

УДК 621.9.025

## СПОСОБ БАЗИРОВАНИЯ СМЕННЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН В КОРПУСАХ СБОРНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

<sup>1</sup>Пиженков Е.Н., <sup>1,2</sup>Березин И.М.

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,  
Екатеринбург, e-mail: e.n.pizhenkov@urfu.ru;

<sup>2</sup>Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, e-mail: berezin@imach.uran.ru

Предложен новый способ базирования сменных твердосплавных пластин в корпусах сборного режущего инструмента, позволяющий исключить применение подкладных пластин и многократно восстанавливать базовые поверхности гнезд в случае аварийных поломок инструмента. Конструкция гнезда крепления сменных твердосплавных пластин представляет собой сквозной паз с дополнительным фиксатором в виде пластины или пальца особой формы. Представлена методика испытаний надежности крепления сменных твердосплавных пластин в условиях экстремальных режимов использования сборного режущего инструмента. Испытания проводились тремя способами: циклической нагрузкой, ударной нагрузкой, максимальной глубиной резания. Приведено сравнение стоимости технологии обработки сквозного и глухого паза. Установлено, что предлагаемая конструкция является более экономичной, позволяет применять универсальное оборудование и изготавливать производительный инструмент в условиях инструментальной мастерской.

**Ключевые слова:** сменные твердосплавные пластины, сборный режущий инструмент, резец, базирование, гнездо для крепления

## METHOD OF BASING THE CHANGEABLE CARBIDE-TIPPED PLATES IN THE BODY OF THE PRECAST CUTTING TOOL

<sup>1</sup>Pizhenkov E.N., <sup>1,2</sup>Berezin I.M.

<sup>1</sup>Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Ural Federal University  
named after first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, e-mail: e.n.pizhenkov@urfu.ru;

<sup>2</sup>Institute of Engineering Science, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg,  
e-mail: berezin@imach.uran.ru

We propose a new method for basing the changeable carbide-tipped plates in the body of the precast cutting tool that allow excluding the application of background plates and multiple recovering of basic surfaces in mounting sockets in case of accidental tool breakage. The carbide-tipped plates mounting socket is designed as a through groove with additional plate-shaped detent or special-shape finger. A testing technique for the changeable carbide-tipped plates mounting reliability in extreme operation conditions of precast cutting tool is present. Three testing methods are used: with cyclic load, shock load and maximum depth of cut. We show the comparison of the costs of through groove and closed slot machining. It is ascertained that the proposed design is more cost-saving and allows application of multi-purpose equipment and manufacture high-performance tools in the conditions of a tool workshop.

**Keywords:** changeable carbide-tipped plates, precast cutting tool, turning cutter, basing, socket for mounting

На сегодняшний день сборный режущий инструмент со сменными твердосплавными пластинами (СТП) в значительной степени вытеснил напайной инструмент, что поставило перед конструкторами и технологами серьезную техническую задачу – разработать надежный способ базирования СТП в корпусах сборного режущего инструмента. Появление новых конструкций пластин с повышенными требованиями к надежности, точности крепления, качеству теплопередачи и охлаждения усложняет технологию обработки гнезд для их установки и негативно влияет на стоимость всего сборного инструмента. По нашим подсчетам трудоемкость изготовления гнезда (или гнезд) составляет до 50% от общей трудоемкости изготовления корпуса державки. В настоящее время гнезда обрабаты-

ваются фрезерованием концевыми фрезами на пятикоординатных обрабатывающих центрах. Чистовая обработка гнезд производится после термообработки при твердости корпуса 40–45 HRC. Как видно, процесс дорогостоящий, а твердость не очень высока. Указанные проблемы усугубляются в случае изготовления сложных модульных фрез, когда необходимо обработать несколько десятков таких гнезд под разными углами в пространстве. В связи с этим авторами была сформулирована цель – разработать способ базирования сменных твердосплавных пластин, позволяющий повысить технологичность изготовления сборного режущего инструмента, исключить применение подкладных пластин и обеспечить возможность восстановления базовых поверхностей гнезд после аварийных поломок.

### Существующие схемы базирования СТП

Большинство СТП представляют собой многогранники, которые при установке в гнездо необходимо лишать всех шести степеней свободы. Большинство пластин имеют одну или две плоскости, которые принимают за основную базу, лишаящую трех степеней свободы. Эти плоскости как правило, воспринимают основную часть нагрузки от резания, при этом сила резания равна [1]:

$$F_{рез} = 10 \cdot C \cdot t \cdot S \cdot v \cdot K,$$

где  $C$  – эмпирический коэффициент,  $t$  – глубина резания,  $S$  – подача,  $v$  – скорость резания,  $K$  – поправочный коэффициент, учитывающий условия резания  $x, y, n$  – показатели степеней влияния параметров  $t, S, v$  на силу резания.

При точении стали 45 с глубиной резания 5 мм и подачей 0,5 мм сила резания составляет порядка 4 кН и направлена не

в центр опорной плоскости, а в ее край [2] (рис. 1, а).

Кроме силы резания на пластину действует сила  $F$ , создаваемая прижимным винтом. При нормативном моменте затяжки винта 3,5 Нм [3] величина  $F$  составляет 3,5 кН. Реакция  $R$  опорной плоскости составляет 7,5 кН, из уравнения равновесия плечо приложения реакции  $l = 10,5$  мм. Ситуация усугубляется тем, что современные двухсторонние пластины для черновой обработки имеют опорную поверхность не в виде сплошной плоскости, а в виде сложной контактной поверхности с еще меньшей площадью (рис. 1, б).

Напряжения на контактной поверхности можно выразить как

$$\sigma = \frac{l \cdot R}{J_y / R_{max}}$$

Здесь  $J_y$  – осевой момент инерции контактной поверхности;  $R_{max}$  – радиус инерции.

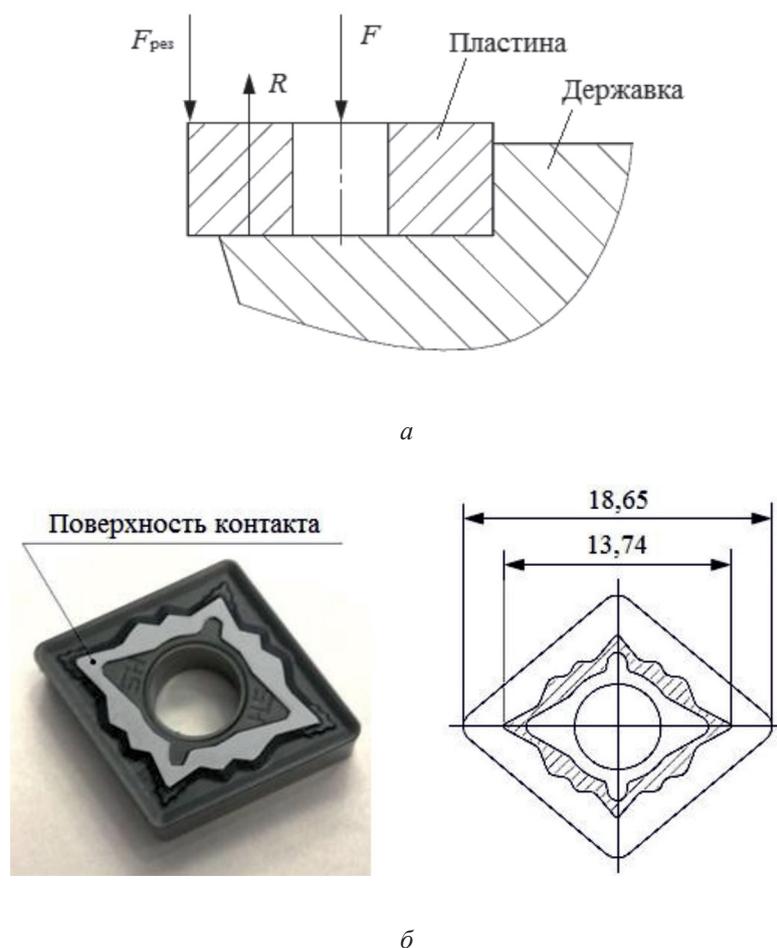


Рис. 1. Расчетная схема (а) и общий вид сменной твердосплавной пластины (б)

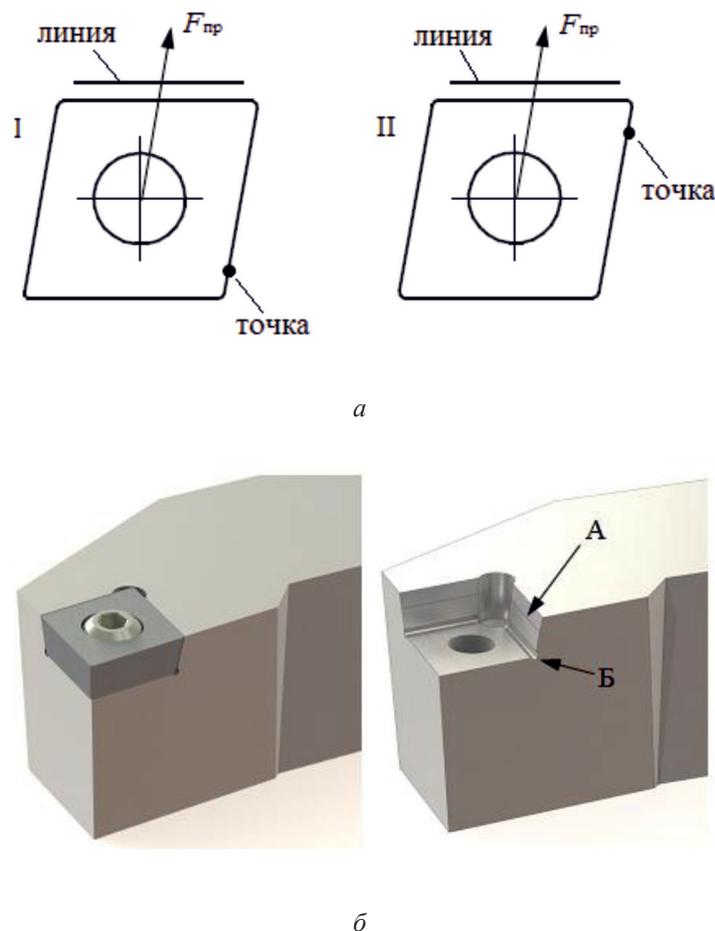


Рис. 2. Схема базирования пластины в гнезде реза (а) и общий вид сборного режущего инструмента (б)

Для данной контактной поверхности  $J_y = 1670 \text{ мм}^4$ ,  $R_{\text{max}} = 13,74 \text{ мм}$ . Отсюда  $\sigma = 646,2 \text{ МПа}$ . Для сравнения напряжение смятия для сталей типа 40Х закаленных до твердости 40–45 HRC составляет примерно 650–700 МПа. Следовательно, применение таких сталей для изготовления державок недопустимо. Большинство производителей применяют в качестве опорной плоскости подкладочные пластины из материала, близкого по твердости к материалу пластины – твердого сплава. Подкладочная пластина позволяет защитить корпус инструмента при аварийных ситуациях: поломка пластины, резкое врезание в заготовку, сбой программы и т.д. Однако существуют ограничения на применение подкладочных пластин, например, в расточных резах, или концевых фрезах, из-за ограниченных габаритов корпуса. В этих случаях державку необходимо изготавливать из сталей типа ХВГ закаленных до твердости 60–65 HRC, напряжение смятия которых составляет 1100 МПа, то есть значительно больше,

чем рассчитанные выше контактные напряжения. Далее, пластину необходимо лишить еще трёх степеней свободы. Для этого у гнезда есть еще как минимум две поверхности, к которым пластина должна прижиматься своими гранями. Эти две грани расположены под определенным углом. Для идеального прилегания необходимо, чтобы этот угол был одинаковым на гнезде и пластине. Однако прилегание пластины к гнезду по боковым граням будет в лучшем случае происходить по линии к одной грани и по точке к другой, в зависимости от того, как мы прижмем пластину [4] (рис. 2, а).

Проблема прилегания к боковым граням особо остро стоит в инструментах, у которых изменяется направление подачи, например переход с обточки диаметра на подрезку торца. При этом режущие кромки меняются местами, основная становится вспомогательной и наоборот. Меняет направление и горизонтальная составляющая силы резания. В одном случае она будет совпадать по направлению с силой при-

жима, а в другом нет, что может привести к отрыву пластины от боковой базы. Сдвиг пластины в гнезде является аварийной ситуацией, приводит к поломке пластины и к браку обрабатываемой детали. В варианте I угол гнезда меньше угла пластины, а в варианте II больше. Вариант I предпочтительнее, так как создает большее плечо силы реакции при появлении составляющей силы резания, стремящейся оторвать пластину от боковины с линейным прилеганием. Еще одной важной проблемой является положение зоны прилегания боковых граней и паза в сечении перпендикулярном основной плоскости. Наиболее предпочтительным вариантом прилегания является зона «А» (см. рис. 2, б), находящаяся на уровне примерно 3/4 высоты пластины. Для того чтобы избежать контакта кромки пластины и гнезда по нижнему краю, выполняется освобождение «Б» [5].

### Новая схема базирования СТП

Суть предложенной конструкции состоит в том, чтобы базовые поверхности, основную и линейную (3 и 2 степени свободы соответственно), выполнить в виде сквозного паза (рис. 3), а для лишения пластины шестой степени свободы применить съемные элементы в виде пластины или пальца особой формы.

Такое конструктивное решение позволяет изменить технологию изготовления корпусов инструмента. Во-первых, сквозной паз можно обрабатывать разными

способами: фрезерованием, строганием, протягиванием, шлифованием, доводкой, используя универсальное и специализированное оборудование, многоместные приспособления. Во-вторых, поверхность паза можно получить любой твердости, применяя различные материалы (сталь У8, У10, ХВГ, 9ХГ, 95Х18, сталь 20, сталь 20Х) и различные способы термообработки (обычную закалку, зонную закалку, термохимическую обработку и т.д.) в зависимости от возможностей инструментального производства. В-третьих, съемный элемент имеет простую форму и может изготавливаться в массовом количестве при минимальной стоимости. В-четвертых, при аварийной поломке съемный элемент может быть снят, а паз повторно обработан любым способом восстановления.

В условиях инструментального завода можно значительно снизить трудоемкость изготовления гнезд (примерно в 2 раза) и примерно в 1,5 раза для всего корпуса. В условиях инструментального цеха или экспериментальной мастерской появляется возможность изготавливать стандартный или специальный инструмент с СТП высокого качества. Справедливость последнего тезиса неоднократно подтверждалась экспериментальным путем. Макеты токарных резцов с СТП различных конфигураций разрабатывались, изготавливались и испытывались в условиях экспериментальной лаборатории Уральского федерального университета.

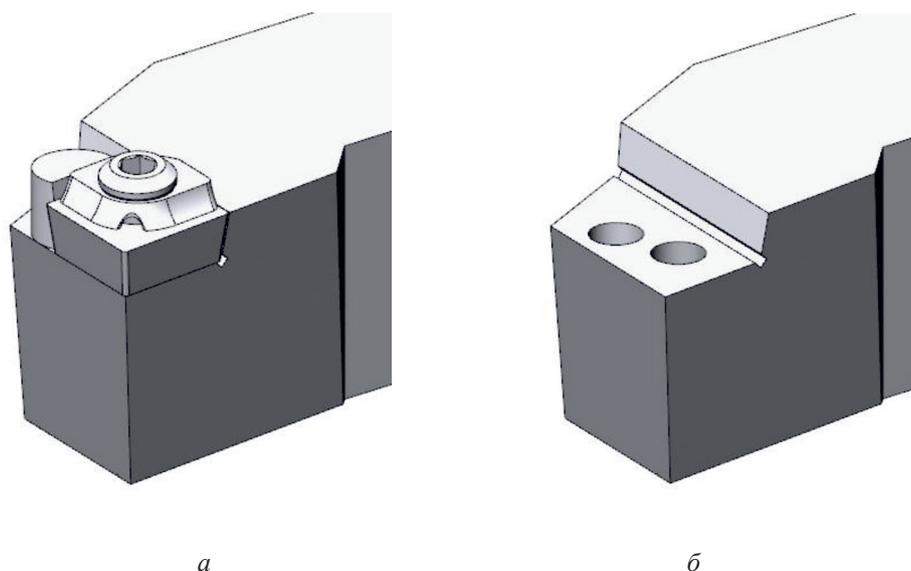


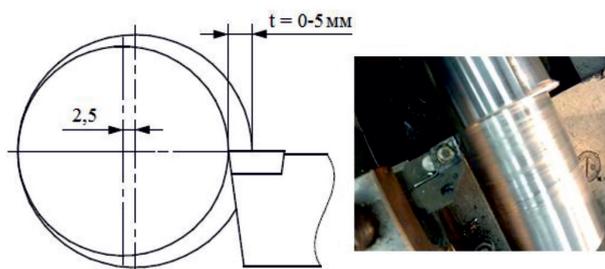
Рис. 3. Общий вид сборного режущего инструмента (а) и державки резца со сквозным пазом для установки сменной твердосплавной пластины (б)

### Методика испытаний макетов токарных резцов

Испытания проводились тремя способами: испытание циклической нагрузкой (рис. 4, а), испытание ударной нагрузкой (рис. 4, б), испытание максимальной глубиной резания (рис. 4, в). Обрабатываемый материал – сталь 45, диаметр заготовки 50 мм. Инструмент – макет резца с СТП сечением 25х25 мм для черновой обработки, изготовленный из стали марки ХВГ зака-

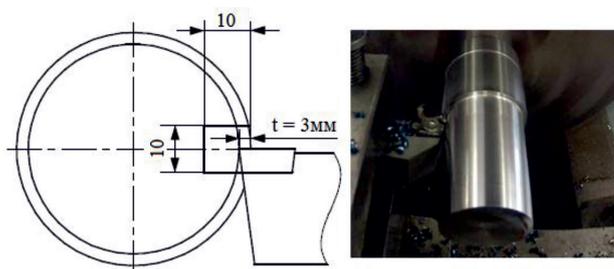
ленный до твердости 55–60 HRC. Пластина типа CNMG 120408 – VM PC5300 (фирма KORLOY), установка пластины в сквозном гнезде. Станок 16K20. Скорость резания  $V = 100$  м/мин (примерно 600 об/мин).

В результате проведения всех испытаний не зафиксировано ни одного случая разрушения или сдвига СТП. Базовые плоскости гнезд не скололись и не деформировались, хотя режимы обработки (глубина резания и подача) в некоторых случаях в 2 раза превосходили рекомендованные изготовителем.



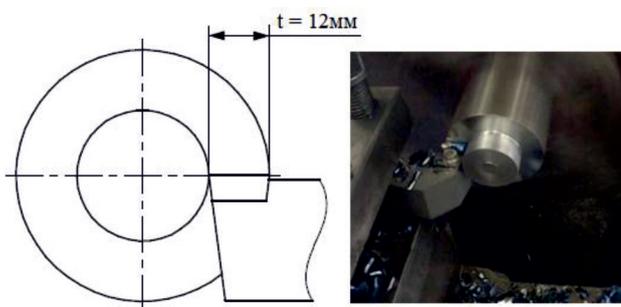
а

Глубина резания  $t =$  от 0 до 5 мм (изменяется в циклическом режиме).  
Подача  $S =$  от 0,2 до 0,5 мм/об (шаг 0,1 мм)



б

Глубина резания  $t =$  от 0 до 3 мм (изменяется в ударном режиме).  
Подача  $S =$  от 0,2 до 0,5 мм/об (шаг 0,1 мм)



в

Глубина резания  $t =$  от 0 до 12 мм (постепенно в течение 1-го оборота заготовки).  
Подача  $S =$  от 0,2 до 0,5 мм/об (шаг 0,1 мм)

Рис. 4. Схемы испытаний сборного режущего инструмента

Сравнение технологий изготовления гнезда под пластину  
типа CNMG 120408 – VM PC5300 фирмы KORLOY

Глухое гнездо (существующая конструкция)	Сквозное гнездо (предлагаемая конструкция)
<p>Опер. фрезерная – программная (черновая) Инструмент: фреза концевая D = 6 мм; Z = 4 мм; Сверло D = 4 мм. При подаче 0,02 мм/зуб и частоте оборотов 3000 мм/мин. 12 переходов T<sub>маш</sub> = 2,5 мин</p>	<p>Опер. фрезерная – универсальная (черновая) Инструмент: набор фрез D = 80 мм; Z = 20; Приспособление многоместное на 10 шт. При подаче 0,03 мм/зуб и частоте оборотов шпинделя 100 об/мин. T<sub>маш</sub> = 0,1 мин</p>
<p>Термическая обработка. Закалка с отпуском на твердость 40–45 HRC.</p>	<p>Термическая обработка. Закалка с отпуском на твердость 55–60 HRC.</p>
<p>Опер. фрезерная – программная (чистовая) Инструмент: фреза концевая D = 4 мм; число зубьев = 3; При подаче 0,02 мм/зуб и частоте оборотов 3000 мм/мин. 5 проходов T<sub>маш</sub> = 0,6 мин</p>	<p>Опер. плоско-шлифовальная Приспособление многоместное на 10 штук. При подаче 0,005 мм/проход T<sub>маш</sub> = 0,15 мин</p>
<p>Итого: T<sub>маш</sub> = 3,1 мин Стоимость 1 мин работы программного станка 20 руб.  Стоимость обработки 62 руб.</p>	<p>Итого: T<sub>маш</sub> = 0,25 мин Стоимость 1 мин работы универсального станка 15 руб.  Стоимость обработки 4 руб.</p>

**Экономическое обоснование**

Сравним затраты на обработку базовых поверхностей под пластину в корпусе проходного резца, в варианте глухого паза и в варианте сквозного паза (таблица). Для наглядности берутся только отличающиеся операции и переходы.

Видно, что затраты на изготовление сквозного гнезда значительно ниже, чем глухого. Кроме того, твердость сквозного паза может достигать значений 58–63 HRC, что позволяет гнезду выдерживать гораздо большие нагрузки.

**Выводы**

1. Предлагаемый способ базирования сменных твердосплавных пластин в корпусе сборного режущего инструмента позволяет исключить применение подкладных пластин и многократно восстанавливать базовые поверхности гнезд.

2. Конструкция гнезда позволяет значительно повысить срок службы и эффективность использования инструмента при экстремальных режимах резания.

3. Технология обработки сквозного паза является более экономичной и позволяет применять более дешевое универсальное оборудование.

4. Проведенные испытания в лабораториях УрФУ и ОАО «Свердловский ин-

струментальный завод» показали работоспособность и надежность предложенной конструкции сквозного паза, что делает возможным рекомендовать способ базирования сменных твердосплавных пластин для широкого внедрения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Договор № 02G25.31.0148 с ОАО «Свердловский инструментальный завод») в рамках НИОКТР № Н979.210.007/15 от 28 июля 2015 года для ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет».*

**Список литературы**

1. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т. 2. [Текст] / ред. А.Г. Косилова и Р.К. Мещеряков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Артамонов Е.В. Расчет и проектирование сменных режущих пластин и сборных инструментов [Текст] / Е.В. Артамонов, Т.Е. Помигалова, М.Х. Утешев. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 152 с.
3. Некрасов Ю.И. Деформирование и рациональное нагружение сменных режущих пластин сборного инструмента [Текст] / Ю.И. Некрасов // Вестник КузГТУ. – 2010. – № 4. – С. 54–57.
4. Михайлов М.И. Анализ точности позиционирования сменных многогранных пластин при базировании их на опорную поверхность и центральное отверстие сборного режущего инструмента // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – № 36. – С. 79–85.
5. Остапенко М.С. Учет свойств надежности при оценке качества сборных токарных резцов [Текст] / М.С. Остапенко, Д.С. Василега // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – № 2. – С. 33–35.