

УДК 621.9

К.О. Дядюра, д-р техн. наук, А.С. Юнак, Сумы, Украина

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ ИЗНОСОСТОЙКОГО ЧУГУНА ИЧ210Х30ГЗ**

*У даній роботі представлені результати експериментального дослідження механічної обробки різання заготовок із зносостійкого чавуну з високою твердістю. Пропонується використовувати сучасні інструментальні сплави. Розглядається вплив на властивостей матеріалу, що обробляється на працездатності різального інструменту. Запропоновано раціональні параметри режимів різання для забезпечення необхідної якості поверхневого шару.*

*В работе приведены результаты экспериментального исследования механической обработки резанием заготовок из износостойкого чугуна с повышенной твердостью. Предлагается использовать современные инструментальные сплавы. Рассмотрено влияние обрабатываемости материала на работоспособность режущего инструмента. Предложены рациональные параметры режима резания для обеспечения требуемого качества поверхностного слоя.*

*In this work the results of the experimental study of mechanical cutting of workpieces made of wear-resistant cast iron with high hardness. Proposes to use modern instrumental alloys. Considers the impact of the workability of the material on the performance of cutting tool. Offered rational parameters of cutting modes to ensure the required quality of the surface layer.*

**Постановка проблемы.** В последнее время в связи с расширением номенклатуры выпускаемой машиностроительной продукции повышаются требования к эффективности ее производства. Разнообразие эксплуатационных нагрузок, действующих на детали машин, требует научно обоснованного технологического обеспечения параметров поверхностного слоя. Как правило, в большинстве технологических процессов изготовления деталей из различных материалов качество обрабатываемых поверхностей определяет механическая обработка резанием. Характеристики поверхностного слоя, сформированные на операциях механической обработки резанием, предопределяют эксплуатационные свойства деталей. В связи с этим актуальными являются исследования по установлению рациональных параметров процесса резания, которые обеспечивают высокую производительность обработки и выполнение требований к качеству обрабатываемых поверхностей деталей. Основа таких исследований - теоретические и эмпирические зависимости показателей процесса резания от параметров режимов обработки, свойств обрабатываемого и инструментального материала, геометрии инструмента и динамических

характеристик металлорежущего оборудования.

В данной работе рассматриваются вопросы выбора рациональных параметров режима механической обработки резанием заготовок из износостойкого чугуна марки ИЧ210Х30Г3, подвергнутых термообработке (закалка до твердости HRC 55-58). Высокохромистые чугуны ИЧ190Х30Г3 и ИЧ210Х30Г3 используют для изготовления литых деталей машин и механизмов различного промышленного оборудования, которое работает в условиях абразивно-коррозионного воздействия [1]. Требования к износостойкому чугуну как к конструкционному материалу постоянно растут по мере увеличения нагрузок на детали в машинах и узлах. В последнее время значительно расширяется номенклатура изделий из этого класса материала, что позволяет повысить надежность и долговечность машин и оборудования, т.е. их конкурентоспособность. Новые сплавы легированных износостойких чугунов, кроме технических преимуществ, значительно выигрывают конкуренцию за счет более низкой себестоимости их производства по сравнению с известными марками. Легирование существенным образом влияет на эксплуатационные свойства (износостойкость, контактная жесткость, усталостная прочность и др.) и обрабатываемость чугунов.

На механическую обработку резанием легированных чугунов, как правило, необходимо в три раза больше режущего инструмента, чем на обработку серого чугуна [2, 3]. В связи с этим для повышения производительности и надежности процесса обработки за счет сокращения числа остановок на замену режущего инструмента к его работоспособности предъявляют повышенные требования. Одной из основных предпосылок повышения качества деталей и точности обработки износостойких чугунов является эффективное применение сверхтвердых материалов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Износостойкие легированные чугуны стандартизированы техническими условиями ASTM A532. Лучшая обрабатываемость резанием и отсутствие никеля в чугуне ИЧ210Х30Г3 дает этому сплаву дополнительные преимущества перед чугуном ИЧ290Х30Н2. Такие чугуны в структуре содержат значительное количество твердой и износостойкой карбидной фазы и по структурному типу их относят к белым чугунам.

В работах отечественных [3, 4, 5, 6] и зарубежных авторов [7, 8, 9] рассмотрены вопросы формирования физико-механического состояния поверхностного слоя заготовок из износостойкого чугуна (шероховатость, наклёп, структура, остаточные напряжения) и его влияние на эксплуатационные характеристики деталей.

Традиционно в подавляющем большинстве технологических процессов механической обработки резанием высокопрочных хромистых чугунов

предусмотрено использование инструментов, оснащенных вольфрамокобальтовыми твердыми сплавами. Скорость резания при точении заготовок из таких сплавов составляет 0,05...0,08 м/с, а глубина резания – до 0,5 мм. На операциях финишной обработки заготовок из износостойких чугунов главным образом применяется шлифование абразивными, алмазными или кубонитовыми кругами. В процессе механической обработки образуется специфическая структура поверхностного слоя деталей, которая имеет высокую твердость и прочность.

Однако в работах [3, 6] отмечено, что традиционная технология механической обработки резанием и поверхностного упрочнения деталей из высокопрочного и износостойкого чугуна является малоэффективной, энергоемкой и трудоемкой, в процессе которой возникают дефекты поверхностного слоя.

Имеется два основных недостатка [3]:

а) локальный перегрев, проявляющийся в появлении на обработанной поверхности локальных «прижогов», связанных с образованием вторичного аустенита отпуска, остаточных напряжений растяжения, снижающих износостойкость и усталостную прочность обработанных заготовок деталей;

б) шаржирование обработанной поверхности абразивными зёрнами и их осколками в результате контактного взаимодействия инструмента и заготовки в процессе шлифования.

Внедренные в поверхность детали частицы абразива образуют дефекты в ее поверхности и отрицательно сказываются на условия эксплуатации.

Поэтому на современном этапе существует необходимость разработки новых экономичных методов механической обработки и поверхностного упрочнения заготовок из износостойкого чугуна, в том числе с использованием инструмента из синтетических сверхтвердых материалов на основе нитрида бора.

При точении износостойких материалов резцами из поликристаллического кубического нитрида бора (ПКНБ) отсутствуют недостатки, характерные для обработки резцами, оснащенными вольфрамокобальтовыми твердыми сплавами и в процессе шлифования абразивными кругами, а режимы резания могут быть существенно повышены [10].

Несмотря на достаточно большое количество исследований по использованию инструментов из сверхтвердых материалов, вопросы регламентации рациональной области их применения и расчеты оптимальных режимов резания для обработки износостойких чугунов остаются достаточно актуальными. Технологические особенности эффективного применения инструментов из таких материалов обусловлены спецификой их физико-механических свойств.

В работах [3, 11] отмечается, что нагрузки и тепловые процессы, определяющие механический и физико-химический износ инструмента в процессе его контактного взаимодействия в зоне резания с обрабатываемой заготовкой, существенно интенсифицируют химические реакции между элементами и соединениями обрабатываемого материала и ПКНБ, особенно при высоких температурах (свыше 900°С). Поэтому более глубокое изучение механизма формирования структуры и качества поверхностного слоя заготовки в процессе резания имеет непосредственную связь с достижением стабильного процесса изнашивания режущего инструмента, что является главным условием успешной обработки чугунов.

Целью данной работы является исследование зависимости показателей качества обработанной поверхности заготовок из износостойкого чугуна и закономерностей изнашивания и разрушения режущего инструмента от параметров режима резания и условий токарной обработки.

Ставилась задача разработки рекомендаций по выбору рационального диапазона параметров режима резания, который позволяет обеспечить с одной стороны необходимую работоспособность режущего инструмента, а с другой стороны требуемые характеристики поверхностного слоя деталей с учетом особенностей инструментального материала и износостойкого чугуна.

**Результаты исследований.** Во время экспериментальных работ проводилось исследование влияния параметров режима резания (скорость резания  $v$ , м/мин; подача  $S$ , мм/об; глубина резания  $t$ , мм) на шероховатость и отклонение от округлости обработанной поверхности, интенсивность изнашивания инструмента и составляющие силы резания.

Исследования для сравнения проводились на базе токарно-винторезного станка модели 16K20T1 с жесткой системой СПИД и токарного обрабатывающего центра с ЧПУ модели SBL 500. При точении использовались резцы с механическим креплением режущих пластин: SNMA120412-YBD152; Mitsubishi CNMA 120408; Korloy (CNMG 120408-GR NC 6301); TaeguTec (TT7310); Secomax™ PCBN(CBN200) с высокой износостойкостью. Поперечное сечение державки инструмента 25x16 мм. Углы резания формировались за счет установки режущей пластины в корпусе резца и составляли: передний угол  $-7^\circ$ , задний угол  $-10^\circ$ .

В качестве обрабатываемого материала для проведения исследований использовали заготовки из износостойкого чугуна ИЧ210Х30Г3 диаметром 30 мм и длиной 100 мм.

При проведении экспериментов использована экспериментальная установка, состоящая из трехкомпонентного динамометра УДМ-600, сигнал с которого, после усиления с помощью восьмиканального усилителя 8АНЧ-21 обрабатывался на ЭВМ. Износ рабочей части режущей пластины исследовался с помощью инструментального микроскопа ИМЦ 100x50А.

Контроль шероховатости обработанной поверхности осуществлялся с помощью профилометра с унифицированной электронной системой тип А группа II по ГОСТ 19300-86 модели 283 и профилометра модели 201. Определение отклонения от округлости обработанной поверхности производилось на приборе модели ВЕ-20А.

Работоспособность режущего инструмента оценивали по интенсивности изнашивания

$$J = \frac{h_3}{L}, \quad (1)$$

где  $h_3$  – средняя величина фаски износа на задней поверхности режущей лезвия инструмента, мм;  $L$  – длина резания, которая соответствует моменту достижения фаски износа  $h_3$  заданного значения, мм

Значения параметров режима резания, которые использовали при исследованиях, соответствовали рекомендуемым для данных инструментальных сплавов. Интервалы варьирования параметров режима резания ( $v$ ,  $S$ ,  $t$ ) приведены в таблице 1.

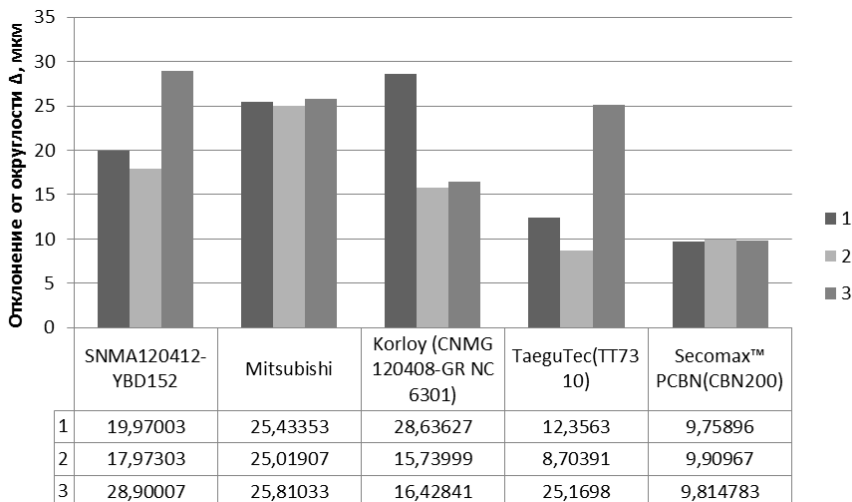
Таблица 1 – Интервалы изменения значений параметров режима резания

Факторы	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			Верхний уровень (+1)	Нулевой уровень (0)	Нижний уровень (-1)
$S$ – подача, мм/об	$X_1$	0,03-0,11	0,12	0,15	0,26
$t$ – глубина резания, мм	$X_2$	0,5	0,5	1	1,5
$v$ – скорость резания, м/мин	$X_3$	5-25	20	25	50

Для экспериментального исследования зависимости показателей процесса резания (получения модели в виде полинома) от параметров режима резания ( $v$ ,  $S$ ,  $t$ ) был реализован некомпозиционный план первого порядка.

Результаты исследования влияния параметров режима резания ( $v$ ;  $S$ ;  $t$ ) на отклонение от округлости обработанной поверхности и интенсивность изнашивания режущего лезвия инструмента приведены на рисунках 1 и 2. Предполагается, что все факторы, влияющие на показатели процесса резания, можно разделить на три группы: свойства обрабатываемого и инструментального материала; геометрия режущего лезвия и кинематика формообразования; жесткость системы СПИД и качество инструмента.

Последние факторы можно исключить из рассмотрения, правильно выбрав оборудование и используя качественный инструмент. Кинематика формообразования и физика процесса резания в сочетании с геометрией лезвия формирует поверхности заготовки и инструмента.



1 -  $v=30$  м/мин;  $S=0,25$  мм;  $t=0.5$  мм.

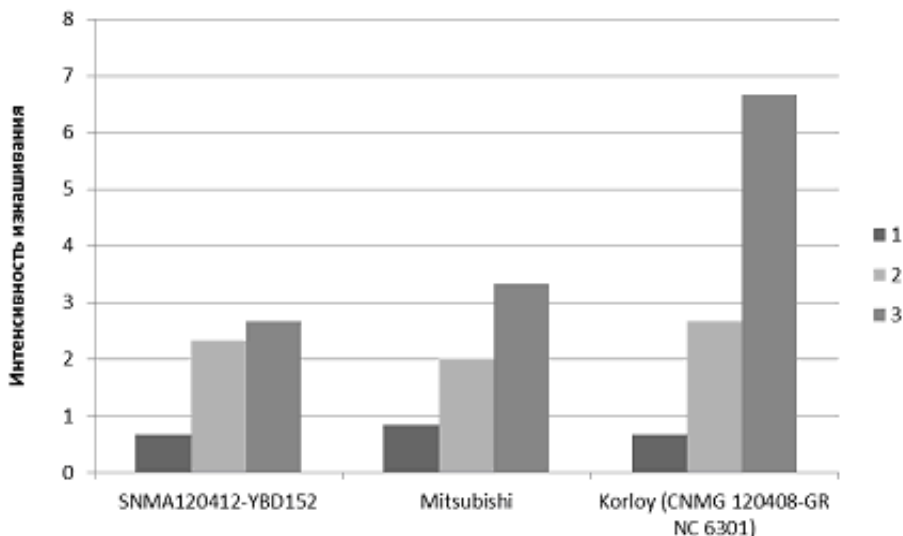
2 -  $v=30$  м/мин;  $S=0,25$  мм;  $t=1$  мм.

3 -  $v=60$  м/мин;  $S=0,25$  мм;  $t=1$  мм.

Рисунок 1 – Влияние параметров режима резания и свойств инструментальных материалов на отклонение от округлости обработанной поверхности

Результаты исследований показали, что при малых скоростях резания ( $v=30-60$  м/мин) значения составляющих силы резания  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  значительны. На передней поверхности режущего лезвия образуется плотный слой налипшего обрабатываемого материала, граничащий с наростом, и снижающий эффективность обработки. При увеличении скорости резания повышается температура резания, и, следовательно, температура поверхностного слоя. В результате совместного действия указанных факторов увеличивается значение отклонения от округлости при обработке инструментом из материалов SNMA120412-YBD152, TaeguTec (TT7310). При обработке сплавами Mitsubishi CNMA 120408 и Secomax™ PCBN(CBN200) значение отклонения от округлости практически не изменяется. Использование инструментального материала Korloy (CNMG 120408-GR NC

6301) приводит даже к уменьшению значения отклонения от округлости. Интенсивность изнашивания поверхности режущего лезвия в диапазоне скорости резания ( $v=30-60$  м/мин) увеличивается (рисунок 2).



- 1 -  $V=30$  м/мин;  $S=0,25$  мм;  $t=0,5$  мм.
- 2 -  $V=30$  м/мин;  $S=0,25$  мм;  $t=1$  мм.
- 3 -  $V=60$  м/мин;  $S=0,25$  мм;  $t=1,2$  мм.

Рисунок 2 – Влияние параметров режима резания и свойств инструментальных материалов на интенсивность изнашивания при обработке заготовок из износостойкого чугуна ИЧ210Х30ГЗ

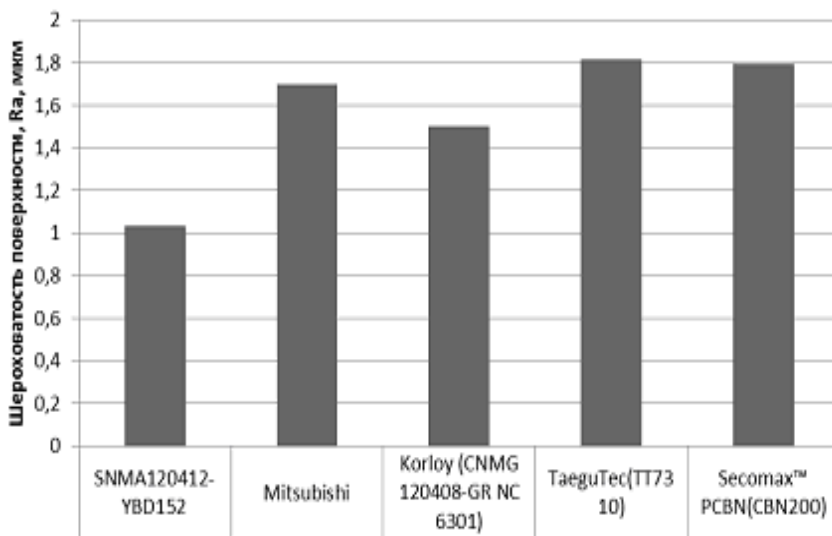
При обработке износостойких чугунов преобладающим является абразивный износ режущей кромки инструмента. Чугунные заготовки имеют достаточно не однородную структуру, такую как раковины и твердые включения. Поэтому наблюдаются значительные колебания величины износа инструмента. Достижение стабильного процесса изнашивания режущей кромки является главным условием успешной обработки износостойких чугунов. Если режущая кромка затупляется слишком быстро из-за неправильного выбора пластины или параметров режима резания, то возможны непредвиденные поломки, а вследствие этого плохое качество обработанной поверхности. Использование режущих пластин из сплава Secomax™ PCBN(CBN200) показало высокую износостойкость и качество

обработанной поверхности по сравнению с другими инструментальными материалами.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что величина фаски износа по задней поверхности инструмента является фактором, который в значительной степени определяет значения отклонения от округлости, шероховатости поверхности и составляющих силы резания.

Результаты исследований показали, что увеличение подачи  $S$  и глубины  $t$  не оказывает значительного влияния на интенсивность структурных превращений поверхностного слоя заготовок из износостойкого чугуна, что объясняется незначительным влиянием изменения  $S$  и  $t$  на температуру резания. Однако с увеличением подачи и глубины резания растет степень деформации поверхностного слоя. Увеличение подачи обуславливает рост толщины срезаемого слоя, что приводит к увеличению сил, действующих на переднюю поверхность инструмента. Глубина резания оказывает существенное влияние на возрастание рабочей длины режущей кромки.

На рисунке 3 и 4 приведены результаты исследования шероховатости



1 -  $V=30$  м/мин;  $S=0,25$  мм;  $t=0.5$  мм.

Рисунок 3 – Зависимость шероховатости обработанной поверхности от свойств инструментального материала



обработанной поверхности различными инструментальными материалами. Шероховатость поверхностей заготовок из износостойкого чугуна ИЧ210Х30Г3 больше при обработке сплавами TaeguTec (TT7310) и Secomax™ PCBN(CBN200), чем при использовании других инструментальных материалов.

Расчет параметров уравнения регрессии произведен на ЭВМ с помощью специальной компьютерной программы. Адекватность моделей подтверждена высоким значением критерия Фишера (0,228). Коэффициенты в уравнении регрессии значимые.

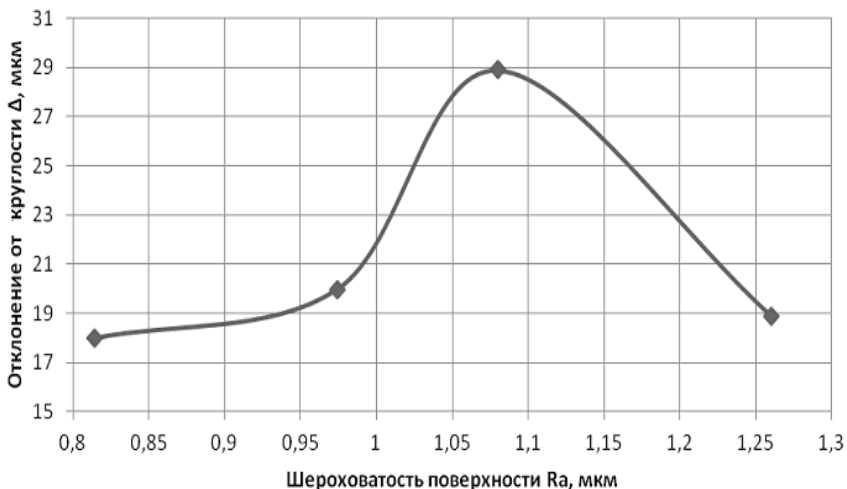


Рисунок 4 – Изменение отклонения от округлости и шероховатости поверхности при обработке инструментальным сплавом SNMA120412-YBD152

Таким образом, результаты исследований позволяют разработать рекомендации для повышения работоспособности режущего инструмента при обработке заготовок из износостойкого чугуна ИЧ210Х30Г3 и обеспечении требуемого качества обработанной поверхности деталей.

**Выводы по результатам исследования.** Современный уровень развития металлообработки, которая характеризуется широким внедрением конструктивных и инструментальных материалов, высокопродуктивного оборудования и адаптивных систем управления, выдвигает принципиально новые требования к проектированию технологических систем. Рассмотрены вопросы и разработаны рекомендации по применению новых

инструментальных сплавов, в том числе и сверхтвердых материалов при использовании их для обработки износостойкого чугуна ИЧ210Х30ГЗ. Результаты исследований будут использованы для дальнейшего выбора рациональных условий механической обработки заготовок из износостойких чугунов. Сформирован перечень инструментов различных фирм поставщиков, позволяющий производить обработку с оптимальными затратами при соблюдении требований по приемлемой эффективности механической обработки с использованием современного оборудования, оснащенного ЧПУ, и станков, подвергнутых модернизации.

**Список использованных источников:** 1. Исследования и разработка новых износостойких чугунов. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://оптинструмент.рф/a99532-issledovaniya-gazrabotka-novuyh.html>. 2. *Тренив Д.* Обработка чугуна резанием. [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://www.rmo.ru/ru/nmoporudovanie/nmoporudovanie/2007-3/10\\_11\\_OTA\\_03\\_07.pdf](http://www.rmo.ru/ru/nmoporudovanie/nmoporudovanie/2007-3/10_11_OTA_03_07.pdf). 3. *Новиков Н.В.* Контактное взаимодействие резцов, оснащенных КНБ, с обрабатываемым материалом при точении износостойкого чугуна / Н.В. Новиков, А.Н. Ващенко // Збірник наукових праць Житомирського державного технологічного університету. Процеси механічної обробки в машинобудуванні. — Житомир: ЖДТУ, 2007. — Вип. №5. — С. 118–124. 4. Получение чугунов повышенной прочности / Л.А. Солнцев, А.М. Зайденберг, А.Ф. Малый. - Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьковском ун-те, 1986. - 152 с. 5. *Бабей Ю.И.* Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна / Ю.И. Бабей. - Киев: Наукова думка, 1988. - 240 с. 6. *Путятина Л.И.* Влияние комплексной механической обработки на качество поверхностного слоя чугунных деталей / Л.И. Путятина, В. П. Тарабанова и др. - Кременчук: КрНУ, 2011. - Выпуск 4 (69), часть 1. - С. 75 -77. 7. Patent - US 6344265 B1 Coated cutting insert / Per Blomstedt, Mikael Lagerqvist, Marian Mikus; 05.02.2002. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.google.com/patents/US6344265>. 8. New High-Strength & Wear-Resistant Grade For Cast Iron Machining From Valenite [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://news.thomasnet.com/fullstory/Wear-Resistant-Inserts-suit-cast-iron-machining-487791>. 9. Patent - US 4765836 Wear and corrosion resistant articles made from pm alloyed irons / A. John, J. Hauser, Kenneth E. Pinnow, William Stasko 11.12.1986. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.google.com/patents/US4765836>. 10. *Klimenko S.A., Mukovoz Yu.A., Polonsky L.G.* Advanced Ceramics Tool for Machining Application-2 // Edit by I.M.Low and X.S.Li. - Chapter 1. Cutting Tools of Superhard Materials. - Switzerland: Trans Tech Publications, 1996. - P. 1-66. 11. *Лещинер Я.А., Свирицкий Р.М., Ильин В.В.* Лезвийные инструменты из сверхтвердых материалов. - Киев: Техніка, 1981. - 120 с.

*Поступила в редколлегию 01.07.2013*