

УДК 621.9.025

Ю.Г. Гуцаленко, Харьков, Украина

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Розглядається проблема порівняння експлуатаційних можливостей інструментальних матеріалів і ріжучих пластин з них. Прийнята до уваги розширена система критеріїв працездатності включає швидкість об'ємного знімання, стійкість, робочий шлях різання, площа обробленої поверхні, об'ємний з'їм. Запропоновано системну аналітична модель і виконаний розрахунок для надтвердих композитів на основі кубічного нітриду бору в стандартних непереточуваних ріжучих пластинах. Розрахунок виконаний у системі умов і нормативів стандартних стойкостних випробувань.*

*Рассматривается проблема сравнения эксплуатационных возможностей инструментальных материалов и режущих пластин из них. Принятая во внимание расширенная система критериев работоспособности включает скорость объемного съема, стойкость, рабочий путь резания, площадь обработанной поверхности, объемный съем. Предложена системная аналитическая модель и выполнен расчет для сверхтвердых композитов на основе кубического нитрида бора в стандартных неперетачиваемых режущих пластинах. Расчет выполнен в системе условий и нормативов стандартных стойкостных испытаний.*

*The problem of comparing the operational capabilities of the tool materials and cutting inserts of them is considered. Taken into account the extended system of working capacity criteria include the speed of volumetric removal, tool life, cutting work path, area of processed surface, volumetric removal. The systematic analytical model is proposed, and the calculation is made for the superhard composites in conventional disposable cutting inserts based on cubic boron nitride. The top level of the hierarchical model is an analytical description of the processed material volumetric removal for the tool life. The highest rating is determined by the maximum material volumetric removal. The calculations on the model established the superiority of Tomal-10 composite over others in grouping accordance with the interstate standard GOST 28762-90 that is applied in Ukraine. Calculation has been made under the conditions and norms of the standard tests for tool life. Development is based on the database of the conditions and tool life norms for tests of the superhard materials on regulations accordance with GOST 28762-90. Development carried out in the framework of the tasks of the state research project 0113U000425.*

**Введение и постановка задачи.** Преподнесенная заголовком данной статьи необходимость сравнительной оценки работоспособности режущих пластин из сверхтвердых инструментальных материалов возникает в различных задачах предпочтения. Прежде всего, разумеется, в организационно-технологической подготовке производства и превентивных расчетах его экономических показателей. Но не только. Например, при выборе базовых объектов научных исследований для формирования информационных систем поддержки внедрения в промышленность новых и перспективных технологий механической обработки [1].

Конкретным посылом к такому исследованию в данном случае послужила разработка экспертной системы прогнозирования шероховатости труднообрабатываемых материалов после алмазно-искрового шлифования как составляющей задания на выполнение в НТУ «ХПИ» в 2013-2014 гг. темы М2240 «Разработка технических решений специальной модернизации универсальных станков и технологических баз данных для алмазно-искрового шлифования труднообрабатываемых материалов» (номер государственной регистрации 0113U000425).

В рамках этой разработки, преимущественно исследующей технологические возможности метода алмазно-искрового шлифования применительно к формообразованию режущих пластин отечественного производителя, а именно алмазно-твердосплавных, известных в аббревиатурном представлении АТП (разработчик – Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины [2]), возникла необходимость обоснованного выбора некоторого базового представителя среди нитридных сверхтвердых композитов как потенциальной технологической альтернативы алмазным, наиболее очевидной в особенности в обработке сталей, химический состав которых роднит с алмазом углерод в различных аллотропах, и это родство привносит известные ограничения теплофизической природы в технологические возможности механического контакта алмаза при резании стали.

Синтетические сверхтвердые материалы на основе кубического нитрида бора, открытого в 1957 году *Робертом Венторфом* для американской многоотраслевой корпорации *Дженерал Электрик*, и в нынешнем веке продолжают оставаться топ-уровневым товаром инструментального назначения на мировом рынке техники и технологий механической обработки [3]. Межгосударственный стандарт [4] рассматривает применение семи нитридных сверхтвердых композитов: 01 (К01 – эльбор-Р), ЗАО «Завод “Композит”», Россия [5]; 02 (белбор), Институт физики твердого тела и полупроводников, Беларусь [6]; 05 (К05ИТ), ЗАО «Завод “Композит”», Россия [5]; 06, Научно-техническая фирма ООО «КНБ» (ОАО «ВНИИинструмент»), Россия [7]; 10Д (К10Д – двухслойные пластины: гексанит-Р с подложкой из безвольфрамового сплава), ЗАО «Завод “Композит”», Россия [5]; 11 (киборит), Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля, Украина [8]; Научно-техническая фирма ООО «КНБ» (ОАО «ВНИИинструмент»), Россия [7]; Томал-10 [9]. В соответствие каждой из этих инструментальных альтернатив стандартом [4] оговорена рекомендуемая область применения.

Выбор конкретной марки как базового объекта в ряду других нитридных альтернатив в связи с эксплуатационными предпочтениями нуждается в разработке соответствующей методики и аналитической модели

сравнительной оценки. В открытых источниках информации, в том числе в сети Интернет, такая постановка задачи или данные, прямо удовлетворяющие разрешению такой постановки, отсутствуют.

В выполняемой разработке, частично представленной [10], априорно постулируется приоритетность баз данных действующих в Украине государственных стандартов. В ее основу положен стандартный регламент испытаний пластин на стойкость [4].

**Стандартные основы и концепция модели.** По [4] следует (табл. 1), что в испытаниях рассматриваемых нитридорных режущих пластин «свой» норматив стойкости каждая марка должна обеспечивать с некоторой «своей» производительностью обработки, определенной строго оговоренными режимами проведения испытаний. Значения подачи  $S_0$  в табл. 1 приведены для испытаний пластин круглой формы, при работе с многогранными пластинами эти значения уменьшаются против табличных с коэффициентом пропорциональности от 0,5 (для пластин правильной трехгранной формы) до 0,75 (для квадратных пластин).

Как видно из табл. 1 и показано в [10], стандартная практика стойкостных испытаний по [4] весьма затрудняет ясный учет твердости обрабатываемого материала (стали) в построении расчетной модели функционального рейтинга рассматриваемых нитридорных композитов.

Таблица 1 – Исходные данные [4]

Условия испытаний и рассчитываемые показатели		Марка композита					
		01, 02	05	06	10Д	11	Томал-10
Твердость обрабатываемой стали, HRC <sub>3</sub>	Нижн. граница	61	52	61	57	56	50
	Верхн. граница	63	54	63	59	61	56
Процесс резания	Характер	Без удара			С ударом	Без удара	
	Скорость ( $v$ ), м/мин	75			60	110	90
	Подача ( $S_0$ ), мм/об	0,20	0,15	0,10	0,07	0,10	
	Глубина ( $t$ ), мм	0,8	2,0	0,5	0,4	0,5	1,0
Стойкость, мин	Средняя, $T_{cp}$	20	15	40	30	60	50
	95%-ная, $T_{95\%}$	8	6	16	12	24	20

Как видно из табл. 1 и показано в [10], стандартная практика стойкостных испытаний по [4] весьма затрудняет ясный учет твердости обрабатываемого материала (стали) в построении расчетной модели функционального рейтинга рассматриваемых нитридорных композитов.

К тому же, установленный [4] регламент проведения испытаний на стойкость исходит из неравных нормативов стойкости для рассматриваемых нитридборных композитов (табл. 1), поэтому информация об относительной номинальной производительности

$$k_{Qi} = Q_i / Q_{\max}, \quad (1)$$

где

$$Q = v S_o t, \quad (2)$$

недостаточна для оценки сравнительной работоспособности материалов рассматриваемых композитных пластин.

Если прибегнуть к такой оценке по относительной стойкости

$$k_{Ti} = T_i / T_{\max}, \quad (3)$$

то такая оценка в системе баз данных [4] (табл. 1) имеет аналогичный недостаток, что и оценка (1) по  $k_{Qi}$ , так как режимы проведения стойкостных испытаний по [4] (табл. 1) различны для разных композитов.

В качестве интегральных оценок сравнительной работоспособности режущих инструментов из различных материалов могут быть рассмотрены также относительные характеристики, опирающиеся на все независимые оценки ресурса инструмента в трактовке [11], а именно рабочий путь резания

$$L = v T, \quad (4)$$

площадь обработанной поверхности

$$F = v T S_o, \quad (5)$$

объемный сьем

$$W = Q \cdot T \quad (6)$$

(использование  $W$  предложено и представлено в этом же применении в [10]).

Как это видно из табл. 1, стандарт [4] устанавливает два норматива периода стойкости, 95-процентный ( $T_{95\%}$ ) и средний ( $T_{cp}$ ), которые для для каждого из композитов связывает один и тот же коэффициент пропорциональности:  $T_{95\%} / T = 0,4$ . Поэтому в расчетах относительных показателей в рамках представленного исследования выбор того или иного нормативного периода стойкости  $T$ , среднего или на 95% гарантированного пластинам в партиях, чьи представители прошли испытания (табл. 1), не влияет на конечный результат расчета.

Аналогично (1) и (3) имеем:

$$k_{Li} = L_i / L_{\max}, \quad (7)$$

$$k_{Fi} = F_i / F_{\max} , \quad (8)$$

$$k_{Wi} = W_i / W_{\max} , \quad (9)$$

или

$$k_W = k_{Q(Q-T)} \cdot k_{T(Q-T)} , \quad (10)$$

с учетом (2) и после подобно (1) и (3) введения

$$k_{Q(Q-T)i} = Q_i / Q_{(Q-T)\max} \quad (11)$$

и

$$k_{T(Q-T)i} = T_i / T_{(Q-T)\max} , \quad (12)$$

что не получило должного пояснения в [10].

В определении рейтинга работоспособности в общем случае предпочтение следует отдавать оценке по (9) или, равнозначно, (10), поскольку она учитывает большее число независимых факторов влияния, чем (7) с учетом (4) или (8) с учетом (5); см. (6) с учетом (2).

Аналитическое описание (6) объемного съема обрабатываемого материала за период стойкости инструмента, вобравшее наибольшее число учитываемых независимых факторов влияния в ряду базисных уравнений (4)-(6) предложенной системы аналитических выражений относительных оценок работоспособности (7)-(9), соответственно определяет (9) как оценку высшего уровня в иерархии (7)-(9).

**Расчет рейтинговых рядов и обсуждение полученных результатов.** В табл. 2 представлены результаты расчетов интегральных оценок  $k_L$ ,  $k_F$  и  $k_W$  сравнительной работоспособности для группировки нитридных сверхтвердых композитов по стандартным данным [4] (см. табл. 1).

Таблица 2 – Относительная работоспособность композитов

Оценочный показатель	Марка композита					
	01, 02	05	06	10Д	11	Томал-10
$k_L$	0,22	0,17	0,45	0,27	1	0,68
$k_F$	0,45	0,25	0,45	0,19	1	0,68
$k_W$	0,53	0,75	0,33	0,11	0,73	1

Как следует из табл. 2, киборит и Томал-10 получили верхние позиции по всем относительным характеристикам, опирающимся на независимые оценки ресурса инструмента по [11], и при этом заметно выделяются по уровню оценок на фоне остальных композитов: по данным табл. 2 средняя их относительных оценок  $k_L$ ,  $k_F$  и  $k_W$  (0,85) значительно превосходит среднюю оценок остальной четверки композитов (0,40), регламент стойкостных испытаний которых по [4] также исходит из безударного характера работы

(см. табл. 1). При этом средняя  $k_L$ ,  $k_F$  и  $k_W$  каждого композита из этой четверки пребывает в весьма узком интервале значений, от 0,39 до 0,41.

Визуализация полученных расчетных данных об относительных оценках  $k_L$ ,  $k_F$  и  $k_W$  в рейтинговой линейке по  $k_W$ , в выполняемом исследовании априори определенной иерархически предпочтительной, приведена на рис.

Полученный рейтинговый ряд из семи рассмотренных нитридных сверхтвердых композитов представляет следующую последовательность (рис. 1, в; в порядке убывания расчетных значений рейтинговой оценки): 1) композит Томал-10 (1); 2) композит 05 (0,75); 3) композит 11 (0,73); 4-5) композиты 01 и 02 (0,53); 6) композит 06 (0,33); 7) композит 10Д (0,11).

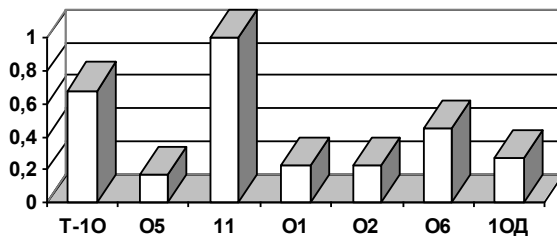
Объективность обращения к критериальным оценкам (7)-(9) в рассматриваемой и подобных задачах возрастает с унификацией критерия и допустимой величины износа для пластин из разных материалов. Регламент [4] таким унифицированным критерием во всех испытаниях определяет износ пластин по задней поверхности. Допустимая величина износа по задней поверхности ( $h_3$ ) в стойкостных испытаниях определяется [4] равной,  $h_3 = 0,4$  мм, вне зависимости от марки композита, угла при вершине пластины и предназначения для работы в автоматических линиях, станках с ЧПУ и ГПС, как это имеет место в регламентировании [4] контроля пластин после испытания их режущих свойств.

Помимо полученной высшей интегральной рейтинговой оценки  $k_W$  (рис. 1, в), в пользу композита Томал-10 свидетельствует также его универсальность в применениях, подтверждаемая рекомендательной практикой использования и стандартной практикой проверки режущих свойств этого композита соответственно его организацией-разработчиком [9] и министерством-разработчиком [4].

Основным назначением пластин из композита Томал-10 согласно [9] является оснащение токарных проходных, подрезных, расточных и специальных резцов, а также торцовых фрез, применяемых при обработке закаленных сталей и чугунов, в т. ч. для прерывистого точения „по корке“, включая отбеленные чугуны. С другой стороны, установленным [4] регламентом проведения испытаний на режущие свойства пластинам из композита Томал-10 определен режим наименьшей глубины резания (0,1 мм), т. е. чистовой обработки, тогда как остальным – в 2-5 раз больший.

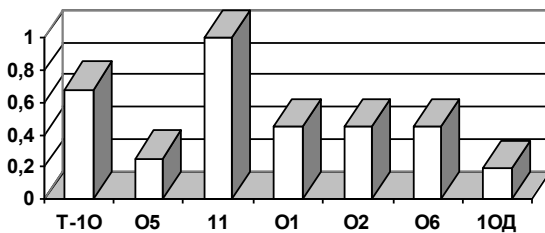
Максимальный съем обрабатываемого материала за время рабочей жизни режущей пластины из сверхтвердого материала как рейтинговый критерий – это одновременно и минимизация затрат в расчете на объемную единицу снимаемого припуска при формообразовании изделий из труднообрабатываемых материалов, максимальное использование уникальных режущих свойств сверхтвердых материалов, инструментальных композитов и режущих пластин на их основе.

$k_L$



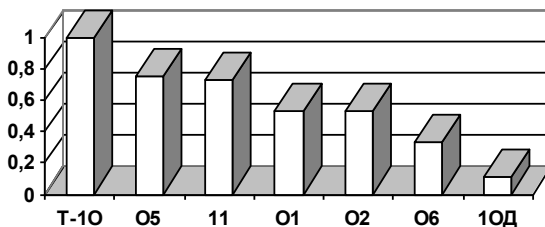
*a*

$k_F$



*б*

$k_W$



*в*

*Идентификатором T-10 обозначен композит Томал-10*

Рисунок – Относительные показатели работоспособности сверхтвёрдых композитов на основе кубического нитрида бора по производительности ( $k_Q$ ), стойкости ( $k_T$ ), пути резания ( $k_L$ ), площади обработанной поверхности ( $k_F$ ) и объёмному съёму ( $k_W$ ) в рейтинговой линейке относительного объёмного съёма

**Выводы.** 1. Предложена опирающаяся на стандартную методику стойкостных испытаний режущих пластин из сверхтвердых материалов система аналитических моделей рейтинговой оценки работоспособности лезвийных инструментов. 2. Разработка реализована на примере группы композитов из нитридных сверхтвердых материалов (композиты 01, 02, 05, 06, 10Д, 11, Томал-10) с использованием баз данных режимов резания и нормативов их стойкостных испытаний по действующему в Украине межгосударственному стандарту. 3. В результате расчетов по модели в наиболее значимой рейтинговой оценке (по объемному съему) предпочтение первого порядка в исследовательской и последующей промышленной практике заслуживает композит Томал-10. Стабильно высокими результатами среди других сверхтвердых композитов на основе кубического нитрида бора выделяется также композит 11 (киборит), имеющий третью позицию в приоритетном рейтинге по объемному съему и первые позиции в других основных рейтингах – по рабочему пути резания и площади обработанной поверхности. 4. Представленный подход к рейтинговой оценке работоспособности рабочей части лезвийных инструментов, реализованный применительно к сменным режущим пластинам из нитридных сверхтвердых композитов, может использоваться и применительно к другим группировкам в иерархии инструментальных материалов, в том числе используемым в виде перетачиваемых режущих пластин, поскольку разработанная модель является открытой для дальнейшего совершенствования и имеет перспективу развития на своей собственной основе как в направлении создания аналитического продукта повышенного уровня обобщения, так и в направлении разработки частных аналитических решений.

**Список использованных источников:** 1. *Гуцаленко, Ю. Г.* Исторический опыт и современные перспективы алмазно-искрового шлифования / *Ю. Г. Гуцаленко* // Техника и технологии : пути инновационного развития : Сб. науч. тр. 4-ой междунар. науч.-практ. конф. 30 июня 2014 г., посвящ. 50-летию Юго-Зап. гос. ун-та, г. Курск, Россия. – Курск : Юго-Зап. гос. ун-т, 2014. – С. 264–270. 2. Пластины алмазно-твердосплавные для режущего инструмента. Технические условия : ТУ 88 Украины 90.1244-91. – Киев : ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 1991. – 21 с. 3. Инструменты из сверхтвердых материалов : [Справочник] / Под. ред. *Н. В. Новикова* и *С. А. Клименко*. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с. 4. Пластины режущие сменные из сверхтвердых материалов. Технические условия : ГОСТ 28762-90 [Межгос. стандарт]. Введ. 1991-07-01. – Переизд. – М. : Стандартинформ, 2005. – 25 с. 5. ЗАО «Завод “Композит”»: [Официальный сайт; Санкт-Петербург, Россия]. – Режим доступа : <http://www.kompozit.spb.ru>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 6. Институт физики твердого тела и полупроводников НАН РБ : [Официальный сайт; Минск, Беларусь]. – Режим доступа : <http://www.iftp.bas-net.by>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 7. Научно-техническая фирма ООО «КНБ» : [Официальный сайт; Москва, Россия]. – Режим доступа : <http://www.knb.su>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 8. Научно-технологический алмазный концерн “АЛКОН” : [Официальный сайт; Киев, Украина]. – Режим доступа : <http://www.alcon.com.ua>. – Дата обращения : 29 августа 2014. 9. ОАО «Московское производственное объединение по выпуску



алмазного інструмента» : [Официальный сайт ; пгт Томилино, Люберецкий район, Московская область, Россия]. – Режим доступа : <http://www.tomaltools.ru>. – Дата обращения : 29 августа 2014.

**10.** Гуцаленко, Ю. Г. Аналитическая модель и расчет рейтинговой оценки нитридных сверхтвердых композитов / Ю. Г. Гуцаленко // Вісн. Нац. техн. ун-ту "Харк. політехн. ін-т" : 36. наук. пр. Темат. вип. : Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 42. – С. 192–196.

**11.** Грановский, Г. И. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М. : Высш. шк., 1985. – 304 с.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Gutsalenko, Yu. G. "Istoricheskij opyt i sovremennye perspektivyalmazno-iskrovogo shlifovanija" *Tehnika i tehnologii: puti innovacionnogo razvitiya*. Proceedings. The 4th scientific-practical conference dedicated to the 50th anniversary of the Southwest State University. June 30, 2014. Kursk, Russia. 264–270. Print. **2.** *Plastiny almazno-tverdospлавnye dlja rezhushhego instrumenta. Tehnicheskie uslovija*. TU 88 Ukraine 90.1244-91. V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kiev, Ukraine, 1991, 21 p. **3.** Bogatyreva, G. P., et. al. *Instrumenty iz sverhtverdyh materialov*. Ed. N. V. Novikov and S. A. Klimenko. 2nd ed. Biblioteka instrumental'shhika. Moskva, Mashinostroenie, 2014, 608 p. Print. **4.** *Plastiny rezhushhie smennye iz sverhtverdyh materialov. Tehnicheskie uslovija*. GOST 28762-90. Moskva, Standartinform, 2005, 25 p. Reprint. **5.** *Zakrytoe akcionernoe obshhestvo Zavod Kompozit*. Zavod Kompozit, Closed Joint Stock Company, Sankt-Peterburg, Russia. 2014. Web. August 30, 2014. <<http://www.kompozit.spb.ru>>. **6.** *Nacional'naja akademija nauk Belarusi. Institut fiziki tverdogo tela i poluprovodnikov*. Joint Institute for Solid State Physics and Semiconductors, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus', 2014. Web. August 30, 2014. <<http://www.ifftp.bas-net.by>>. **7.** *Nauchno-tehnicheskaja firma OOO KNB*. KNB, Co.Ltd, Moskva, Russia. Web. August 30, 2014. <<http://www.knb.su>>. **8.** "ALKON diamond concern". V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kiev, Ukraine. Web. August 30, 2014. <<http://www.alcon.com.ua>>. **9.** *Joint Stock Company – Moscow Industrial Union for Diamond Tools Production*. Moscow Industrial Union for Diamond Tools Production, Joint Stock Company, Tomilino, Ljubersky area, Moscow Region, Russia. Web. August 30, 2014. <<http://www.tomaltools.ru>>. **10.** Gutsalenko, Yu. G. "Analiticheskaja model' i raschet rejtingovoj ocenki nitridbornyh sverhtverdyh kompozitov". *Visnyk NTU "KhPI"*. No. 42. 2014. 192–196. Print. **11.** Granovskij, G. I., and V. G. Granovskij. *Rezanie metallov*. Moscow, Vysshaja shkola, 1985. Print.

*Поступила в редколлегию 30.10.2014*