
ЦЕМЕНТАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

**Под редакцией
профессора В.Б. Тарельника**

Монография



Сумы
Университетская книга
2015

УДК 631.3.02
ББК 40.72+34.6
Ц 36

Рекомендовано к печати ученым советом Сумского национального аграрного университета. Протокол № 10 от 27 апреля 2015 г.

Рецензенты:

Козаченко А.В., доктор технических наук, профессор кафедры надежности, прочности и технического сервиса машин Харьковского национального технического университета им. Петра Василенка;

Радзиевский В.Н., доктор технических наук, профессор кафедры прикладного материаловедения и ТКМ Сумского государственного университета;

Кузема А.С., доктор физико-математических наук, профессор кафедры энергетики в АПК Сумского национального аграрного университета

Авторы: д.т.н, профессор В.Б. Тарельник; д.т.н, профессор Б. Антошевский (Польша); к.т.н., доцент В.С. Марцинковский; к.т.н., доцент Е.В. Коноплянченко; к.т.н., доцент А.В. Белоус

Ц 36 **Цементация** электроэрозионным легированием : монография / Тарельник В. Б., Антошевский Б., Марцинковский В. С. и др. ; под ред. проф. В. Б. Тарельника. — Сумы : Университетская книга, 2015. — 233 с.

ISBN 978-966-680-740-6

Монография посвящена решению проблем, связанных с повышением надежности и долговечности ответственных деталей компрессорного и насосного оборудования. Для упрочнения деталей предложен новый метод цементации с использованием электроэрозионного легирования. На базе анализа и обобщения существующих методов упрочнения деталей, находящихся в контакте в процессе эксплуатации, сформулированы, теоретически обоснованы и практически разработаны технологические основы обеспечения требуемого качества поверхностных слоев деталей интегрированными методами, обеспечивающими повышение надежности и долговечности важнейших элементов машин.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников, преподавателей и студентов технических вузов.

УДК 631.3.02
ББК 40.72я73

ISBN 978-966-680-740-6

© Тарельник В. Б., Антошевский Б., Марцинковский В. С. и др., 2015
© ООО «ИТД “Университетская книга”», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	11
РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	15
1.1. Общие сведения	15
1.2. Поверхностное пластическое деформирование	17
1.3. Поверхностная закалка	23
1.4. Химико-термическая обработка	26
1.5. Наплавка и напыление металла	37
1.6. Конденсированная ионная бомбардировка	45
1.7. Электролитические покрытия	47
1.8. Лазерное упрочнение	48
1.9. Электроэрозионное легирование	49
Выводы	57
РАЗДЕЛ 2. УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДОМ ЦЕМЕНТАЦИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ (ЦЭЭЛ)	58
2.1. Повышение качества поверхностного слоя деталей методом ЦЭЭЛ	58
2.2. Анализ напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев деталей после ЦЭЭЛ и ППД	68
2.3. Повышение качества поверхностей деталей технологиями, интегрированными с методом ЦЭЭЛ	78
2.4. Повышение качества ЦЭЭЛ поверхностного слоя путем выбора наиболее рациональных режимов ЭЭЛ	84
2.5. Повышение качества ЦЭЭЛ слоя путем нанесения мягких антифрикционных материалов	95

РАЗДЕЛ 3. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ЦЕМЕНТАЦИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ	101
3.1. Исследование влияния энергетических параметров оборудования и времени обработки на качество упрочненного слоя	101
3.2. Исследование влияния ЦЭЭЛ на фазовый состав поверхностного слоя конструкционных сталей	113
3.3. Исследование влияния технологий, интегрированных с ЦЭЭЛ, на качественные параметры поверхностного слоя	109
3.4. Исследование влияния технологий, интегрированных с ЦЭЭЛ, на усталостную прочность	115
3.5. Исследование влияния технологий, интегрированных с ЦЭЭЛ, на физико-механические свойства деталей	120
3.6. Исследование влияния технологий, интегрированных с ЦЭЭЛ, на износостойкость	123
РАЗДЕЛ 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ	129
4.1. Зависимость глубины упрочненного слоя от энергетических режимов оборудования и времени обработки	129
4.2. Методика определения вида аналитических зависимостей, оценивающих влияние интегрированных технологий на качественные параметры рабочих поверхностей деталей	132
Выводы	157

РАЗДЕЛ 5.ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАЩИТНЫХ ВТУЛОК МАСЛЯНЫХ УПЛОТНЕНИЙ КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЦЭЭЛ И ППД	158
5.1. Условия работы и виды износа защитных втулок масляных уплотнений компрессорного оборудования	158
5.2. Разработка системы направленного выбора интегрированной технологии изготовления защитных втулок	163
5.3. Методика направленного выбора интегрированной технологии	181
Выводы	186
РАЗДЕЛ 6.ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ «ТРИЗ» ЛТД	188
6.1. Модель синтеза рациональной технологии изготовления ЗВ	188
6.2. Методика направленного выбора технологии изготовления ЗВ	193
6.3. Повышение качества ответственных деталей компрессорного и насосного оборудования технологиями, интегрированными с ЦЭЭЛ	206
Выводы	220
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	222
ЛИТЕРАТУРА	224

***«Кто освоит энергосберегающие технологии,
тот будет иметь горы хлеба и бездну могущества»***

К. Циолковский

ВВЕДЕНИЕ

Проблема энергосбережения на рубеже тысячелетий превратилась в одну из важнейших общечеловеческих проблем. Рациональное и экономное использование природных ресурсов, сокращение вредных выбросов в атмосферу и эффективное использование электрической и тепловой энергии приобретают исключительно большое значение в современном обществе.

Эта проблема в значительной степени актуальна для Украины, где недопустимо низка эффективность использования топливно-энергетических ресурсов. Энергоемкость валового внутреннего продукта в Украине в 3-5 раз выше, чем в экономически развитых государствах.

Одним из основных направлений энергосбережения, которое в значительной степени может снизить зависимость Украины от импортируемых энергоносителей, может быть внедрение новейших энергосберегающих, экологически чистых технологий, более эффективного оборудования и приборов, усовершенствование существующих.

Настоящая монография явилась результатом совместных исследований, проводимых в соответствии с договором о научном сотрудничестве между Сумским национальным аграрным университетом (Украина) и Политехникой Свентокржиской в Кельцах (Польша), предметом которого была общая деятельность и взаимный обмен научными результатами в области формирования трибологических свойств покрытий.

Большинство ответственных деталей компрессоров, насосов, газоперекачивающих аппаратов и другого промышленного оборудования, работают при высоких скоростях, нагрузках и температурах, а также в условиях

абразивного, коррозионного и других видов воздействия рабочих сред. Предлагаемые авторами новые технологические решения позволяют в разы сэкономить энергоресурсы, как за счет применения менее энергоемких технологий в области упрочнения этих деталей, так и путем повышения надежности и долговечности промышленного оборудования.

Так, например, применение этих технологий обеспечило 3-х годичный гарантийный пробег компрессоров синтез - газа при одновременном увеличении производительности с 1300 т/сутки до 1700 т/сутки аммиака. Ранее регламентные работы предусматривались каждый год с остановкой до 30 дней.

Применение способа цементации электроэрозионным легированием (ЦЭЭЛ) по сравнению с традиционной цементацией имеет ряд преимуществ:

- применение значительно меньшего по объему и на порядок менее энергозатратного оборудования;
- возможность проведения упрочнения в локальном месте и отсутствие при этом необходимости защиты других участков изделия;
- сокращение в разы длительности процесса цементации;
- отсутствие у цементируемых деталей поводок и короблений, неизбежных при традиционной цементации;
- при традиционной цементации используются стали с содержанием углерода до 0,3%, а при ЦЭЭЛ любые стали.

Книга состоит из введения, шести разделов и заключения.

В первом разделе книги представлены технологические особенности некоторых, наиболее

широко применяющихся, методов повышения качества поверхностных слоев деталей.

Во **втором** разделе приведены примеры применения упрочнения деталей и инструмента методом ЭЭЛ с использованием графитового электрода. Авторами предлагается новый способ ЦЭЭЛ выделить в отдельное направление, позволяющее формировать на деталях машин поверхностные слои повышенной твердости и износостойкости без изменения исходного размера детали. В разделе также приведен анализ напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев деталей после ЦЭЭЛ и ППД; проанализированы методы повышения качества поверхностей деталей технологиями, интегрированными с ЦЭЭЛ; предложены новые методы повышения качества поверхностных слоев деталей после ЦЭЭЛ.

Третий раздел посвящен экспериментальным исследованиям влияния различных технологий, интегрированных с ЦЭЭЛ, на качественные параметры формируемых поверхностей: шероховатость, микротвердость, структуру, сплошность, наличие и знак остаточных напряжений, усталостную прочность, износостойкость, а также механические свойства.

В **четвертом** разделе приведено моделирование технологических параметров структуры процесса упрочнения поверхностей деталей. Составлен алгоритм поиска рациональных вариантов интегрированных технологий, повышающих качество рабочих поверхностей и позволяющий прогнозировать энергетические параметры ЦЭЭЛ для формирования упрочненного слоя требуемой глубины.

В **пятом** разделе на основании теоретических исследований разработана методика, позволяющая

определять наиболее рациональный вариант технологии изготовления защитных втулок (ЗВ) масляных уплотнений компрессорного оборудования, а также система направленного выбора технологии изготовления ЗВ, позволяющая обеспечивать требуемое качество рабочих поверхностей наиболее экономичными методами.

В шестом разделе описано промышленное использование разработанных интегрированных технологий на базе ЦЭЭЛ в условиях предприятия «ТРИЗ» ЛТД, которое специализируется на разработке, изготовлении и ремонте компрессорного и насосного оборудования. Новые технологические решения, которые нашли отражение в этой книге, позволили произвести модернизацию большого количества оборудования как на предприятиях Украины, так и в странах СНГ.

Авторы выражают искреннюю благодарность Заслуженному деятелю науки и техники Украины, доктору технических наук, профессору Марцинковскому В.А., рецензентам: доктору технических наук, профессору Козаченко А.В, доктору физико-математических наук, профессору Куземе А.С, доктору технических наук, профессору Радзиевскому В.Н., оказавшим большую помощь в работе над рукописью.

Заранее благодарим за отзывы, замечания и предложения. Будем рады возможности сотрудничества или обмена опытом.

Литература

1. **Качество машин** : справочник. В 2 т. Т. 2. / А.Г. Суслов, Ю.В. Гуляев, А.М. Дальский [и др.]. - М. : Машиностроение, 1995. – 430 с.
2. Технология упрочнения машиностроительных материалов: учеб. пособие-справ. / В. Д. Евдокимов, Л. П. Клименко, А. Н. Евдокимова ; Мин-во образования и науки Украины. - К. : Професионал, 2006. - 352 с.
3. **Рогов В.А.** Основы высоких технологий : учеб. пособие / В.А. Рогов, Л.А. Ушомирская, А.Д. Чудаков. – [4-е изд.] – М. : Вузовская книга, 2007. – 256 с.
4. **Металловедение и термическая обработка стали и чугуна** : справочник. В 3 т. Т. 1 : Методы испытаний и исследования / [Бокштейн Б.С., Векслер Ю.Г., Дроздовский Б.А., Капуткина Л.М. Клыпин, Б.А.,Рахштадт А.Г.]; под ред. А.Г. Рахштадта [и др.]. - М. : Интернет Инжиниринг, 2004. - 687 с.
5. **Машиностроение** : энциклопедия : В 40 томах. Т. III-7 . Измерения, контроль, испытания и диагностика / ред.-сост. В.В. Ключев; отв. ред. П.Н. Белянин. – [Изд. 2-е, испр. и доп.]. - 2001. - 462 с.
6. **Трощенко В.Т.** Сопротивление усталости металлов и сплавов : справочник / В. Т. Трощенко, Л. А. Сосновский; Академия наук Украинской ССР (Киев). Институт проблем прочности. - Киев : Наукова думка. Ч.1. - 1987. – 505 с.
7. **Бойцов В. Б.** Технологические методы повышения прочности и долговечности : учеб. пособие / В. Б. Бойцов, А. О. Чернявский. - М. : Машиностроение, 2005. – 128 с.
8. **Трение изнашивание и смазка** : справочник: В 2 т. / Под ред. И.В. Крагельский, В.В. Алисина. – М. : Машиностроение, 1978. – Т.1. - 400 с.

9. **Молодык Н. В.** Восстановление деталей машин : справочник / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. - М. : Машиностроение, 1989. - 480 с.
10. **Перспективы развития поверхностного и объемного упрочнения сплавов:** Сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т (Минск) ; Под ред. Л. Г. Ворошнина; Белорус. нац. техн. ун-т. - Мн. : БНТУ, 2004. – 207 с.
11. **Прокошкин Д. А.** Химико-термическая обработка металлов-карбонитрация : монография / Д. А. Прокошкин. - М. : Metallurgy : Машиностроение, 1984. - 240 с.
12. **Электрохимическая размерная обработка металлов и сплавов.** Проблемы теории и практики : монография / О. И. Невский [и др.]. - Иваново : Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2006 (Иваново). - 282 с.
13. **Алиев А. А.** Цементация и нитроцементация автотракторных деталей в кипящем слое / А. А. Алиев, А. Ю. Ампилогов, Ак. А. Алиев // *Металловедение и термическая обработка металлов.* - 2009. - № 4. - С. 31-33 .
14. **Шубин Р. П.** Нитроцементация деталей машин / Р. П. Шубин, М. Л. Гринберг. - М. : Машиностроение, 1975. – 207 с.
15. **Зинченко В. М.** Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки / В. М. Зинченко ; Московский гос.тен.ун-т (Москва) . - М. : МГТУ, 2001. – 303 с.
16. **Лахтин Ю. М.** Теория и технология азотирования / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган,. Г.Й. Шпис, З. Бемер. - М. : Metallurgy, 1991. 320 с.
17. **Бокштейн Б. С.** Диффузия в металлах : Учеб.пособие / Б. С. Бокштейн. - М. : Metallurgy, 1978. - 248 с.
18. **Бокштейн Б. С.** Термодинамика и кинетика диффузии в твердых телах : научное издание / Б.С.

Бокштейн, С.З. Бокштейн, А.А. Жуховицкий. - М. :
Металлургия, 1974. - 280 с.

19. **Бокштейн Б. С.** Диффузия атомов и ионов в твердых
телах : монография / Б.С. Бокштейн, А.Б. Ярославцев. - М.
: МИСИС, 2005. - 362 с.

20. **Структура и свойства металлов и сплавов** :
справочник. В 6 т. Т. 5. Диффузия в металлах и сплавах /
Л.Н. Лариков, В.И. Исайчев. – К. : Наукова думка, 1987. –
512 с.

21. **Криштал М.А.** Механизмы диффузии в железных
сплавах / М. А. Криштал. - М. : Metallurgiya, 1972. - 400
с.

22. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение,
1989. – 327с.

23. **Полевой С. Н.** Упрочнение металлов : справочник /
С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. - М. : Машиностроение,
1986. - 319 с.

24. **Рогов В.А.** Современные машиностроительные
материалы и заготовки: учеб. пособие для студентов
высш. учеб. заведений / В.А. Рогов, Г.Г. Позняк. – М. :
Издательский центр «Академия», 2008. – 336 с.

25. **Когут М.С.** Трещиностійкість конструкційних
матеріалів та їх зварних з'єднань із наплавками:
монографія / М.С. Когут, Н.М. Лебідь. – Львів :
Львівський національний аграрний університет, 2008. –
287 с.

26. **Основи трібології:** підручник / А.М. Антипенко, О.М.
Белас, В.А. Войтов [та ін.] ; за ред. Войтов В.А. – Харків
ХНТУСГ, 2008 – 342 с.

27. **Зенкин Н.А.** Повышение эксплуатационных
характеристик композиционных материалов путем
оптимизации упрочняющих технологий / Н.А. Зенкин,

В.И. Копылов. – К. : Голов. спеціаліз. ред. літ. мовами нац. меншин України, 2002. – 272 с.

28. **Мчедлов С. Г.** Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин (обзор). Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление / С. Г. Мчедлов // Сварочное производство. - 2007. - N 10. - С. 35-45. - С. 2007.

29. **Кекуевичкий В.А.** Применение газотермических покрытий при изготовлении и ремонте машин / В.А. Кекуевичкий. – К. : Техніка, 1989. – 176 с.

30. **Соснин Н. А.** Плазменные покрытия. Технология и оборудование : монография / Н.А. Соснин, П.А. Тополянский, Б.Л. Вичик. - СПб. : ДНТП, 1992. - 26 с.

31. **Распыление под действием бомбардировки частицами.** Вып. III : Характеристики распыленных частиц, применения в технике / Под ред. Р. Бериша, К. Виттмака ; пер. с англ. – М. : Мир, 1998. – 551 с.

32. **Галанин С. И.** Теоретические основы электрофизикохимических методов обработки металлических поверхностей и нанесения гальванических покрытий : учеб. Пособие / С.И. Галанин. – Кострома : [б. и.], 2005. – 132 с.

33. **Ильин В.А.** Цинкование, кадмирование, оловянирование и свинцование / В.А.Ильин. – Л. : Машиностроение, 1983. – 87 с.

34. **Черкез М.Б.** Хромирование / М.Б. Черкез, Л.Я. Богорад. – Л. : Машиностроение, 1978. – 243 с.

35. **Мельников П.С.** Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / П.С. Мельников. – М. : Машиностроение, 1991. – 384 с.

36. **Корягин С.И.** Способы обработки материалов : учебное пособие / С.И. Корягин, И.В. Пименов, В.К. Худяков. – Калининград : Калинингр. Ун-т, 2000. – 448 с.

37. **Воронцов П.А., Гончаров В.М., Шагров М.Н.** О целесообразности импульсно-лазерного упрочнения металлокерамических твердых сплавов // Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия «Естественнонаучная». – 2005. - №1. – с.23-31.
38. **Цыбин А. С.** Физические основы плазменной и лазерной технологий : учеб. Пособие / А. С. Цыбин. – М. : МИФИ, 2002. – 181 с.
39. **Dubrov V.D., Panchenko V. Ya., Golubev V.S.** Laser cutting and welding of unspecified material. Instrument. Conf. Program ALT'01 Advanced laser technology. Constanta, Romania, Sept. 11-14, 2001. Publ.: Ministry of education and Research, Romania.
40. **Григорьянц А. Г.** Оборудование и технология лазерной обработки материалов : учебник / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов. – М. : Высшая школа, 1990. – 157 с.
41. **Леонтьев П.А.** Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов / П.А. Леонтьев, М.Г. Хан, Н.Г. Чеканова. – М. : Metallurgia, 1986. – 142 с.
42. **Рыкалин Н.Н.** Лазерная и электронно-лучевая обработка металлов: справочник / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
43. **Лазаренко Н.И.** Электроискровое легирование металлических поверхностей / Н.И. Лазаренко. – М. : Машиностроение, 1976. – 46 с.
44. **Самсонов Г.В.** Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев. – К. : Наукова думка, 1976. – 220 с.

45. **Верхотуров А.Д.** Технология электроискрового легирования металлических поверхностей / А.Д. Верхотуров, И.М. Муха. – К. : Техника, 1982. – 181 с.
46. Патент Российской Федерации на изобретение № 2337796. МПК В 23Н 9/00.Способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием /Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Белоус А.В./ Оpubл. 10.04. 2008, Бюл. № 31.- 3с.
47. Патент України на винахід № 82948, 23С 8/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням/В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, А.В. Белоус / Оpubл. 25.03.2008, бюл. № 10.
48. Патент Российской Федерации на изобретение № 2468899. МПК В 23Н 9/00.Способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием /Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., М.П. Братушак/ Оpubл. 10.12. 2012, Бюл. № 34.
49. Патент України на винахід № 101715, 23Н 9/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням/В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, М.П. Братушак / Оpubл. 25.01.2013, бюл. № 8.
50. **Лазаренко Н.И.** Электроискровое легирование металлических поверхностей / Н.И. Лазаренко. – М. : Машиностроение, 1976. – 46 с.
51. **Самсонов Г.В.** Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сычев. – К. : Наукова думка, 1976. – 220 с.
52. **Верхотуров А.Д.** Технология электроискрового легирования металлических поверхностей / А.Д. Верхотуров, И.М. Муха. – К. : Техника, 1982. – 181 с.

53. **Тарельник В.Б.** Комбинированные технологии электроэрозионного легирования / В.Б. Тарельник. – К. : Техніка, 1997. – 127 с.
54. **Гитлевич А.Е.** Электроискровое легирование металлических поверхностей / Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревутский В.М. – Кишинев : Штинца, 1985. – 196 с.
55. **Тарельник В.Б.** Управление качеством поверхностных слоев деталей комбинированным электроэрозионным легированием / В.Б. Тарельник. – Сумы : МакДен, 2002. – 323 с.
56. **Гитлевич А.Е., Колегаев М.А., Фурсов С.П.** Проведение локальной диффузии в полупроводники с применением электроискровой технологии // Изв. АН МССР. – Сер. физ.-техн. И мат. наук. – 1969. – № 3. – С. 68–69.
57. **Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Факторович А.А.** Об эффекте увеличения глубины диффузии через поверхность, подвергнутую электроискровому легированию // Изв. АН МССР. – Сер. физ.-техн. и мат. наук. – 1991. – № 4. – С. 28–30.
58. **Тарельник В.Б.** Триботехнологія деталей машин: навчальний посібник / В.Б. Тарельник, Коноплянченко Є.В., Марцинковський В.С., Антошевський Богдан. – Суми : Видавництво «Мак Ден», 2010. – 264 с.
59. **Тарельник В.Б., Білоус А.В., Яременко В.П., Волкова Л.К.** Особливості формування поверхневих шарів при електроерозійному легуванні сталей 40Х і 12Х18Н10Т твердими зносостійкими матеріалами // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – 2006. - №47. – С. 299-303.

60. **Смоленцев В. П.** Технология электроэрозионной и электрохимической обработки : учеб. Пособие для студентов, обучающихся по направлению «Конструкторско – технологическое обеспечение машиностроительных производств» / В. П. Смоленцев, А. И. Болдырев, Г. П. Смоленцев. – Воронеж : [б. и.], 2005. – 180 с.
61. **Тарельник В.Б., Белоус А.В.** Технология упрочнения поверхностей деталей машин методом электроэрозионной цементации // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2008. - №4. – С. 27-31.
62. **Палатник Л.С.** Превращения в поверхностном слое металлов под действием электрических разрядов // Известия АН СССР, серия физическая. – 1951. - т.15, №4, С. 450-467.
- 63 **Могилевский И.З., Чеповая С.А.** Металлографическое исследование поверхностного слоя стали после электроискровой обработки. - В кн.: Электроискровая обработка металлов, вып.1. – М.: Изд-во АН СССР, 1957, С.95-116.
64. **Могилевский И.З.** Структурные изменения в железе и стали после электроискровой обработки их поверхности графитом. – В кн.: Проблемы электрической обработки материалов, вып.1. – М.: Изд-во АН СССР, 1960, С.86-97.
65. **Дехтярь Л.И., Игнатьков Д.А., Коваль Н.П. и др.** Влияние электроискрового легирования на усталостную прочность валов // Электронная обработка материалов. – 1974. - №3, С. 32-36.
66. **Графит как высокотемпературный материал** : пер. с англ / Под ред. К.П. Власова. – М. : Мир, 1964. – 423 с.
67. **Мелешко А.И.** Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты / А. И. Мелешко, С.П. Половников. – М. : «САЙНС-ПРЕСС», 2007. – 192 с.

68. **Гусев В.Г.** Упрочнение режущего инструмента и штампов твердыми сплавами и графитом электроискровым способом // В Н.: Электроэрозионная обработка металлов. – М.: НИАТ, 1951, С. 5-32.
69. **Афанасьев Н.В., Головейко А.Г., Путан Л.А.** Влияние материала упрочнения электрода на износостойкость упрочненного слоя и сопряженной детали // В Н.: Машиностроитель Белоруссии. – Минск Гос. Изд-во БССР, 1955. – С. 99-108.
70. **Игнатъев В.И.** Упрочнение режущего инструмента электроискровым легированием // Электронная обработка материалов. – 1974. - №5, С. 77-78.
71. **Ярошевич В. К.** Электроконтактное упрочнение [Текст] / В. К. Ярошевич, Я. С. Генкин, В. А. Верещагин ; под ред. Н. Н. Дорожкина. - Минск : Наука и техника, 1982. - 256 с.
72. **Триботехническое материаловедение и триботехнология:** учеб. Пособие / Денисова Н.Е., Шорин В.А., Гонтарь И.Н. [и др.] ; под общ. Ред. Н.Е. Денисовой. – Пенза : «Изд-во Пенз. Гос. Ун-та», 2006. – 248 с.
73. **О механизме и эффективности цементации механических изделий в электротермическом псевдооживленном слое** / Забродский С.С., Бородуля В.А., Топфенец Р.П., Тюхай Т.Г. – ИФЖ, 1971, т.21, №1, с.120-126.
74. **Патент Российской Федерации** на изобретение № 2337796. МПК В 23Н 9/00.Способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием /Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Белоус А.В./ Оpubл. 10.04. 2008, Бюл. № 31.- 3с.
75. **Патент України** на винахід № 82948, 23С 8/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним

легуванням/В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, А.В. Белоус / Оpubл. 25.03.2008, бюл. № 10.

76. **Дрозд М. С., Матлин М. М., Сидяков Ю. И.** Инженерные расчеты упруго пластической контактной деформации.- М.: Машиностроение, 1986.- 219 с.

77. **Тарельник В.Б., Белоус А.В.** Математическая модель определения глубины упрочненного слоя при электроэрозионной цементации //Вестник национального технического университета “ХПИ”.- 2007.- № 17.- С. 3-7.

78. **Тарельник В.Б., Марцинковский В.С., Антошевский Б.** Повышение качества подшипников скольжения: монография .- Сумы: Издательство «МакДен», 2006.-160 с.

79. **Троицкий О.А., Спицин В.И., Глазунов П.П.** Изотопное обогащение металла в процессе импульсного электропереноса. – ЖЭТФ, 1975, т.68, №4, с.1400-1402.

80. **Аномальное ускорение диффузии при импульсном нагружении металлов** /Лариков Л.Н., Фальченко В.М., Мазанко В.Ф. и др. – ДАН СССР, 1975, т.221, с.1073-1075.

81. **Патент Российской Федерации** на изобретение № 2468899. МПК В 23Н 9/00.Способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием /Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., М.П. Братущак/ Оpubл. 10.12. 2012, Бюл. № 34.

82. **Патент України** на винахід № 101715, 23Н 9/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням/В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, М.П. Братущак / Оpubл. 25.01.2013, бюл. № 8.

Наукове видання

Тарельник В'ячеслав Борисович
Антошевський Богдан (Польща)
Марцинковський Василь Сигізмундович та ін.

Цементация електроерозійним легуванням

(російською мовою)

Монографія

Дизайн обкладинки В.Б. Гайдабрус
Комп'ютерна верстка В.Б. Тарельник, Є.В. Коноплянченко

Підписано до друку 17.03.2015.
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 13,5. Обл.-вид. арк. 8,5.
Тираж 300 прим. Замовлення № 58

Відділ реалізації
Тел./факс: (0542) 65-75-85
E-mail: info@book.sumy.ua

ТОВ «ВТД «Університетська книга»
40009, м. Суми, вул. Комсомольська, 27
E-mail: publish@book.sumy.ua
www.book.sumy.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 489 від 18.06.2001

Віддруковано на обладнанні ВТД «Університетська книга»
вул. Комсомольська, 27, м. Суми, 40009, Україна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 489 від 18.06.2001