

## СХЕМА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЯТИГРАННЫХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН НА СТАНКАХ С ЧПУ

Рассмотрены способы шлифования задних поверхностей многогранных твердосплавных пластин, а также различные схемы формообразования задних поверхностей. Смоделирован процесс формообразования задней поверхности пятигранной твердосплавной пластины. Разработан алгоритм реализации кинематической схемы формообразования задней поверхности пятигранных твердосплавных пластин средствами САПР. Осуществлена обработка многогранной твердосплавной пластины на шлифовально-заточном станке с ЧПУ с использованием полученной математической зависимости.

**Ключевые слова:** восстановление режущего инструмента, затачивание, твердосплавные пластины, моделирование, способ шлифования, схемы формообразования.

**I. Введение.** В современности существует тенденция к повышению требований к точности изготавливаемых деталей в промышленности. Повышение механических характеристик материалов и уменьшение допусков приводит к значительному усложнению обработки и затруднению получения указанных параметров. Для достижения заданной точности используется современное оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ).

Для осуществления обработки на станках с ЧПУ применяется монокристаллический твердосплавный инструмент и режущий инструмент со сменными твердосплавными пластинами. На производстве используется более 90 % инструментов импортного производства [1].

В настоящее время наблюдаются перебои с поставками режущего инструмента, что может привести к срыву выполнения заказов. В связи с этим есть потребность в восстановлении режущего инструмента как монокристаллического, так и со сменными пластинами [2–4].

Режущий инструмент может составлять до 20 % стоимости одной детали [5]. С целью снижения затрат на изготавливаемую деталь необходимо обеспечить переточку твердосплавных пластин с максимальной производительностью и с полученной стойкостью данного инструмента, практически или полностью соответствующей новому инструменту [6–7].

На данный момент существует два способа снижения расходов промышленных предприятий на инструментальное обеспечение:

1. Реновация твердосплавного инструмента алмазным шлифованием и затачиванием [8–10].
2. Использование изношенного твердосплавного инструмента, не подлежащего восстановлению

как заготовки для изготовления инструмента новой конструкции [1, 5, 11].

На промышленных предприятиях преобладает практика утилизации режущего инструмента в том числе многогранных твердосплавных пластин (МТП), аргументируя это необратимыми изменениями в структуре твердого сплава, запрещающими его дальнейшее использование. Однако массовые испытания изношенных и восстановленных МТП не подтверждают этот тезис [5].

Решение данной проблемы остается в реновации изношенных МТП алмазным шлифованием и затачиванием. Себестоимость восстановления изношенного инструмента может составлять до 20 % от стоимости нового при практически идентичном периоде стойкости [12].

**II. Постановка задачи.** В данной научной статье сформулированы следующие задачи:

1. Смоделировать процесс алмазного шлифования задней поверхности пятигранной твердосплавной пластины.
2. Разработать алгоритм реализации кинематической схемы формообразования задней поверхности пятигранных твердосплавных пластин средствами САПР.

**III. Теория.** Шлифование задних поверхностей МТП осуществляется двумя способами: копированием и бескопирным способом [8].

Бескопирный способ шлифования задних поверхностей МТП основан на использовании станков с ЧПУ. При данном методе главные формообразующие движения — поступательное в направлении оси X, вращательные вокруг осей B и C осуществляются с помощью шаговых электродвигателей, управляемых системой числового программного управления (ЧПУ) станка (рис. 1). Такой

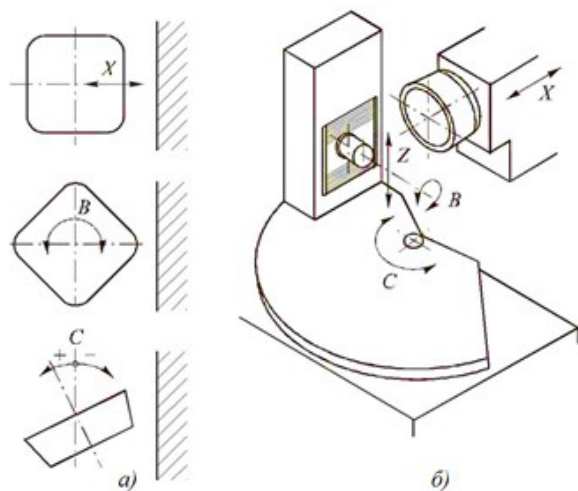


Рис. 1. Схема шлифования задних поверхностей МТП на станке с ЧПУ: а — главные формообразующие движения; б — данные движения на станке  
Источник: [https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KIRSSANOV/met\\_work/Tab2/Tab1/ST2.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KIRSSANOV/met_work/Tab2/Tab1/ST2.pdf)

способ шлифования позволяет производить обработку задних поверхностей пластин любых форм, в том числе пластин, имеющих задний угол на гранях и вершинах [8].

В настоящее время второй способ зарекомендовал себя как более точный метод и, на данный момент, более широко распространен, чем первый.

Для разработки управляющих программ для станка с ЧПУ необходимо рассмотреть две схемы формообразования задней поверхности МТП.

При осуществлении первой схемы МТП совершает движение огибания относительно инструмента, а инструмент — движение резания. В существующем научном труде было установлено, что данная схема нецелесообразна к применению, так как при осуществлении движения огибания МТП выйдет за пределы рабочей поверхности шлифовального круга [13].

При осуществлении второй схемы движение МТП раскладывается на две взаимосвязанные составляющие: возвратно-поступательное движение МТП относительно инструмента и вращательное движение вокруг оси, проходящей через центр модели инструмента в смещенном положении. В данной работе будет рассмотрена только вторая схема формообразования.

Исходными данными для моделирования процесса обработки задней поверхности МТП алмазным шлифованием являются: модель прямой призмы, торцовым сечением которой является равносторонний пятиугольник со стороной, равной  $t$  (рис. 2); величина припуска  $p$  под шлифование; радиус  $R$ ; фрагмент модели инструмента — алмазного шлифовального круга  $И$ .

**IV. Результаты исследования.** Для разработки алгоритма реализации выбранной схемы формообразования проанализируем положения моделей МТП относительно инструмента, приведенные на рис. 3.

В исходном состоянии МТП находится в положении  $I$ . Для обеспечения резания МТП необходимо переместиться из положения  $I$  в положение  $II$ , вращаясь на угол  $\varphi$  относительно точки  $A$ , являющейся центром дуги радиуса  $R$ . В ходе указанного движения центр пластины переместится из точки  $O$

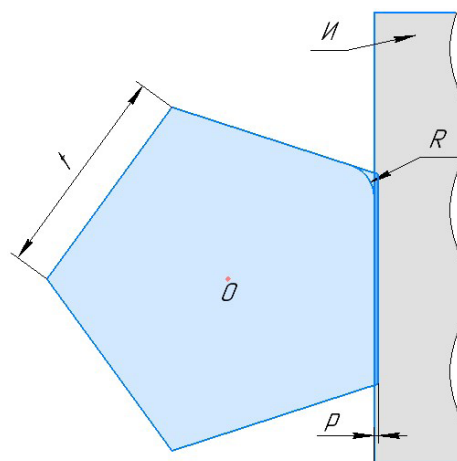


Рис. 2. Твердотельные модели многогранной твердосплавной пластины и инструмента

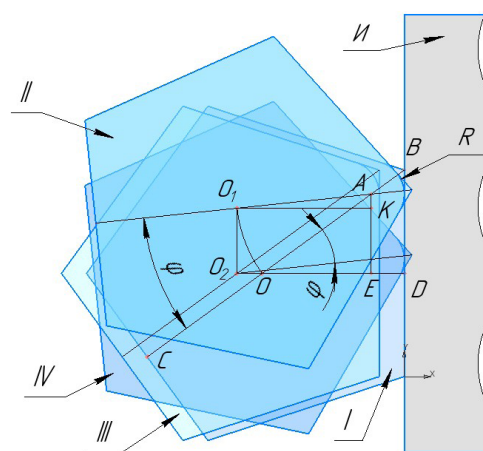


Рис. 3. Схема геометрического перемещения МТП относительно инструмента во время обработки

в точку  $O_1$ . Но станок с ЧПУ не может обеспечить движение со смещением центра МТП, поэтому при движении пластины из положения  $I$  в положение  $II$  была найдена образующая, по которой после среза части припуска пластина касается инструмента. По той же образующей пластина и инструмент будут касаться, если обеспечить осуществление двух взаимосвязанных движений. Сначала МТП из положения  $I$  возвратно-поступательно перемещается в положение  $III$ , вследствие чего центр пластины из точки  $O$  перемещается в точку  $O_2$ . Далее пластина, вращаясь вокруг центра  $O_2$  на угол  $\varphi$ , перемещается в положение  $IV$ , таким образом, обеспечивая совпадение образующей и возможность обработки пластины данным способом на станке с ЧПУ.

Таким образом, выведен следующий алгоритм действий для осуществления указанного взаимосвязанного возвратно-поступательного и вращательного движения:

1. Переместить МТП относительно инструмента в положение  $III$  на величину, равную  $OO_2$ ;
2. Повернуть пластину вокруг центра  $O_2$  на угол  $\varphi$ ;
3. Пластина займет  $IV$  положение, вследствие чего будет обеспечено резание по необходимой образующей.

Описанная последовательность действий определяет алгоритм реализации указанной кинематиче-

ской схемы формообразования задней поверхности многогранных твердосплавных пластин средствами САПР. Для разработки программы, в соответствии с этим алгоритмом, требуется установить связь между соответствующим поступательным и вращательным движением МТП.

Для начала необходимо определить величину отрезка  $BD$ :

$$BD = t/2, \quad (1)$$

где  $t$  — размер стороны пятиугольника.

Как известно, размеры стороны  $t$  пятиугольника и его высоты  $H$  связаны зависимостью

$$t = \frac{2H}{\sqrt{5+2\sqrt{5}}}. \quad (2)$$

Так как в правильном пятиугольнике угол при его вершине равен  $108^\circ$ , то из треугольника  $ODB$  имеем:

$$OD = BD \cdot \operatorname{tg} 54^\circ = \frac{H}{\sqrt{5+2\sqrt{5}}} \cdot \operatorname{tg} 54^\circ. \quad (3)$$

А координаты точки  $A$  будут:

$$X_A = OE = OD - R = \frac{H}{\sqrt{5+2\sqrt{5}}} \cdot \operatorname{tg} 54^\circ - R. \quad (4)$$

$$Y_A = OE \cdot \operatorname{ctg} 54^\circ = \left( \frac{H}{\sqrt{5+2\sqrt{5}}} \cdot \operatorname{tg} 54^\circ - R \right) \cdot \operatorname{ctg} 54^\circ. \quad (5)$$

Для определения координат центра заготовки в точке  $O_2$  вычислим  $OA$  и  $O_1K$ . Из рис. 3 следует, что

$$|OA| = |O_1A| = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}. \quad (6)$$

$$O_1K = OA \cdot \sin(\varphi + 54^\circ). \quad (7)$$

Подставляя вычисленные значения в выражениях (4), (6), получаем координаты точек центров  $O_1$  и  $O_2$  соответственно:

$$X_{01} = X_{02} = OE - O_1K = \frac{H}{\sqrt{5+2\sqrt{5}}} \cdot \operatorname{tg} 54^\circ - R - \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} \cdot \sin(\varphi + 54^\circ). \quad (8)$$

$$Y_{01} = Y_{02} = 0. \quad (9)$$

Приведенный алгоритм и зависимости явились основой для разработки соответствующих программ моделирования формообразования для второй кинематической схемы. Результаты 2D моделирования представлены на рис. 4.

**V. Обсуждение экспериментов.** Полученные зависимости были использованы при составлении управляющих программ на станке ВЗ-700Ф4 для шлифования МТП по контуру.

Выбран способ крепления многогранных твердосплавных пластин на станке (рис. 5). Сборка крепления данным способом происходит следующим образом: Направляющая 1 устанавливается на на-

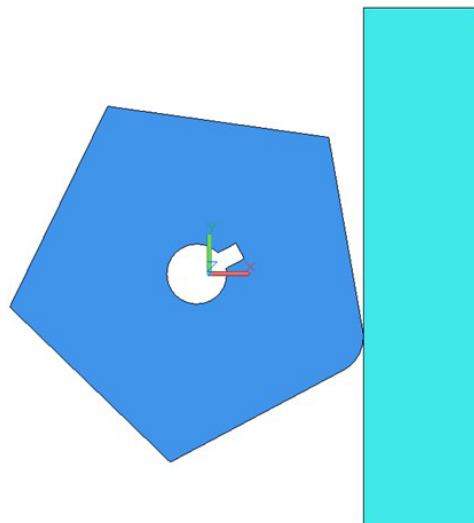


Рис. 4. 2D-модель формообразования многогранной твердосплавной пластины инструментом по второй кинематической схеме

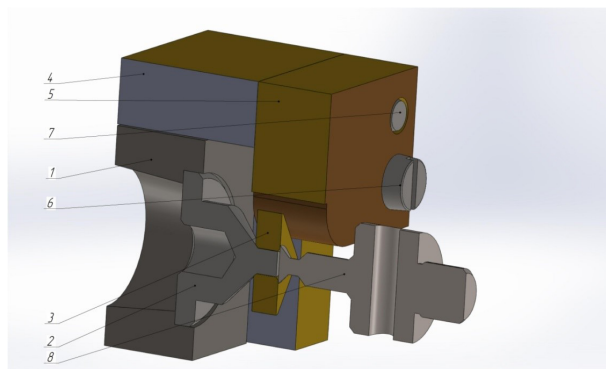


Рис. 5. Сборка крепления МТП на станке

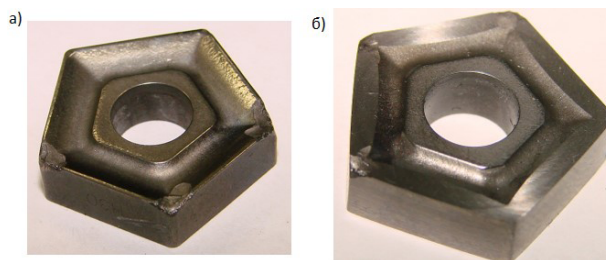


Рис. 6. Восстановление МТП: а) вид изношенной пластины; б) вид пластины после восстановления

ружный конус шлифовальной бабки станка (на рис. не показано). В направляющую 1 устанавливается сменная оправка пластины 2 и фиксируется к направляющей при помощи шомпола (на рис. не показано). На шлифованную бобышку оправки пластины 2 базируется обрабатываемая деталь (пластина) 3 по диаметру бобышки и шлифованной фаски, что обеспечивает надежное базирование и избежание последствий биения сменной оправки пластины 2. Положение пластины 3 выставляется при помощи фиксатора положения пластины 5, который крепится к корпусу 4 с помощью винтов 6 и штифтов 7. Пластина 3 в процессе шлифования поджимается сменным прижимом 8.

Результатом апробации обработки многогранных твердосплавных пластин на шлифовально-за-

точном станке по выведенной выше математической методике является восстановленная геометрия пластин с необходимой шероховатостью (рис. 6).

## VI. Выводы и заключения.

1. Смоделирован процесс алмазного шлифования задней поверхности пятигранного инструмента по схеме бескопирного метода. Подробно рассмотрено движение огибания МТП, для удобства программирования на станках с ЧПУ, разбитое на две составляющие: возвратно-поступательное движение относительно инструмента и вращательное движение вокруг оси, проходящей через центр прямой призмы в сдвинутом положении (через точку  $O_2$ ).

2. Разработан алгоритм реализации указанной кинематической схемы формообразования задней поверхности многогранных твердосплавных пластин средствами САПР. А именно выведены формулы и зависимости движения МТП относительно инструмента для дальнейшего применения в программировании станков с ЧПУ. Внедрение программы, основанной на выведенных математических зависимостях, успешно осуществлено на станке ВЗ-700Ф4 для шлифования пятигранных МТП по контуру.

## Библиографический список

1. Vasil'ev E. V., Popov A. Yu., Bugai I. A., Nazarov P. V. Manufacture and Design of Special Hard-Alloy Mills // Russian Engineering Research. 2014. Vol. 34, № 8. P. 522–533. DOI: 10.3103/S1068798X14080140.
2. Кузнецов А. М., Якимов С. А., Лобанов Д. В., Янюшкин А. С. Расчет напряжений, возникающих при заточивании твердосплавного инструмента с малым углом заострения // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2009. № 2 (22). С. 25–30.
3. Медведева О. И., Янюшкин А. С., Лобанов Д. В. [и др.]. Анализ геометрии контактного взаимодействия алмазного круга с обрабатываемой деталью при плоском шлифовании // Механика XXI века. 2013. № 12. С. 104–106.
4. Лобанов Д. В., Янюшкин А. С., Кирпикова Е. И. [и др.]. Сравнительный анализ методов комбинированной алмазной обработки твердых сплавов // Механика XXI века. 2012. № 11. С. 155–159.
5. Васильев Е. В., Попов А. Ю. Определение рациональной геометрии режущей части переточенных твердосплавных пластин, предназначенных для чернового точения // СТН. 2014. № 2. С. 16–20.
6. Янюшкин А. С., Кудряшов С. М., Сивков Д. В. [и др.]. Перспективный метод обработки твердого сплава на плоскошлифовальном станке // Системы. Методы. Технологии. 2009. Т. 4, № 4. С. 71–74.
7. Янюшкин А. С., Лобанов Д. В., Ковалевский С. В. Повышение качества подготовки твердосплавного инструмента // Системы. Методы. Технологии. 2009. Т. 1, № 1. С. 95–98.
8. Палей М. М., Дибнер Л. Г., Флид М. Д. Технология шлифования и заточки режущего инструмента. Москва: Машиностроение, 1988. 288 с.

9. Васильев Е. В., Попов А. Ю. Реновация твердосплавных концевых фрез на шлифовально-заточных станках с ЧПУ // СТН. 2013. № 12. С. 11–14.

10. Васильев Е. В., Попов А. Ю., Реченко Д. С. Алмазное шлифование твердосплавных пластин // СТН. 2012. № 5. С. 7–10.

11. Vasilyev E. V., Popov A. Y., Rechenko D. S. Diamond grinding of Hard-Alloy plates // Russian Engineering Research. 2012. Vol. 32, № 11-12. P. 730–732. DOI: 10.3103/S1068798X12110214

12. Vasil'ev E. V., Popov A. Y. Restoration of an axial hard-alloy tool by deep diamond grinding // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35, № 10. P. 780–782. DOI: 10.3103/S1068798X15100251.

13. Васильев Е. В., Попов А. Ю., Ляшков А. А., Назаров П. В. Разработка стратегии обработки твердосплавных многогранных пластин по контуру на шлифовально-заточных станках с ЧПУ // СТН. 2018. № 2. С. 31–34.

**ВАСИЛЬЕВ Евгений Владимирович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Металло-режущие станки и инструменты» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 6546-3741

AuthorID (РИНЦ): 649120

ORCID: 0000-0001-5986-8873

AuthorID (SCOPUS): 56503710300

ResearcherID: L-8864-2014

**БЛОХИНА Юлия Андреевна**, аналитик Регионального центра импортозамещения, студент-магистрант гр. КТОМ-222 факультета элитного образования и магистратуры ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 7469-1953

AuthorID(РИНЦ): 1108870.

Адрес для переписки: blokhina\_julia@mail.ru

**ЛАКМАН Михаил Михайлович**, аналитик Регионального центра импортозамещения, магистрант гр. КТОМ-222 факультета элитного образования и магистратуры ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 8721-8847

AuthorID(РИНЦ): 1113663

## Для цитирования

Васильев Е. В., Блохина Ю. А., Лакман М. М. Схема формообразования задней поверхности пятигранных твердосплавных пластин на станках с ЧПУ // Омский научный вестник. 2023. № 1 (185). С. 10–13. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-185-10-13.

Статья поступила в редакцию 20.10.2022 г.

© Е. В. Васильев, Ю. А. Блохина, М. М. Лакман