

УДК 621.762

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СВОБОДНОГО РЕЗАНИЯ

В.В. Дуреев, Б.Б. Овечкин\*, А.Г. Мельников\*\*

Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ, г. Юрга

\*Томский политехнический университет

\*\*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

E-mail: wad2000@mail.ru

*Спроектирована композиционная режущая пластина, имеющая вставку из твердого сплава со сложной криволинейной поверхностью, приближенной к профилю нулевой линий напряжений. Это позволяет до 70 % сократить использование дорогостоящего инструментального материала без ухудшения эксплуатационных характеристик.*

### Ключевые слова:

Металлорежущий инструмент, композиционные материалы, сменные многогранные пластины.

Инструменты со сменными многогранными пластинами (СМП) составляют значительную долю режущих инструментов в традиционном и автоматизированном производстве. Данные пластины используются практически на всех видах металлорежущих инструментов (резцы, фрезы, сверла и т. д.). По укрупненным расчетам в российском машиностроении инструменты с СМП снимают до 50 % стружки, а в мировом машиностроении этот процент значительно больше. В структуре затрат на эксплуатацию этих инструментов от 70 до 90 % составляет стоимость СМП. Известно, что цельная твердосплавная изношенная СМП теряет в объеме (по сравнению с неизношенной пластиной) лишь 2...4 %. Таким образом, в отходы идет огромное количество твердого сплава, состоящего из редких и дорогостоящих материалов. Конечно, изношенные пластины идут в переработку, но это достаточно сложный и дорогостоящий процесс, а в странах СНГ процесс принятия и переработки изношенного инструмента пока еще налажен плохо.

На основании литературного и патентного поиска было выявлено, что практически всеми ведущими мировыми фирмами, производящими металлорежущий инструмент, выпускается и разрабатывается большое число новых композиционных инструментальных материалов. Подавляющее большинство таких материалов разрабатывается на основе кубического нитрида бора или искусственного алмаза, а конструкции на основе твердого сплава встречаются значительно реже [1].

Предлагается с целью экономии твердого сплава изготавливать СМП не целиком, а делать небольшую вставку из твердого сплава, а подложку пластины изготавливать из более дешевого материала. Одно из ограничений, которое необходимо учитывать при изготовлении таких режущих пластин — это возможное появление в композите термических трещин на границах раздела двух материалов из-за значительной разницы между коэффициентами термического линейного расширения  $\alpha_t$  [2], приводящих к появлению высоких остаточных напряжений.

Для определения прочности спроектированной композиционной пластины ее конструкция рассчитывалась по методике проф. С.И. Петрушина [3] на трещиностойкость [4], производился расчет напряжено-деформированного состояния с помощью метода конечных элементов. Расчет пластин с различными геометрическими параметрами производился как для цельных пластин, так и для пластин с прямоугольной вставкой для случая свободного резания.

Однако при расчете напряжено-деформированного состояния выяснилось, что прямоугольная форма вставки сильно увеличивает напряжения сжатия и растяжения, что может привести к разрушению режущего инструмента в процессе резания. В результате была предложена твердосплавная вставка со сложной криволинейной поверхностью, приближенной к профилю нулевой линии напряжений [5] (рис. 1). В итоге характер нагружения остался прежним, но величины напряжений на режущую пластину заметно уменьшились. Это дает основания предполагать, что прочность пластины увеличится при неизменных режущих свойствах инструмента. При изменении значений прикладываемых сил резания характер распределения нагрузки не изменяется [6], изменяются только численные значения этой нагрузки.



Рис. 1. Профиль нулевой линии напряжений

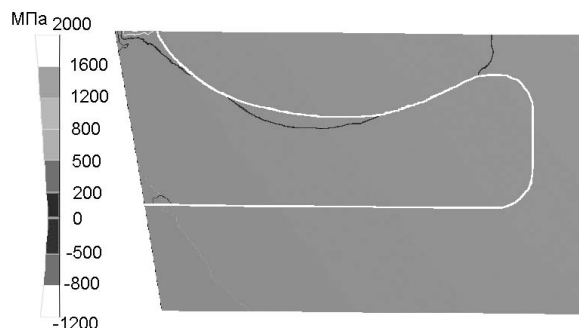
В таблице наглядно видно, что прямоугольная вставка значительно повышает напряжения растяжения  $\sigma_{\text{в}}$  и сжатия  $\sigma_{\text{сж}}$ . Вставка предлагаемой фи-

гурной формы снижает как напряжения сжатия, так и напряжения растяжения по сравнению с прямоугольной вставкой.

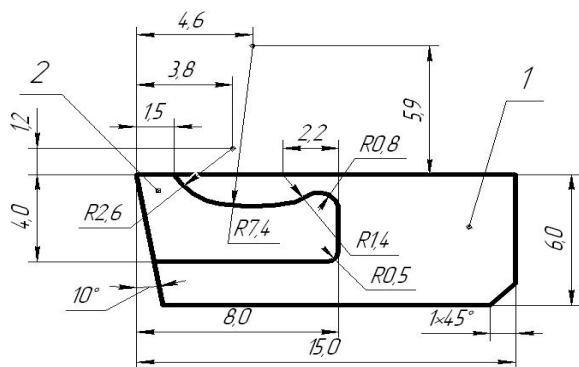
**Таблица.** Растягивающие и сжимающие напряжения пластин при переднем угле резания  $\gamma=0^\circ$ , заднем угле  $\alpha=7^\circ$ , МПа

| Вид пластин              | Напряжения |               |
|--------------------------|------------|---------------|
|                          | $\sigma_s$ | $\sigma_{сж}$ |
| Цельная                  | 277,49     | 683,08        |
| С прямоугольной вставкой | 781,09     | 1024,30       |
| С фигурной вставкой      | 512,00     | 775,80        |

При проектировании вставки по нулевой линии напряжений в статическом состоянии с нагружением пластины в процессе резания возникает смещение данной нулевой линии, что приводит к несовпадению построенной формы вставки с положением нулевой линии (рис. 2). Для приведения в соответствие положения нулевой линии напряжений и формы вставки производим перестроение формы вставки по новому положению нулевой линии и несколькими итерациями добиваемся наиболее полного совпадения. В результате форма спроектированной вставки из твердого сплава совпадает с положением нулевой линии напряжений в процессе резания пластины. Используя данную форму инструментальной вставки, была спроектирована композиционная режущая пластина с уменьшенным содержанием твердого сплава [7] (рис. 3).



**Рис. 2.** Смещение нулевой линии



**Рис. 3.** Чертеж композиционной пластины для свободного резания: 1) основание пластины, 2) инструментальная вставка

Технология изготовления разработанной композиционной режущей пластины несколько усложняется за счет добавления дополнительных технологических операций. Твердосплавная вставка изготавливается по стандартному технологическому процессу изготовления твердосплавного режущего инструмента. Изготовленную вставку помещают в пресс-форму, заполняют ее материалом основания, прессуют и спекают при режимах спекания материала основания. Далее продолжается стандартный технологический процесс изготовления твердосплавного режущего инструмента: шлифование, нанесение покрытий.

Для исследования структуры и свойств спеченного композиционного материала на основе железа была выбрана композиция, состоящая из 96 % Fe, 1,5 % графита и 2,5 % меди. Размер частиц основной фазы (Fe) составлял не более 80 мкм. Для обеспечения необходимого гранулометрического состава, порошок железа подвергали измельчению в виброинерционной конусной мельнице-дробилке ВКМД-6. Ситовый анализ проводили на анализаторе А-20 для сухого отсева в периодическом режиме сыпучих материалов на ряд классов по крупности частиц. Размер ячеек сеток, применяемых в ситах, 0,112...2,5 мм. Вследствие развитой поверхности частиц порошка они, в процессе транспортировки и хранения, могут адсорбировать на поверхности значительное количество кислорода и влаги.

Для удаления окислов и загрязнений проводили восстановительный отжиг в вакуумной печи типа СНВЭ-1,3.1/16-И4 при температуре 800 °С и давлении не ниже 1...3 Па в течение 1 ч. Смешивание осуществляли в смесителе турбулентном С 2.0 типа «пьяная бочка»: объем чаши 2,6 дм³, скорость вращения 20 об/мин, время обработки 4 ч. Прессование проводили на гидравлическом прессе марки Р40 при давлениях  $P=400, 600, 800$  МПа в цилиндрической пресс-форме методом одноосного двухстороннего прессования. Спекание прессовок и композиционных материалов (с твердосплавными пластинами) – в колпаковой вакуумной печи сопротивления СГВ-1,3.1/15 при температурах спекания  $t_{сп}=1100...1200$  °С и давлении не ниже 1...3 Па. Время выдержки  $\tau$  варьировалось в пределах 1, 2 и 4 ч.

Для определения усадки ( $\Delta L$ ), плотности и пористости ( $\Pi$ ), прессовки и спеченные заготовки обмеряли микрометром и взвешивали на аналитических весах типа WA-33 с точностью до пятого знака после запятой. Расчет вели по формулам:

$$L = \frac{(l_n - l_k)}{l_n} 100 \%,$$

$$\Pi = \frac{\rho_{обр}}{\rho_{комп}} 100 \%,$$

где  $l_n$  и  $l_k$  – геометрический размер начальный и после спекания,  $\rho_{обр}$  – плотность образца,  $\rho_{комп}$  – плотность компактного образца из такого же материала.

Металлографический анализ полированных (установка типа «Neris») и травленных (травитель: 3 %-й раствор азотной кислоты в этиловом спирте) образцов проводили на металлографическом микроскопе Neophot 21 и растровом электронном микроскопе РЭМ-200 при увеличении от 400 до 2000 раз. Твердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3. Испытания образцов на сжатие проводили на испытательной машине Schenk Sinus 100.

Для изучения влияния давления прессования, температуры и времени спекания на структуру и свойства спеченной композиции изготовили образцы при следующих условиях:

- давление прессования 400...800 МПа,
- температура спекания 1100...1200 °С,
- время выдержки при спекании 1, 2 и 4 ч.

Прессовки были изготовлены из материала, подвергнутому предварительному восстановительному отжигу при температуре 800 °С в течение 1 ч., что позволило повысить скорость нагрева до 6...10 град/мин. После выдержки производили охлаждение печи до 500 °С с той же скоростью. Затем нагреватели отключали и для избегания окисления поверхности заготовок охлаждали образцы вместе с печью.

На рис. 5 показаны зависимости относительной плотности (кривая 1) и пористости (кривая 2) спеченного материала от температуры спекания (давление прессования 600 МПа, время выдержки при спекании 2 ч.).

Видно, что с увеличением температуры спекания пористость падает, а относительная плотность возрастает, и достигают значения порядка 20 и 80 % соответственно при температуре спекания 1150 °С. Дальнейшее повышение температуры спекания (1200 °С) не приводит к существенному повышению плотности. Распределение пор в объеме материала равномерное, размер пор порядка 200 мкм (рис. 6).

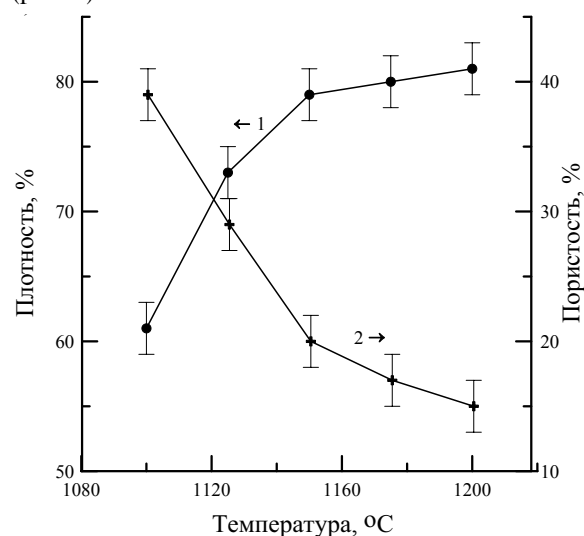


Рис. 5. Зависимость относительной плотности (1) и пористости (2) от температуры спекания

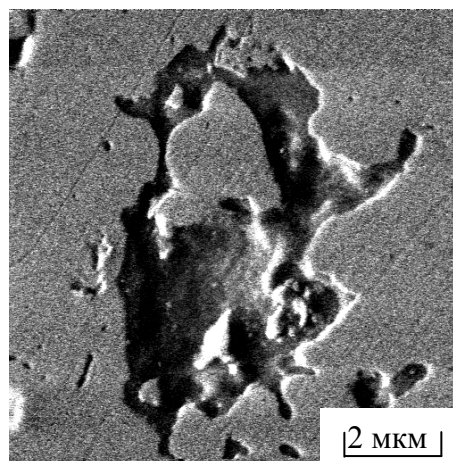


Рис. 6. Морфология пор ( $t_{\text{сп}}=1150$  °С,  $P=600$  МПа,  $\tau=2$  ч.)

Металлографический анализ показал (рис. 7), что увеличение температуры спекания приводит к существенному росту зерна.

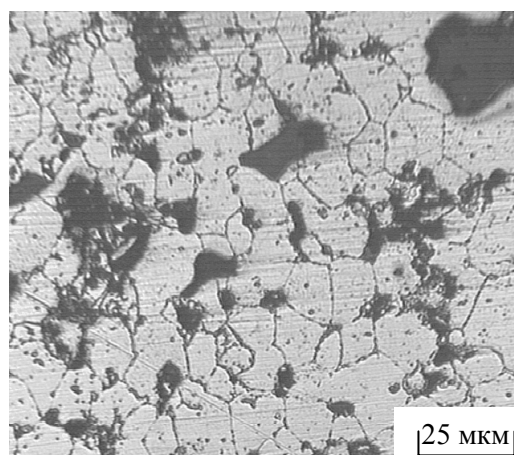
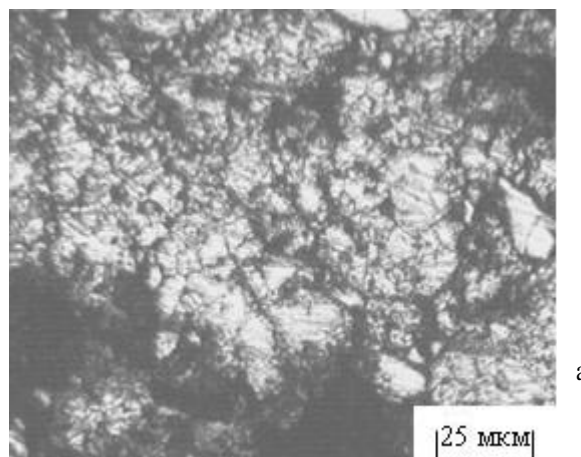


Рис. 7. Спеченные образцы при температуре: а) 1150 °С, б) 1200 °С

При 1100 °С средняя величина зерна не доходила до 10 мкм, а при температуре спекания 1200 °С размер зерна уже превышал 45 мкм. Зависимость среднего размера зерна от температуры спекания представлена на рис. 8.

Время выдержки при спекании оказывает не столь существенное влияние как температура, и оптимальным значением является 1,5...2 ч. Значительно в большей степени на пористость влияет давление прессования. На рис. 9 представлена зависимость пористости от давления прессования (температура спекания 1150 °С, время выдержки при спекании 2 ч.).

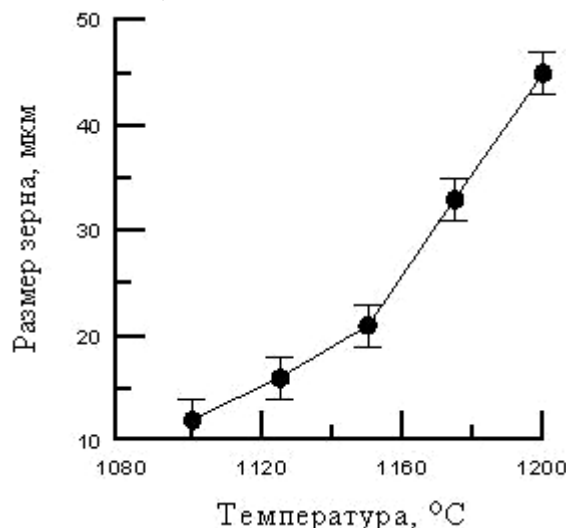


Рис. 8. Зависимость среднего размера зерна от температуры спекания

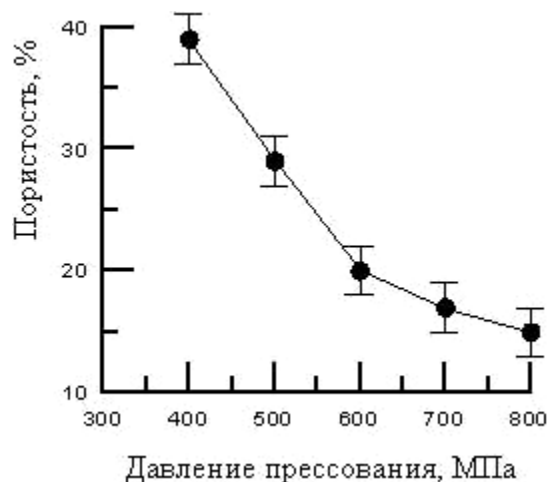


Рис. 9. Зависимость пористости от давления прессования

Зависимость пористости от давления прессования имеет экспоненциальную зависимость. С увеличением давления пористость уменьшается, однако достичь нулевой пористости не предоставляется возможным. Это вполне соответствует известным литературным источникам [8], объясняющим теорию прессования порошков.

Измерение микротвердости показало (рис. 10), что она меняется в исследуемом диапазоне температур спекания незначительно: при температуре спекания 1100 и 1150 °С имеет значение около 180 НВ; при повышении температуры до 1200 °С несколько снижается. Видимо, при более высокой

температуре спекания снижение твердости может быть обусловлено ростом зерна и разупрочнением материала вследствие снижения дефектности материала. Повышение температуры спекания приводит не только к рекристаллизации, но и к снижению концентрации точечных дефектов и плотности дислокаций.

Были получены графики зависимости напряжения от деформации. Обобщение зависимостей 0,2 и 22,5 %  $\sigma_{вр}$  (где  $\sigma_{вр}$  – временное напряжение сжатия) от температуры спекания, времени выдержки и давления прессования показывает, что  $\sigma_{вр}$  не зависит от времени выдержки и усилия прессования. Только на графике зависимости от температуры видно сильное понижение  $\sigma_{вр}$  при 1100 °С (рис. 11). Причиной этого может быть «недопек» (слабое межчастичное взаимодействие при высокой пористости). При других температурах  $\sigma_{вр}$  в пределах ошибки измерения остается практически постоянным.

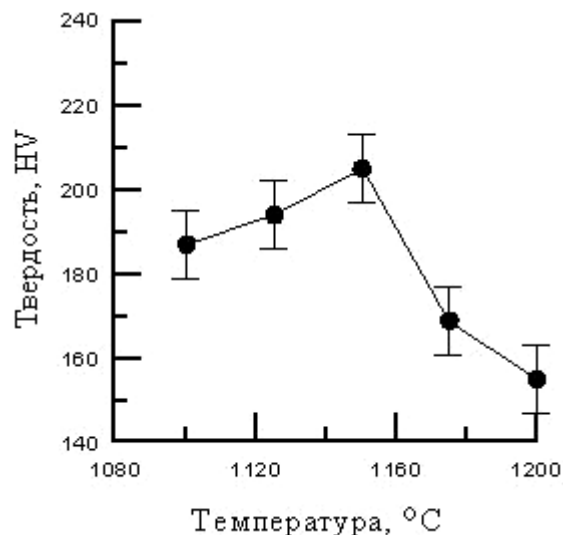


Рис. 10. Зависимость микротвердости от температуры спекания ( $P=600$  МПа,  $\tau=2$  ч.)

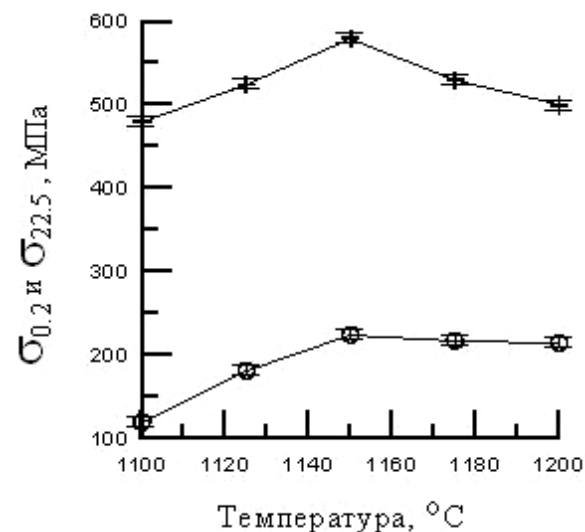


Рис. 11. Зависимость напряжений 0,2 (нижняя кривая) и 22,5 %  $\sigma_{вр}$  (верхняя кривая) от температуры спекания ( $P=600$  МПа,  $\tau=2$  ч.)

Таким образом, установлено, что существенное влияние на структуру и свойства спеченного материала оказывают давление прессования, температура спекания и, в меньшей мере, время выдержки при спекании. Эти данные хорошо согласуются с теорией твердофазного спекания. Полученные результаты позволяют рекомендовать для получения композиционного материала на основе железа оптимальные параметры изготовления: давление прессования 500...700 МПа, температура спекания 1150 °С, время выдержки 1,5...2 ч.

Для устранения усадочной несплошности и лучшего взаимодействия компонентов было предложено после размещения твердосплавной пластины в пресс-форме дополнительно нанести на пластину небольшое количество медного порошка. Затем засыпалась основная навеска порошка и проводилось прессование. После спекания видимых дефектов в местах соединения твердого сплава с основным материалом на полученных образцах не выявлено. Внешний вид образцов приведен на рис. 12. Очевидно, дополнительное введение медного порошка улучшило смачивание и за счет инфильтрации увеличило плотность спеченного композита.

В результате спроектирована композиционная режущая пластина со вставкой из твердого сплава, имеющая сложную криволинейную поверхность, приближенную к профилю нулевой линии напря-

жений. Это позволяет сократить использование дорогостоящего инструментального материала без ухудшения эксплуатационных характеристик режущего инструмента. Инструментальная вставка предложенной формы позволяет уменьшить внутренние напряжения, возникающие при резании. Вставка геометрически крепится в пластине, снижая риск отделения вставки от пластины во время работы.

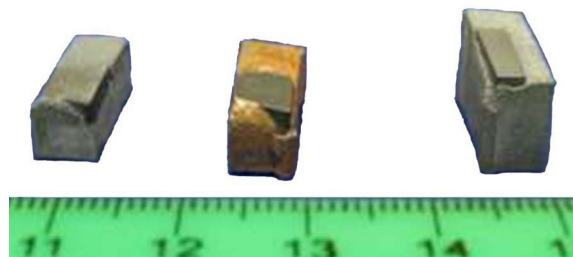


Рис. 12. Внешний вид спеченных образцов

Используя данную методику можно проектировать и изготавливать композиционные режущие пластины для свободного резания из разнообразных инструментальных материалов. Кроме того, вставку из инструментальных материалов можно вырезать из изношенных режущих пластин, что позволит повторно использовать отработанные режущие пластины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дуреев В.В., Ретюнский О.Ю. Композиционные сменные многогранные пластины (СМП) // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Матер. III Всеросс. научно-практ. конф. – Бийск, 2003. – С. 90–94.
2. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
3. Петрушин С.И. Теоретические основы оптимизации режущей части лезвийных инструментов. Дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01. – Юрга, 1998. – 362 с.
4. Дуреев В.В., Алферова Е.А. Методика проверки отсутствия трещин при спекании двухслойных режущих пластин // Современные техника и технологии: Труды XI Междунар. научно-практ. конф. молодых ученых. – Томск, 2005. – Т. 1. – С. 248–249.
5. Дуреев В.В. Определение формы вставки в композиционной режущей пластине // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании – 2006: Сб. научных трудов Междунар. научно-технич. конф. Т. 2. Технические науки. – Одесса, 2006. – С. 67–69.
6. Артамонов Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – 192 с.
7. Пат. на ПМ 73252 РФ. МПК<sup>7</sup> В23В 27/16. Композиционная режущая пластина / В.В. Дуреев. Заявлено 20.03.2007; Опубл. 20.05.2008, Бюл. № 14. – 4 с.: ил.
8. Анцифиров В.Н., Бобров Г.В., Дружинин Л.К. и др. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.

Поступила 08.09.2008 г.