плазменная, электродуговая, электрошлаковая, индукционная и другие виды наплавки; гальванический метод; электроконтактная приварка и др. [1].

В настоящее время технологический процесс формирования защитных износостойких покрытий представляет собой комбинированную обработку деталей, состоящую из подготовки поверхности подложки дробеструйной обработкой, плазменного напыления покрытий толщиной 0,7–0,8 мм и твердостью 45–55 HRC из различных порошковых сплавов (ПГСП-4, ХВС-3, ПН85Ю15) и механической финишной обработки. Покрытия из данных порошков широко применяются при упрочнении рабочих органов самого разнообразного по назначению технологического оборудования: почвообрабатывающих машин, экструдеров, строительной, дорожной, буровой, металлообрабатывающей и другой техники. В связи с этим вопрос обеспечения качества данных покрытий имеет существенное значение. В целом качество покрытий является сложной комплексной характеристикой, зависящей от множества факторов технологического процесса, и формируется последовательно на этапах предварительной обработки поверхности, нанесения покрытия и финишной обработки поверхности покрытия. В значительной степени качество деталей определяется на финишной обработке. Это заключительная стадия обработки покрытия, которая позволяет избежать

брака всего изделия. Различают несколько способов финишной обработки. Все они зависят от ряда физико-химических свойств материала, конфигурацией детали, назначением и условием ее эксплуатации. Иногда деталь проходит сразу несколько стадий финишной обработки – целый комплекс металлообрабатывающих операций.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Самым распространенным способом финишной обработки износостойких покрытий является шлифование [2, 3], которое обеспечивает возможность высококачественной обработки покрытий с высоким уровнем твердости. Однако в ряде случаев возможности управления процессом шлифования не позволяют избежать дефектов (трещин, сколов и отслоений), обусловленных уровнем остаточных напряжений и структурой покрытий, сформированных на этапах предварительной обработки и напыления. Поэтому комплексное решение по обеспечению качества покрытий, рассматривающее этапы формирования покрытий, как единый процесс с позиции теории технологической наследственности, позволяет расширить возможности обеспечения качества покрытий на этапе финишной обработки.

В основном это касается финишных методов обработки деталей (точение, шлифование, полирование, хонингование и др.) [4], обеспечивающих качество поверхностного слоя в соответствии с требованиями чертежа и оказывающих решающее влияние на эксплуатационные характеристики поверхностного слоя.

В этой связи представляют интерес методы финишной обработки (хонингование и полирование) деталей с покрытиями современными инструментами из сверхтвердых материалов, которые обеспечивают высокое качество поверхности в сочетании с высокой производительностью, надежностью и простотой выполнения технологического процесса [5].

Методы финишной обработки восстанавливаемых и упрочняемых поверхностей деталей находят широкое и непрерывно расширяющееся применение практически во всех отраслях промышленности с высокими технико-экономическими показателями. Повышение эффективности процесса финишной обработки восстанавливаемых и упрочненных деталей является актуальной и важной задачей, что предопределило необходимость анализа технологий их ремонта покрытиями.

Проблема обеспечения качества поверхностного слоя деталей с покрытиями при финишной обработке обычно рассматривается без рекомендаций по их обеспечению, что отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах деталей и машин в целом. Второстепенное внимание уделяется также роли конструкции инструмента в формировании микропрофиля поверхностного слоя покрытия и его влияния на образование дефектов при обработке. Возрастающие требования к качеству поверхностного слоя напыленных деталей могут быть удовлетворены при использовании в технологических процессах металлообработки смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС). Доля смазочных материалов, в том числе смазочно-охлаждающих жидкостей, являющихся основным видом СОТС, составляет лишь 1,2% от общего объема производимых нефтепродуктов, однако значение их чрезвычайно велико. Практика обработки металлов резанием показывает [6], что рациональное применение СОТС позволяет в 1,2–4,0 раза повысить стойкость инструмента, на 20–60% форсировать режимы резания, на 10–50% повысить производительность труда, уменьшить энергозатраты при механообработке и улучшить состояние поверхности деталей.

**Цель статьи.** Цель работы является классификация применяемых СОТС при финишной обработке деталей с покрытиями и исследование ее влияния на качество поверхности, а также возможность их очистки от примесей, обеспечивая улучшение качества обработанных поверхностей.

**Изложение основного материала.** В настоящее время разработано большое количество СОТС, применяемых при обработке деталей с покрытиями, эффективность использования которых зависит от их свойств. Основные типы СОТС (рис. 1) различаются по следующим признакам: агрегатному состоянию (жидкие, твердые, пластичные, газообразные); физико-химическим особенностям базовой и дисперсных фаз (масляные и водные, эмульсии масла в воде, суспензии и др.); размерам частиц дисперсной фазы (ионная, молекулярная, коллоидная и грубая дисперсность; степени легирования присадками (невысокое, умеренное, высокое); типу применяемых присадок (водо- и маслорастворимые); классу применяемых присадок (животные и растительные жиры, органические кислоты, эфиры); степени вязкости [7–9].

Наиболее перспективными для процессов финишной обработки деталей с покрытиями считается применение полусинтетических, синтетических СОЖ и эмульсий на водной основе. СОТС на водной основе обеспечивают снижение пожароопасности производства, обладают высокими смачивающими, охлаждающими, антикоррозионными, моющими свойствами,

активно влияют на качественные показатели формируемой поверхности детали (шероховатость, износостойкость, задиристость).

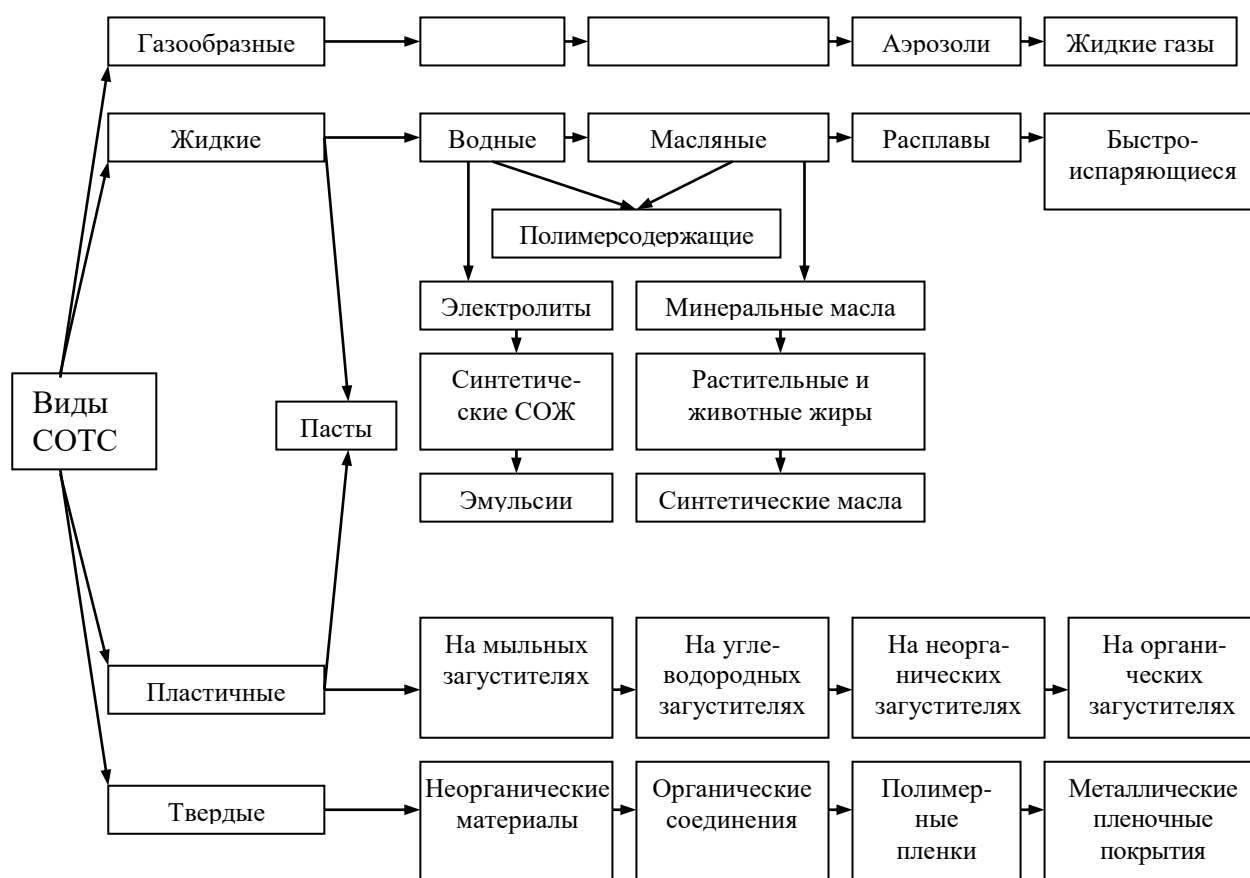


Рис. 1. Основные типы СОТС, применяемые при финишной обработке восстановленных и упрочненных покрытиями поверхностей деталей машин

Применяемые рабочие жидкости должны обладать высоким моющим действием на поверхность [10]. Моющее действие СОТС характеризуется степенью очистки обрабатываемой детали и инструмента от шлама, содержащего в себе мелкие частички металла и обрабатывающего инструмента (алмазное зерно, карбиды и неметаллические включения), которые удерживаются на поверхности детали электростатическими, ван-дер-ваальсовыми и механическими силами. Моющая, диспергирующая и адсорбционная способность СОТС определяется кинетикой, механизмами преобразования и деструкции их компонентов в условиях высоких температур и нагрузок, транспортировки продуктов деструкции, физико-химическими процессами взаимодействия плазмы, которая возникает в зоне обработки, с поверхностями, контактирующими в процессе обработки.

Моющее действие СОТС определяется в основном присутствием в них поверхностно-активных веществ (ПАВ): ионогенных, неионогенных, амфолитных. Высокой адсорбционной способностью обладают многие ПАВ, однако прочные адсорбционные пленки образуются только мицеллообразующие соединения. Применение этих СОТС не всегда позволяет решить задачу технологического обеспечения качества поверхностных слоев сопряженных деталей в изделиях.

В работе были исследованы покрытия на основах Fe и Ni, сформированные плазменным напылением и обработанные хонинговальными эластичными брусками и лепестковыми кругами из алмазных лент с применением СОТС.

Хонингование применяется при окончательной обработке восстановленных цилиндров и гильз, отверстий в бобышках поршней, втулок верхней головки шатунов и др. Для окончательного хонингования отверстий в деталях, восстановленных методом плазменного напыления порошком ПН85Ю15, используют алмазные эластичные блок-брусочки на каучукосодержащих связках ВЗ-03, ВЗ-07. В зависимости от марки брусочки отличаются лишь эластичностью алмазного слоя. Брусочки крепятся к стальным колодкам хонинговальной головки эпоксидной смолой. Окончательно

отверстия хонингуют эластичными брусками при следующих режимах: скорость вращения хона 0,7–1,5 м/с, скорость его возвратно-поступательных движений в пределах 0,17–0,34 м/с. Величина снимаемого слоя металла при хонинговании составляет от 0,01 до 0,2 мм, давление брусков на обрабатываемую поверхность 600 кПа. В качестве СОТС применяют керосин, смесь керосина с веретенным маслом при соотношении 2:1 или 3%-ый фосфатсодержащий раствор на базе концентрата «Трибол». При хонинговании отверстий брусками из порошков алмаза АС6 зернистостью 63/50–80/63 достигается шероховатость поверхности  $Ra$  0,1–0,3, а  $Ra$  0,05–0,10 – алмаза АСМ зернистостью 14/10–40/28. Алмазные бруски не засаливаются и на обрабатываемой поверхности не образуют царапин, при этом создается микропрофиль с большой несущей поверхностью, что повышает долговечность машин и механизмов.

Важнейшим этапом технологического процесса модификации поверхности деталей является заключительная финишная обработка кругами лепестковыми КЛ 1А1 200x76x25 АС6 50/40 В3-06-4, обеспечивающая качество поверхностного слоя в соответствии с требованиями чертежа [11].

При полировании покрытий алмазными эластичными кругами обычно применяют водные и масляные (углеводородные) технологические среды, так как связки инструмента, содержащие каучук, размягчаются при повышенных температурах. Водные среды дешевле, чем масляные. Большая удельная теплоемкость и лучшая теплопроводность воды позволяют быстрее отводить тепло. Масляные среды дольше сохраняют остроту режущих кромок алмазных зерен. В качестве СОТС применяют водные растворы, содержащие кальцинированную соду, эмульсолы и индустриальное масло. Эмульсолы – водосмешиваемые СОТС с антикоррозионными и антифрикционными свойствами для металлообработки. По классификации ISO 6743 относится к классу МАВ. Используется водная 3–10%-ная эмульсия молочно-белого цвета для обработки сплавов. Благодаря высокоэффективным рабочим характеристикам СОТС гарантирует высокое качество обрабатываемых деталей и стойкость инструментов при широком наборе операций.

Исследования показали, что применение различных технологических сред:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (1%) +  $\text{NaN}$  (0,25%) +  $\text{H}_2\text{O}$  (98,75%); эмульсола ИГЛ 205 (5%-ный раствор в  $\text{H}_2\text{O}$ ); масла «Индустриального-20» при обработке КЛ напыленных покрытий (рис. 1) способствует снижению шероховатости поверхности в 1,2–1,5 раза. Это объясняется тем, что хотя мощный воздушный поток, создаваемый кругом, препятствует попаданию СОТС в зону обработки, небольшая часть жидкости, за счет смазывающего, моющего и охлаждающего действия, все-таки принимает участие в процессе полирования. Водный раствор СОТС, имея большую теплоемкость и теплопроводность, обладает лучшим охлаждающим действием по сравнению с СОТС на основе масла. При алмазном полировании с охлаждением эмульсией или маслом шероховатость обработанной поверхности несколько выше. Поэтому для лепесткового полирования наиболее пригодны водные растворы СОТС.

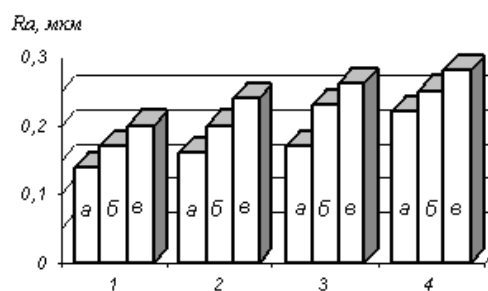


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности при полировании КЛ от вида СОТС:

1 –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (1%) +  $\text{NaN}$  (0,25%) +  $\text{H}_2\text{O}$  (98,75%); 2 – эмульсол ИГЛ 205; 3 – масло

«Индустриального-20»; 4 – без СОТС при  $v_k = 27$  м/с;  $\delta = 1,0$  мм;  $S_n = 1,0$  м/мин;  $v_d = 0,5$  м/с;  $\tau = 30$  с;  $\alpha = 15^\circ$ ; а – ПГСП-4; б – ПН85Ю15; в – ХВС-3

Существенное влияние СОТС оказывает и на остаточные напряжения в поверхностном слое деталей. Объясняется это тем, что в результате действия воздушных потоков, создаваемых вращающимся КЛ, большая часть жидкости в процессе обработки никакого участия не принимает, основной эффект проявляется за счет снижения температуры полируемой детали.

Испытания ряда СОТС (рис. 2) показали, что наибольшие сжимающие остаточные напряжения формируются при использовании 1%-ного водного раствора кальцинированной соды и эмульсол ИГЛ

205. Менее эффективно применение в качестве СОТС масла «Индустриальное-20». Вероятно, это связано с тем, что водные растворы СОТС обладают лучшим охлаждающим действием благодаря большей теплоемкости и теплопроводности.

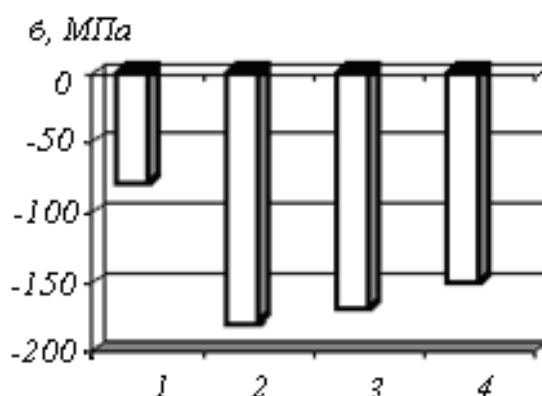


Рис. 3. Влияние технологической среды при полировании КЛ на величину остаточных напряжений в поверхностном слое покрытия ХВС-3: 1 – без охлаждения; 2 – 1%-ный водный раствор кальцинированной соды; 3 – эмульсол ИГЛ 205; 4 – масло «Индустриальное-20»

**Выводы и предложения.** Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что в процессе финишной обработки КЛ из алмазных лент с применением СОТС формируется поверхностный слой с благоприятными характеристиками  $Ra$  0,1...0,3 и  $\sigma = -(150...180)$  МПа, обеспечивающие лучшие эксплуатационные свойства деталей машин.

Отработанные СОТС являются одним из главных загрязнителей окружающей среды в машиностроении. Их разлив, разбрызгивание, потери во время эксплуатации, нарушения технологического процесса приводят к загрязнению почвы, водоемов и воздуха. При эксплуатации СОТС концентрация вредных веществ в рабочей зоне не должна превышать значений, предусмотренных в санитарных нормах проектирования промышленных предприятий.

Ассортимент СОТС очень широк и постоянно обновляется. В виду огромного многообразия составов растворов, применяемых в технологическом оборудовании при механической обработке материалов, существуют различные способы их очистки и регенерации методами отстаивания, фильтрации, центрифугированием, химическим и биологическим. Вследствие этого, СОТС требует использования специального оборудования необходимого для их очистки.

Возможность технологического обеспечения качества поверхности не только путем регулирования геометрических параметров и физико-химических свойств материала покрытий открывает широкие перспективы применения хонингования и лепесткового полирования при модификации поверхностных слоев деталей машин, но и очисткой СОТС от механических примесей. Так же очистка способствует стабилизации свойств СОТС и продлению ее срока использования, и тем самым сокращению расходов на эксплуатацию.

В случае высоких требований к качеству обработанных деталей применяют многостадийные системы очистки СОТС совместно с целым комплексом мероприятий по продлению их срока службы.

Особую актуальность приобретает вопрос систематизации и усовершенствования методов промышленной чистоты жидкостей по возможности с наименьшими трудозатратами и контролем уровня чистоты на протяжении всего цикла производства. Проблемы обеспечения промышленной чистоты жидкостей связаны с экономией материальных ресурсов, охраной окружающей среды, улучшением санитарных условий работы и снижением пожарной опасности технологических процессов.

В соответствии с техническими требованиями и свойствами СОТС, которые будут подвергаться очистке, разработана передвижная технологическая установка [12] для удаления из водных жидкостей мелкодисперсного шлифовального шлама, взвешенных инородных и посторонних включений (частиц размером от 3...5 мкм). Разработанная передвижная установка для рафинирования загрязненной рабочей жидкости упрощает технологический процесс очистки

жидкости от производственной пыли в процессе металлообработки, продуктов коррозий трубопроводов и резервуаров, продуктов износа трущихся деталей, влаги и загрязнений биологического характера. Как универсальная комплексная система выполняет очистку жидкостей концентрацией загрязнений от 12 г/л, понижает трудоемкость процесса очистки жидкостей и продлевает срок эксплуатации СОТС. Степень очистки от шлама достигает 85...90%, при этом качество поверхностного слоя при финишной обработке покрытий повышается на 20...35%.

В процессе финишной обработки плазменных покрытий хонингованием алмазными блок-брусками и полированием КЛ очистка СОТС от механических примесей обеспечивает улучшение качества обработанных поверхностей ( $Ra$  0,05...0,32 и  $\sigma = -(150...180)$  МПа) на 20...35% и повышение эксплуатационных свойств деталей машин.

Намечается современная тенденция для применения твердых смазочных материалов, обеспечивающие низкие коэффициенты трения, выдерживают высокие температуры и давления. В качестве твердых смазочных материалов используют пленочные покрытия, которые образованы из металлов и сплавов более мягких, чем деформируемый металл (медь, латунь, свинец, олово, цинк и др.) для снижения коэффициенты трения и износостойких покрытий (Ti, Cr, Al), для режущего клина инструмента.

### Список литературы:

1. Обработка резанием деталей с покрытиями / Под общей редакцией С.А. Клименко. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.
2. Хрульков, В.А. Новые СОЖ, применяемые при шлифовании труднообрабатываемых материалов / В.А. Хрульков, В.С. Матвеев, В.В. Волков. – М.: Машиностроение, 1982. – 64 с.
3. Чесов Ю.С. Шероховатость поверхности износостойких покрытий после финишной механической обработки / Ю.С. Чесов, Е.А. Зверев, А.И. Попелюх, П.В. Трегубчак // Обработка металлов. – 2011. – № 1(50). – С.12–14.
4. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями / Э.В. Рыжов, С.А. Клименко, О.Г. Гуцаленко. – К.: Наукова думка, 1994. – 180 с.
5. Клименко С.А. Технологія ремонту та відновлення / С.А. Клименко, В.В. Бурикин, Л.Г. Полонський, В.Г. Сніцар. – Житомир: ЖДТУ, 2014. – 122 с.
6. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справ. / Под общ. ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
7. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справ. / Под ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. – М.: Машиностроение, 1995. – 496 с.
8. Малиновский Г.Т. Масляные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием / Г.Т. Малиновский // Свойства и применение. М.: Химия, 1993. – 160 с.
9. Виноградов Д.В. Применение смазочно-охлаждающих технологических сред при резании металлов. Справ. / Д.В. Виноградов // Инженерный журнал. – 2002. – № 1. – С. 44–51.
10. Инструменты из сверхтвердых материалов / под ред. Н.В. Новикова и С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.
11. Бурыкин В.В. Смазочно-охлаждающие технологические средства для алмазно-абразивной обработки покрытий / В.В. Бурыкин // Новітні технології в машинобудуванні: металообробка, інструмент, реновація: Зб. наук. праць. – Маріуполь: ПДТУ, 2010. – Вип. № 2. – С. 153–162.
12. Трофімов І.Л. Пересувна установка для очистки робочих рідин, що використовуються в технологічних цілях / І.Л. Трофімов, В.В. Бурикин, О.М. Зубченко // Технологические системы. – 2007. – № 3 (39). – С. 80–85.