

УДК 621.941.1
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СБОРНОГО
РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Станислав Владимирович Слободской

*Аспирант 3 года,
кафедра «РМСИ»*

*Рыбинский государственный авиационный технический университет имени
П.А. Соловьева*

*Научный руководитель: В.В. Михрютин,
к.т.н. доцент кафедры «РМСИ»*

Постоянное совершенствование конструкции твердосплавного режущего инструмента оказывает огромное влияние на прогресс всего механообрабатывающего производства. В настоящее время все большее распространение получает режущий инструмент сборной конструкции, в котором используются сменные многогранные режущие пластины.

Совершенствование конструкций сборного режущего инструмента, оснащенного сменными многогранными пластинами (СМП), происходит в следующих основных направлениях:

- совершенствованием инструментальных материалов, износостойких покрытий и форм режущих пластин.
- с совершенствованием конструкций корпуса режущих инструментов
- поиск оптимального взаимного расположения режущих кромок, позволяющего повысить показатели производительности либо качества обработки

Развитие конструкций СМП производится в направлениях [1]:

- совершенствование инструментальных материалов, применяемых при изготовлении СМП;
- совершенствование износостойких покрытий, наносимых на рабочие поверхности СМП;
- совершенствование конструкций СМП, в том числе разработка форм СМП с криволинейными режущими кромками.

В настоящее время разработан ряд новых инструментальных материалов. Перспективным является применение минералокерамики и сверхтвердых материалов (СТМ).

Разработаны многослойные покрытия, обеспечивающие высокую стойкость к срыву и отслаиванию, снижение сил трения и создающие эффект «залечивания» микродефектов инструментальной поверхности.

В процессе механической обработки существует проблема образования сливной стружки, которая может наматываться на инструмент, заготовки и технологическую оснастку. Использование элементов, позволяющих завивать и ломать стружку, сравнительно простой формы не всегда обеспечивает дробление стружки для всех режимов резания и различных видов обрабатываемых материалов.

Известен ряд работ в данной области. Для управления деформацией при стружкообразовании на передней поверхности СМП предусматривают выступы и углубления, что позволяет изменять направление схода стружки [2], уменьшает

площадь контакта стружки и облегчает доступ СОЖ, что приводит к уменьшению силы трения и количества тепла, передаваемого в инструмент.

В развитии конструкций корпуса сборных режущих инструментов режущих инструментов перспективными являются следующие направления.

Во время обработки необходимо обеспечить однозначное базирование и надежное закрепление режущих пластин. Отклонения формы базовых поверхностей пластин, а также гнезд корпусов сборных инструментов приводит к возникновению повышенных напряжений при закреплении. Возникновение дополнительных напряжений от действия силы резания и больших градиентов температур могут вызвать деформацию стенок гнезда, и привести к поломке режущей пластины. Для снижения таких деформаций на нижней и боковых стенках гнезда в [3] предложено выполнять контактные участки в виде кольцевых выступов, полученных при внедрении в нижнюю и боковые стенки гнезда вращающегося инденторов в виде конуса, пирамиды, или сферы (рис.1).

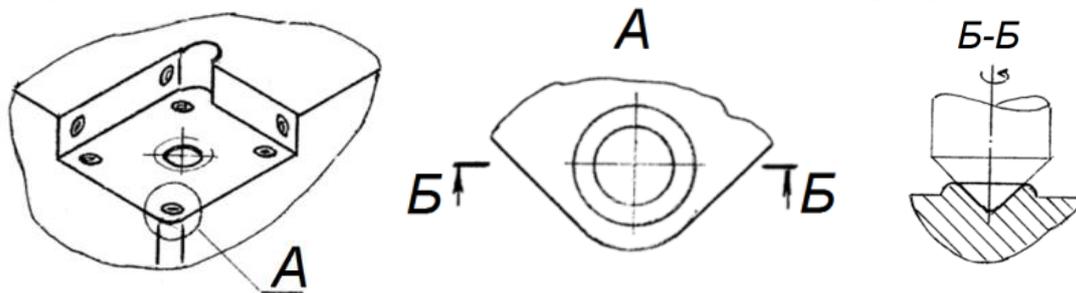


Рис.1. Гнездо сборного режущего инструмента [3]

На надежность закрепления пластины в корпусе инструмента большое влияние оказывает конструкция зажимных элементов корпуса. Примером такой конструкций устройств является [4].

В [4] предложено прихват выполнять с обеспечением возможности его контактирования с задней поверхностью установочного отверстия режущей пластины только выступа его носовой части, а с верхней поверхностью режущей пластины - только передней нижней стороны его носовой части (рис. 2).

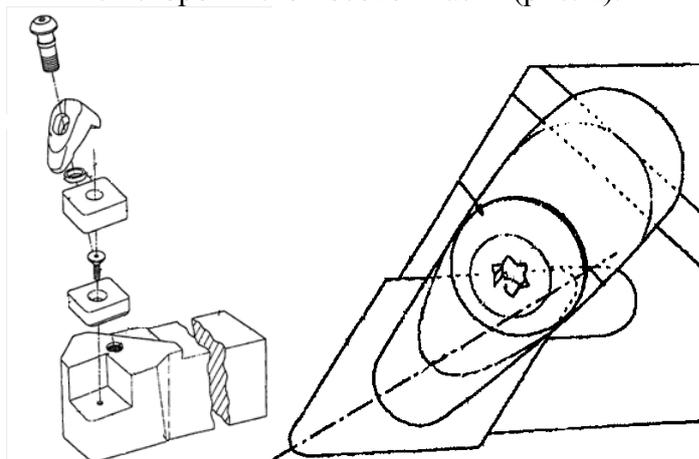


Рис. 2. Устройство крепления режущей пластины [4]

При обработке деталей инструментом, имеющим режущие пластины с круглыми режущими кромками, может произойти произвольный поворот пластины вокруг своей оси. Также радиальные и осевые силы резания, воздействующие на режущую

пластину, которая закреплена только крепежным винтом ограничивают применение подобного инструмента.

Поэтому разрабатываются корпуса инструментов со специальными устройствами для однозначного закрепления пластин, например, [5]. Конструкция данного инструмента предусматривает технологическое занижение гнезда для более плотного прилегания пластины и шарик-фиксатор, ограничивающий вращение пластины вокруг своей оси (рис. 3).

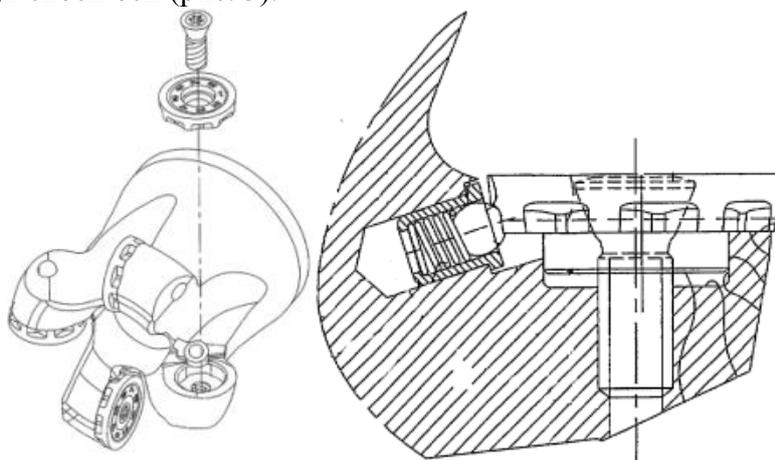


Рис.3. Устройство для закрепления режущей пластины [6]

Немаловажную роль в поиске оптимального расположения режущих кромок играет развитие методов расчета и автоматизированного проектирования инструмента. Известные работы в данной области в основном направлены на развитие расчетных методов и автоматизацию проектирования инструментов конкретных видов. В качестве методической основы данных работ используются [6, 7].

В работе [6] расположение пластины в инструменте задается путем последовательности геометрических преобразований поворота и плоскопараллельного переноса для получения требуемой геометрии режущего клина, образованного телом СМП. Недостатком данного подхода является сложность определения последовательности необходимых геометрических преобразований.

Основным документом, нормирующим форму и размеры СМП, является ГОСТ 19042-80 «Пластины сменные многогранные, который построен на основе международного стандарта и предусматривает однозначную классификацию пластин по форме контура режущих кромок. При этом производителю пластин предоставлена свобода в отношении размеров и формы стружколомающих элементов. Ряд исследователей считает положения данного стандарта устаревшими [1] и даже предлагают свои классификации. Однако, данный нормативный документ построен на основе международного стандарта и предусматривает однозначную классификацию пластин по форме контура режущих кромок, поэтому он может быть использован в качестве методической основы для построения математической модели сборного режущего инструмента.

Расчет требуемого геометрического преобразования для позиционирования пластины в режущем инструменте может быть выполнено методом, суть которого заключается в следующем [8]. Профиль кромок режущей пластины задается в системе координат (СК) xyz , связанной с режущей пластиной. Математическое описание кромок лезвия может быть также использовано при решении задач, возникающих при моделировании формообразования поверхности заготовки при лезвийной обработке.

Для определения матрицы преобразования, переводящей координаты точек лезвия из системы координат пластины в точки, заданные в СК пластины в ССК сборного инструмента, дополнительно задаются два координатных базиса, один из которых связан с пластиной, а другой со сборным инструментом.

Орты координатного базиса режущих кромок лезвия пластины могут быть ориентированы произвольным образом. Однако, наиболее удобно задавать орт \bar{i} касательно режущей кромке в рассматриваемой точке, орт \bar{k} – нормально к передней поверхности пластины, а орт \bar{j} определять как векторное произведение $\bar{i} \times \bar{k}$.

Орты координатного базиса пластины определяются положением режущей кромки пластины, принимаемой за главную в право- либо леворежущем инструменте (рис. 4). Например, для пластин, режущие кромки которых лежат в одной плоскости

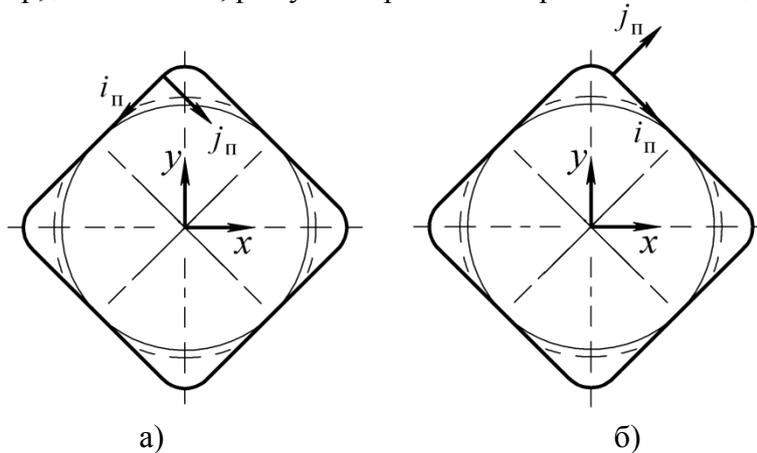


Рис. 4. Орты координатного базиса пластины
а) – для праворежущего инструмента,
б) – для леворежущего инструмента

$$\bar{i}_n = \|p_i - p_{i\pm 1}\|, \quad \bar{k}_n = [0 \ 0 \ 1]^T, \quad \bar{j}_n = \|\bar{i}_n \times \bar{k}_n\|, \quad (1)$$

где p_i, p_{i+1} – вершины прямолинейного ребра, образующего режущую кромку.

Математическую модель геометрического образа режущих кромок лезвия сборного инструмента целесообразно задавать относительно его статической системы координат (ССК). Лезвие инструмента при этом образует лезвием пластины.

Направление координатных осей систем ССК сборного инструмента определим на основе следующих правил. Ось z ориентируется вдоль направления главного движения, ось x – вдоль направления подачи. Ось y ориентируется по расположению осей x и z , для этого может использоваться, например, известное «правило правой руки».

Уравнения, задающие орты координатного базиса, связанного с лезвием сборного режущего инструмента определяются заданными геометрическими параметрами его главной режущей кромки в следующем виде

$$\bar{i}_n = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \lambda \\ \pm \sin \varphi \cos \lambda \\ \sin \lambda \end{bmatrix}, \quad \bar{k}_n = \begin{bmatrix} -\cos \gamma \cos \varphi \sin \lambda - \sin \gamma \sin \varphi \cos \lambda \\ \pm \sin \gamma \cos \varphi \cos \lambda \mp \cos \gamma \sin \varphi \sin \lambda \\ \cos \gamma \cos \lambda \end{bmatrix}, \quad \bar{j}_n = \bar{k}_n \times \bar{i}_n, \quad (2)$$

где α – передний угол лезвия инструмента; β – главный угол в плане; γ – угол наклона главной режущей кромки к основной плоскости. Орт $\bar{k}_л$ совпадает с нормалью к передней поверхности инструмента $\bar{N}_{Ay} = \bar{k}_л$.

Ввиду того, что у пластин вершины имеют округления, выбор начала координат ССК в общем случае может представлять некоторую неопределенность. В зависимости от решаемой задачи выбор расположения начала координат будет определяться удобством проведения последующих геометрических преобразований.

Для получения уравнения лезвия с учетом требуемых значений углов инструмента необходимо выполнить преобразование, изменяющее положение пластины в пространстве. Матрицу такого преобразования найдем с использованием метода парных точек

$$M_c = \begin{bmatrix} \bar{i}_п & \bar{j}_п & \bar{k}_п & O_п \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_л & \bar{j}_л & \bar{k}_л & O_л \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1}, \quad (3)$$

где $O_п = [x_{п0} \ y_{п0} \ z_{п0}]^T$ – начало координат базиса, связанного с режущей пластиной; $\bar{i}_п, \bar{j}_п, \bar{k}_п$ – орты координатного базиса, связанного с режущей пластиной; $O_л = [x_{л0} \ y_{л0} \ z_{л0}]^T$ – начало координат базиса, связанного с кромкой лезвия сборного инструмента, образованной режущей пластиной; $\bar{i}_л, \bar{j}_л, \bar{k}_л$ – орты координатного базиса, связанного с режущей кромкой лезвия инструмента.

Для определения координат наиболее выступающих точек вершин лезвия сборного инструмента зададим преобразование, переводящее точки его лезвия из ССК в СК пластины

$$M_{лп} = \begin{bmatrix} \bar{i}_п & \bar{j}_п & \bar{k}_п \\ \bar{i}_л & \bar{j}_л & \bar{k}_л \end{bmatrix}^{-1}. \quad (4)$$

Найдем положения касательных, направленных вдоль осей x и y ССК к криволинейным режущим кромкам (рис. 5). Затем переведем их в СК пластины и спроецируем на плоскость передней поверхности

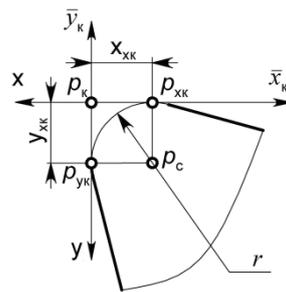


Рис. 5. Расположение касательных к дуговой режущей кромке

$$\bar{G}_x = \left\| \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} M_{лп} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \right\|, \quad \bar{G}_y = \left\| \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} M_{лп} \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \right\|. \quad (5)$$

Для определения положения точки касания режущей кромки и прямой в общем случае следует задать уравнение производной для каждой режущей кромки. Затем

решить систему уравнений, составленную из координат направляющего вектора касательной и уравнения производной режущей кромки

$$f'_K(t) = \bar{G}_x, \quad f'_K(t) = \bar{G}_y, \quad (6)$$

где $f'_K(t)$ – производная функции, задающей профиль режущих кромок по периметру пластины. Решение этой системы дает координаты точек касания криволинейной режущей кромкой сборного инструмента плоскости резания в системе координат, связанной с режущей пластиной.

В случае использования пластин, режущие кромки которых лежат в одной плоскости, решение может быть получено без операции дифференцирования уравнений, описывающих режущую кромку. Для этого находится перпендикуляр к режущей кромке

$$\bar{N}_x = \left\| M_{\text{лп}} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}^T \right\|, \quad \bar{N}_y = \left\| M_{\text{лп}} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \right\|. \quad (7)$$

Произведение векторов \bar{N}_x и \bar{N}_y на величину радиуса r позволяет найти точки касания лезвия с плоскостями, перпендикулярными осям x и y ССК лезвия сборного инструмента в СК режущей пластины

$$\bar{p}_{\text{хк}} = r\bar{N}_x + \bar{p}_c, \quad \bar{p}_{\text{ук}} = r\bar{N}_y + \bar{p}_c. \quad (8)$$

Пересечение касательных к дуговой режущей кромке, проведенных параллельно векторам \bar{x}_k и \bar{y}_k , определяет точку p_k , часто используемую при разработке управляющих программ для станков. Начало ССК сборного инструмента целесообразно задавать в одной из точек $p_{\text{хк}}$, $p_{\text{ук}}$ или p_k . Их положение в ССК лезвия инструмента определяется при помощи одного из уравнений

$$\bar{p}_{\text{п0}} = M_c \bar{p}_{\text{хк}}, \quad \bar{p}_{\text{п0}} = M_c \bar{p}_{\text{ук}}, \quad \bar{p}_{\text{п0}} = M_c \bar{p}_k. \quad (9)$$

Уравнение, определяющее положение режущих кромок лезвия в СК сборного инструмента является результатом следующего геометрического преобразования

$$f_{\text{Крп}i}(t) = R_0 \left(\frac{2\pi}{Z} i \right) T_x(r_i) M_c f_{\text{Кр}}(t), \quad (10)$$

где R_0 – матрица геометрического преобразования, задающая поворот пластины относительно оси многолезвийного инструмента, зубья которого расположены по окружности; i – номер зуба многолезвийного инструмента; Z – число зубьев инструмента; T_x – матрица, задающая параллельный перенос вдоль оси x ; r_i – радиус расположения вершин пластин в сборном инструменте.

При изготовлении инструмента интерес представляет ориентация базовой плоскости установки пластины в корпусе. Для ее задания воспользуемся двумя углами, на которые необходимо развернуть пластину. Определим угол между основной плоскостью ССК – P_{vc} и передней поверхностью A_{\square}

$$\theta = \arccos \left\| \bar{N}_{A_{\square}} \bar{N}_{P_{vc}} \right\| = \arccos \left(\frac{\pm \cos \lambda \cos \gamma}{|\bar{N}_{A_{\square}}|} \right), \quad (33)$$

где $\bar{N}_{P_{vc}} = [0 \ 0 \ 1]^T$ – вектор нормали к основной плоскости.

Угол между линией пересечения плоскости передней поверхности с основной плоскостью и осью x определяется уравнением

$$\Theta = \arctg \frac{\pm \cos \gamma \cos \varphi \sin \lambda \mp \sin \gamma \sin \varphi \cos \lambda}{\sin \gamma \cos \varphi \cos \lambda - \cos \gamma \sin \varphi \sin \lambda}. \quad (34)$$

Разработанная математическая модель может быть использована для описания различных сборных режущих инструментов с механическим креплением СМП. Задавая значения углов можно задать положение пластины в пространстве для любого типа инструмента, оснащенного СМП.

Приведенные выше уравнения позволяют рассчитать положение пластины в режущем инструменте при заданной ориентации главной режущей кромки. Данная модель позволяет определять положение режущей пластины в инструменте в зависимости от заданных параметров его геометрии, формы и площади сечения срезаемого слоя, определения величин допусков на размеры конструктивных элементов сборного инструмента, а также дает основу для решения задач определения статических и кинематических углов инструмента.

Кинематические параметры, в свою очередь, дают основу для моделирования термомеханических процессов в зоне обработки, что дает основу для решения задачи прогнозирования устойчивости процесса резания, расчетного определения стойкости режущего инструмента и достигаемых показателей качества обработанной поверхности. При этом появляется возможность проведения оптимизационных расчетов для поиска рациональных геометрических параметров инструмента.

Анализ существующей технической литературы в области совершенствования конструкций сборного режущего инструмента, оснащенного СМП показал, что в настоящее время значительное число исследований направлено на совершенствование инструментальных материалов, применяемых при изготовлении СМП, износостойких покрытий и конструкций СМП. Интенсивно ведутся работы в направлениях совершенствования конструкций корпусных деталей сборного инструмента, крепежных элементов, позволяющих повысить надежность закрепления и обеспечивающих снижения градиентов напряжений в СМП.

В то же время актуальной представляется разработка математических моделей сборного режущего инструмента, позволяющих производить оптимизацию его конструкции на этапе проектирования, а также системы компьютерного моделирования, реализующей данные модели в компьютерной программе, подготавливающей данные для создания моделей трехмерного геометрического образа в различных системах автоматизированного проектирования.

Литература

1. Михайлов С.В., Садов В.А. «Тенденция развития твердосплавного инструмента»// журнал «Ритм», №8, 2010 г.
2. Режущая пластина с выступами, образованными в ее угловой области: пат 2417864, KR, заявл. 26.06.2007, опубл. 10.05.2011.
3. Режущая многогранная сменная пластина: пат 2377099, RU, заявл. 31.10.2008, опубл. 27.12.2009.
4. Сборный режущий инструмент: пат 2438831, RU, заявл. 01.10.2010, опубл. 10.01.2012.
5. Инструмент для съемного закрепления режущей пластины и способы закрепления режущей пластины в инструменте: пат 2456127, US, заявл. 05.06.2008, опубл. 27.08.2011.
6. Режущий инструмент и режущая пластина для него: пат 2304489, IL, заявл. 10.06.2005, опубл. 20.07.2007.
7. Лукина С.В., Гуляев Ю.Б. Особенности высокоскоростной обработки

с использованием сборных торцовых фрез //Инженерный журнал: Справочник, 2005, № 8; С.27 – 31.

8. Михрютин В. В. Математическое описание сборного режущего инструмента для моделирования процессов механической обработки// Сборка в машиностроении, приборостроении. № 6, 2011. С. 22 – 30.