

УДК 691.714

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.241219.10.595

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДИСКІВ ПИЛ ХОЛОДНОГО РІЗАННЯ МЕТАЛУ ШЛЯХОМ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

УЗЛОВ О. В.¹, к. т. н., доц.,
ДРОЖЕВСЬКА Г. В.^{2*}, асист.,
ПУЧИКОВ О. В.³, с. н. с.,
ГРЕЧКА І. С.⁴, студ.

¹ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: oleg.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576

^{2*} Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: ann.drozhevskaya@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X

³ Відділ конструкційних сталей, Інститут чорної металургії НАН України, пл. Стародубова, 1-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 41-22-991, e-mail: alex.puchikov@gmail.com

⁴ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: i.grechka96@gmail.com

Анотація. *Мета дослідження* – визначити можливість підвищення експлуатаційної стійкості дисків пил холодного різання металу шляхом термічної обробки зубів пил, розробити та впровадити у виробництво режим термічного зміцнення, який забезпечить підвищення експлуатаційної стійкості дисків пил холодного різання металу. **Методика.** Дослідження структурного стану таких пил здійснювали за допомогою світлових мікроскопів Neophot 32 і Axiovert 200M MATi з програмним забезпеченням AxioVision 4.6.3. Оцінювання твердості зубів дисків пил виконували методом Віккерса, мікротвердість визначали на приладі ПМТ-3. **Результати.** У промислових умовах випробовано 5 режимів термічної обробки зубів пил холодного різання металу. Розроблено технологію термічної обробки зубів пил, яка дозволяє підвищити експлуатаційну стійкість дисків. **Наукова новизна.** Встановлено, що твердість зони загартовання та ширина перехідної зони в структурі зуба дисків пил здебільшого визначають стійкість зуба під час експлуатації та зниження кількості дефектів типу «задирка» та «наплив» під час різання металу. Експериментально встановлено, що твердість загартованої зони зуба лише у зв'язці з шириною перехідної зони зуба визначає експлуатаційну стійкість дисків таких пил. Сама лише твердість поверхневих шарів зуба не є визначальним фактором для експлуатаційної стійкості дисків пил. **Практична значимість.** Розроблена технологія термічної обробки зубів дисків пил холодного різання металу дозволяє отримати високу твердість поверхні зуба (до 62 HRC) з максимальною шириною перехідної зони в структурі зуба, а також підвищити експлуатаційну стійкість дисків у 2,58 раза (до 2,5 зміни) порівнянно з термічно необробленими дисками.

Ключові слова: диски пил холодного різання металу (ПХР); термічна обробка; експлуатаційна стійкість; задирика; наплив; твердість; загартовання

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИСКОВ ПИЛ ХОЛОДНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛА ПУТЕМ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

УЗЛОВ О. В.¹, к. т. н., доц.,
ДРОЖЕВСКАЯ А. В.^{2*}, ассист.,
ПУЧИКОВ А. В.³, с. н. с.,
ГРЕЧКА И. С.⁴, студ.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: oleg.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: ann.drozhevskaya@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X

³ Отдел конструкционных сталей, Институт черной металлургии НАН Украины, пл. Стародубова, 1-а, 49005, Днепро, Украина, тел. +38 (097) 41-22-991, e-mail: alex.puchikov@gmail.com

⁴ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: i.grechka96@gmail.com

Аннотация. Цель исследования – определить возможность повышения эксплуатационной стойкости дисков пил холодной резки металла путем термической обработки зубьев пил, разработать и внедрить в производство режим термической обработки, обеспечивающий повышение эксплуатационной стойкости дисков таких пил. **Методика.** Исследование структурного состояния дисков пил холодной резки осуществлялось с помощью световых микроскопов Neophot 32 и Axiovert 200M MAT с программным обеспечением AxioVision 4.6.3. Оценку твердости зубьев дисков пил выполняли по методу Виккерса, микротвердость определяли на приборе ПМТ-3. **Результаты.** В промышленных условиях опробованы 5 режимов термической обработки зубьев пил холодной резки металла. Разработана технология термической обработки зубьев, позволяющая повысить эксплуатационную стойкость дисков. **Научная новизна.** Показано, что твердость закаленной зоны и ширина переходной зоны в структуре зуба дисков пил холодной резки металла во многом определяют стойкость зуба при эксплуатации и снижение дефектов типа «задиры» и «наплывы» при порезке металла. Экспериментально установлено, что не закаляемость зуба, а сочетание твердости поверхностных слоев зуба и ширины переходной зоны в структуре зуба определяющим образом влияют на эксплуатационную стойкость дисков пил холодной резки металла в промышленных условиях эксплуатации. **Практическая значимость.** Разработанная технология термической обработки зубьев дисков пил холодной резки металла позволяет получить высокую твердость поверхности зуба (до 62 HRC) с максимально широкой переходной зоной в структуре зуба, а также повысить эксплуатационную стойкость дисков в 2,58 раза (до 2,5 смен) по сравнению с нетермообработанными дисками.

Ключевые слова: диски пил холодной резки металла (ПХР); термообработка; эксплуатационная стойкость; задиры; наплыв; твердость; закалка

SERVICE LIFE INCREASING OF COLD SAWS BY HEAT TREATMENT

UZLOV O.V.¹, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
DROZHEVSKA H.V.^{2*}, *Assistant*,
PUCHYKOV O.V.³, *Senior Research Assistant*,
HRECHKA I.S.⁴, *Student*

¹ Department of Materials Science, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel +38 (0562) 47-39-56, e-mail: oleg.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576

^{2*} Department of Materials Science, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel +38 (0562) 47-39-45, e-mail: ann.drozhevskaya@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X

³ Department of Materials Science, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel +38 (097) 41-22-991, e-mail: alex.puchikov@gmail.com

⁴ Department of Materials Science, State Higher Educational Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel +38 (0562) 47-39-45, e-mail: i.grechka96@gmail.com

Abstract. Purpose of the study. To determine the possibility of increasing of service durability of cold saws by heat treatment of saw's teeth. Develop the optimal heat treatment modes in order to obtain the higher service durability of cold saws. Develop the optimal heat treatment mode into industrial practice of cold saws' treatment. **Methodology.** Investigation of the structure of cold saws has been carried out using light microscopes Neophot 32 and Axiovert 200M MAT with AxioVision 4.6.3 software. The hardness of cold saw's teeth has been assessed by Vickers method. Microhardness has been determined by PMT-3 test equipment. **Results.** The experimental cold saws have been treated by 5 different modes. Two modes of heat treatment have been acknowledged as promising for industrial practice. Technology of cold saw's teeth heat treatment has been developed. The technology let to increase the service durability of cold saws up to 2,58 times, compared to non heat treated cold saws. **Scientific novelty.** It has been found that hardness of martensitic and wide of semimartensitic zones mainly determine the service durability of cold saws and decreasing of “scoring” and “cuts” defects number during cutting process. Experimental results evidently prove that hardness of martensitic zone and width of transition zone determine the service durability of cold saws. Initial hardness of the steel had lesser impact on service durability of cold saws. **Practical significance.** The developed technology leads to increasing of service durability of cold saws. The technology lets to obtain the hardness of the tooth surface up to 62 HRC and wide semimartensitic zone. Developed technology leads to increasing of service durability cold saws in 2,58 times (2,5 shifts) compared with non treated cold saws.

Keywords: cold saw; heat treatment; service life; “scoring” defect; “cut” defect; hardness; quenching

Постановка проблеми

Підвищення продуктивності прокатних станів і якості продукції, що випускається, – головне завдання прокатного виробництва. Успішне його виконання великою мірою визначається роботою ділянок різання, де виконується розкрій гарячих або холодних заготовок на мірні довжини. Традиційно для цих цілей застосовують дискові пили – машини масою 10...100 т з різальним інструментом у вигляді диска із зубами, що швидко обертається [1].

Пили – найбільш поширене обладнання для розрізу прокатного матеріалу. Однак різання на пилах пов'язане зі значними відходами металу на пропили, значною витратою різального інструменту і невисокою продуктивністю.

Наразі удосконалення механічної обробки матеріалів – важлива умова для забезпечення необхідної якості виробів. Створення високоефективних імпортозамінних технологій та інструменту набуває особливої важливості останнім часом [2].

Підвищення якості різання готового металопрокату постає актуальним завданням і має великий науковий і практичний сенс. Тому проводиться багато досліджень, направлених на підвищення стійкості матеріалу дисків пил, у тому числі й через відстежування трансформації структури диска під час експлуатації [3]. Також багато дослідників вивчали причини виникнення тріщин та умови роботи інструменту за впливу ударних навантажень [4].

Пили гарячого та холодного різання – одні з основних агрегатів у технологічній лінії отримання сортового прокату і від їх ефективної роботи безпосередньо залежить не тільки продуктивність прокатного стану, а і якість готової продукції. Як інструмент для поділу прокату на пилах гарячого і холодного різання використовуються пиляльні диски. Існуючий рівень технології та обладнання для виготовлення та підготовки пиляльних дисків не забезпечує необхідного технічного ресурсу різального інструменту [5]. Зношування інструменту зумовлює втрату його працездатності, тобто необхідність заміни або правки. Часта зміна різального інструменту тягне за собою втрату продуктивності обробки і знижує надійність роботи обладнання [6].

Найважливіші показники ефективності процесу різання – стійкість пиляльного диска і якість торця металопрокату. Наявність задирок на торцях металопрокату спричинює значне збільшення технологічних витрат під час подальшої доробки готового продукту.

Незважаючи на накопичений значний теоретичний та експериментальний матеріал, низка питань, що стосуються різання гарячого і холодного металопрокату, вивчені недостатньо. Одне з основних джерел, що провокують формування задирок, – це значне нагрівання металу заготовки.

Спроби вирішення цієї проблеми, наведені в літературі, не дали повного усунення дефектів. Диски пил виготовляються з листового прокату товщиною $10 \pm 0,8$ мм за ГОСТ 19903 зі сталі 50 за ГОСТ 1050 у відпаленому стані. Термічна обробка готових дисків полягає в нормалізації з високим відпуском відповідно. Твердість готових дисків (зубів) не регламентується. Диски пил холодного різання виготовляються за кресленням 05574-2. Дата розробки креслення – 1987 рік. Профіль зуба й основні геометричні розміри наведені на рисунку 1 і в таблиці 1.

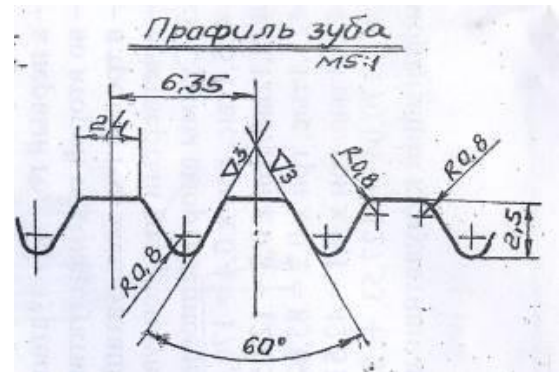


Рис. 1. Креслення профілю зуба пили холодного різання / Fig. 1. The arm of the tooth profile drank cold risana

Таблиця 1

Основні параметри дисків пили холодного різання / The main parameters of the disks drank cold

№ з.п.	Переточування	Кількість зубів, z	Крок T, мм	Діаметр диску D, мм
1	Новий диск	898	6,35	1815
2	1-ше переточування	871	6,35	1760
3	2-ге переточування	821	6,35	1660

Відповідно до існуючої технології зуби дисків пил холодного різання зміцнювальній обробці не піддаються, тобто експлуатуються у не термозміцненому стані. На ділянці заточування пил проводиться термічне зміцнення зубів дисків пил гарячого різання на гартівному верстаті великосортного прокатного цеху, після приведення форми зубів у проектне положення (заточування). При цьому з двох протилежних боків диска підводяться графітові електроди-шестерні. Поворот диска і гарт здійснюються автоматично. Сила струму у вторинній обмотці понижувального трансформатора дорівнює 1 500...1 600 А. Час контакту зубів з електродами 5...6 сек. Твердість загартованої поверхні зубів повинна бути не менше

55...58 HRC. Швидкості охолодження зубів під час гартування в документації не обумовлюються. Тобто існує принципова можливість адаптувати технологію термічного зміцнення зубів дисків пил гарячого різання для дисків пил холодного.

Результати досліджень

Проведено експериментальну термообробку дисків пил холодного різання зі сталі 50 за різними режимами. Використовувалося 5 позицій по силі струму з використанням примусового охолодження графітового нагрівача. Загалом оброблено 10 дослідних дисків. Від кожного диска відібрані сектори в 4...6 зубцях для металографічного контролю.

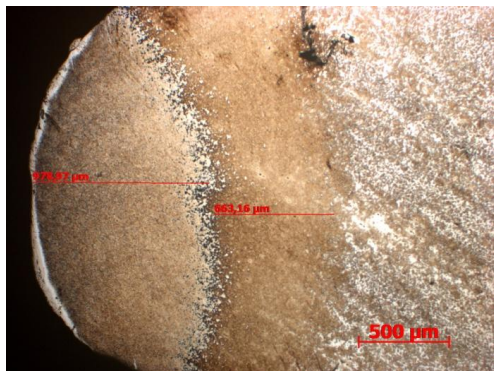
Середні глибини загартованої і перехідної зон для кожного режиму обробки, а також значення твердості структурних складових наведені в таблиці 2. Подано дані щодо най типовіших зубців до кожної серії.

Таблиця 2

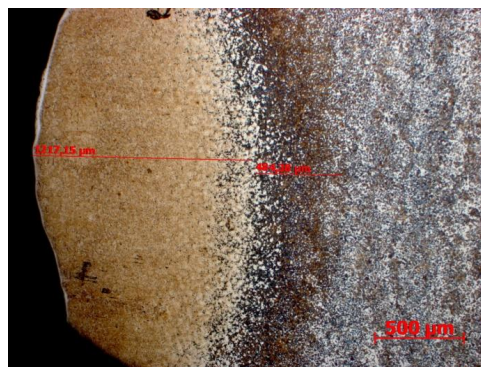
Середня глибина зон термічного впливу зубців пили холодного різання / The middle glybin of the zones of thermal inflow of the teeth drank cold

Положення перемикача сили струму	З обдуванням нагрівального елемента		
	Глибина загартованої зони, мм/ (твердість, HRC)	Глибина перехідної зони, мм/ (твердість, HRC)	Загальна глибина термічного впливу, мм/ (твердість, HRC)
1	1,1 (61,8–59,7)	0,4 (31,0–25,6)	1,5 (61,8–25,6)
2	1,4 (63,5–50,5)	0,2 (40,8–31,5)	1,6 (63,5–31,5)
3	1,5 (62,0–58,3)	0,2 (40,8–29,8)	1,7 (62,0–29,8)
4	1,8 (62,5–55,2)	0,4 (60,1–35,5)	2,2 (62,5–35,5)
5	1,2 (62,0–50,5)	0,5 (48,4–27,1)	1,7 (62,0–27,1)

За результатами металографічних досліджень найбільш перспективними визнано режими № 1 та № 5 з обдуванням нагрівального елемента. Мікроструктура зубів, термозміцнених за цими режимами показано на рисунку 2.



a)



б (b)

Рис. 2. Мікроструктура зміцнених зубів дисків ПХР: а – мікроструктура зуба диска ПХР після обробки по Режиму № 1; б – мікроструктура зуба диска ПХР після обробки по Режиму № 5 / Fig. 2. Microstructure of the teeth of the teeth of the PCR drive: а – microstructure of the tooth to the PCR disk after processing according to Mode No. 1; б – microstructure of the tooth to the PCR disk after processing according to Mode No. 5

Під час експлуатації зміцнених пил із твердістю зуба на глибині до 1,3 мм в межах 50...62 HRC і перехідною зоною до основного металу тіла диска з твердістю ≈ 30 HRC характер впливу динамічних навантажень змінюється. Зміцнені зуби більш ефективно чинять опір навантажень, довше зберігаючи геометричні параметри. Напруження в м'якших шарах металу, в першу чергу, в районі западин зубів зростають.

Збільшена стійкість різального елемента зміцнених дисків пил холодного різання за багаторазових ударних навантажень може спричинити втомні пошкодження диска, що потребують контролю з боку персоналу та обов'язкового переточування на наступний розмір.

Випущено промислову партію термічно зміцнених дисків пили холодного різання. Випробування зміцнених дисків здійснювалося до реалізації технічних заходів щодо поліпшення якості різання на ділянці пили холодного різання. Всього порізано 370 т прокату. Без зауважень до якості різання – 34,6 %. На швелері № 16 зауваження щодо дефекту «наплив» спостерігалися в 45 % випадків.

Після збільшення витрати охолоджувальної води на різальний елемент диска, підняття опорних плит на рівень рольганга на ділянці пили холодного різання дисками проведено різання швелера № 16 в об'ємі 520 т. Зауважень щодо якості різання не було, направляти прокат на доопрацювання визнано недоцільним (рис. 3). Для порівняння на рисунку 4 наведено вигляд профілю після порізання диском ПХР без термічного зміцнення.



Рис. 3. Якість різання термічно зміцненим диском /
Fig. 3. Cutting quality of thermally reinforced disc



Рис. 4. Порізка профілю не зміцненим термічно
дисксом ПХР. Дефекти різання типу «задирки» та
наплив / Fig. 4. The profile is not thermally strengthened
by a PCR disk. Cutting defects such as burrs and inflows

Таким чином, розроблена технологія термічного зміцнення різальних елементів дисків пил холодного різання показала ефективність, насамперед, у поліпшенні якості різання за рахунок зниження дефектів типу «задирок», напливів тощо. Такий ефект отримано шляхом збільшення твердості зубів до 62 HRC на глибину не більше 50 % його висоти. Однак нерівномірна твердість по висоті зубів і тілу диска може викликати певні обмеження під час експлуатації зміцнених дисків пили холодного різання.

Висновки

1. Розроблена технологія термічного зміцнення дисків пил холодного різання збільшила твердість зубів до 62 HRC (глибина термічного впливу не більше 50 % висоти зуба), нова технологія показала ефективність, насамперед, у поліпшенні якості різання за рахунок зниження дефектів типу «задирок», напливів тощо.

2. Тривалість експлуатації термічно оброблених дисків пил холодного різання склала не менше 2,5 зміни. Таким чином, стійкість термооброблених дисків підвищилася в 2,58 рази відносно дисків, що використовуються без термічної обробки (до 0,8 зміни).

3. Збільшена стійкість зміцнених дисків за багаторазових ударних навантажень може спричинити втомні пошкодження диска, що потребують обов'язкового контролю поверхні диска та переточування на наступний розмір у разі необхідності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пилы горячей резки проката. Конструкции и расчет : монография / [А. А. Ищенко, Е. А. Лоза]. – Мариуполь : ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», 2012. – 251 с.
2. Банников А. И. Совершенствование процесса резания горячего металлопроката дисковыми пилами на основе управления тепловыми явлениями в контактной зоне : дисс. докт. техн. наук : 05.02.07 / А. И. Банников. – Волгоград, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», 2018. – 306 с.
3. Большаков В. И. Шляхи відстежування трансформацій мікроструктури матеріалу, які відбуваються внаслідок його зносу / В. И. Большаков, В. М. Волчук, Ю. І. Дубров // Шостий міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – С. 145–146.
4. Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочность твердых тел : монография / Т. Екабори. – Москва : Металлургия, 1971. – С. 141–149.
5. Лоза Е. А. Оценка напряженного состояния дисков пил горячей резки проката / Е. А. Лоза // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2012. – Вип. 25. – С. 34–40.
6. Насад Т. Г. Высокоскоростная обработка с тепловым воздействием : монография / Т. Г. Насад. – Саратов : Саратовский государственный технический университет, 2007. – 108 с.

REFERENCES

1. Ishenko A.A. and Loza O.A. Pily goryachej rezki prokata. Konstrukcii i raschet [Hot rolled saws. Designs and calculation]. Mariupol : State Higher Educational Institution Priazov State Technical University, 2012, 251 p. (in Russian).
2. Bannikov A.I. *Sovershenstvovaniye protsessa rezaniya goryachego metalloprokata diskovymi pilami na osnove upravleniya teplofizicheskimi yavleniyami v kontaktной zone : diss. dokt. tehn. nauk : 05.02.07* [Improving the process of cutting hot metal by circular saws based on the control of thermophysical phenomena in the contact zone : Dissertation of the doctor of technical sciences: 05.02.07]. Volgograd, Volgograd State Technical University, 2018, 306 p. (in Russian).
3. Bolshakov V.I., Volchuk V.M. and Dubrov Yu.I. *Shlyakhy vidstezhuvannya transformatsiy mikrostruktury materialu, yaki vidbuvayut'sya vnaslidok yoho znosu* [Ways of tracing the transformations of the microstructure of a material due to its wear]. *Shostyy mizhnarodnyy symposium ukrayins'kykh inzheneriv-mekhanikiv u L'vovi* [Sixth International Symposium of Ukrainian Mechanical Engineers in Lviv]. Lviv : KINPATRI LTD, 2003, pp. 145–146. (in Ukrainian).

4. Ekobory T. *Fizika i mekhanika razrusheniya i prochnost' tverdykh tel* [Physics and mechanics of fracture and the strength of solids]. Moscow: Metallurgy, 1971, pp. 141–149. (in Russian).
5. Loza O.A. *Otsenka napryazhennoho sostoyaniya diskov pyl horyachey rezky prokata* [Assessment of the stress state of the saw blades for hot cutting]. *Visnyk Pryazovs'koho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu* [Bulletin of the Priazovsky State Power Technical University]. 2012, issue 25, pp. 34–40. (in Russian).
6. Nasad T.G. *Vysokoskorostnaya obrabotka s teplym vozdeystviyem* [High-speed heat treatment]. Saratov : Saratov State Technical University, 2007, 108 p. (in Russian).

Надійшла до редакції 15.11.2019.