

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 × 84^{1/8}. 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 ксераксная. 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 Слоніў, 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 сінусаідалных 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 шин 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 621. 91. 01

В. А. Данилов¹, А. Н. Селицкий²

¹Белорусский национальный технический университет, Министерство образования Республики Беларусь, ул. Хмельницкого, 9, 220013 Минск, Республика Беларусь, danilofva@mail.ru

²Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», Министерство образования Республики Беларусь, ул. Блохина, 29, 211440 Новополоцк, Республика Беларусь, +375 (214) 59-95-39, a.selitskiy@psu.by

ПОГРЕШНОСТЬ ПРОФИЛИРОВАНИЯ И КАЧЕСТВО СИНУСОИДАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ РОТАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ ЭКСЦЕНТРИЧНО УСТАНОВЛЕННЫМ КРУГЛЫМ РЕЗЦОМ

Приведены результаты экспериментальных исследований точности профилирования и качества поверхностей, обработанных эксцентрично установленным принудительно вращающимся круглым резцом. Экспериментально подтверждено, что при обработке по первой схеме ротационного точения они имеют синусоидальный профиль, определена погрешность его формообразования. Установлено влияние параметров схемы обработки и элементов режима резания на шероховатость, твердость, топологию трехгранных и четырехгранных синусоидальных поверхностей, обработанных ротационным точением на шлифрезерном станке.

Ключевые слова: синусоидальная цилиндрическая поверхность; ротационное точение; погрешность профилирования; шероховатость; твердость; топография поверхности.

Рис. 5. Табл. 1. Библиогр.: 19 назв.

V. A. Danilau¹, A. N. Sialitskiy²

¹Belarusian National Technical University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 9 Khmel'nitsky St., 220013 Minsk, the Republic of Belarus, danilofva@mail.ru

²Polotsk State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 29 Blohin St., 211440 Novopolotsk, the Republic of Belarus, +375 (214) 59-95-39, a.selitskiy@psu.by

PROFILING ERROR AND QUALITY OF SINUSOIDAL CYLINDRICAL SURFACES UNDER ROTARY TURNING WITH AN ECCENTRIC CIRCULAR TOOL

The results of experimental studies of the profiling accuracy and quality of surfaces treated with a motorized eccentric circular tool are presented. It was experimentally confirmed that, when processing according to the first rotary turning circuit, they have a sinusoidal profile, the error of its shaping is determined. The influence of the processing circuit parameters and the elements of the cutting mode on the roughness, hardness, topology of trihedral and tetrahedral sinusoidal surfaces processed by rotary turning on a spline mill is established.

Keywords: sinusoidal cylindrical surface; rotary turning; profiling error; roughness; hardness; surface topography. Fig. 5. Table 1. Ref.: 19 titles.

Введение. Профильные бесшпоночные соединения могут эффективно применяться вместо шлицевых и шпоночных в зубчатых передачах машин и механизмов, а также режущих и вспомогательных инструментах благодаря более высоким характеристикам. Все чаще встречаются металлорежущие и вспомогательные инструменты с использованием профильных поверхностей, например, система крепления Coromant Carpo фирмы Sandvik Coromant.

В мировой практике чаще применяются моментопередающие соединения с равноосным контуром (РК-профиль), обработка которых проводится на сложных и дорогостоящих станках-профиляторах. В общем случае некруглый профиль образуется вследствие непрерывного периодического изменения расстояния между осью вращения обрабатываемой заготовки и формообразующим элементом режущего инструмента.

В [1] исследованы процессы формообразования РК-профильных цилиндрических и конических поверхностей высокоскоростным фрезерованием на станках с числовым программным управлением пальцевыми фрезами, однако отмечена невысокая технологическая производительность и использование дорогостоящего оборудования.

Обработка профильных поверхностей с использованием планетарного перемещения инструмента представлена в [2], при реализации способа необходима дополнительная технологическая оснастка.

В целях исключения реверсивных движений возможны способы обработки профильных поверхностей с передачей какого-либо движения инструменту за счет его конструктивной формы. Рассмотрена обработка наружного РК-профиля сборными фасонными фрезами [3], охватывающей фрезой с конструктивной радиальной подачей [4], дисковой фрезой с аналогичным исполнением подачи [5], специальными червячными монолитными и сборными фрезами [6], долбяками, работающими по генераторной и пропорциональной схемам съема припуска [7]. Общий недостаток указанных способов — увеличение затрат на инструмент.

Заслуживает внимания близкий по геометрии к РК-профилю синусоидальный СК-профиль, ограниченный синусоидальной контурной кривой. Сопрягаемые поверхности деталей с таким профилем могут быть получены с более простой кинематикой формообразования и, следовательно, на более простых станках. Методы обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей на универсальных токарных станках с сообщением резцу возвратно-поступательного движения, согласованного с вращением заготовки, исследованы в работах [8; 9]. При этом необходима специальная технологическая оснастка, так как наличие реверсивных движений создает неудовлетворительные динамические условия работы станка, снижает точность, ограничивает частоту вращения шпинделя и, следовательно, производительность обработки.

Поэтому актуальна разработка и реализация более эффективной технологии обработки синусоидальных поверхностей, при которой исключаются реверсивные движения и используется простая конструкция инструмента, например, методом ротационного точения эксцентрично установленным круглым резцом [10; 11].

Первой задачей исследования является экспериментальное подтверждение возможности формирования синусоидальной цилиндрической поверхности при обработке по первой схеме ротационного точения эксцентрично установленным принудительно вращающимся круглым резцом, что доказано теоретически [10].

Параметры схемы обработки профильных поверхностей [10; 12] существенно отличаются от ротационного точения круглых цилиндрических поверхностей самовращающимися и принудительно вращающимися резцами [13—16]. В частности, если в известных исследованиях кинематический коэффициент, равный отношению окружных скоростей резца и заготовки в зоне резания, при обработке самовращающимся инструментом не превышал 0,75, а принудительно вращающимся — 1,6, то при обработке профильных поверхностей по рассматриваемой схеме его значение может быть равно 9. Исследования ротационного резания со значением кинематического коэффициента в диапазоне 2—9 не проводились. Учитывая непрерывное изменение глубины резания и рабочих углов инструмента при ротационном точении синусоидальных цилиндрических поверхностей эксцентрично установленным круглым резцом, теоретическое и практическое значения имеют определение влияния отличительных признаков этого метода ротационного точения на шероховатость, твердость и топографию обработанной поверхности, что является второй задачей исследования.

Основная часть. Методика проведения экспериментов. Обработка выполнялась на шлицефрезерном станке модели HECKERT GFLV-250, так как он обеспечивает достаточную жесткость, не требует модернизации и специальной оснастки для реализации ротационного точения синусоидальных цилиндрических поверхностей. Поскольку участки валов момен-

топередающих соединений часто подвергаются термической обработке, то в качестве обрабатываемого материала принята сталь 40X в виде заготовок ступенчатого вала диаметром 25...55 мм с перепадом диаметра между ступенями 5 мм. Результаты исследований температуры резца [17] при обработке синусоидальных поверхностей на шлицефрезерном станке свидетельствуют о целесообразном его изготовлении из быстрорежущей стали. Применялись круглые резцы диаметром 50...60 мм из стали P6M5, которые изготавливались из вышедших из строя угловых фрез. Выбор статических углов заточки инструмента обусловлен изменением рабочих углов [18], поэтому передний угол равен 10° , задний — 20° ; увеличение углов заточки может привести к потере механической прочности резца. Биение режущего лезвия после заточки — 0,01...0,02 мм.

Обрабатывались трехгранные и четырехгранные некруглые цилиндрические поверхности при следующих значениях параметров схемы обработки и элементов режимов резания: частота вращения резца (56; 71; 90 мин⁻¹), подача (0,134...0,67 мм / об), кинематический коэффициент (2...9), эксцентриситет установки резца относительно оси его вращения (1 мм). Глубина резания изменялась с учетом эксцентричной установки резца в диапазоне 0,5...4 мм. Значения кинематического коэффициента в указанном диапазоне достигались сочетанием диаметров резца и заготовки. При таких его значениях исключается образование нароста на режущем лезвии, что способствует уменьшению шероховатости обработанной поверхности.

Обработка некруглых валов осуществлялась по первой прямой схеме ротационного резания с однонаправленным вращением инструмента и движением подачи, что обеспечивает, по известным данным [13; 14], меньшую шероховатость обработанной поверхности.

Контроль профиля обработанной некруглой цилиндрической поверхности наружным диаметром 48 мм и эксцентриситетом $e = 1$ мм производился для двух партий образцов деталей по пять образцов в каждой на видеоизмерительном микроскопе Norgau NVM-4030D. Измерялись координаты x_i и y_i точек профиля (рисунок 1), по которым в графическом редакторе КОМПАС-3D определялись фактические значения наружного $r_{\phi \text{ нар}}$ и внутреннего $r_{\phi \text{ вн}}$ радиусов профиля и параметр $2e_\phi$ (удвоенное значение эксцентриситета установки резца), соответствующие определенным углам поворота заготовки ϕ_i .

Шероховатость обработанной поверхности контролировалась в продольном и поперечном направлениях на вершине и в середине ее профиля на контурографе-профилометре модели Formtracer SV-C4500H4 в пяти контрольных сечениях при базовой длине $l = 2,5 \times 3 = 7,5$ мм. По экспериментальным данным определялось среднеарифметическое значение параметра шероховатости Ra . Твердость обработанной поверхности (по Виккерсу) определялась в соответствии с [19] на микротвердомере Buehler Model No 1105D в шести точках вблизи вершины и середины профиля.

Для исследования топографии обработанной поверхности вырезались образцы размером 5×25 мм из вершины и середины грани профиля, которые контролировались на атомно-силовых микроскопах моделей NT-206 и Solver P47 Pro методом постоянной силы. Использовались бесконтактные кремниевые кантилеверы с коэффициентом жесткости 2,5...10 Н / м, резонансной частотой 115...190 кГц и радиусом кривизны кончика иглы не более 10 нм, при этом поле сканирования составляло от 20×20 до 40×40 мкм.

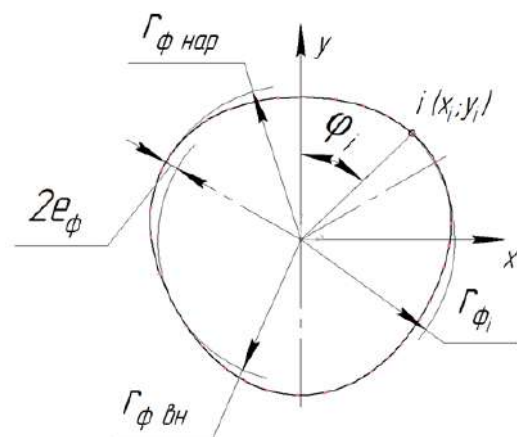


Рисунок 1. — Измеряемые геометрические параметры профиля

Результаты исследований. Определение погрешности профилирования обработанной поверхности. Контроль формы обработанной поверхности осуществлялся по 36 точкам профиля, фактические координаты которых регистрировались видеоизмерительным микроскопом. В графическом редакторе КОМПАС-3D по координатам x_i , y_i строился замкнутый контур, определялись оси симметрии профиля, для каждой точки измерялся соответствующий угол поворота заготовки φ_i (полярный угол) и фактический радиус r_{φ_i} (см. рисунок 1). В соответствии с полученным значением φ_i при заданных величинах среднего радиуса $r_{cp} = 46$ мм, числа выступов $m = 3$ и эксцентриситета $e = 1$ мм вычислялись номинальные значения радиуса r_i профиля по формуле [10]

$$r_i = r_{cp} - e \cos m\varphi_i.$$

Отклонение формы профиля от синусоидального определялось наибольшей разностью значений фактического r_{φ_i} и номинального r_i радиус-вектора при соответствующих значениях угла поворота заготовки φ_i в исследуемых точках.

Анализ результатов измерения параметров обработанной некруглой поверхности показал, что ее профиль является синусоидальным при максимальном его отклонении от номинального у первой партии деталей не более $\pm 0,016$ мм, а у второй партии деталей — $\pm 0,02$ мм; среднеквадратичное отклонение выборки составляет 0,012 мм и 0,014 мм соответственно. Погрешность формируемого синусоидального профиля обусловлена, в частности, отклонением от перпендикулярности взаимного расположения осей инструмента и заготовки, так как при наклоне оси вращения резца режущая кромка, формирующая синусоидальную поверхность, находится выше или ниже оси вращения заготовки.

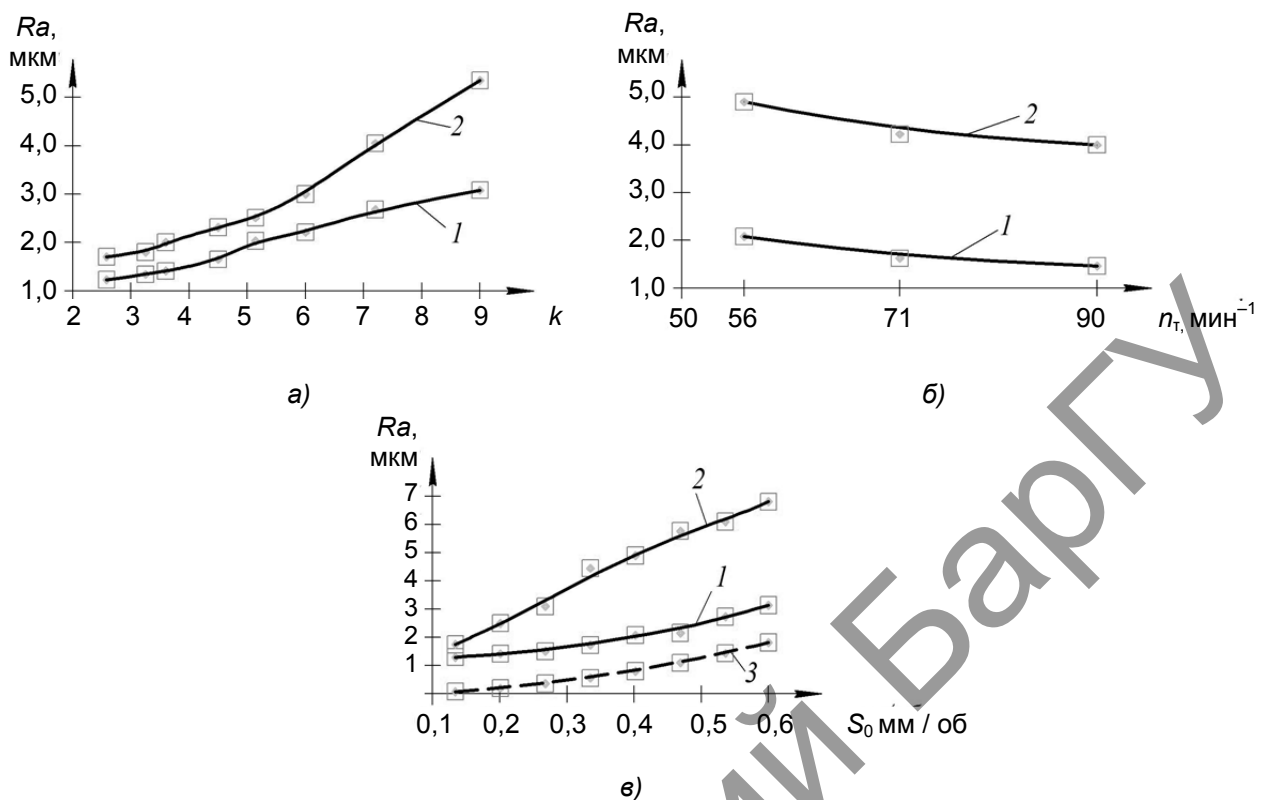
Качество обработанной поверхности. Расчетная высота микронеровностей $Ra_{расч}$ определяется в продольном направлении как ордината точки пересечения окружностей, отстоящих друг от друга на расстояние, равное подаче—перемещению s_0 резца вдоль оси вращения заготовки за один ее оборот, по формуле

$$Ra_{расч} = R_p - \sqrt{R_p^2 - 0,25s_0^2} \approx s_0^2 / 8R_p,$$

где R_p — радиус ротационного резца.

Высота шероховатости увеличивается при возрастании подачи, уменьшается при увеличении радиуса резца и не зависит от кинематического коэффициента. Фактическая высота шероховатости отличается от расчетной вследствие влияния пластической и упругой деформации материала заготовки, жесткости технологической системы и других факторов [13], что обуславливает необходимость экспериментальных исследований.

Графики зависимости высоты Ra микронеровностей синусоидальной поверхности от основных параметров схемы ее точения эксцентрично установленным круглым резцом показаны на рисунке 2, из которого следует, что с увеличением кинематического коэффициента k высота микронеровностей возрастает. Это можно объяснить увеличением скорости проскальзывания задней поверхности резца [13], уменьшением кинематического заднего угла [13; 16] и, как следствие, увеличением пластической деформации поверхностного слоя.



1(2) — значения шероховатости поверхности в вершинах (в середине) профиля;
3 — график расчетной зависимости

Рисунок 2. — Зависимости средней арифметической высоты микронеровностей по параметру Ra обработанной поверхности: от кинематического коэффициента k (при $n_t = 56 \text{ мин}^{-1}$; $S_0 = 0,135 \text{ мм / об}$; $t = 3,3 \text{ мм}$) (а), скорости вращения резца (при $k = 3,25$; $S_0 = 0,4 \text{ мм / об}$; $t = 3,3 \text{ мм}$) (б), подачи (при $k = 3,25$; $n_t = 56 \text{ мин}^{-1}$; $t = 3,3 \text{ мм}$) (в)

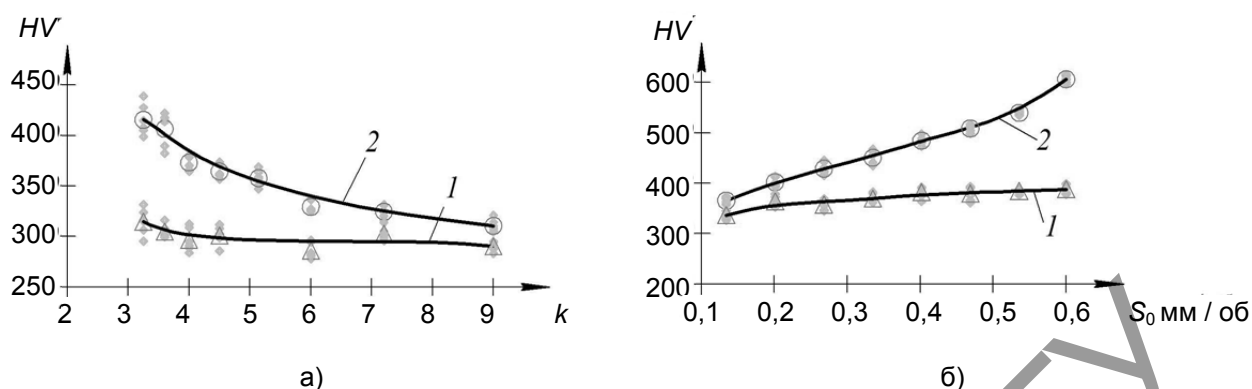
Изменение скорости вращения резца в связи с отсутствием наростообразования, приводит к незначительному монотонному уменьшению высоты микронеровностей, что согласуется с результатами исследований [13—16]. Наибольшее влияние на нее оказывает подача.

Изменение глубины резания в широких пределах (до 4 мм) практически не влияет на шероховатость обработанной поверхности на всей ширине грани.

Различие значений высоты шероховатости в вершине и середине синусоидального профиля (см. рисунок 2) связано с увеличением рабочей длины режущей кромки и достижением максимальной глубины резания в середине грани. При чистовом точении параметр Ra составляет 1...2 мкм.

Твердость обработанной синусоидальной поверхности в зависимости от кинематического коэффициента незначительно снижается вблизи вершин граней (рисунок 3, а) при изменении k в диапазоне $3 \leq k \leq 6$, при этом она на 15...25 % выше по сравнению с исходной твердостью 250...270 HV 0,2 материала заготовки. Вблизи середины грани твердость обработанной поверхности уменьшается более интенсивно.

С увеличением подачи (см. рисунок 3) твердость у вершин граней возрастает незначительно, а вблизи их середины — более интенсивно. Различие твердости обработанной поверхности вблизи вершины и середины профиля связано с переменной глубиной резания при обработке круглых заготовок.



1 (2) — вблизи вершин (середины) граней

Рисунок 3. — Зависимости твердости обработанной поверхности от кинематического коэффициента ($n_\tau = 56 \text{ мин}^{-1}$; $S_0 = 0,2 \text{ мм / об}$; $t = 3,3 \text{ мм}$) (а), подачи ($k = 3,25$; $n_\tau = 56 \text{ мин}^{-1}$; $t = 3,3 \text{ мм}$) (б)

На рисунке 4 представлена полученная с применением атомно-силового микроскопа топография синусоидальной цилиндрической поверхности с тремя гранями, обработанной эксцентрично установленным круглым резцом. Микронеровности обработанной поверхности имеют периодически повторяющиеся закругленные вершины и впадины, что должно способствовать созданию большего натяга при прессовом соединении [14].

Важной характеристикой топографии поверхности является опорная кривая — графическое изображение зависимости значений относительной опорной длины профиля, которая строится на основании профилограммы и показывает характер распределения материала в поверхностном слое на каждом уровне.

Относительная опорная длина профиля t_p согласно ГОСТ 25142-82 (изменения от 01.07.18) определяется как отношение опорной длины профиля на уровне p к базовой длине:

$$t_p = \frac{\eta_p}{l},$$

где η_p — сумма длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины;

l — длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

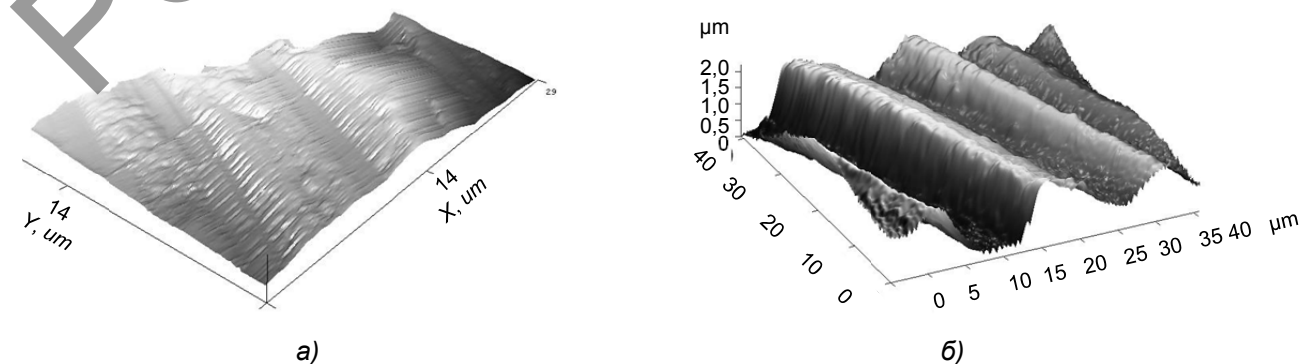
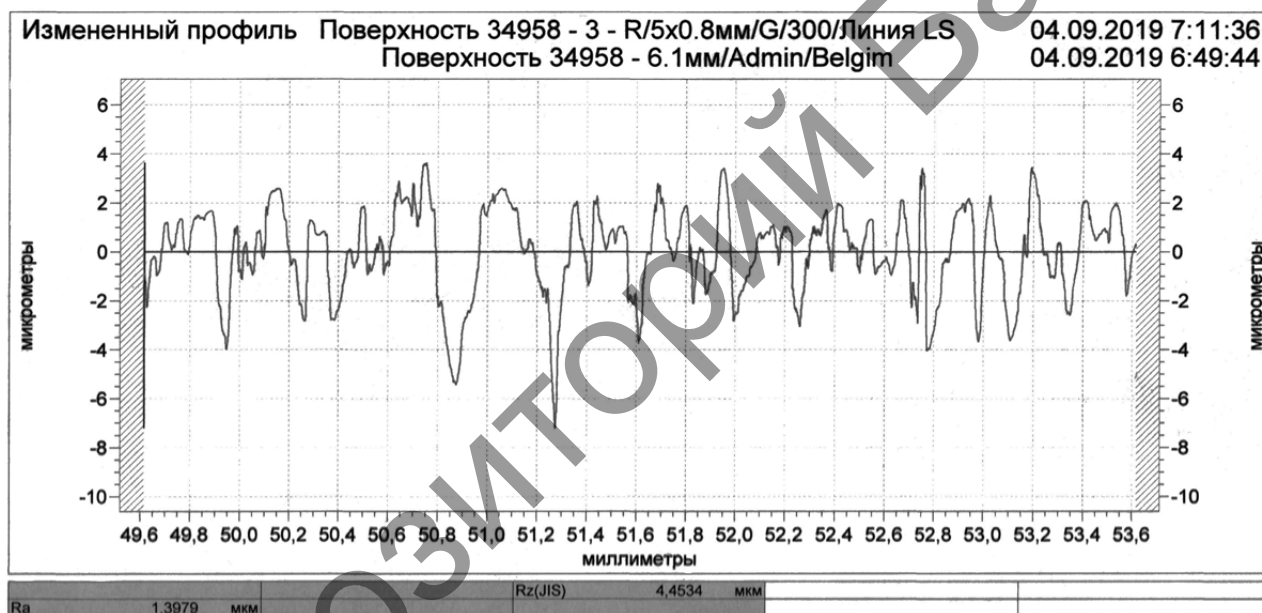


Рисунок 4. — Топография обработанной поверхности ($k = 3,25$; $n_\tau = 56 \text{ мин}^{-1}$; $S_0 = 0,135 \text{ мм / об}$; $t = 3,3 \text{ мм}$): в вершине профиля (АСМ 206) (а); в середине грани (АСМ Solver P47 Pro) (б)

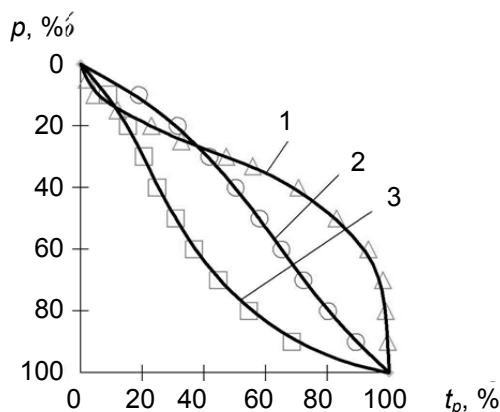
На рисунке 5 представлена профилограмма и соответствующая ей зависимость относительной опорной длины профиля от уровня сечения обработанной поверхности (кривая 1), построенной по данным таблицы 1.

Т а б л и ц а 1. — Относительная опорная длина профиля в зависимости от уровня его сечения

Уровень p , %	Относительная опорная длина профиля t_p , %	Уровень p , %	Относительная опорная длина профиля t_p , %
5	2,06	40	70,57
10	4,47	50	82,985
15	12,075	60	93,265
20	23,01	70	98,03
25	32,71	80	98,905
30	47,245	90	99,565



а)



б)

Рисунок 5. — Профилограмма (а) и опорные кривые (б) при обработке профильных (1), цилиндрических поверхностей ротационным (2) и призматическим (3) резцами

Сравнение опорных кривых, полученных при обработке круглой цилиндрической поверхности ротационным (кривая 2), призматическим (кривая 3) резцами (по результатам исследований [14]) и синусоидальной цилиндрической поверхности (кривая 1) принудительно вращающимся ротационным резцом, показывает, что форма неровностей обеспечивает интенсивное увеличение относительной опорной длины профиля по мере углубления в материал. При значении уровня $p = 40...50\%$ относительная опорная длина профиля t_p синусоидальной цилиндрической поверхности значительно больше, чем круглой цилиндрической, при $p = 55\%$ и больше величина $t_p > 90\%$, что способствует увеличению фактической площади контакта сопрягаемых поверхностей, а также возрастанию усилия запрессовывания [14].

При ротационном точении синусоидальной цилиндрической поверхности круглый резец имеет значительно большую окружную скорость, чем заготовка, что способствует сокращению опорной длины профиля в зоне вершин микронеровностей и рост относительной опорной поверхности на последующих уровнях.

Заключение. Экспериментально подтверждено, что профиль некруглой поверхности, формируемый при ее ротационном точении эксцентрично установленным принудительно вращающимся круглым резцом является синусоидальным с максимальным отклонением от номинального в пределах $0,03...0,04$ мм.

Экспериментально установлено, что с увеличением кинематического коэффициента шероховатость обработанной синусоидальной поверхности возрастает, при этом из элементов режима резания наибольшее влияние на нее оказывает подача. Высота шероховатости изменяется вдоль профиля обработанной поверхности от Ra 1,2 мкм в вершинах до Ra 1,5 мкм в середине граней, что обусловлено переменной глубиной резания. Доказана практическая возможность ротационной обработки синусоидальной профильной поверхности с обеспечением требуемой шероховатости, минимальные значения которой выявлены при $k \leq 4$, $S_0 \leq 0,35$ мм / об.

Твердость обработанной синусоидальной поверхности различна в вершине и середине грани. В вершине она на $15...25\%$ выше твердости материала заготовки, что следует принимать во внимание при использовании поверхностного упрочнения. Твердость снижается при увеличении кинематического коэффициента и возрастает при увеличении подачи.

Исследованием обработанной поверхности на атомно-силовом микроскопе установлено, что она имеет микронеровности с периодически повторяющимися закругленными вершинами и впадинами с шероховатостью Ra 1,2...1,5 мкм. Форма неровностей обуславливает увеличение относительной опорной длины профиля по мере углубления в материал по сравнению с обработкой круглой цилиндрической поверхности ротационным и призматическим резцами, что может быть использовано при проектировании прессовых соединений.

Список цитируемых источников

1. Зенин, Н. В. Технологическое обеспечение качества трехгранного профиля бесшпоночных соединений в условиях серийного производства : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Н. В. Зенин. — М., 2007. — 18 с.
2. Разумов, М. С. Повышение производительности формообразования наружных поверхностей посредством планетарного механизма : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / М. С. Разумов. — Курск, 2011. — 158 с.
3. Шитиков, А. Н. Проектирование сборных фрез для обработки наружного РК-профиля : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Шитиков. — Тула, 2007. — 20 л.
4. Моделирование производящих поверхностей охватывающих фрез с конструктивной радиальной подачей для обработки валов с равноосным контуром / В. В. Куц [и др.] // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. — 2016. — № 4. — С. 146—150.
5. Максименко, Ю. А. Создание метода проектирования дисковых фрез с конструктивным исполнением радиальной подачи для обработки валов с РК- и К-профилем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 / Ю. А. Максименко ; Юго-Запад. гос. ун-т. — Курск, 2014. — 20 с.

6. Волковский, С. В. Повышение эффективности формообразования равноосноконтурных поверхностей посредством создания режущего инструмента, реализующего метод огибания : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / С. В. Волковский. — Хабаровск, 2002. — 218 л.
7. Панкратов, П. А. Разработка эффективного долбежного инструмента для обработки сложных криволинейных поверхностей по методу обкатывания : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / П. А. Панкратов. — Курск, 2013. — 20 с.
8. Синкевич, В. М. Новый вид профильных соединений в узлах судовых механизмов / В. М. Синкевич, Е. П. Микитюк // Вестн. машиностроения. — 1990. — № 11. — С. 60—63.
9. Ворона, В. В. Расчет оснастки и операции токарной обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / В. В. Ворона. — Челябинск, 2008. — 20 с.
10. Данилов, В. А. Анализ и реализация схем обработки профильных цилиндрических поверхностей ротационным инструментом / В. А. Данилов, А. Н. Селицкий // Гор. механика и машиностроение : междунар. науч.-техн. журн. — 2012. — № 4. — С. 71—82.
11. Пантелеенко, Ф. И. Системный анализ и синтез рациональных методов профилирования некруглых поверхностей / Ф. И. Пантелеенко, А. А. Данилов // Актуал. проблемы в машиностроении. — 2017. — Т. 4, № 1. — С. 59—64.
12. Данилов, В. А. Анализ схемы ротационного точения некруглых поверхностей эксцентрично установленным круглым резцом / В. А. Данилов, А. Н. Селицкий // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В : Прикладные науки. — 2017. — № 11. — С. 26—33.
13. Коновалов, Е. Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е. Г. Коновалов, В. А. Сидоренко, А. В. Соусь ; под ред. Е. Г. Коновалова. — Минск : Наука и техника, 1972. — 272 с.
14. Ротационное резание материалов / П. И. Ящерицын [и др.]. — Минск : Наука и техника, 1987. — 229 с.
15. Бобров, В. Ф. Резание металлов самовращающимися резцами / В. Ф. Бобров, Д. Е. Иерусалимский. — М. : Машиностроитель, 1972. — 112 с.
16. Гик, Л. А. Ротационное резание металлов / Л. А. Гик. — Калининград : Книж. изд-во, 1990. — 254 с.
17. Данилов, В. А. Исследование тепловых явлений при ротационном точении профильных поверхностей с синусоидальным профилем эксцентрично установленным круглым резцом / В. А. Данилов, А. Н. Селицкий // Вестн. Брест. гос. тех. ун-та. Машиностроение. — 2019. — № 4 (117). — С. 48—51.
18. Данилов, В. А. Анализ схемы ротационного точения некруглых поверхностей эксцентрично установленным принудительно вращающимся круглым резцом / В. А. Данилов, А. Н. Селицкий // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В : Прикладные науки. — 2019. — № 11. — С. 26—33.
19. Материалы металлические. Определение твердости по Виккерсу. : ИСО 6507-1:2018. — Введ. 10.01.18. — Минск : БелГИСС, 2018. — Ч. 1 : Метод испытания. — 40 с.

Поступила в редакцию 04.05.2020