

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ОБРОБЛЮВАНІСТЬ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Лалазарова Н. О.¹, Афанасьєва О. В.², Попова О. Г.³

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Харківський національний університет радіоелектроніки

³Харківський національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

***Анотація.** Встановлено, що покращити оброблюваність високоміцного чавуну під час оброблення твердосплавним інструментом можна за допомогою збільшення здатності інструменту до опору втомному зношенню, який зумовлений здебільшого неоднорідністю високоміцного чавуну. Ефективним методом підвищення надійності твердосплавного інструменту є поверхневе пластичне деформування дробострумінним обробленням за допомогою невеликого округлення різальних кромки і збільшення міцності.*

***Ключові слова:** високоміцний чавун з кулястим графітом, структура, оброблюваність, дробострумінне зміцнення, твердосплавний інструмент.*

Вступ

Високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧКГ), що має високий рівень експлуатаційних властивостей, використовується замість сталевих прокату, сірого і ковкого чавунів. Для розвитку галузі машинобудування необхідні високоміцні чавуни, що мають границю міцності понад 600–700 МПа і твердість 250–320 НВW, які можна використовувати для виготовлення деталей автомобілів, тракторів, комбайнів, які працюють в умовах великих навантажень [1]. Світові тенденції виробництва високоміцного чавуну свідчать про збільшення його обсягів серед всіх ливарних сплавів. Високий рівень ливарних властивостей дозволяє розширити номенклатуру виробів з чавуну, зменшити переріз і масу виливків, підвищивши цим їхню жорсткість, та отримувати виливки більш складної форми. Більш широке застосування ВЧКГ у виготовленні деталей машин разом з їхньою надійністю є потужним резервом зниження витрати матеріалів, енерговитрат, собівартості виробів і покращення показників роботи [2]. Процес впровадження ВЧКГ з високим рівнем експлуатаційних властивостей стримується недостатнім рівнем його оброблюваності.

Аналіз публікацій

Високоміцні чавуни відрізняються значною міцністю і твердістю, неоднорідністю структури, що і призводить до зниження оброблюваності [3]. ВЧКГ характеризується значною неоднорідністю як за структурою, так і за хімічним складом, що сприяє інтен-

сифікації втомного зношення твердих сплавів.

Покращення оброблюваності досягається за рахунок таких змін: властивостей оброблюваного матеріалу (легування, термічне оброблення чавуну (вибір інструментального матеріалу, оптимізація його геометрії, конструкції та обробно-зміцнювальне оброблення), взаємодія різального інструменту та заготовки (попередній вплив на заготовку, додатковий вплив на зону різання, оптимізація режимів різання).

Одним з методів покращення оброблюваності є підвищення надійності різального інструменту зміцненням поверхневим пластичним деформуванням (ППД), яке застосовується, якщо має місце великий відсоток відмов інструментів у зв'язку з втомним руйнуванням, що призводить до викришування. Поширеними методами ППД для твердосплавного інструменту є віброабразивне та дробострумінне зміцнення [4].

Технологія зміцнення поверхневим пластичним деформуванням заснована на впливі ППД на структуру і властивості твердого сплаву, а також на мікрорельєф поверхні та радіус округлення різальної кромки [4].

У науковій літературі є відомості про ефективне використання віброабразивного і дробострумінного зміцнення інструменту для точіння і фрезерування сталей, титанових сплавів, сірого чавуну [4].

Однак для високоміцного чавуну ці види зміцнення інструменту ще не знайшли широкого використання.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є вибір оптимального методу зміцнення інструменту з ВК8, який застосовується для оброблення високоміцного чавуну. Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання: 1) дослідження поверхонь зносу твердосплавного інструменту після обробки ВЧКГ і встановлення типу; 2) дослідження впливу віброабразивного і дробострумінного зміцнення на параметри і властивості твердосплавного інструменту.

Дослідження впливу ППД твердосплавного інструменту на оброблюваність ВЧКГ

Для проведення досліджень використовували високоміцний чавун хімічного складу: 3,3–3,8 % С; 2,4–3,2 % Si; $C+1/3 Si = 4,25-4,35$ %; 0,004–0,007 % S; 0,5–0,9% Mn; 0,045–0,008 % P; 0,05–0,1 % Cr; 0,1–0,15 % Ni; 0,04–0,09 % Mg.

Вихідний чавун характеризується розвинутою ліквациєю всіх хімічних елементів, що належать до його складу. Литий чавун неоднорідний за структурою і за розподіленням хімічних елементів. Ферит зосереджений загалом в колографітній зоні. Завдяки такій неоднорідній структурі в литому стані ВЧКГ має недостатньо високі показники міцності, ударної в'язкості, зносостійкості. Для отримання необхідного рівня механічних властивостей застосовується термічне оброблення.

Дослідження проводилися на зразках чавуну після нормалізації: нагрів до 890 °С, витримка 1,5 години, охолодження в струмені повітря, твердість 310–320 НВW. Структура: сорбітоподібний перліт (95 %) + ферит і кулястий графіт (рис. 1).

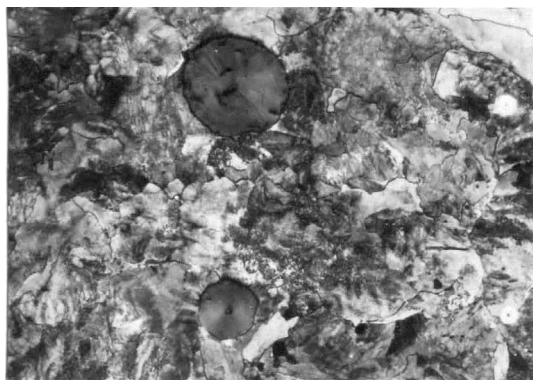


Рис. 1. Мікроструктура високоміцного чавуну після нормалізації $\times 350$

Як інструментальний матеріал для продольного точіння використовували різці з

п'ятигранними пластинами з твердого сплаву ВК8.

Різці з механічним кріпленням п'ятигранних пластин з ВК8 мали такі геометричні параметри: $\varphi=60^\circ$, $\varphi_1=10^\circ$, $\gamma=-8^\circ$, $\alpha=8^\circ$. Пластини доводили вздовж передніх і опорних поверхонь порошком карбіду бору, задні поверхні знаходились в стані поставки (після спікання), радіус округлення кромки дорівнював 8–10 мкм.

Стійкісні дослідження проводили під час продольного точіння заготовок з високоміцного чавуну, діаметром 80 мм, довжиною 300, на токарно-гвинторізному верстаті 1К62 мм. Пластини досліджували на зносостійкість за умов глибини різання 0,4 мм та подачі 0,07 мм/об. Як характеристики оброблюваності використовували стійкість інструменту T , хв, що руйнує подачу S_p , мм/об.

Зношені поверхні інструменту досліджували на електронному мікроскопі ЕМ-100БР та на растровому електронному мікроскопі РЕМ-200.

Для підвищення ефективності роботи різального твердосплавного інструменту під час оброблення чавуну застосовували методи зміцнення, засновані на впливі ППД на структуру і властивості твердого сплаву, а також на мікрорельєф поверхні і радіус округлення різальних кромки – віброабразивне та дробострумінне зміцнення.

Методи віброабразивного оброблення засновані на нанесенні великої кількості мікроударів частинками наповнювача вздовж робочих поверхонь інструменту, що вільно завантажений у вібрувальний контейнер разом з наповнювачем [4]. Розроблена технологія характеризується переважним ударним мікрովпливом, інтенсивним переміщенням інструменту і наповнювача, що забезпечує задану зміну форми і мікрорельєфу леза, підвищений наклеп і відсутність макроруйнувань.

Віброабразивне зміцнення проводили на спеціальній віброабразивній установці ВМ40С з камерою, об'ємом 40 л, в середовищі боя абразивних кругів, грануляцією 10–20 мм, з частотою 46 Гц та амплітудою 12 мм протягом 5 хвилин для отримання радіуса округлення різальної кромки 15–20 мкм, 12 хв для отримання радіуса округлення різальної кромки 40 мкм та 30 хв для отримання радіуса округлення різальної кромки 70 мкм. Прилад характеризується великою продуктивністю, низьким рівнем шуму, зручністю обслуговування, відсутністю шкідливих еко-

логічних факторів та запиленості повітря.

Важливою перевагою віброабразивного оброблення є різноспрямованість удару зміцнювального агента, що робить можливим рівномірне зміцнення виробів складної форми. Під час контролю на інструментальному мікроскопі відхилення радіуса не перевищували 10 %, будь-які дефекти відсутні, поверхні після зміцнення стали матовими.

Властивості інструменту в момент віброабразивного зміцнення підвищуються за рахунок отримання оптимального радіуса округлення різальних кромки і вершин, сприятливого рельєфу поверхні, малої шорсткості різальних поверхонь і кромки, а також наклепу, алотропічних перетворень і остаточних напружень в поверхневому шарі до 0,01 мм [4, 5].

Зміст дробострумінного зміцнення полягає у впливі потоку сталевого або чавунного дроблення на різальні поверхні інструменту. Для забезпечення необхідного кута атаки інструменти закріплюють в спеціальному пристосуванні. Дробострумінне зміцнення здійснювали на спеціальному приладі УДІ з дробометним колесом, діаметром 350 мм і частотою обертання 350 об/хв. Твердосплавні пластини закріплювали у пристосуванні й обробляли дробом ДЧК-0 без змашувально-охолоджувальної рідини. Прилад характеризується малою метало- та енергоємністю.

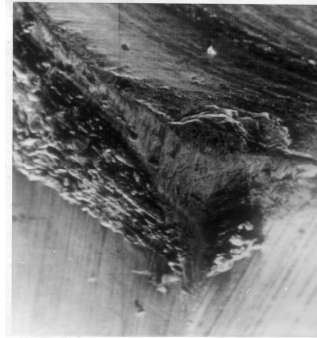
Після дробострумінного зміцнення підвищується міцність за рахунок остаточних напружень стискання на глибині до 0,3 мм. Менше значення має алотропічне перетворення кобальту, видалення дефектного поверхневого шару, невелике округлення кромки і вершин та релаксація міжфазних напружень [6]. Контроль пластин після зміцнення продемонстрував відсутність дефектів та викришувань, поверхні пластин є блискучими.

Для твердосплавного інструменту під час оброблення високоміцного чавуну з перлітоферитною структурою характерне адгезійно-абразивне зношення та втомне руйнування (рис. 2).

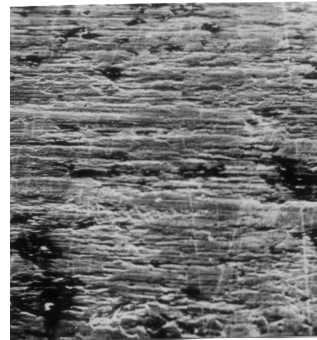
Дослідження поверхонь зношення різців з твердого сплаву ВК8 на електронному мікроскопі після оброблення нормалізованого чавуну продемонстрували наявність втомного руйнування: зношені поверхні покриті сіткою мікротріщин, розвиток яких призводить до викришування (рис. 3, а).

Циклічні навантаження сприяють періодичній зміні на контактних поверхнях різального інструменту дотичних і нормальних

напружень. Вони неоднаково впливають на неоднорідну структуру твердого сплаву внаслідок відмінності у властивостях фаз зв'язки і карбідів. Зношення твердого сплаву в області великих стійкостей відбувається в результаті втомного руйнування зерен карбідів, із зношеної поверхні яких видаляються дрібні частинки, або за рахунок видалення зерен карбідів в результаті втомного руйнування зв'язки.



а



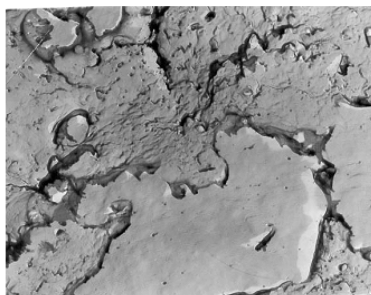
б

Рис. 2. Характер зношення твердосплавного інструменту під час оброблення високоміцного чавуну: а – $\times 900$; б – $\times 150$

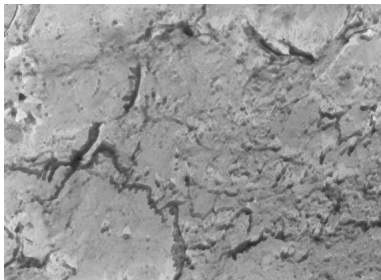
Покращити оброблюваність ВЧКГ під час різання твердосплавним інструментом можна за допомогою підвищення здатності інструменту до опору втомному зношенню, який зумовлений головним чином неоднорідністю високоміцного чавуну. Цього можна досягти покращенням якості різальних елементів інструментів за рахунок ППД твердого сплаву віброабразивним або дробострумінним обробленням.

Дослідження стійкості твердого сплаву ВК8 після віброабразивного зміцнення під час точіння високоміцного чавуну продемонстрували, що максимум стійкості відповідає радіусу округлення різальної кромки 15 мкм за умов вихідного 10 мкм. Подальше збільшення радіуса округлення різальної кромки призводить до зниження періоду стійкості (збільшення радіуса до 70 мкм знижує стій-

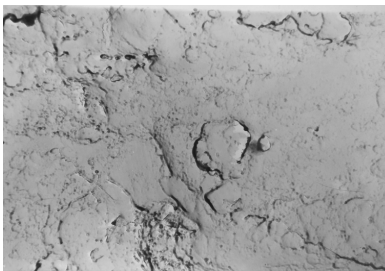
кість в 1,9 раза) під час точіння нормалізованого чавуну, що пов'язано зі зменшенням площини контакту, яке призводить до збільшення контактного тиску та інтенсифікації зношення. Якщо радіус округлення становить 15 мкм, спостерігається також найменше розсіювання періоду стійкості. Зниження розсіювання стійкості за умов округлення леза пов'язано зі зменшенням викришування різальних кромки. Зношення різців із округленими кромками є більш рівномірним і стабільним. Таким чином, підтверджується корисність невеликого округлення, що забезпечує підвищення якості різальних поверхонь і кромки.



а



б



в

Рис. 1. Мікротріщини на зношеній поверхні пластини з твердого сплаву ВК8: а – без оброблення; б – після віброабразивного зміцнення; в – після дробострумінного зміцнення, $\times 10000$

Дослідження зношених поверхонь твердосплавного інструменту, зміцненого віброабразивним обробленням, продемонстрували незначне зменшення кількості тріщин (рис. 3, б).

Стійкісні випробування, які були проведені з використанням твердого сплаву, що зміцнений віброабразивним обробленням, продемонстрували підвищення стійкості під час оброблення нормалізованого чавуну в 1,15 раза (табл. 1).

Міцність твердосплавного інструменту визначали за руйнівальною подачею S_p . Для пластин після віброабразивного зміцнення із радіусом округлення різальної кромки 15 мкм руйнівальна подача мала максимальне значення – 1,56 мм/об (табл. 1), тобто відбувається невелике збільшення міцності інструменту.

Дробострумінне оброблення більш суттєво підвищує міцність інструменту і призводить до невеликого округлення різальної кромки. Максимум міцності спостерігається під час оброблення дробом протягом 90 с.

Таблиця 1 – Результати випробувань різців, що зміцнені віброабразивним обробленням

Показники	Без зміцнення	Зі зміцненням	Зміна показника
Середній період стійкості, хв	24	27,6	1,15
Коефіцієнт варіації стійкості	0,52	0,4	1,3
Руйнівна подача, мм/об	1,4	1,56	1,1

Збільшення міцності доводять результати дослідження руйнівальної подачі: її величина збільшилася до 2,28 мм/об, тобто в 1,6 раза, як порівняти з інструментом у вихідному стані (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати випробувань різців, що зміцнені дробострумінним обробленням

Показники	Без зміцнення	Зі зміцненням	Зміна показника
Середній період стійкості, хв	24	31	1,3
Коефіцієнт варіації стійкості	0,52	0,37	1,4
Руйнівна подача, мм/об	1,4	2,28	1,6

Зміцнення, ймовірно, пов'язано з виникненням залишкових стискальних напружень, рівень яких в поверхневому шарі на глибині до 0,3 мм може досягати для фази карбіду 1200 МПа, а для кобальтової фази – 400 МПа [6]. Дослідження поверхні зношення пласти-

ни з твердого сплаву, яку піддавали обробленню дробом протягом 80 с, продемонстрували, що кількість тріщин суттєво зменшилася (рис. 3, в), а це призводить до зменшення викришувань різальної кромки і сколів.

Стійкісні випробування, проведені з використанням твердого сплаву ВК8 після дробострумінного оброблення, продемонстрували підвищення середнього періоду стійкості під час оброблення нормалізованого чавуну в 1,3 раза, а зменшення коефіцієнта варіації стійкості у 1,4 раза (табл. 2).

Таким чином, дробострумінне зміцнення твердосплавного інструменту є ефективним засобом підвищення оброблюваності ВЧКГ за рахунок невеликого округлення леза і створення залишкових напружень стискання в поверхневому шарі, що зменшує вірогідність втомних руйнувань, які превалюють під час оброблення деталей з високоміцного чавуну.

Віброабразивне зміцнення є менш ефективним в тих випадках, коли відбувається втомне руйнування.

Висновки

1. Характерним видом зношення для твердосплавного інструменту під час оброблення високоміцного чавуну з кулястим графітом є адгезійно-абразивне та втомне руйнування.

2. Віброабразивне зміцнення твердого сплаву знижує розсіювання стійкості інструменту, в 1,15 раза збільшує середній період стійкості, якщо радіус округлення різальних кромок є не більше, ніж 15–20 мкм, зменшує коефіцієнт варіації стійкості.

3. Дробострумінне зміцнення твердосплавного інструменту є більш ефективним методом підвищення надійності різального інструменту і покращення оброблюваності високоміцного чавуну, оскільки призводить до збільшення стійкості інструменту в 1,3 раза та руйнівальної подачі в 1,6 раза зменшення коефіцієнта розсіювання стійкості.

4. Дробострумінне зміцнення сприяє зменшенню втомних руйнувань твердосплавного інструменту за рахунок невеликого округлення різальних кромок і збільшення міцності.

Література

1. Бубликов В. Б. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом – уникальный конструкционный материал современного машиностроения. Компрессорное и энергетическое машиностроение, 2014. № 2 (36). С. 44–47.

2. Александров Н. Н. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом – перспективный конструкционный материал XXI века. Арматуростроение. № 2 (53). 2008. С. 72–74.
3. Батыгин Ю. В., Лалазарова Н. А. Исследование обрабатываемости высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Вестник ХНАДУ, 2011. Вып. 54. С. 123–126.
4. Сборный твердосплавный инструмент / Г. Л. Хае и др. Москва: Машиностроение, 1991. 256 с.
5. Гах В. М., Пальцев В. А. Эффективность применения различных технологий виброабразивной обработки твердосплавного инструмента. Вибрации в технике та технологиях. 2009. №4 (56). С. 75–81.
6. Хае Л. Г., Гах В. М., Черномаз В. Н. Формирование поверхностного слоя при отделочно-упрочняющей обработке твердых сплавов. Сверхтвердые материалы. 1984. № 6. С. 43–49.

References

1. Bublikov V. B. Vyisokoprochnyy chugun s sharovidnyim grafitom [High-strength nodular cast iron – a unique structural material of modern engineering]. *Kompressornoe i energeticheskoe mashinostroenie* [Compressor and power engineering], 2014, No. 2(36), pp. 44–47 (In Russian).
2. Aleksandrov N. N. Vyisokoprochnyy chugun s sharovidnyim grafitom – perspektivnyy konstruktсионnyy material XXI veka [High-strength nodular cast iron – a promising structural material of the 21st century]. *Armaturostroenie* [Armature building], 2008. No. 2(53), pp. 72–74 (In Russian).
3. Batygin Yu. V., Lalazarova N. A. Issledovanie obrabatyvaemosti vyisokoprochnogo chuguna s sharovidnyim grafitom [Workability study of ductile iron]. *Vestnik HNADU* [Bulletin of KhNAHU], 2011. No.54, pp. 123–126.
4. *Sbornyy tverdosplavnyy instrument* [Precast Carbide Tool] / Haet G. L. i dr. Moscow, Engineering, 1991. 256 p. (In Russian).
5. Gah V. M., Paltsev V. A., Gah I. O. Effektivnost primeneniya razlichnykh tehnologiy vibroabrazivnoy obrabotki tverdosplavnogo instrumenta [The effectiveness of the application of various technologies of vibroabrasive processing of carbide tools] *Vibratsiyi v tehnitsi ta tehnologiyah* [Vibration in technology and technology]. 2009. No. 4(56). Pp. 75–81 (In Russian).
6. Haet L.G., Gah V.M., Chernomaz V. N. Formirovanie poverhnostnogo sloya pri otdelочно-упрочняющей обработке tverdyyh splavov [The formation of the surface layer during the finishing and hardening treatment of hard alloys] *Sverhtverdyie materialy* [Superhard materials], 1984. No. 6. Pp. 43–49 (In Russian).

Лалазарова Наталія Олексіївна, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. (057) 707-37-92,

е-mail: lalaz1932@gmail.com,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна,

Афанасьєва Ольга Валентинівна, к.т.н., доцент кафедри фізичних основ електронної техніки, тел. (+38) 096-525-62-35, е-mail: 7584839@ukr.net, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166, Україна,

Попова Олена Георгіївна, к.т.н., доцент кафедри композитних конструкцій та авіаційного матеріалознавства, тел. (+38) 0675701217,

е-mail: o.popova@khai.edu, Харківський національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070, Україна.

The influence of surface strengthening of hard-alloy tool on high strength cast iron manufacturability

Abstract. Problem. High-strength cast irons are characterized by considerable strength and rigidity, heterogeneity of structure, which leads to reduced machinability. Cast iron is characterized by significant heterogeneity in both structure and chemical composition, which contributes to the intensification of the fatigue wear of hard alloys. The process of introducing cast iron with a high level of performance is hampered by an insufficient level of machinability. Improved machinability is achieved not only by changing the structure and properties of cast iron, but also by cutting conditions. **Goal.** The goal is choosing the optimal method of reinforcement of the VK8 tool used in machining high-strength cast iron to reduce the intensity of fatigue fracture and improve the workability of cast iron. **Method.** The carbide tool was subjected to vibration abrasive and shot blasting. Sturdy studies were performed in the longitudinal turning of high-strength cast iron on a lathe. Worn tool surfaces were examined using an EM-100BR electron microscope and a REM-200 scanning electron microscope. **Results.** A typical type of wear for a carbide tool when machining high-strength cast iron with spherical graphite is adhesive-abrasive and fatigue fracture. Studies have shown that hardening of a carbide tool with surface plastic deformation by blasting is a more effective method of improving the reliability of the cutting tool and improving the machinability of high-strength cast iron than vibrating. **Scientific novelty.** Shot blasting helps reduce the intensity of fatigue fractures of carbide tools when machining non-uniform high-strength cast iron due to the small rounding of the cutting edges and increased strength. **Practical significance.** Shot blasting leads to a 1.3-fold increase in tool stability, a decrease in the scattering coefficient, and an 1.4-fold increase in destructive flow.

Key words: ductile cast iron, structure, machinability, shot blasting, carbide tool.

Lalazarova Nataliia, PhD, Associate Professor, Department of Technology of Metals and Materials Science, tel. (057) 707-37-92,

е-mail: lalaz1932@gmail.com, Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudrogo str., 25, Kharkiv, 61002, Ukraine,

Afanasyeva Olga, PhD, Associate Professor, Physical Foundations of Electronic Engineering Department, tel. (+38) 096-525-62-35,

е-mail: 7584839@ukr.net, Science Avenue, 14, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 61166, Ukraine.

Popova Olena, PhD, Associate Professor, Department of Composite Structures and Aviation Materials, (057) 788-44-03, е-mail: o.popova@khai.edu,

Kharkiv National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Chkalov str., 17, Kharkiv, 61070, Ukraine.

Влияние поверхностного упрочнения твердосплавного инструмента на обрабатываемость высокопрочного чугуна

Аннотация. Установлено, что улучшить обрабатываемость высокопрочного чугуна при обработке твердосплавным инструментом можно за счет увеличения сопротивления инструмента усталостному износу, который обусловлен, в основном, неоднородностью высокопрочного чугуна. Эффективным методом повышения надежности твердосплавного инструмента является поверхностное пластическое деформирование дробеструйной обработкой за счет небольшого округления режущих кромок и повышения прочности.

Ключевые слова: структура, обрабатываемость, дробеструйное упрочнение, твердосплавный инструмент.

Лалазарова Наталия Алексеевна, к. т. н., доцент кафедры технологии металлов и материаловедения, тел. (057) 707-37-92,

е-mail: lalaz1932@gmail.com, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 25, ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, 61002, Украина,

Афанасьєва Ольга Валентиновна, к.т.н., доцент кафедры основ электронной техники, тел. (+38) 096-525-62-35, е-mail: 7584839@ukr.net,

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, 61166, Украина.

Попова Елена Георгиевна, к.т.н., доцент кафедры композитных конструкций и авиационного материаловедения, тел. (057) 788-44-03,

е-mail: o.popova@khai.edu, Харьковский национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», ул. Чкалова, 17, г. Харьков, 61070, Украина.