

Учреждение образования
«Барановичский государственный университет»

Вестник БарГУ

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 г.

Выпуск 4, июнь, 2016.

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования «Барановичский государственный университет».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор журнала Кочурко Василий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Белорусской инженерной академии, академик Международной академии технического образования, академик Международной академии наук педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины, Заслуженный работник образования Республики Беларусь, ректор учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Заместитель главного редактора журнала Никишова Алла Васильевна, кандидат филологических наук, доцент, проректор по научной работе учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Главный редактор серии

Алифанов Александр Викторович, лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры оборудования и автоматизации производства учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Ответственный секретарь серии

Горбач Юлия Евгеньевна, старший преподаватель кафедры экономики и организации производства инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Редактор текстов на английском языке

Манкевич Жанна Борисовна, кандидат психологических наук, старший преподаватель кафедры теории и практики английского языка учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Гавриленя Андрей Константинович (*ответственный за направление «Машиностроение и машиноведение»*), кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой общенаучных дисциплин инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Дубень Игорь Викторович (*ответственный за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»*), кандидат технических наук, доцент кафедры механизации и энергообеспечения производства инженерного факультета, декан факультета довузовской подготовки учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Геннадий Иосифович, кандидат технических наук, доцент, доцент учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (Минск, Республика Беларусь).

Белый Алексей Владимирович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Бетяна Григорий Филиппович, кандидат технических наук, доцент, начальник технологического научно-производственного центра учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (Минск, Республика Беларусь).

Гордиенко Анатолий Илларионович, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, начальник Центра индукционных технологий Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Девойно Олег Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий филиала Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть» (Минск, Республика Беларусь).

Добышев Анатолий Семёнович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Дремук Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, декан инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Ивашко Виктор Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической эксплуатации автомобилей Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Калугин Юрий Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиноведения и технической эксплуатации автомобилей учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» (Гродно, Республика Беларусь).

Карташевич Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов и автомобилей учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клочков Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор учреждения образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клубович Владимир Владимирович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, профессор, заведующий лабораторией пластичности Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Ласковнён Александр Петрович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, академик-секретарь отделения физико-технических наук Национальной академии наук Беларуси (Минск, Республика Беларусь).

Нерода Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Спиридонов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии машиностроения Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Томило Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, доцент, директор Государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Шелег Валерий Константинович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Белорусского национального технического университета (Минск, Республика Беларусь).

Адрес редакции:

ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.

Телефон: +375 (163) 45 46 28.

E-mail: vestnik_barsu@tut.by

Подписные индексы: 00993 — для индивидуальных подписчиков; 009932 — для организаций.

Свидетельство о регистрации средств массовой информации № 1533 от 30.07. 2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ» серия «Технические науки» включён в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам (машиностроение и машиноведение; процессы и машины агроинженерных систем).

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включён в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-01/2016.

Издатель: учреждение образования «Барановичский государственный университет».

Выходит на русском, белорусском и английском языках.

Журнал распространяется на территории Республики Беларусь

Заведующий редакционно-издательским отделом Е. Г. Хохол
Технический редактор В. В. Кукреш
Компьютерная вёрстка В. В. Кукреш
Корректор С. А. Березнюк

Подписано в печать 13.06.2016. Формат 60 × 84 ¹/₈. Бумага ксероксная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 10,70.
Уч.-изд. л. 5,40. Тираж 75 экз. Заказ .

Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: открытое акционерное общество «Красная звезда». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя и распространителя печатных изданий № 2/7 от 28.10.2013.

Юридический адрес: пер. 1-й Загородный, 3, 220073 Минск.

Почтовый адрес: ул. Советская, 80, 225409 Барановичи.

© БарГУ, 2016

Репозиторий БарГУ

Установа адукацыі
«Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт»

Веснік БарДУ

Штоквартальны навукова-практычны часопіс

Выдаецца з сакавіка 2013 г.

Выпуск 4, чэрвень, 2016.

Серыя «Тэхнічныя навукі»

Заснавальнік: установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

Галоўны рэдактар часопіса Качурка Васіль Іванавіч, доктар сельскагаспадарчых навук, прафесар, акадэмік Беларускай інжынернай акадэміі, акадэмік Міжнароднай акадэміі тэхнічнай адукацыі, акадэмік Міжнароднай акадэміі навук педагагічнай адукацыі, акадэмік Акадэміі эканамічных навук Украіны, Заслужаны работнік адукацыі Рэспублікі Беларусь, рэктар установы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Намеснік галоўнага рэдактара часопіса Нікішова Ала Васільеўна, кандыдат філалагічных навук, дацэнт, прарэктар па навуковай рабоце ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ СЕРЫІ

Галоўны рэдактар серыі

Аліфанаў Аляксандр Віктаравіч, лаўрэат Дзяржаўнай прэміі Рэспублікі Беларусь у галіне навукі і тэхнікі, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры абсталявання і аўтаматызацыі вытворчасці ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Адказны сакратар серыі

Горбач Юлія Яўгеньеўна, старшы выкладчык кафедры эканомікі і арганізацыі вытворчасці інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Рэдактар тэкстаў на англійскай мове

Манкевіч Жанна Барысаўна, кандыдат псіхалагічных навук, старшы выкладчык кафедры тэорыі і практыкі англійскай мовы ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Гаўрылена Андрэй Канстанцінавіч (*адказны за напрамак «Машынабудаванне і машыназнаўства»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры агульнанавуковых дысцыплін інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Дубень Ігар Віктаравіч (*адказны за напрамак «Працэсы і машыны аграінжынерных сістэм»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт кафедры механізацыі і энергазабеспячэння вытворчасці інжынернага факультэта, дэкан факультэта давузаўскай падрыхтоўкі ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Анісковіч Генадзь Іосіфавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт установы адукацыі «Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Белы Аляксей Уладзіміравіч, член-карэспандэнт Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, намеснік дырэктара па навуковай рабоце Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Бяцэня Рыгор Піліпавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, начальнік тэхналагічнага навукова-практычнага цэнтра ўстановы адукацыі «Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Гардзіенка Анатолій Іларыёнавіч, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, начальнік Цэнтра індукцыйных тэхналогій Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Дзявойна Алег Георгіевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык Навукова-даследчай інавацыйнай лабараторыі плазменных і лазерных тэхналогій філіяла Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта «Навукова-даследчая частка» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Добышаў Анатолій Сямёнавіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры механізацыі жывёлагадоўлі і электрыфікацыі сельскагаспадарчай вытворчасці ўстановы адукацыі «Беларуская дзяржаўная сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Драмук Уладзімір Аляксеевіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дэкан інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Івашка Віктар Сяргеевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры тэхнічнай эксплуатацыі аўтамабіляў Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Калугін Юрый Канстанцінавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры машыназнаўства і тэхнічнай эксплуатацыі аўтамабіляў установы адукацыі «Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы» (Гродна, Рэспубліка Беларусь).

Карташэвіч Анатолій Мікалаевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык кафедры трактараў і аўтамабіляў установы адукацыі «Беларуская дзяржаўная сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клачкоў Аляксандр Віктаравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар установы адукацыі «Беларуская дзяржаўная сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клубовіч Уладзімір Уладзіміравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, загадчык лабараторыі пластычнасці Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Ласкаўнёў Аляксандр Пятровіч, доктар тэхнічных навук, акадэмік Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, акадэмік-сакратар аддзялення фізіка-тэхнічных навук Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Нярода Міхаіл Уладзіміравіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэхналогіі машынабудавання ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Спірыдонаў Мікалай Васільевіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры тэхналогіі машынабудавання Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Таміла Вячаслаў Анатольевіч, доктар тэхнічных навук, дацэнт, дырэктар Дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Шэлег Валерый Канстанцінавіч, член-карэспандэнт Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, загадчык кафедры тэхналогіі машынабудавання Беларускага нацыянальнага тэхнічнага ўніверсітэта (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Адрас рэдакцыі:

вул. Войкава, 21, 225404, г. Баранавічы.

Тэлефон: +375 163 45 46 28.

E-mail: vestnik_barsu@tut.by

Падпісныя індэксы: 00993 — для індывідуальных падпісчыкаў; 009932 — для арганізацый.

Пасведчанне аб рэгістрацыі сродкаў масавай інфармацыі № 1533 ад 30.07.2012, выдадзенае Міністэрствам інфармацыі Рэспублікі Беларусь.

У адпаведнасці з загадам Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь ад 21 студзеня 2015 г. № 16 навукова-практычны часопіс «Веснік БарДУ» серыя «Тэхнічныя навукі» ўключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў па тэхнічных навуках (машынабудаванне і машыназнаўства; працэсы і машыны аграінжынерных сістэм).

Навукова-практычны часопіс «Веснік БарДУ» ўключаны ў РІНЦ (Расійскі індэкс навуковага цытавання), ліцэнзійны дагавор № 06-01/2016.

Выдавец: установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

Выходзіць на рускай, беларускай і англійскай мовах.

Часопіс распаўсюджваецца на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь.

Загадчык рэдакцыйна-выдавецкага аддзела А. Г. Хахол

Тэхнічны рэдактар В. У. Кукраш

Камп'ютарная вёрстка В. У. Кукраш

Карэктар С. А. Березнюк

Падпісана да друку 13.06.2016. Фармат 60 × 84 ¹/₈. Папера ксераксная. Друк лічбавы. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10,70. Ул.-выд. арк. 5,40. Тыраж 75 экз. Заказ .

Кошт свабодны.

Паліграфічнае выкананне: адкрытае акцыянернае таварыства «Чырвоная зорка». Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 2/7 ад 28.11.2013.

Юрыдычны адрас: завул. 1-ы Загарадны, 3, 220073 Мінск.

Паштовы адрас: вул. Савецкая, 80, 225409 Баранавічы.

Educational Institution
“Baranovichi State University”

BarSU Herald

A quarterly scientific and practical journal

Published since March 2013

Issue 4, June, 2016.

Series “Engineering”

Promoter: Educational Institution “Baranovichi State University”.

EDITORIAL BOARD

Editor in Chief: Vasily Ivanovich Kochurko, Rector of Baranovichi State University, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Belarusian Academy of Engineering, Academician of the International Academy of Technical Education, Academician of the International Academy of Pedagogical Education, Academician of the Academy of Economic Sciences of the Ukraine, Honored Worker of Education of the Republic of Belarus (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Deputy Chief Editor: Alla Vasilyevna Nikishova, Ph. D. in Philology, Vice-rector for Scientific Work of Baranovichi State University, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

THE EDITORIAL BOARD OF THE EDITION

Editor of the issue

Aleksandr V. Alifanov, State-Prize Winner of the Republic of Belarus in the Science and Technology Field, Professor of the Equipment and Manufacturing Automation Chair of Engineering Department, Baranovichi State University, Doctor of Technical Sciences (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Executive secretary of the issue

Juliya E. Gorbach, Senior lecturer of the Economic Organization of Production Chair of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Editor of English texts

Zhanna B. Mankevich, Senior lecturer of the English Language Theory and Practice Chair of Slavic and Germanic Languages Department, Baranovichi State University, Ph. D. in Psychology (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Andrei K. Gavrilena (*in charge of the heading “Machine Building and Engineering Science”*), Head of the Scientific Disciplines Chair of Mechanization and Energy Production Department, Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Igor V. Duben (*in charge of the heading “Processes and Machines of Agroengineering Systems”*), Dean of the Pre-University Training Department, Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Gennady I. Aniskovich, Associate Professor of the Belarusian State Agrarian Technical University, Ph. D. in Technical Sciences (Minsk, the Republic of Belarus).

Alexey V. Bely, Deputy Director for Scientific Work of the State Scientific Institution “The Physical-Technical Institute, the National Academy of Sciences”, A. M. of the National Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Grigory F. Betenya, Head of the Technology Research and Production Center of the Belarusian State Agrarian Technical University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Anatoly I. Gordienko, Head of the Induction Technology Center of the State Research Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences”, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Oleg G. Devoino, Head of the Research Laboratory of Innovative Plasma and Laser Technology of the Belarusian National Technical University branch “Research Section”, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Anatoly S. Dobysh, Professor of the Animal Husbandry Mechanization and Electrification of Agricultural Production Chair of “The Belarusian State Agricultural Academy”, Doctor of Technical Sciences, Professor (Gorki, the Republic of Belarus).

Vladimir A. Dremuk, Head of Engineering Department of Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Viktor S. Ivashko, Professor of the Automobile Technical Maintenance Chair of the Belarusian National Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Yury K. Kalugin, Associate Professor of the Engineering Science and Automobile Technical Maintenance Chair of "Grodno State University of Ya. Kupala", Ph. D. in Technical Sciences (Grodno, the Republic of Belarus).

Anatoly N. Kartashevich, Head of the Tractors and Vehicles Chair of the Belarusian State Agricultural Academy, Doctor of Technical Sciences, Professor (Gorki, the Republic of Belarus).

Alexandr V. Klochkov, Professor, Professor of the Belarusian State Agricultural Academy, Doctor of Technical Sciences (Gorki, the Republic of Belarus).

Vladimir V. Klubovich, Head of the Plasticity Laboratory of the Belarusian National Technical University, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Alexandr P. Laskovnyov, Academician-secretary of the Physics and Technical Sciences Department of the National Academy of Sciences of Belarus, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences (Minsk, the Republic of Belarus).

Michail V. Neroda, Head of the Mechanical Engineering Chair of Baranovichi State University, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Nicholai V. Spiridonov, Professor of the Mechanical Engineering Chair of the Belarusian National Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Vyacheslav A. Tomilo, Director of the State Scientific Institution "The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus", Doctor of Technical Sciences, Associate Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Valery K. Sheleh, Head of the Mechanical Engineering Chair of the Belarusian National Technical University, A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

Editorial address:

Voikov Str. 21, 225404, Baranovichi.

Phone: +375 163 45 46 28.

E-mail: vestnik@barsu.by

Subscription indices: 00993 — for individual subscribers; 009932 — for companies.

The certificate of the registration of mass media № 1533 of 30.07. 2012 issued by the Ministry of Information of Belarus.

In accordance with the order of the board of the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus on January 21, 2015 № 16 the scientific and practical journal "Bulletin of BarSU" the series "Engineering" was included on the list of the scientific publications of the Republic of Belarus for publishing the results of dissertation research in engineering sciences (mechanical engineering and machines, processes and machines of agroengineering systems).

Scientific and practical journal Vestnik BarSU is included into RSCI (Russian Science Citation Index), license agreement № 06-01/2016.

Published: Educational Institution "Baranovichi State University".

Issued in Russian, Belarusian and English.

The journal is distributed on the territory of the Republic of Belarus.

Managing editor E. G. Hohol

Technical editor V. V. Kukresh

Desktop Publishing V. V. Kukresh

Proofreader S. A. Bereznyuk

Signed print 13.06.2016. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox. Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 10.70. Acc.-pub. s. l. 5.40. Circulation of 75 copies. Order

Free price.

Printing performance: Open Joint Stock Company "Red Star". Certificate of the state registration of the publisher, the manufacturer and the distributor of publications № 2/7 since 28.10.2013.

Legal address: 3, 1 Zagorodni Pereulok, 220073 Minsk.

Postal address: 80 Sovietskaya Str., 225409 Baranovichy.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Машиностроение и машиноведение

Алифанов А. В., Горецкий Г. П., Милюкова А. М., Лях А. А., Шишмолин В. Н. Исследование влияния режимов магнитно-импульсной обработки на микротвёрдость и микроструктуру образцов сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей	11
Бакулин Б. А., Калугин Ю. К. Анализ химического состава и физико-механических свойств материалов для изготовления деталей батанного механизма ткацкого станка	22
Жоглик И. Н. Эмиссия моноэнергетических ионов V^{2+} , Ti^{2+} , Zr^{2+} в вакуумном электродуговом разряде	29
Здор Г. Н. Экспериментальные исследования прессования вытяжных матриц совместным действием статических и динамических нагрузок высокой интенсивности	35
Ищенко М. В. Износ конвейерной ленты в условиях абразивной химически активной среды калийного предприятия	44
Маркевич М. И., Чапманов А. М., Малышко А. Н., Солодуха В. А., Соловьев Я. А., Сарычев О. Э., Щербакова Е. Н. Формирование и исследование диодов Шоттки на основе силицидов платины и никеля	48
Михайлов М. И. Анализ нагрузочного резервирования сборных внутренних фрез	55
Ракицкий А. А. Исследование усталостной прочности деталей машин с термонапылёнными порошковыми покрытиями в условиях циклического растяжения/сжатия	62

Процессы и машины агроинженерных систем

Бегеня Г. Ф., Анискович Г. И., Кривцов А. В., Рогожинский С. Н. Инновационная технология упрочнения дисков роторов и оснований башмаков режущего аппарата косилок	68
Богданович П. Н., Михайлов М. И., Михайлов К. М. Исследование влияния электрофрикционного упрочнения ножей режущего барабана кормоуборочного комбайна на их износостойкость	77

ЗМЕСТ

ТЭХНІЧНЫЯ НАВУКІ

Машынабудаванне і машыназнаўства

Аліфанаў А. В., Гарэцкі Г. П., Мілюкова Г. М., Лях А. А., Шышмолін В. Н. Даследаванне ўплыву рэжымаў магнітна-імпульснай апрацоўкі на мікрацвёрдасць і мікраструктуру ўзораў сталяў, якія прымяняюцца для вырабу рубільных нажоў	11
Бакулін Б. А., Калугін Ю. К. Аналіз хімічнага складу і фізіка-механічных уласцівасцяў матэрыялаў для вырабу дэталей батаннага механізма ткацкага станка	22
Жоглік І. М. Эмісія монаэнергетычных йонаў V^{2+} , Ti^{2+} , Zr^{2+} у вакуумным электрадугавым разрадзе	29
Здор Г. М. Эксперыментальныя даследаванні прэсавання выцяжных матрыц сумесным дзеяннем статычных і дынамічных нагрузкаў высокай інтэнсіўнасці	35
Ішчанка М. В. Зношванне канвеернай стужкі ва ўмовах абразіўнага хімічна актыўнага асяроддзя калійнага прадпрыемства	44
Маркевіч М. І., Чапланаў А. М., Малышка А. М., Саладуха В. А., Салаўёў Я. А., Сарычаў А. Э., Шчарбакова А. М. Фарміраванне і даследаванне дыёдаў Шоткі на аснове сіліцыдаў плаціны і нікеля	48
Міхайлаў М. І. Аналіз нагрузачнага рэзервавання зборных унутраных фрэз	55
Ракіцкі А. А. Даследаванне стомленаснай трываласці дэталей машын з тэрманапыленымі парашковымі пакрыццямі ва ўмовах цыклічнага расцяжэння/сціскання	62

Працэсы і машыны аграінжынерных сістэм

Бяценья Р. Ф., Анісковіч Г. І., Крыўцоў А. В., Рагажынскі С. М. Інавацыйная тэхналогія ўмацавання дыскаў ротараў і асноў башмакоў рэжучага апарата касілак	68
Багдановіч П. М., Міхайлаў М. І., Міхайлаў К. М. Даследаванне ўплыву электрафрыкцыйнага ўмацавання нажоў рэжучага барабана кормаўборачнага камбайна на іх зносаўстойлівасць	77

CONTENTS

TECHNICAL SCIENCES

Machine Building and Engineering Science

Alifanov A. V., Goretsky G. P., Milyukova A. M., Lyakh A. A., Shishmolin V. N. Research of influence of magnetic-pulse treatment modes on microhardness and microstructure steel samples used for chipper knives manufacture	11
Bakulin B. A., Kalugin Ju. K. Analysis of chemical composition and physical-mechanical properties of materials for loom bata mechanism parts production	22
Zhohlik I. N. Emission of monoenergetic flow of V^{2+} , Ti^{2+} , ZR^{2+} ions in vacuum electroarc discharge	29
Zdor G. N. Experimental study of exhaust pressing matrix via the combined action of static and dynamic loads of high intensity	35
Ishchenko M. V. The conveyor belt wear in an abrasive and chemically active environment of the potash plant	44
Markevich M. I., Chaplanov A. M., Malyshko A. N., Solodukha V. A., Solovyev Ya. A., Sarichev O. E., Shcherbakova E. N. Formation and investigation of Schottky diodes based on platinum and nickel silicide	48
Mikhailov M. I. Analysis of prefabricated internal cutters load backup	55
Rakitsky A. A. Investigation of fatigue strength of machine components with thermal spray coatings under cyclic push/pull conditions	62

Processes and Machines of Agroengineering Systems

Betenya G. F., Aniskovich G. I., Krivtsov A. V., Rogozhinsky S. N. Innovative technology for rotor discs and mower cutterbar shoe base strengthening	68
Bogdanovich P. N., Mikhailov M. I., Mikhailov K. M. Research of influence of electrofriction hardening of forage harvester cutting drum knives on their wear resistance	77

УДК 621.98.044.7

А. В. Алифанов¹, Г. П. Горецкий, А. М. Милюкова², А. А. Лях, В. Н. Шишмолин

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»,
ул. Купревича, 10, 220004 Минск, Республика Беларусь, +375 (17) 267 60 10, ¹alifanov_aav@mail.ru, ²annart@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ
НА МИКРОТВЁРДОСТЬ И МИКРОСТРУКТУРУ ОБРАЗЦОВ СТАЛЕЙ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РУБИЛЬНЫХ НОЖЕЙ**

Исследованию подвергались образцы из ряда инструментальных сталей, предоставленные российским ООО «Инпласт» (Волгодонск) в целях определения оптимальных режимов магнитно-импульсной обработки (далее — МИО) каждой стали, применяемой для изготовления рубильных ножей, используемых при производстве технологической щепы. Полученные результаты показали, что МИО при определённых режимах оказывает существенное влияние на микроструктуру всех исследуемых сталей. На поверхности образцов образуется мелкодисперсный, однородный слой глубиной от 50 до 250 мкм с повышенной микротвёрдостью. Определены оптимальные режимы МИО для различных сталей.

Ключевые слова: образцы сталей; магнитно-импульсная обработка; микроструктура; микротвёрдость; режимы обработки.

Рис. 11. Библиогр.: 5 назв.

A. V. Alifanov¹, G. P. Goretsky, A. M. Milyukova², A. A. Lyakh, V. N. Shishmolin

State Scientific Institution “Physical-Technical Institute, The National Academy of Sciences of Belarus”,
10, Kuprevicha str., 220004 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (17) 267 60 10, ¹alifanov_aav@mail.ru, ²annart@mail.ru

**RESEARCH OF INFLUENCE OF MAGNETIC-PULSE TREATMENT MODES ON
MICROHARDNESS AND MICROSTRUCTURE STEEL SAMPLES USED FOR CHIPPER
KNIVES MANUFACTURE**

Several samples of tool steel provided by the Russian firm ООО “Inplast” (Volgodonsk) were studied in order to identify optimal modes of magnetic-pulse processing (MPP) for each kind of steel, aimed for manufacture of chipper knives which are used in the production of industrial chips. The research results show that MPP under certain conditions has a significant influence on the microstructure of all studied steel samples. A finely dispersed, homogeneous layer depth from 50 to 250 μm with high microhardness appears on the surface of the samples. The optimal processing modes are identified for different kinds of steel.

Key words: steel samples; magnetic-pulse processing; microstructure; microhardness; processing modes.

Fig. 11. Ref.: 5 titles.

Введение. Технологическую щепу в рубильных машинах получают в результате резания древесины рубильными ножами в продольно-торцово-поперечном, продольно-торцовом, поперечно-торцовом и других направлениях. Получаемые древесные частицы (щепы) имеют сравнительно большую

толщину (до 10 мм), поэтому такой способ резания получил название «рубка щепы», а применяемое для этой цели оборудование — рубительные машины. Поскольку в Республике Беларусь и России используют большое количество (более 60) разнообразных рубительных машин, аналогичных по выполняемым функциям, ножи для них отличаются как по конструкции, так и по материалу, из которого их изготавливают.

В барабанных рубительных машинах применяются ножевые валы барабанного типа, сменной режущей частью которых являются плоские ножи. Конструкция ножей, их размеры и величины углов зависят от конструкции барабанных ножевых валов, на которых ножи крепятся при помощи различных конструкций. Конструкция барабанных ножевых валов и их размеры в основном предопределяются конструкцией и назначением машины и различаются по форме, числу ножей и способам их крепления. Барабанный ножевой вал изготавливается чаще составным или сборным с цапфами для подшипников. При замене ножей вал со станка не снимается.

Ножи рубительных машин имеют прямоугольную форму, режущая кромка различной длины расположена по меньшей стороне прямоугольника, причём ножи с меньшей длиной используют при переработке крупномерной древесины, а с большей — при переработке кусковых отходов.

Под воздействием напряжений на поверхности или в объёме ножей могут появляться микро- и даже макротрещины, в результате чего ножи становятся непригодными к эксплуатации ещё до установки в рабочий барабан.

Анализ номенклатуры ножей для рубительных машин показал, что конструкция и типоразмеры ножей напрямую зависят от используемого оборудования. Габаритные размеры ($L \times H \times S$) сильно колеблются: L составляет 40...930 мм, H — 40...360 мм, S — 4...25 мм. Количество ножей в комплекте достигает 82 шт. Виды крепежа на рабочем органе (барабане, диске) определяют конструктивные особенности ножа (отверстия, режущие кромки). Твёрдость режущей кромки различных ножей колеблется и должна составлять HRC 54...60.

При производстве ножей для рубки, дробления древесных отходов и других материалов применяются стали, обладающие как высокой твёрдостью, так и высокой вязкостью для предотвращения скалывания и поломки ножа при ударных нагрузках. Для изготовления ножей рубительных машин в России используется качественная сталь [1]; легированная инструментальная сталь [2] глубокой прокаливаемости, сталь для штампового инструмента, для ударного инструмента и шарикоподшипниковая сталь. Формоустойчивость, твёрдость, вязкость и теплостойкость высоколегированных и высококачественных сталей при соответствующей термообработке обеспечивается введением определённых легирующих элементов: хром (Х), кремний (С), марганец (Г), молибден (М), ванадий (Ф) и других с общим содержанием легирующих элементов свыше 5,5%. Окончательные свойства стали определяются совместным действием всех легирующих элементов.

Твёрдость является важнейшей характеристикой инструментальных сталей, однако при изготовлении режущего инструмента не всегда следует добиваться её очень высоких значений, поскольку при росте твёрдости зачастую снижаются прочность и вязкость металла. При высокой вязкости в сочетании с высокой прочностью предупреждается образование сколов (выкрашивание) и трещин. На вязкость сталей, помимо термообработки, существенно изменяющей структуру, значительное влияние оказывает технология изготовления, а также способ выплавки и горячего деформирования. Стали, не обладающие достаточной вязкостью, нельзя использовать для изготовления инструмента, работающего при значительных динамических нагрузках (например, при рубке мёрзлой древесины).

Из вышесказанного следует, что вопросы разработки эффективных методов повышения эксплуатационных характеристик рубильных ножей имеют большую актуальность и востребованность.

В Государственном научном учреждении «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» развивается новое для Республики Беларусь научное направление: упрочняющая магнитно-импульсная обработка стальных изделий. Полученные результаты исследований позволили отработать такие режимы МИО, благодаря которым стойкость дереворежущих фрезерных ножей повышается от 1,5 до 3,0 раз [3]. Результатами работы заинтересовались некоторые российские фирмы. В частности, ООО «Инпласт» (Волгодонск) предложило провести исследования влияния режимов МИО на микротвёрдость и микроструктуру сталей, которые применяются этой фирмой для изготовления

рубильных ножей, используемых при производстве технологической щепы из древесных материалов. Большие ударные нагрузки и неоднородность свойств древесины приводят к быстрому затуплению режущих кромок рубильных ножей.

Увеличение периода стойкости ножей в 1,5 и более раз за счёт их упрочнения методом МИО позволит значительно снизить расходы на инструмент и повысить рентабельность производства.

Основная часть. Оборудование, приборы и образцы, применяемые в работе. Для осуществления упрочняющей МИО образцов использовали модернизированную магнитно-импульсную установку МИУ, изготовленную в лаборатории механофизики формирования гетерогенных систем (МФГС) Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси, которая позволяет получать энергию импульса до 15 кДж (рисунок 1).

При обработке изделий на МИУ рабочие инструменты установки — разрядник и индуктор — подвергаются очень большим нагрузкам, что вызывает нагрев обмотки и всего индуктора. При длительной работе нагрев индуктора превышает допустимые пределы, что может привести к выходу из строя индуктора и всей установки. Модернизация МИУ включает разработку систем охлаждения разрядника и индуктора, а также специальной оснастки для фиксации образцов и изделий.



Рисунок 1. — Модернизированная магнитно-импульсная установка

Для подключения импульсного высоковольтного источника питания к нагрузке в МИУ используется разрядник вакуумный управляемый типа РВУ-57. Для достижения максимального срока службы в процессе работы разрядник не должен нагреваться выше 40°C, поэтому для него была разработана и изготовлена система охлаждения, обеспечивающая отвод тепла. При разработке системы охлаждения необходимо было учесть высокое напряжение на электродах разрядника до 13 кВ и то, что через разрядник проходят импульсы тока до 100 кА, поэтому применялась воздушная система охлаждения. Также был выбран повторно-циклический режим работы системы охлаждения, который состоит в том, что во время заряда накопительной батареи конденсаторов и разряда через индуктор питающее напряжение с системы охлаждения снимается для исключения повреждения вентилятора во время мощных высоковольтных импульсов тока. Конструктивно разрядник и система охлаждения с разрядником изготовлены в виде отдельного блока, причём вентилятор жёстко зафиксирован относительно разрядника.

Система охлаждения индуктора обеспечивает охлаждение преимущественно обмотки индуктора в рабочей зоне (акт модернизации МИУ от 21.12.2015). Система охлаждения индуктора выполнена съёмной, в случае необходимости её можно отсоединить от индуктора (при невысокой интенсивности работы и при работе с длинномерными изделиями). Она работает от питающего напряжения 220 В частотой 50 Гц. Производительность системы порядка 160 м³ / ч.

Микротвёрдость стальных образцов измеряли с помощью прибора ПМТ-3. Микроструктурный анализ проводили на металлографическом комплексе МГК-2М1. Выявление структуры (травление) проводили 5%-м раствором HNO₃ в спирте.

Из ножей производства ООО «Инпласт» (сталь 60С2А, 65Г, 60С2ХФА, 6ХВ2С и 6ХС) были изготовлены образцы размерами 12 × 12 × 5 мм, причём часть образцов (по 8 шт. для каждого вида стали) оставалась в закалённом состоянии, а другая часть (по 8 шт.) — в отпущенном состоянии (у закалённых образцов твёрдость находилась в интервале 52...56 HRC, у отпущенных — 11...18 HRC).

Все образцы были промаркированы, разбиты на группы, которые обрабатывали по пяти различным режимам МИО с энергией импульса 2, 4, 6, 8 и 10 кДж.

На графиках (рисунки 2, 4, 6, 8, 10) для каждой марки стали показано изменение микротвёрдости образцов (а не сама микротвёрдость) относительно необработанных образцов в зависимости от режима обработки (образцы 1—5).

По результатам исследований микроструктуры следует отметить, что влияние МИО на все исследуемые образцы из различных сталей выражается практически одинаково с небольшими изменениями, независимо от структурного состояния стали (закалённый, отпущенный). Рассмотрим представленные микроструктуры исследуемых образцов сталей до и после обработки (рисунки 3, 5, 7, 9, 11). Все микроструктуры после МИО заметно отличаются наличием упрочнённых слоёв и появлением тёмных фазовых включений, что может свидетельствовать о наличии в стали каких-то примесей, которые активизировались под влиянием магнитного поля.

Сталь 60С2А. Видно (см. рисунок 2), что для стали 60С2А при обработке по режиму № 3 наблюдается заметное увеличение микротвёрдости для закалённых образцов. Микротвёрдость отпущенных образцов после МИО изменяется в пределах погрешности.

Показаны микроструктуры образцов стали 60С2А до (см. рисунок 3, а) и после МИО (см. рисунок 3, б и в). На всех образцах после МИО виден светлый поверхностный слой, который трудно травится вследствие его повышенной плотности, из чего можно сделать вывод о его упрочнении. Глубина слоя составляет от 50 до 150 мкм. Результаты исследований показывают, что оптимальным режимом для закалённой стали 60С2А является режим № 3.

Сталь 65Г. Из графика (см. рисунок 4) видно, что для стали 65Г при обработке по режиму № 3 наблюдается небольшое увеличение микротвёрдости для закалённых образцов, а при остальных режимах обработки микротвёрдость даже уменьшается. Похожая картина наблюдается и для незакалённых образцов.

Показаны микроструктуры образцов стали 65Г до (см. рисунок 5, а) и после МИО (см. рисунок 5, б—г). На всех образцах после МИО также виден светлый поверхностный слой: на закалённых образцах средняя толщина слоя составляет около 80 мкм, а на незакалённых — 250 мкм.

Результаты исследований показывают, что оптимальными режимами для закалённой стали 65Г являются режимы № 3 и № 4.

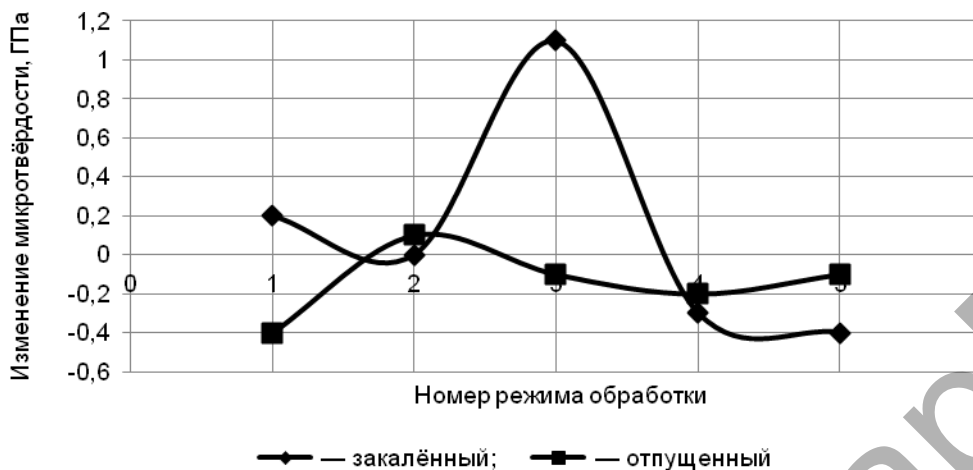
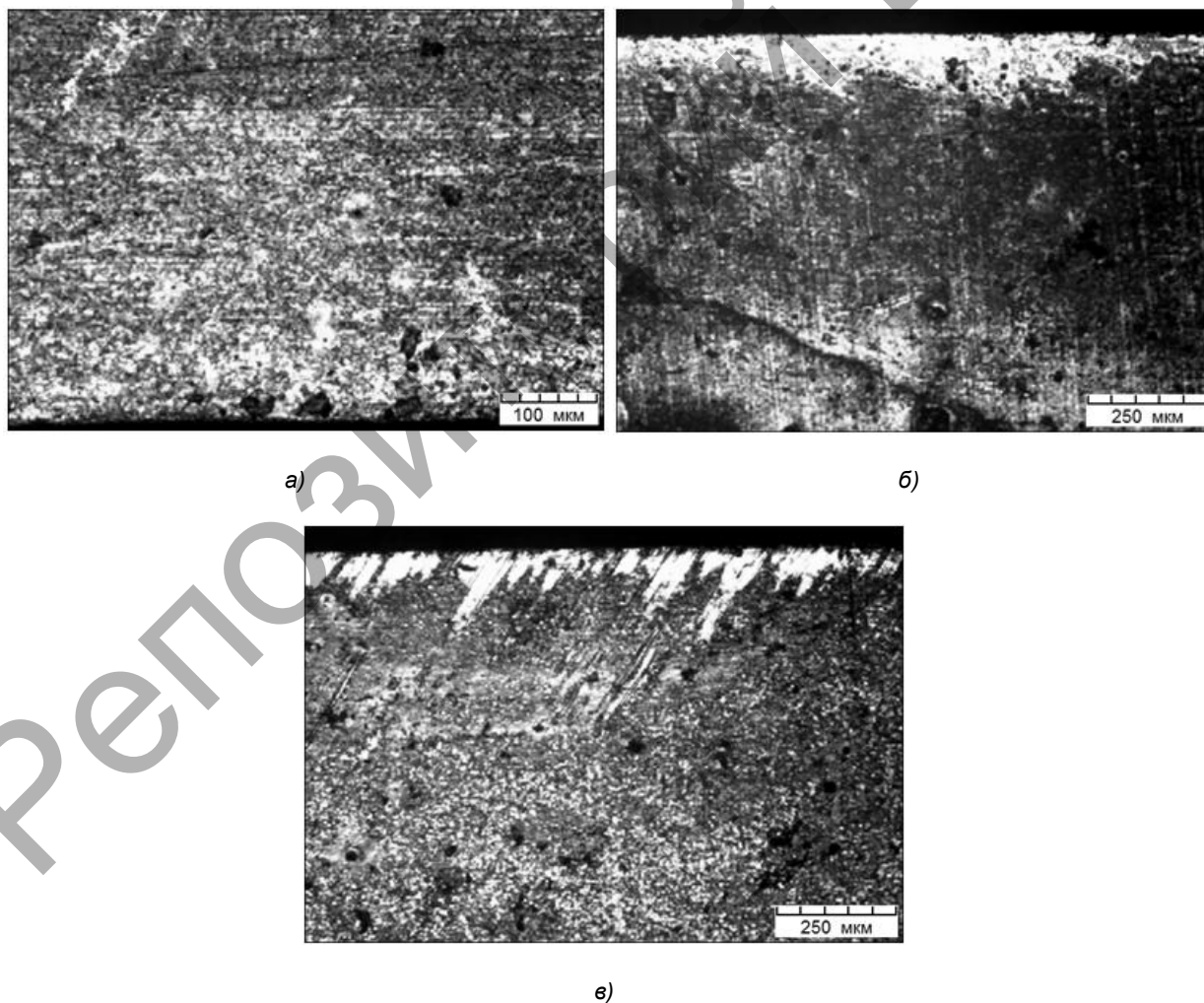


Рисунок 2. — Зависимость изменения микротвёрдости образцов из стали 60C2A после МИО от режима обработки



а — шлиф до обработки; б — закалённый шлиф (режим № 3); в — незакалённый шлиф (режим № 3)

Рисунок 3. — Микроструктуры образцов стали 60C2A до и после МИО при различных режимах

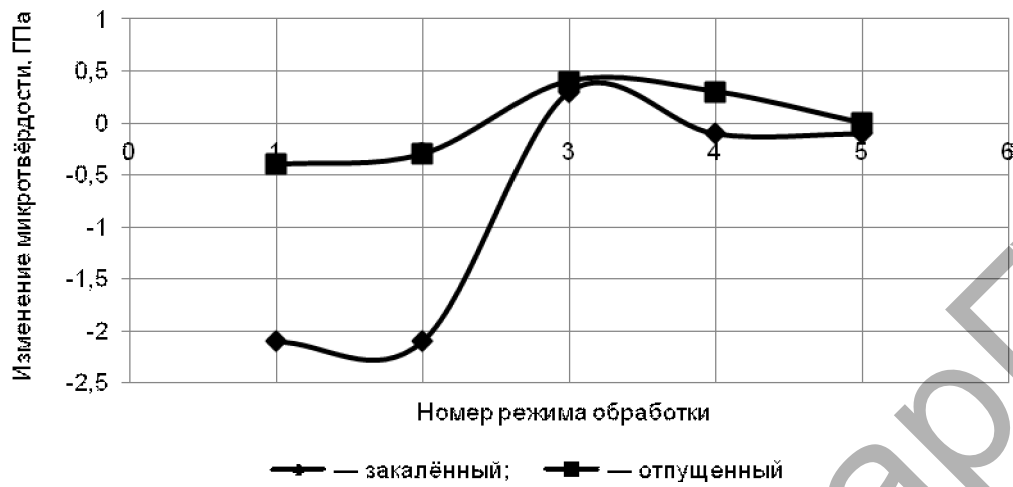
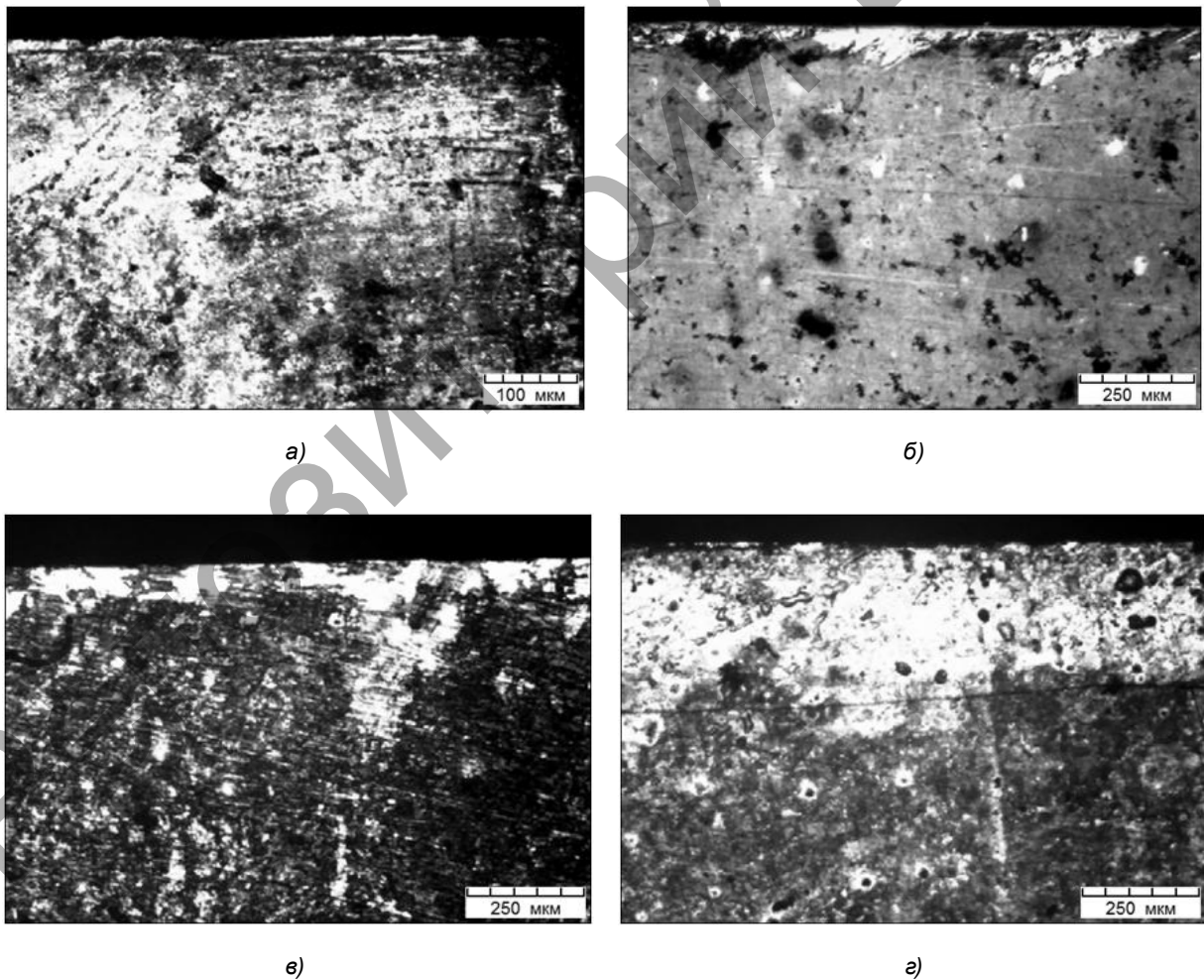


Рисунок 4. — Зависимость изменения микротвёрдости образцов из стали 65Г после МИО от режима обработки



а — до обработки; б — закалённый образец (режим № 4); в — закалённый образец (режим № 5); г — незакалённый образец (режим № 4)

Рисунок 5. — Микроструктуры образцов стали 65Г до и после МИО при различных режимах

Сталь 60С2ХФА. Из графика (см. рисунок 6) видно, что для стали 60С2ХФА при обработке по режимам № 2 и № 4 наблюдается небольшое увеличение микротвёрдости для закалённых образцов, а по режимам № 3 и № 5 — снижение. Микротвёрдость отпущенных образцов после МИО несколько повышается при режиме № 4, а при остальных либо не меняется, либо несколько уменьшается.

Показаны микроструктуры закалённых образцов стали 60С2ХФА до (см. рисунок 7, а) и после МИО (см. рисунок 7, б—г). На всех обработанных образцах также видны упрочнённые поверхностные слои: на рисунке 7, б, — слой тёмного цвета, мелкодисперсный, глубиной от 70 до 100 мкм, а на рисунке 7, в и г, — слои светлого цвета глубиной от 50 до 80 мкм. Результаты исследований показывают, что оптимальными режимами упрочнения для закалённой стали 60С2ХФА являются режимы № 2 и № 4.

Сталь 60ХВ2С. Из графика (см. рисунок 8) видно, что для стали 60ХВ2С при обработке по режиму № 3 наблюдается небольшое увеличение микротвёрдости для закалённых образцов, а при остальных режимах микротвёрдость даже уменьшается. Микротвёрдость отпущенных образцов после МИО немного увеличивается при режимах № 2, № 3 и № 5, при режиме № 4 не изменяется, а при режиме № 1 заметно уменьшается.

Показаны микроструктуры образцов стали 60ХВ2С до (см. рисунок 9, а) и после МИО (см. рисунок 9, б и в). На всех обработанных образцах также видны упрочнённые поверхностные слои: для закалённых образцов — это тёмные слои с мелкодисперсной структурой глубиной от 50 до 70 мкм (см. рисунок 9, б), а для незакалённых образцов — слой переменной светло-тёмной окраски глубиной около 50 мкм. Результаты исследований показывают, что оптимальным режимом для закалённой стали 60ХВ2С является режим № 3.

Сталь 6ХС. Из графика (см. рисунок 10) видно, что для стали 6ХС при обработке по режиму № 3 наблюдается небольшое увеличение микротвёрдости для закалённых образцов, а при остальных режимах микротвёрдость или практически не изменяется (режимы № 4 и № 5), или заметно уменьшается (режимы № 1 и № 2). Микротвёрдость отпущенных образцов после МИО несколько увеличивается при режимах № 3 и № 4, или немного уменьшается при режимах № 1 и № 2.

Показаны микроструктуры образцов стали 6ХС до (см. рисунок 11, а) и после МИО (см. рисунок 11, б и в). На всех образцах после МИО образуются упрочнённые слои: на закалённом образце (см. рисунок 11, б) слой имеет неровный характер и глубину от 60 до 100 мкм, а на незакалённом образце образовался текстурированный слой толщиной около 250 мкм.

Результаты исследований показывают, что оптимальным режимом для закалённой стали 6ХС является режим № 3.

Если обобщить результаты изменений значений микротвёрдости поверхности образцов после МИО, то можно утверждать, что лучшим (оптимальным) режимом является режим № 3, после него практи-

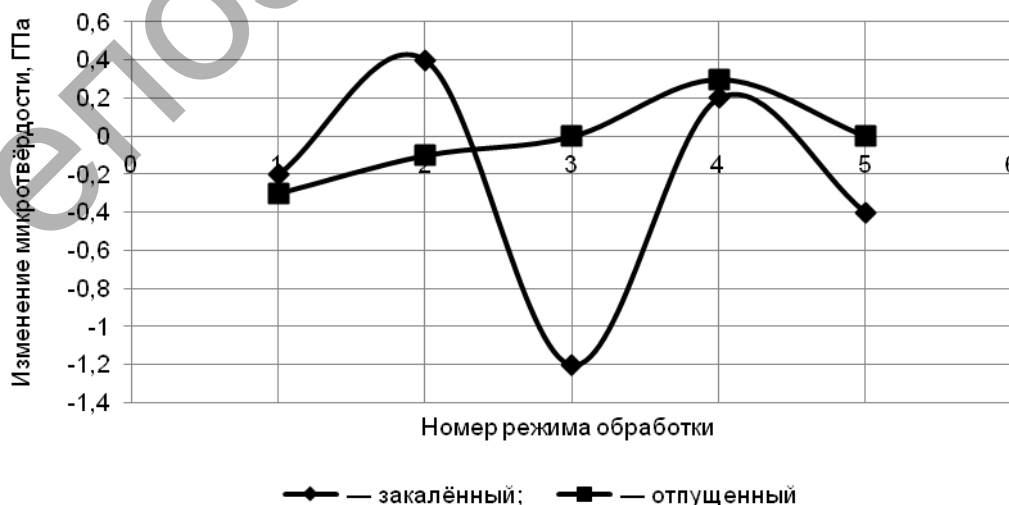


Рисунок 6. — Зависимость изменения микротвёрдости образцов из стали 60С2ХФА после МИО от режима обработки

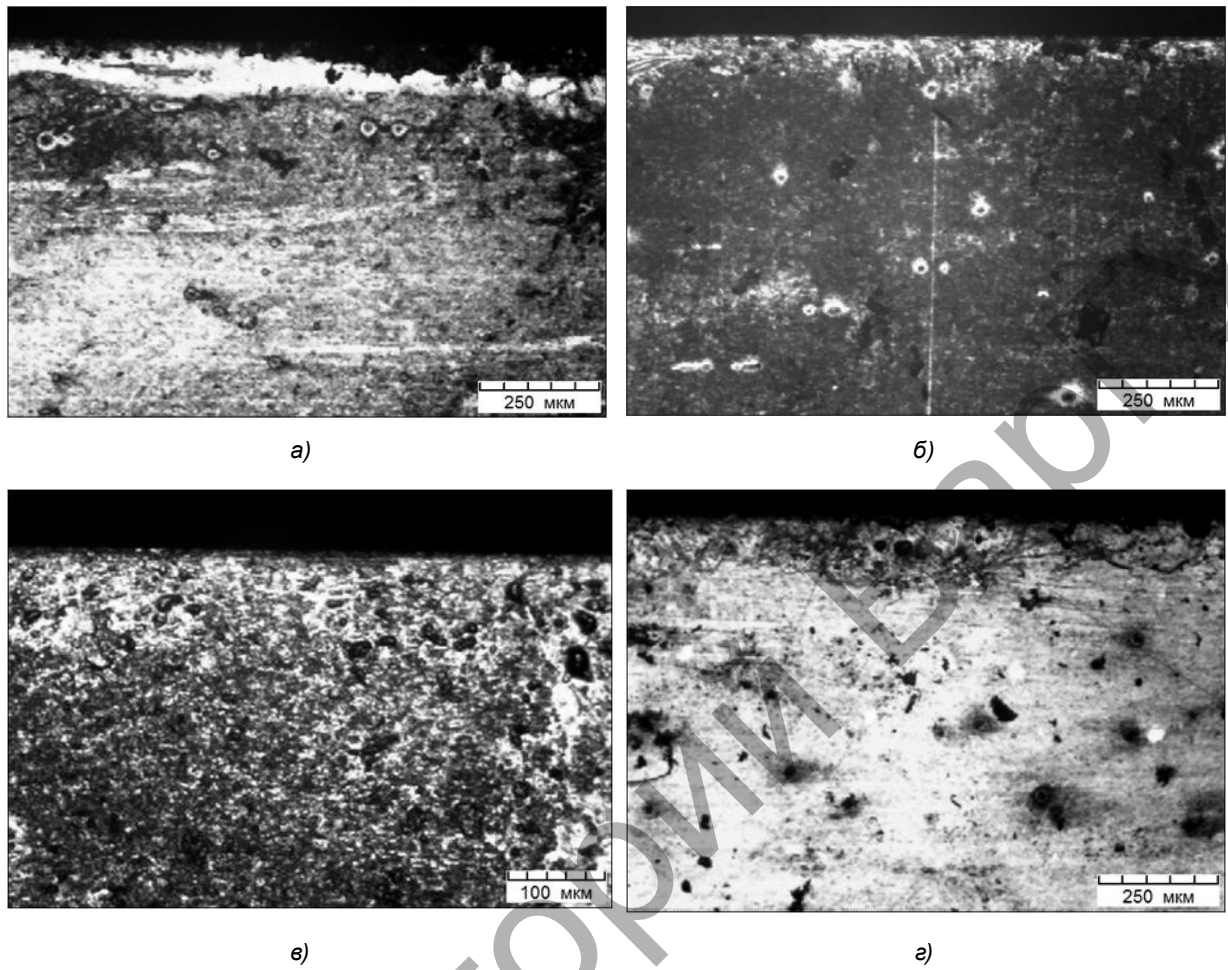


Рисунок 7. — Микроструктуры закалённых образцов стали 60С2ХФА до (а) и после МИО при режимах № 2 (б), № 3 (в) и № 4 (г)

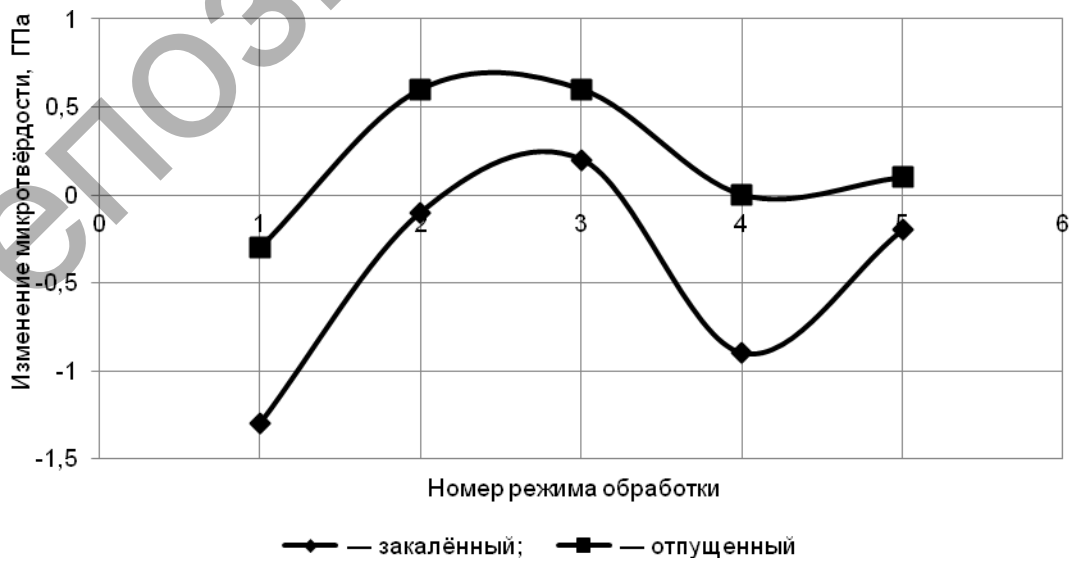
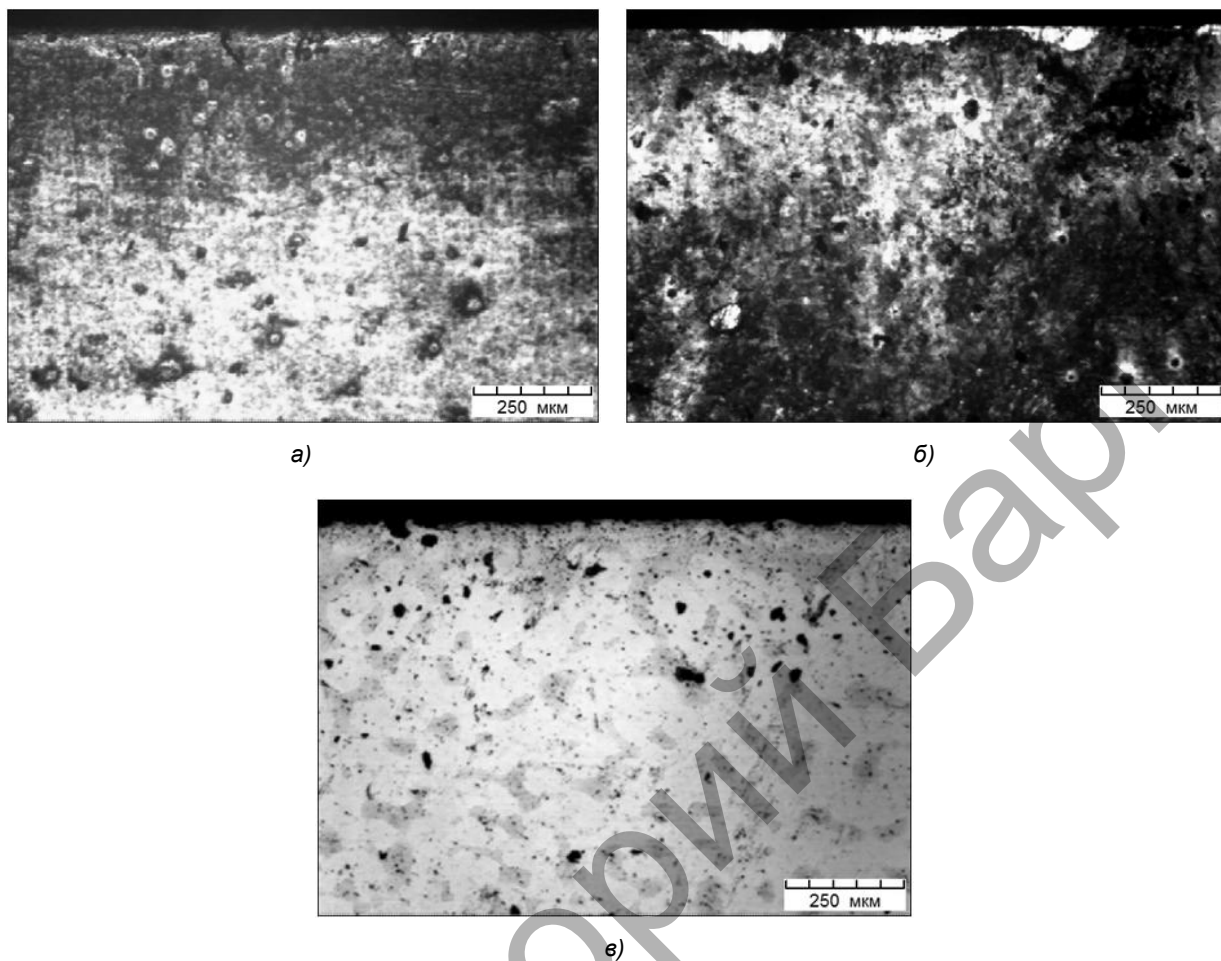


Рисунок 8. — Зависимость изменения микротвёрдости образцов из стали 60ХВ2С после МИО от режима обработки



а — нетравленный образец до МИО; б — закалённый травленный образец при режиме № 3; в — незакалённый травленный образец при режиме № 4

Рисунок 9. — Микроструктуры образцов стали 6XV2C до и после МИО

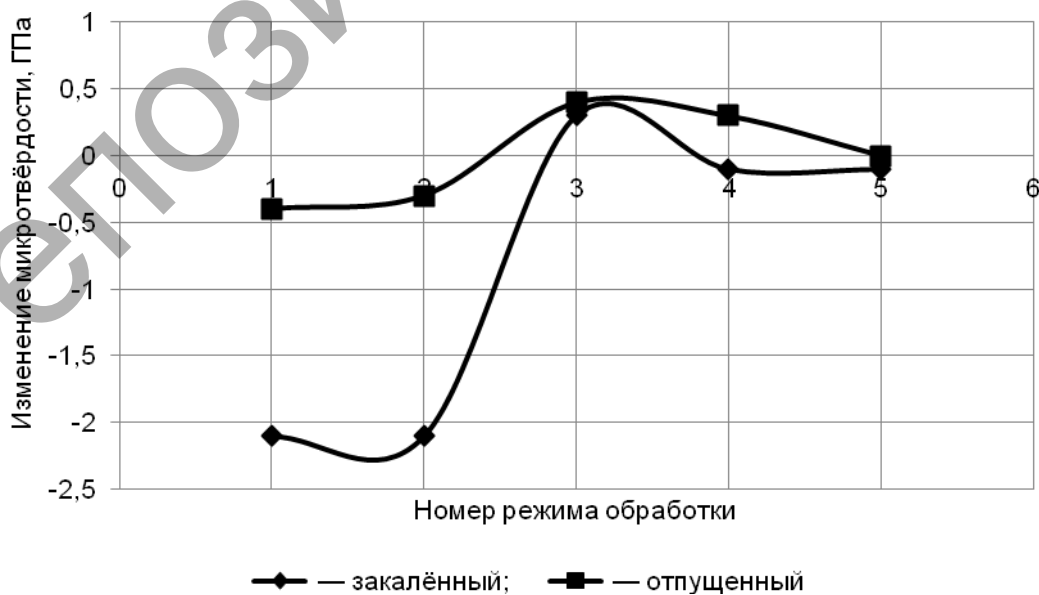
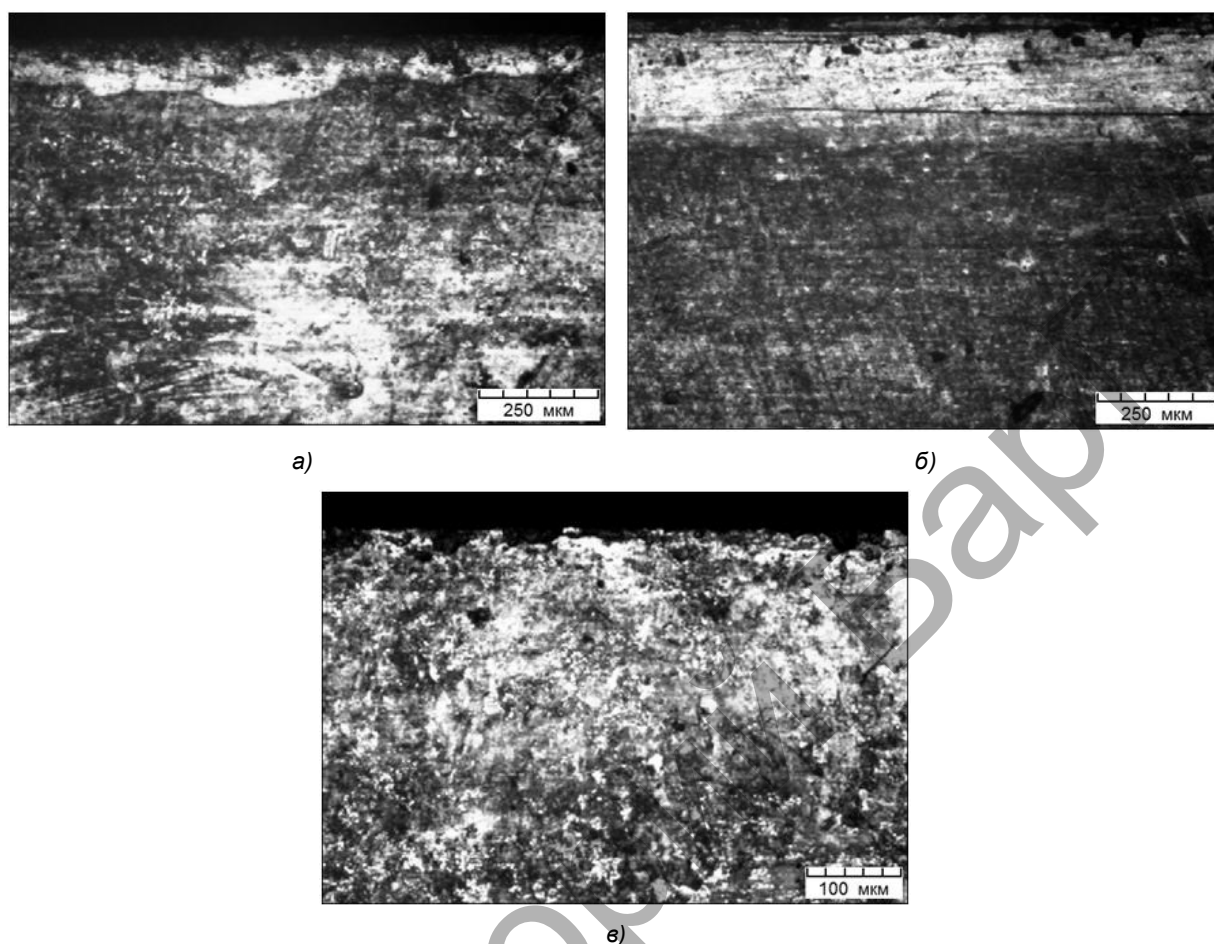


Рисунок 10. — Зависимость изменения микротвёрдости образцов из стали 6XС после МИО от режима обработки



а — образец до МИО; б — закалённый образец; в — незакалённый образец

Рисунок 11. — Микроструктуры образцов стали 6ХС до и после МИО при режиме № 3

чески на всех образцах микротвёрдость несколько повышается. После режима МИО № 4 на некоторых образцах микротвёрдость не изменяется или несколько повышается. Во всех остальных режимах микротвёрдость снижается.

Заключение. Влияние МИО на микроструктуру выражается следующим образом:

- 1) после травления на обрабатываемой поверхности видно образование явно выраженного мелкодисперсного слоя глубиной до 250 мкм. Этот слой плохо травится, так как имеет большую плотность. Именно он и позволяет значительно повысить прочностные и износостойкие свойства стальных изделий;
- 2) для разных сталей упрочнённые слои имеют различный вид: светлый или тёмный, с выраженной мелкодисперсной структурой или текстурированные, глубина изменяется от 50 до 250 мкм;
- 3) минимальная глубина упрочнённого слоя, полученного после МИО образцов из различных сталей, составляет для закалённых образцов не менее 50 мкм;
- 4) выбор режимов МИО зависит от состава и процентного содержания легирующих элементов, углерода и других факторов.

Для подтверждения результатов исследований предполагается упрочнить методом МИО опытные партии рубильных ножей, изготовленных из исследованных сталей (с использованием рекомендованных режимов обработки), и провести их производственные испытания.

Список цитируемых источников

1. Прутки, полосы и мотки из нелегированной стали. Общие технические условия : ГОСТ 1435-99. Введ. 01.09.2001. Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. 21 с.
2. Прутки, полосы и мотки из инструментальной стали. Общие технические условия : ГОСТ 5950-2000. Введ. 01.01.2002. Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. 40 с.
3. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка изделий из конструкционных и инструментальных сталей / А. В. Алифанов [и др.] // *Литьё и металлургия*. 2012. № 3. С. 77—83 ; Алифанов А. В., Попова Ж. А., Ционенко Н. М. Механизм упрочнения легированных сталей в импульсном магнитном поле // *Литьё и металлургия*. 2012. № 4. С. 151—155 ; Поверхностная упрочняющая обработка стальных изделий импульсным электромагнитным полем / А. В. Алифанов [и др.] // 14-th International Scientific Conference “TRASFER 2013” / Alexander Dubcek University of Trencin (Slovakija), 16—17.10.2013. Trencin. P. 20—25.

Поступила в редакцию 31.05.2016.

Репозиторий БарГУ