

Учреждение образования
«Барановичский государственный университет»

Вестник БарГУ

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 г.

Выпуск 8, июнь, 2020.

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 Климук Владимир Владимирович, кандидат экономических 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 технологии и оборудования машиностроения учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Ответственный секретарь серии

Горбач Юлия Евгеньевна, старший преподаватель кафедры информационных технологий и физико-математических дисциплин инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Редактор текстов на английском языке

Леон Ольга Вячеславовна, кандидат филологических наук, доцент кафедры теории и практики германских языков учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Богданович Ирина Аркадьевна (*ответственный за направление «Машиностроение и машиноведение»*), кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и оборудования машиностроения учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

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

Анискович Геннадий Иосифович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий и организации технического сервиса учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (Минск, Республика Беларусь).

Белый Алексей Владимирович, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Гавриленя Андрей Константинович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии инженерного факультета учреждения образования «Барановичский государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

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

Дремук Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии 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, автомобилей и машин для природообустройства учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клочков Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных машин учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Горки, Республика Беларусь).

Клубович Владимир Владимирович, доктор технических наук, академик Национальной академии наук Беларуси, профессор, главный научный сотрудник государственного научного учреждения «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси» (Минск, Республика Беларусь).

Сиваченко Леонид Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспортных и технологических машин межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет» (Могилев, Республика Беларусь).

Томило Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением Белорусского национального технического университета (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.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

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включён в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-1/2016.

Издатель: учреждение образования «Барановичский государственный университет».

Выходит на русском, белорусском и английском языках.

Журнал распространяется на территории Республики Беларусь.

Заведующий редакционно-издательской группой А. Ю. Сидоренко

Технический редактор Л. Н. Щербук

Компьютерная вёрстка С. М. Глушак

Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 16.06.2020. Формат 60 × 84¹/₈. Бумага ксероксная. Печать цифровая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 16,00. Уч.-изд. л. 9,35. Тираж 100 экз. Заказ

Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: Гродненское областное унитарное полиграфическое предприятие «Слонимская типография». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/203 от 07.03.2014, № 2 от 25.02.2014.

Адрес: ул. Хлюпина, 16, 231800 Слоним, Гродненская обл.

© БарГУ, 2020

Установа адукацыі
«Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт»

Веснік БарДУ

Штоквартальны навукова-практычны часопіс

Выдаецца з сакавіка 2013 г.

Выпуск 8, чэрвень, 2020.

Серыя «Тэхнічныя навукі»

Заснавальнік: установа адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт».

РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ

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 Клімук Уладзімір Уладзіміравіч, кандыдат эканамічных 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 тэхналогіі і абсталявання машынабудавання ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Адказны сакратар серыі

Горбач Юлія Яўгеньеўна, старшы выкладчык кафедры інфармацыйных тэхналогій і фізіка-матэматычных дысцыплін інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Рэдактар тэкстаў на англійскай мове

Леон Вольга Вячаславаўна, кандыдат філалагічных навук, дацэнт кафедры тэорыі і практыкі германскіх моў установы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

Багдановіч Ірына Аркадзеўна (*адказы за напрамак «Машынабудаванне і машыназнаўства»*), кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэхналогіі і абсталявання машынабудавання ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

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

Анісковіч Генадзь Іосіфавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры тэхналогіі і арганізацыі тэхнічнага сервісу ўстановы адукацыі «Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Белы Аляксей Уладзіміравіч, член-карэспандэнт Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, доктар тэхнічных навук, прафесар, галоўны навуковы супрацоўнік дзяржаўнай навуковай установы «Фізіка-тэхнічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі» (Мінск, Рэспубліка Беларусь).

Гаўрыленя Андрэй Канстанцінавіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, загадчык кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі інжынернага факультэта ўстановы адукацыі «Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт» (Баранавічы, Рэспубліка Беларусь).

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

Драмук Уладзімір Аляксеевіч, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт, дацэнт кафедры тэхнічнага забеспячэння сельскагаспадарчай вытворчасці і аграноміі 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, аўтамабіляў і машын для прыродаўладкавання ўстановы адукацыі «Беларуская дзяржаўная ордэнаў Кастрычніцкай Рэвалюцыі і Працоўнага Чырвонага Сцяга сельскагаспадарчая акадэмія» (Горкі, Рэспубліка Беларусь).

Клачкоў Аляксандр Віктаравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры сельскагаспадарчых машын установы адукацыі «Беларуская дзяржаўная ордэнаў Кастрычніцкай Рэвалюцыі і Працоўнага Чырвонага Сцяга 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).

Сівачэнка Леанід Аляксандравіч, доктар тэхнічных навук, прафесар, прафесар кафедры транспартных і тэхналагічных машын міждзяржаўнай адукацыйнай установы вышэйшай адукацыі «Беларуска-Расійскі ўніверсітэт» (Магілёў, Рэспубліка Беларусь).

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

Шлэг Валерыі 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.by.

Папісныя 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 навук (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-выдавецкай групы Г. Ю. Сідарэнка

Тэхнічны рэдактар Л. М. Шчарбук

Камп'ютарная вёрстка С. М. Глушак

Карэктар Н. М. Каладко

Падпісана да друку 16.06.2020. Фармат 60 × 84 1/8. Папера ксерасная. Друк лічбавы. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 16,00. Ул.-выд. арк. 9,35. Тыраж 100 экз. Заказ

Кошт свабодны.

Паліграфічнае выкананне: Гродзенскае абласное ўнітарнае паліграфічнае прадпрыемства «Слоніўская тыпаграфія». Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі выдаўца, вытворцы, распаўсюджвальніка друкаваных выданняў № 1/203 ад 07.03.2014, № 2 ад 25.02.2014.

Адрас: вул. Хлюпіна, 16, 231800 Слонім, Гродзенская вобл.

© БарДУ, 2020

Educational institution
“Baranovichi State University”

BarSU Herald

A quarterly scientific and practical journal

Published since March 2013.

Volume 8, June, 2020.

Engineering Series

Founder: Educational Institution “Baranovichi State University”.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief Vasilii Ivanovich Kochurko, Doctor of Agriculture, Professor, Member of the Belarusian Academy of Engineering, Member of the International Academy of Technical Education, Member of the International Academy of Pedagogical Education, Member of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Distinguished educator of the Republic of Belarus, Rector of the educational institution “Baranovichi State University” (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Deputy Editor-in-Chief Vladimir Vladimirovich Klimuk, Ph. D. in Economic Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for research of the educational institution “Baranovichi State University” (Baranovichi, the Republic of Belarus).

EDITORIAL BOARD OF THE SERIES

Executive Editor of the Issue

Aleksandr V. Alifanov, State-Prize Winner of the Republic of Belarus in Science and Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Chair of Machine-Building Technology and Equipment, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Executive secretary of the issue

Juliya E. Gorbach, Senior lecturer at the Chair of the Information Technology and Physical and Mathematical Disciplines of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

English Text Editor

Olga V. Leon, Ph. D in Philological Science, Associate Professor at the Chair of Theory and Practice of Germanic Languages, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Iryna A. Bogdanovich (*in charge of the heading “Machine Building and Engineering Science”*), Ph. D of Technical Science, Associate Professor, Head of the Chair of Technology and Equipment of Mechanical Engineering, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

Igor V. Duben (*in charge of the heading “Processes and Machines of Agro-engineering Systems”*), Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Technical Support of Agricultural Production and Agronomy Chair, Dean of the Pre-University Training Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

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

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

Andrei K. Gavrilena, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Chair of Technical Support of Agricultural Production and Agronomy of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

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

Vladimir A. Dremuk, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Technical Support of Agricultural Production and Agronomy of Engineering Department, Baranovichi State University (Baranovichi, the Republic of Belarus).

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

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

Anatoly N. Kartashevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of Tractors, Cars and Machines for Environmental Engineering of the Belarusian State of the Orders of the October Revolution and the Order of the Labour Red Banner Agricultural Academy (Gorki, the Republic of Belarus).

Alexandr V. Klochkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at Agricultural Machinery Chair of the Belarusian State of the Orders of the October Revolution and the Order of the Labour Red Banner Agricultural Academy (Gorki, the Republic of Belarus).

Vladimir V. Klubovich, Doctor of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor, Chief Researcher of the State Research Institution “The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus” (Minsk, the Republic of Belarus).

Leonid A. Sivachenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Chair of Transport and Technological Machines, Interstate Higher Education Institution “Belarusian-Russian University” (Mogilev, the Republic of Belarus).

Vyacheslav A. Tomilo, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Pressure Treatment of the Belarusian National Technical University (Minsk, the Republic of Belarus).

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

Editorial address:

21 Voykova Str., 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 compliance with the order of the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus from January 21, 2015 № 16 the scientific and practical journal “BarSU Herald. Engineering Series” is included into the List of scientific publications of the Republic of Belarus for publishing the results of theses research on engineering sciences (mechanical engineering and machines, processes and machines of agroengineering systems).

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

Publishing: 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 A. Y. Sidorenko

Technical editor L. N. Scherbuk

Desktop Publishing S. M. Glushak

Proofreader N. N. Kolodko

Passed for printing 16.06.2020. Format 60 × 84 1/8. Xerox Paper. Digital printing. Font Times. Conv. pr. s. l. 16,00. Acc.-pub. s. l. 9,35. Circulation of 100 copies. Order

Free price.

Printing: Grodno Regional Printing Unitary Enterprise “Slonim Printing Establishment”. Certificate about state registration of publishers, manufacturers and distributors of printings № 1/203 from 07.03.2014, № 2 from 25.02.2014.

Address: 16 Hlyupin St., 231800 Slonim, Grodno region.

© BarSU, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Алифанов А. В., Горецкий Г. П., Цуран В. В., Богданович И. А., Толкачева О. А. Исследование влияния высокотемпературной термомеханической обработки на структуру и механические свойства сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей | 10 |
| Борис Е. В. Исследование статических боковых смещений ленты грузовой и порожняковой ветвей ленточного конвейера | 17 |
| Данилов В. А., Борис Е. В. Повышение долговечности приводов машин и механизмов на основе применения профильных моментопередающих соединений | 25 |
| Данилов В. А., Селицкий А. Н. Погрешность профилирования и качество синусоидальных цилиндрических поверхностей при ротационном точении эксцентрично установленным круглым резцом | 35 |
| Дьяченко О. В., Криуша С. М., Кардаполова М. А., Голубев В. С., Вегера И. И. Лазерное модифицирование газотермических покрытий из нержавеющей сталей | 44 |
| Жигалов А. Н., Богдан Д. Д., Горавский И. А. Исследования влияния аэродинамического звукового упрочнения на свойства твердых сплавов | 53 |
| Жигалов А. Н., Горавский И. А., Богдан Д. Д. Оптимизация износа и ресурса металлорежущего твердосплавного инструмента сплава В35, упрочненного аэродинамическим звуковым методом | 69 |
| Милюкова А. М., Алифанов А. В., Михлюк А. И., Горчанин А. И., Матяс А. Н. Улучшение физико-механических свойств сталей для изготовления труб путем магнитно-импульсной обработки | 79 |
| Наливко О. И., Русан С. И., Сиваченко Л. А., Сиваченко Т. Л. Исследования напряженно-деформационного состояния проволочного рабочего элемента измельчительной машины | 90 |
| Потапов В. А., Сиваченко Л. А. Цепной агрегат с волновой рабочей камерой и адаптивным механизмом силового воздействия для переработки влажных сырьевых материалов | 98 |

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

| | |
|---|-----|
| Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Войтович М. М. Исследование износа протекторов всесезонных автомобильных шин для грузовых механических транспортных средств | 106 |
| Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Сергей А. И. Исследование эксплуатационных свойств полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях внутреннего сгорания | 111 |
| Филиппов А. И., Аутко А. А., Заяц Э. В., Чеботарев В. П., Дубень И. В. Оборудование для дозирования и ленточного внесения удобрений к универсальному агрегату АУ-М1 | 119 |

ЗМЕСТ

МАШЫНАБУДАВАННЕ І МАШЫНАЗНАЎСТВА

| | |
|---|----|
| Аліфанаў А. В., Гарэцкі Г. П., Цуран У. У., Багдановіч І. А., Талкачова В. А. Даследаванне ўплыву высокатэмпературнай тэрма механічнай апрацоўкі на структуру і механічныя ўласцівасці сталяў, якія прымяняюцца для вырабу рубільных нажоў | 10 |
| Борыс Я. В. Даследаванне статычных бакавых зрушэнняў стужкі грузавых і парожніх галін стужачнага канвеера | 17 |
| Данілаў В. А., Борыс Я. В. Павышэнне даўгавечнасці прывадаў машын і механізмаў на аснове прымянення профільных момантаперадаючых злучэнняў | 25 |
| Данілаў В. А., Сяліцкі А. М. Хібнасць прафілявання і якасць сінусіадальных цыліндрычных паверхняў пры ратацыйным тачэнні эксцэнтрычна ўстаноўленым круглым разцом | 35 |
| Дз'ячэнка В. У., Крыуша С. М., Кардаполава М. А., Голубеў В. С., Вегера І. І. Лазернае мадыфікаванне газатэрмічных пакрыццяў з нержавеючых сталяў | 44 |
| Жыгалаў А. М., Богдан Д. Д., Гараўскі І. А. Даследаванні ўплыву аэрадынамічнага гукавога ўмацавання на ўласцівасці цвёрдых сплаваў | 44 |
| Жыгалаў А. М., Гараўскі І. А., Богдан Д. Д. Аптымізацыя зношвання і рэсурсу металарэжучага цвёрдасплаўнага інструмента сплаву В35, умацаванага аэрадынамічным гукавым метадам | 69 |
| Мілюкова Г. М., Аліфанаў А. В., Міхлюк А. І., Гарчанін А. І., Мацяс А. М. Паляпшэнне фізіка-механічных уласцівасцей сталяў для вырабу труб шляхам магнітна-імпульснай апрацоўкі | 79 |
| Наліўка А. І., Русан С. І., Сівачэнка Л. А., Сівачэнка Т. Л. Даследаванне напружана-дэфармаванага стану драцянога рабочага элемента здрабняльнай машыны | 90 |
| Патапаў У. А., Сівачэнка Л. А. Ланцуговы агрэгат з хвалевай рабочай камерай і адаптыўным механізмам сылавога ўздзеяння для перапрацоўкі вільготных сыравінных матэрыялаў | 98 |

ПРАЦЭСЫ І МАШЫНЫ АГРАНЖЫНЕРНЫХ СІСТЭМ

| | |
|---|-----|
| Піваварчык А. А., Гаўрыленя А. К., Вайтовіч М. М. Даследаванне зношвання пратэктараў усесезонных аўтамабільных шын для грузавых механічных транспартных сродкаў | 106 |
| Піваварчык А. А., Гаўрыленя А. К., Сяргей А. І. Даследаванне эксплуатацыйных уласцівасцей паўсінтэтычных маторных маслаў, выкарыстоўваемых у дызельных рухавіках унутранага згарання | 111 |
| Філіпаў А. І., Аутка А. А., Заяц Э. У., Чабатароў В. П., Дубень І. В. Абсталяванне для дазіравання і стужачнага ўнясення ўгнаенняў да ўніверсальнага агрэгата АУ-М1 | 119 |

CONTENTS

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

| | |
|---|----|
| Alifanov A. V., Goretsky G. P., Tsuran V. V., Bogdanovich I. A., Tolkacheva O. A. The research of the influence of ausforming on the structure and mechanical properties of steels applied for manufacturing chipping knives | 10 |
| Borys Ya. The research of static lateral displacements of the belt track of the carrying and return belt conveyor lines | 17 |
| Danilau V. A., Borys Ya. Increasing the durability of machinery drives based on the application of profile torque-transmitting joints | 25 |
| Danilau V. A., Sialitskiy A. N. Profiling error and quality of sinusoidal cylindrical surfaces under rotary turning with an eccentric circular tool | 35 |
| Dyachenko O. V., Kriusha S. M., Kardapolova M. A., Golubev V. S., Vegera I. I. Laser modification of gas-thermal coatings from stainless steels | 44 |
| Jigalov A. N., Bogdan D. D., Goravskii I. A. The studies of the influence of aerodynamic sound hardening on the properties of hard alloys | 53 |
| Jigalov A. N., Goravskii I. A., Bogdan D. D. Optimization of the wear and resource of a metal-cutting carbide tool of B35 alloy strengthened by the aerodynamic sound method | 69 |
| Milyukova A. M., Alifanov A. V., Mikhlyuk A. I., Gorchanin A. I., Matyas A. N. The improvement of physical and mechanical properties of steels for manufacturing pipes by magnetic-pulse treatment | 79 |
| Naliuko O. I., Rusan S. I., Sivachenko L. A., Sivachenko T. L. The research of stress-strain state of a wire operating element of a grinding machine | 90 |
| Potapov V. A., Sivachenko L. A. A chain unit with a wave working chamber and adaptive mechanism of force influence for reprocessing humid raw materials | 98 |

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

| | |
|--|-----|
| Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Vaitovich M. M. The research of the tread wear of all-season automobile tires for mechanical cargo vehicles | 106 |
| Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Sergei A. I. The study of performance attributes of semi-synthetic motor oils used in diesel internal combustion engines | 111 |
| Filippov A. I., Autko A. A., Zayats E. V., Chebotarev V. P., Duben I. V. The equipment for dosing and band fertilization to the AU-M1 universal unit | 119 |

УДК 669.15.075.8

А. В. Алифанов¹, Г. П. Горецкий², В. В. Цуран¹, И. А. Богданович¹, О. А. Толкачева²

¹Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Министерство образования Республики Беларусь, ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь, +375 (29) 352 71 81, alifanov_aav@mail.ru

²Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», ул. Купревича, 10, 220141 Минск, Республика Беларусь, +375 (017) 267 60 10, priemnaya@phti.by

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ
ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РУБИЛЬНЫХ НОЖЕЙ**

Для проведения исследований выбраны марки сталей, наиболее часто применяющиеся или по своим свойствам пригодные для изготовления рубильных ножей, в частности, X12, X12MF, 5XHM, 6XB2S, U8A, 9XC, XVG. Исследования структуры и твердости этих сталей показали, что у высокоуглеродистых сталей после высокотемпературной термомеханической обработки образуется мартенситная основа с большим количеством карбидов, что говорит о высокой твердости и малой пластичности большинства из рассматриваемых сталей, что делает их малоприспособными для изготовления рубильных ножей, работающих в условиях ударных нагрузок. Для изготовления рубильных ножей можно рекомендовать стали 6XB2S, 5XHM и XVG, имеющие после высокотемпературной термомеханической обработки мелкодисперсную однородную структуру, которая обеспечивает как высокую твердость, так и достаточную пластичность.

Ключевые слова: рубильные ножи; марка стали; твердость; пластичность; высокотемпературная термомеханическая обработка.

Рис. 1. Табл. 3. Библиогр.: 5 назв.

A. V. Alifanov¹, G. P. Goretsky², V. V. Tsuran¹, I. A. Bogdanovich¹, O. A. Tolkacheva²

¹Baranovichi State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21 Voikov St., 225404 Baranovichi, the Republic of Belarus, +375 (29) 352 71 81, alifanov_aav@mail.ru

²State Scientific Institution "The Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus", 10 Kuprevich St., 220141 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (017) 267 60 10, priemnaya@phti.by

**THE RESEARCH OF THE INFLUENCE OF AUSFORMING ON THE STRUCTURE
AND MECHANICAL PROPERTIES OF STEELS APPLIED
FOR MANUFACTURING CHIPPING KNIVES**

To conduct the research, steel grades were selected that are most often used or suitable for the manufacture of chipping knives, X12, X12MF, 5XHM, 6XB2S, U8, U8A, 9XC, HVG in particular. The studies of the structure and hardness of these steels showed that, after ausforming, high-carbon steels form a martensitic base with a large amount of carbides, which indicates the high hardness and low ductility of most of the steels under consideration, which makes them unsuitable for the manufacture of chipping knives operating under shock load conditions. For the manufacture of chopping knives, 6KHV2S, 5KHNM and KHVG steels can be recommended, which, after ausforming, have a finely dispersed homogeneous structure that provides both high hardness and sufficient ductility.

Keywords: chipping knives; steel grade; hardness; ductility; ausforming.

Fig. 1. Table 3. Ref.: 5 titles.

Введение. Республика Беларусь обладает высокоразвитой деревообрабатывающей промышленностью, поэтому переработка древесных отходов имеет большое значение для страны. Из отходов такого рода изготавливают высококачественное сырье для производства целлюлозы, которая используется для изготовления бумаги, а также сырье для изготовления древесностружечных плит и топливной щепы.

Для производства разнообразной древесной щепы в Республике Беларусь используют зарубежные рубительные машины, оснащенные, соответственно, импортными рубильными ножами. В целях снижения валютных расходов Правительством Республики Беларусь поставлена задача разработать отечественную технологию и организовать производство рубильных ножей. С этой целью сотрудниками Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси и учреждения образования «Барановичский государственный университет» определен химический состав и механические свойства импортных ножей, применяемых на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь. Затем были подобраны образцы российских сталей, близких по свойствам импортным образцам, на которых были проведены исследования по изучению влияния высокотемпературной термомеханической обработки (далее — ВТМО) на структуру и механические свойства сталей, рекомендуемых для изготовления рубильных ножей.

Для повышения прочностных свойств сталей, используемых для различных целей, часто применяют термомеханическую обработку, особенно ВТМО. Повышение механических свойств сталей под влиянием ВТМО является следствием изменения структурного состояния мартенсита или бейнита в результате появления субструктуры и дислокаций, возникающих в аустените в процессе его деформации [1].

Существенное улучшение свойств наблюдается лишь тогда, когда режим пластической деформации обеспечивает формирование в аустените развитой субструктуры в результате динамической полигонизации или динамического возврата. Такая субструктура достаточно устойчива и поэтому наследуется мартенситом или бейнитом после закалки.

При перлитном превращении зерна перлита образуются в «мягком» аустените, напряжения не возникают, и зерна перлита могут приобрести устойчивую, приближающуюся к округлой, форму.

Бейнитное превращение происходит при низкой температуре, из-за чего рост новых фаз происходит в упругой среде и устойчивые округлые конгломераты образовываться не могут, так как это создало бы большие напряжения. Поэтому внешняя форма кристаллов приспосабливается к этим условиям — зерна бейнита приобретают пластинчатую форму, и рост таких кристаллов не ведет к возникновению больших напряжений [2].

В данной работе исследовалось влияние ВТМО на структуру и механические свойства сталей, которые можно использовать для производства отечественных рубильных ножей. Для получения запланированных результатов было решено использовать закалку на бейнит с температурой закалки 200...340 °С.

Основная часть. Для проведения исследований было выбрано семь видов сталей различного состава (таблица 1) и проведено изучение влияния ВТМО на их свойства. Ниже представлена характеристика выбранных сталей, свойства которых можно повысить с помощью ВТМО.

Стали X12 и X12МФ. Относятся к сталям повышенной износостойкости. Они имеют объемную долю карбидов 15...20 %, преимущественно типа M_7C_3 . Большая объемная доля и неравномерное распределение (карбидная неоднородность) снижает прочность и ударную вязкость, являясь причиной выкрашивания рабочих частей и трещинообразования. Используются часто для изготовления рубильных ножей.

Сталь 5ХНМ. Штамповая сталь, характеризующаяся умеренной теплостойкостью и повышенной вязкостью. Используется чаще всего для изготовления молотовых штампов, контейнеров и блоков матриц горизонтально-ковочных машин. Основные требования к ним — повышенная вязкость в крупных заготовках (до 800 мм) во всех направлениях. Сохраняется уровень твердости 43...45 HRC.

Следует исследовать эту сталь на степень повышения эксплуатационных свойств после ВТМО. Эта сталь с бейнитной или бейнитно-мартенитной структурой характеризуется удовлетворительной пластичностью и вязкостью, но пониженной прочностью и теплостойкостью. Возможно, что при использовании ВТМО и получения в результате ее субструктуры удастся повысить прочностное свойство стали, в частности, при ударных нагрузках, благодаря чему эту сталь можно будет использовать для изготовления рубильных ножей.

Сталь 6ХВ2С. Предназначена для ножей холодной резки металла, резьбонакатных плашек, штампов сложной формы, работающих с повышенными ударными нагрузками. Используется также для рубильных ножей.

Сталь У8А. Используется для инструмента, работающего в условиях, не вызывающих разогрева режущей кромки (топоры, стамески, пилы, кусачки и др.). Это недорогая сталь, имеющая после закалки высокую твердость и прочность, но низкую пластичность. При использовании ВТМО можно улучшить свойства стали, особенно пластичность. Ее необходимо закалять, чтобы предотвратить перлитный распад, и желательно закалять на нижний бейнит для повышения пластических свойств.

Сталь 9ХС. Предназначена для изготовления режущих инструментов, обладающих повышенной износостойкостью в условиях, не вызывающих значительного разогрева режущей кромки; для инструментов с повышенной прокаливаемостью и теплостойкостью: плашки, развертки, фрезы, оснащенные пластинками твердого сплава, штампы для листовой штамповки. Используется также для изготовления рубильных ножей.

Сталь ХВГ. Предназначена для изготовления режущих инструментов, обладающих повышенной износостойкостью, без значительного разогрева режущей кромки; для инструментов с малой деформируемостью при термообработке (протяжки, длинномерный инструмент). Используется также для рубильных ножей. Чтобы несколько повысить пластичность, рекомендовано закалять инструмент на нижний бейнит при температуре приблизительно 300 °С.

Т а б л и ц а 1. — Составы исследуемых сталей

| Марка стали | Легирующие элементы, масс. % | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------------------|-------------|-------------|-------------|----------|------|-----------|-----------|------------|------------|------|
| | C | Mn | Si | Cr | P, S | Cu | Ni | W | Mo | V | Ti |
| X12 | 2,0...2,2 | 0,15...0,45 | 0,1...0,4 | 11,5...13,0 | по 0,03 | 0,3 | 0,35 | — | 0,2 | 0,15 | 0,03 |
| 6ХВ2С | 0,5...0,65 | 0,15...0,40 | 0,5...0,8 | 1,0...1,3 | по 0,025 | 0,3 | 0,35 | 2,2...2,7 | 0,3 | — | — |
| 5ХНМ | 0,5...0,6 | 0,5...0,8 | 0,1...0,4 | 0,5...0,8 | по 0,03 | 0,3 | 1,4...1,8 | — | 0,15...0,3 | — | — |
| 9ХС | 0,85...0,95 | 0,3...0,6 | 1,2...1,6 | 0,95...1,25 | по 0,03 | 0,3 | 0,35 | — | 0,2 | 0,15 | 0,03 |
| ХВГ | 0,9...1,05 | 0,8...1,1 | 0,1...0,4 | 0,9...1,2 | по 0,03 | 0,3 | 0,35 | 1,2...1,6 | 0,3 | — | — |
| X12МФ | 1,45...1,65 | 0,15...0,45 | 0,1...0,4 | 11,0...12,0 | по 0,03 | 0,3 | 0,35 | 1,2...1,6 | 0,15...0,3 | 0,15...0,3 | — |
| У8А | 0,76...0,83 | 0,17...0,33 | 0,17...0,33 | 0,2 | по 0,03 | 0,25 | 0,25 | — | — | — | — |

Заготовки исследуемых образцов сталей имели различную конфигурацию, поэтому они были продеформированы дважды, чтобы избежать динамической рекристаллизации при окончательном деформировании.

Предварительно заготовки были продеформированы в пруток \varnothing 15 мм и после рекристаллизации повторно — при температуре около 1 150 °С в пруток \varnothing 12 мм и закалены в масло. Окончательная деформация составляла около 30 %, что предотвращало динамическую рекристаллизацию. Процесс деформации производился на молоте (массой 400 кг) модели МА 4188.

В таблице 2 приведены значения твердости стальных образцов после ВТМО, а также представлены температурные параметры для проведения термообработок.

После ВТМО стальные образцы приобретают мартенситную или ферритную структуру, упрочненную дисперсными карбидами. В соответствии с данными таблицы 2, материал приобретает высокую твердость, что усложняет изготовление образцов для исследования механических свойств.

В соответствии со стандартом DIN 50150, по результатам определения твердости с использованием таблиц и графиков, можно с некоторой долей погрешности определить предел прочности материала [3]. Определена прочность образцов из исследуемых сталей по значениям твердости (таблица 3, столбец 5).

В Магнитогорском ГТУ имени И. И. Носова проведена работа по определению механических свойств высокопрочных сталей по твердости [4], в которой авторы показывают высокую точность при переводе твердости в показатели прочности и пластичности по формулам: $\sigma_B = 3,61 \text{ НВ} - 154,9$; $\sigma_{0,2} = 8,62 \text{ НВ}^{0,812}$; $\delta_{50} = 1,7731(\sigma_{0,2}/\sigma_B)^{-8,152}$.

По приведенным выше формулам определены значения σ_B , $\sigma_{0,2}$, δ_{50} после ВТМО. Отметим, что практически все образцы сталей после ВТМО, кроме стали У8А, имеют высокие показатели твердости, равные или приближающиеся к HRC 60 (см. таблицу 3).

Т а б л и ц а 2. — Твердость исследуемых сталей после проведения ВТМО и температурные параметры для проведения термических обработок

| Марка стали | Твердость после ВТМО, HRC | Температура, °С | | |
|-------------|---------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|
| | | Изотерма перлита* | Нагрев под закалку** | Закалка на нижний бейнит*** |
| X12 | 59 | 700 | 960...980 | 200...250 |
| 6XB2C | 57 | 600 | 880 | 340 |
| 5XHM | 53 | 600 | 850 | 300 |
| 9XC | 55 | 600 | 840...880 | 250 |
| XBG | 58 | 575 | 840 | 300 |
| X12MФ | 60 | 675 | 1 000...1 030 | 200...300 |
| У8А | 47 | 550 | 780...800 | 250...300 |

Примечание. * — температура отпуска на перлит; ** — температура закалки; *** — температура отпуска на нижний бейнит.

Т а б л и ц а 3. — Прочностные свойства исследуемых сталей после ВТМО, определенные по их твердости

| Марка стали | Твердость | | Прочностные свойства, МПа, % | | | |
|-------------|------------|-----------|------------------------------|-------------------------|----------------|---------------|
| | <i>HRC</i> | <i>HB</i> | σ_b , до ВТМО | σ_b , после ВТМО | $\sigma_{0,2}$ | δ_{50} |
| 1 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| X12 | 59 | 620 | 2 080 | 2 083,3 | 1 595,6 | 15,59 |
| 6XB2C | 57 | 605 | 1 950 | 2 029,2 | 1 564,2 | 14,79 |
| 5XHM | 53 | 600 | 1 950 | 2 011,1 | 1 553,7 | 14,53 |
| 9XC | 55 | 545 | 1 870 | 1 812,6 | 1 437,0 | 11,77 |
| XBG | 58 | 620 | 2 080 | 2 083,3 | 1 595,6 | 15,59 |
| X12MФ | 60 | 620 | 2 080 | 2 083,3 | 1 595,6 | 15,59 |
| У8А | 47 | 445 | 1 520 | 1 451,6 | 1 218,9 | 7,36 |

Однако проведенный ранее анализ особенностей импортных рубильных ножей показал, что ни один из этих ножей не имел твердости, приближающейся к *HRC* 60. Такие ножи не имеют достаточной вязкости, чтобы противостоять ударным нагрузкам, и быстро выйдут из строя.

Анализ представленных выше результатов исследований позволяет признать наиболее перспективными для дальнейших исследований стали 6XB2C (*HRC* 57), 5XHM (*HRC* 53), 9XC (*HRC* 55), XBG (*HRC* 58). У стали У8А, напротив, твердость оказалась слишком низкой (*HRC* 47), что ставит под сомнение ее пригодность к изготовлению рубильных ножей с применением ВТМО. Прочностные свойства образцов после ВТМО увеличились незначительно, а для стали У8А даже уменьшились.

Были изучены структуры исследуемых сталей после ВТМО (рисунок 1, *a—e*).

Изображения структуры сталей в основном получены при большом увеличении ($\times 2\,000$), так как в результате высокотемпературной деформации аустенита полученные дисперсные субструктуры, наследуемые мартенситом или бейнитом после закалки, трудно дифференцируются.

На рисунке 1, *a*, представлена структура стали X12 после ВТМО. По химическому составу она имеет повышенное содержание хрома (12 %) и углерода (1,45...1,65 %). Поэтому закалка идет из области $\gamma + k$, а за счет высокого содержания углерода мартенситное превращение снижается в область отрицательных температур. Структура стали после ВТМО имеет мартенситную основу с карбидами типа M_7C_3 и, по всей вероятности, остаточного аустенита [5]. Структура стали X12MФ практически не отличается от структуры стали X12.

Структуры сталей 6XB2C (см. рисунок 1, *b*), 5XHM (см. рисунок 1, *в*) после ВТМО представляют собой мелкодисперсный мартенсит. В образце стали 5XHM он мало похож на классический мартенсит в связи с измельчением зерен после ВТМО.

Рассмотрим структуры сталей XBG (см. рисунок 1, *г*), 9XC (см. рисунок 1, *д*) и У8А после ВТМО (см. рисунок 1, *е*). В стали XBG образуется дисперсный мартенсит, а в остальных — крупные иглы мартенсита.

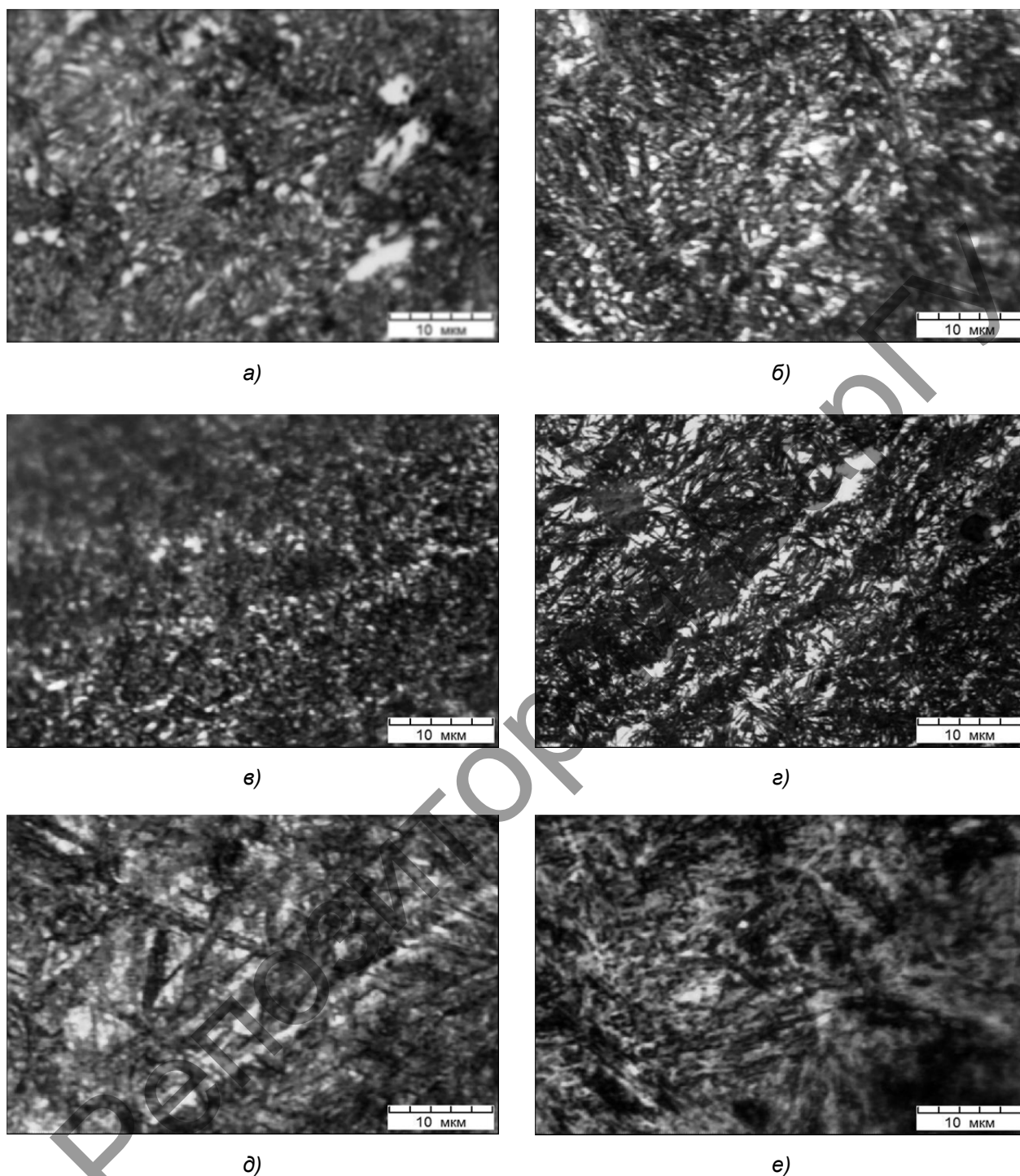


Рисунок 1. — Микроструктура образцов сталей после VTMO: сталь X12 (а), сталь 6ХВ2С (б), сталь 5ХНМ (в), сталь ХВГ (г), сталь 9ХС (д), сталь У8А (е). × 2 000

Заключение. Анализ физико-механических свойств и структуры опытных образцов сталей, подвергнутых VTMO, показывает, что углеродистые стали X12 и X12МФ имеют мартенситную основу с большим количеством карбидов типа M_7C_3 , что говорит о высокой твердости и малой пластичности образцов. Следовательно, эти стали нежелательно использовать для изготовления рубильных ножей, испытывающих в процессе эксплуатации значительные ударные нагрузки.

Микроструктуры сталей 9ХС и У8А содержат крупные иглы мартенсита, что также свидетельствует о недостаточной пластичности исследованных образцов.

Из рассмотренных в данной работе сталей, подвергнутых ВТМО, для изготовления рубильных ножей можно рекомендовать стали 6ХВ2С, 5ХНМ и ХВГ, имеющие мелкодисперсную однородную структуру, которая свидетельствует о рациональном сочетании твердости и пластичности для материалов исследуемого типа.

Данная научно-исследовательская работа выполнена в рамках задания 3.2.14 Государственной программы научных исследований «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограммы «Материалы в технике».

Список цитируемых источников

1. Бернштейн, М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов / М. Л. Бернштейн. — М. : Металлургия, 1968. — 1172 с.
2. Гуляев, А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. — М. : Металлургия, 1966. — 480 с.
3. Марковец, М. П. Построение диаграммы истинных напряжений по твердости и технологической пробе / М. П. Марковец // Журн. техн. физики. — 1949. — Т. XIX. — Вып. 3. — С. 371—382.
4. Чукин, М. В. Определение механических свойств высокопрочных и сверхвысокопрочных сталей по твердости / М. В. Чукин, П. П. Полецков, М. С. Гущина // Обработка сплошных и слоистых материалов. — 2016. — № 1 (44). — С. 28—35.
5. Попова, Л. Е. Диаграмма превращения аустенита в сталях и бета-растворах в сплавах титана / Л. Е. Попова, А. А. Попова. — М. : Металлургия, 1991. — 503 с.

Поступила в редакцию 08.05.2020