

УДК 921.92

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ЛЕЗВИЯ ПРИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д. С. Реченко

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Приведены теоретические основы резания лезвийным инструментом при финишной обработке труднообрабатываемых материалов исходя из остроты твердосплавного инструмента и условий формирования стружки.

Ключевые слова: качество, металлорежущий инструмент, режущий клин.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-11-17

I. ВВЕДЕНИЕ

Оптимальные геометрические параметры режущей части инструмента имеют важное значение для обеспечения требуемой производительности механической обработки деталей резанием, периода стойкости инструмента, снижения шероховатости обработанной поверхности и обеспечения высокого качества в целом. Оптимальные величины заднего и переднего углов в основном определяются толщиной среза обрабатываемых материалов:

$$\gamma_{opt} = \frac{C_1}{\sigma_6}, \quad (1)$$

$$\alpha_{opt} = \arcsin \frac{C_2}{a_{max}^k}, \quad (2)$$

где C_1 , C_2 , k – коэффициенты и показатель степени, зависящие от свойств обрабатываемого материала и материала инструмента; σ_6 – предел прочности обрабатываемого материала, кгс/мм²; a_{max} – максимальная толщина срезаемого слоя, мм.

Данные формулы (1) справедливы при отсутствии радиуса округления лезвия и при допущении, что срезается значительная толщина стружки. Если же толщина стружки соизмерима с радиусом округления, то данные зависимости не актуальны, так как в этом случае резание происходит режущей кромкой частично с отрицательным передним углом, что вносит существенное изменение как в процесс резания, так и в образование поверхностного слоя. Уменьшается и действительный задний угол из-за упругого восстановления подминаемого слоя округленной режущей кромкой. Исходя из условий резания, задача сводится к определению требуемой остроты лезвия инструмента.

II. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При срезании тонких слоев округленной режущей кромкой [1] получается фактически отрицательный передний угол, величина которого возрастает с уменьшением толщины срезаемого слоя при постоянном радиусе округления. Фактический передний угол в точке x можно определить (рис. 1):

$$\gamma_x = \arcsin \frac{R - a_x}{R}, \quad (3)$$

а, фактический угол резания в этой точке:

$$\delta_x = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{R - a_x}{R}. \quad (4)$$

определенном диапазоне скоростей резания. Кроме этого, некоторые элементы геометрической формы рабочей части инструмента и режимы резания могут оказывать влияние на микрогеометрию поверхности [2]. Для обеспечения необходимой шероховатости поверхности рекомендуется выбирать оптимальные передние углы, так как при малых и больших (более 25°) передних углах увеличивается шероховатость поверхности.

Изменение физико-механических свойств поверхностного слоя (увеличение глубины и степени наклепа) приводит к снижению эксплуатационных характеристик деталей, работающих при повышенных температурах. Это относится в первую очередь к деталям, изготовленным из труднообрабатываемых материалов.

Стабильность шероховатости поверхности, минимальное отклонение характеристик поверхностного слоя от исходного металла, отсутствие задиrow на поверхности могут быть обеспечены только максимально острым лезвием и при длительном сохранении режущих свойств инструмента, что связано с характером и скоростью изнашивания. Интенсивность износа определяется совокупностью механических и физико-химических явлений.

Различные участки режущего клина подвержены различному износу. На участке 2–3 основным видом износа является адгезионный, представляющий собой периодическое охватывание и последующий отрыв мельчайших частиц обрабатываемого материала и материала инструмента (рис. 3). На остальных участках контакта 1-2 и 3-4 основной вид износа – абразивный, являющийся результатом трения двух поверхностей и микроцарапин от абразивного действия оторвавшихся частиц материала. Действие этих частиц усиливается при обработке жаропрочных и титановых сплавов, так как при образовании стружки выкрашиваются частицы интерметаллических и карбидных включений, имеющих высокую твердость. Можно предположить, что более интенсивный износ режущего инструмента по сравнению с износом при обработке конструкционных материалов объясняется абразивным действием этих частиц на соприкасающуюся поверхность инструмента.

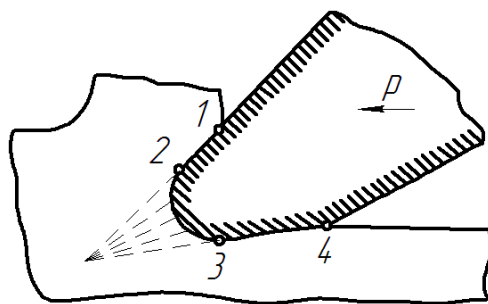


Рис. 3. Схема изнашивания режущей кромки

Рассмотрим процесс стружкообразования (рис. 4). Режущая кромка инструмента при внедрении в обрабатываемый материал вызывает напряжения сжатия, превышающие предел прочности на сжатие σ_c ; на режущей кромке возникают также напряжения сжатия:

$$\sigma_{\max} = k\sigma_{cp} = k \frac{P_z}{F},$$

где k – коэффициент концентрации напряжений; $\sigma_{cp} = P_z/F$ – среднее напряжение; P_z – сила резания; F – площадь режущей кромки.

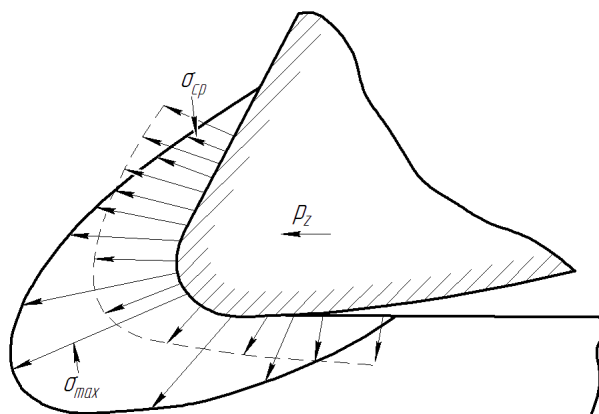


Рис. 4. Схема концентрации напряжений на режущей кромке

Площадь F режущей кромки зависит от радиуса округления и длины режущей кромки $b_{кр}$. Общая площадь соприкосновения с обрабатываемым материалом

$$F = b_{кр} l_{кр},$$

где $b_{кр}$ – ширина режущей кромки, мм; $l_{кр}$ – длина режущей кромки, мм.

Длина режущей кромки складывается из длин, контактирующих по передней и задней поверхностям и радиусу округления лезвия. Очевидно, что при меньшем радиусе округления ρ площадь внедряемой поверхности будет меньше, а напряжение сжатия в обрабатываемом материале больше. Это, в свою очередь, вызывает большую концентрацию напряжений на режущей кромке. Поэтому правильное сочетание радиуса округления лезвия и толщины стружки может обеспечить максимальную стойкость инструмента, при этом для обеспечения минимальной площади контакта необходимо применение максимально острого инструмента.

III. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Оптимальные параметры режущей части инструмента для обработки труднообрабатываемых материалов

Длительная стойкость инструмента обеспечивается уменьшением радиуса округления лезвия при заточивании, так как данный радиус можно рассматривать как износ в начальный момент времени. Так же к повышению стойкости инструмента ведет уменьшение сопротивления удару при врезании и замедление роста износа по задней поверхности или радиуса округления в целом в процессе резания. От этих факторов зависит выбор оптимальных геометрических параметров режущей кромки металлорежущего инструмента.

При врезании режущей кромки в обрабатываемый материал увеличиваются силы резания, при этом пиковые значения сил резания достигают именно при врезании. В результате возникают внутренние напряжения в режущем клине, и они тем больше, чем больше пиковые значения сил резания. Распределение напряжений зависит не только от максимальных значений сил резания, но и от формы режущей кромки. Отсюда следует, что для снижения напряжений в режущем клине и как следствие износа необходимо применять оптимальную форму режущего клина и повышать его прочность.

Напряженно-деформационное состояние режущего клина при врезании и установившемся процессе резания зависит от режимов резания, физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов и формы режущей части. В связи с этим наиболее управляемыми параметрами являются режимы резания и форма режущей части, так как физико-механические свойства обрабатываемого и инструментального материала определены заранее технологическим процессом и фирмой-производителем металлорежущего инструмента.

Эффективным способом повышения стойкости инструмента за счет повышения его прочности является разработка рациональной геометрии, в частности применения микрофаски на передней поверхности режущей части. Исследования показали, что при рациональной ширине и угле отрицательной фаски лезвие значительно меньше выкрашивается и повышается стойкость инструмента.

Поскольку финишная обработка производится при небольших толщинах среза, необходимо, чтобы область округления являлась геометрическим продолжением передней поверхности режущего клина инструмента и как бы имитировала фаску. Для такой естественной формы режущего клина важно выбрать рациональные толщины стружки, при которых контакт с ней режущей кромки приходился бы на поверхность округления, имеющую отрицательный угол, и переднюю поверхность с положительным углом. Тогда поверхность округления используется как естественное усиление режущей кромки инструмента против нагрузки, что повышает стойкость инструмента.

Взаимодействие стружки с режущей кромкой имеющей фаску и радиус округления, показан на рис. 5. Влияние фаски на режущей кромке металлорежущего инструмента (рис. 5а) и радиуса округления (рис. 5б) аналогично, при условии выбора соответствующих толщин среза. В обоих случаях наблюдается благоприятное распределение напряжений на режущей кромке.

Наиболее изнашивающейся поверхностью режущей кромки является задняя поверхность. Уменьшение интенсивности изнашивания можно достигнуть изменением ее геометрии. Если проанализировать характер протекания износа в зависимости от времени работы, можно заметить появление первых признаков износа на вершине резцов или на уголках фрез. По мере дальнейшей работы износ распространяется вдоль всей рабочей режущей кромки. В связи с этим задний угол и другие параметры, влияющие на износ, должны выбираться такими, чтобы уменьшить износ по задней поверхности.

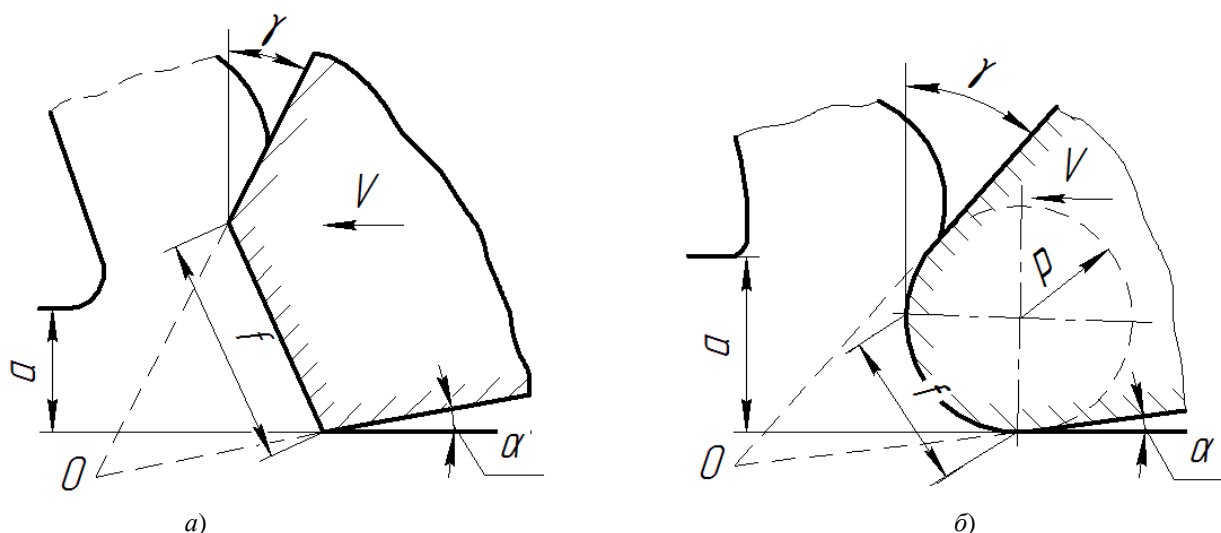


Рис. 5. Взаимодействие стружки с режущей кромкой, имеющей фаску (а) и радиус округления (б)

На некоторых инструментах (протяжки, долбки и т.д.) для замедления износа задней поверхности применяют ленточку шириной не более 0,1 мм на задней поверхности вдоль режущей кромки. Но применение подобной фаски на металлорежущем инструменте, предназначенном для финишной обработки не возможно, так как это приведет к повышению радиальной составляющей силы резания и значительно снизит его режущую способность.

Передняя и задняя поверхности должны быть высокого качества (менее $Ra = 0,1$ мкм), что уменьшает налипание обрабатываемого материала на эти поверхности. Стандартными методами абразивной обработки можно получить шероховатость $Ra = 0,63-0,32$ мкм (АС4 50/40 – 63/50), доводкой - $Ra = 0,32-0,16$ мкм (АС4 28/20 – 40/28).

Элементы резания при финишной обработке труднообрабатываемых материалов

Проектирование и выбор режущего инструмента производится исходя из эмпирических зависимостей, определяющих геометрические параметры. Однако эти формулы несовершенны, носят частный характер и не имеют связи с аналитическими зависимостями. При этом для получения новых зависимостей необходимо проводить трудоемкие эксперименты. Аналитическое определение геометрических параметров инструмента до сих пор является проблемой и является важным этапом в теории резания. Постоянное увеличение точности обработки и качества поверхностного слоя требует расчета сил резания, которые определяют остаточные напряжения и отжимы детали.

Метод расчета напряженного и деформированного состояния зоны резания.

В современной теории резания металлов образование стружки объясняется как процесс сдвига, происходящий по плоскостям скольжения в обрабатываемом материале, в результате чего обрабатываемый материал пластически деформируется и отделяется от заготовки. Для пластической деформации металлов требуется приложить значительную силу, которая возрастает при обработке труднообрабатываемых материалов. Экспериментальные исследования образования стружки показывают, что сдвиг металла происходит по некоторой плоскости скалывания под углом ϱ к направлению движения инструмента. Этот угол является характерным параметром обрабатываемого материала и зависит от физико-механических свойств.

Определению сил резания посвящено большое количество работ [3, 4], в которых делается попытка аналитически определить силы резания. В работе [5] отмечается, что точное определение напряженно-деформированного состояния пластической зоны представляет большие трудности. В данных работах равновесие срезаемого элемента рассматривается не во времени, а как мгновенный акт в конечный момент сдвига. Поэтому расчетные силы резания отличаются от действительных. Также существуют работы, в которых процесс резания рассматривается как процесс, происходящий во времени, т.е. совокупность элементарных процессов сдвига, а не как мгновенное состояние срезаемого элемента. Силы резания при этом определяются интегральным путем и более приближены к действительным. При этом во всех методах есть несколько допущений:

1. Задний угол не оказывает влияния на силы резания;
2. Процесс стружкообразования рассматривается не только как сдвиг по плоскости скалывания, а также как сжатие элементов пластически деформированной зоны и их срез;
3. Деформация внутри сжимаемого элемента рассматривается во времени;
4. Дискретность процесса стружкообразования, определяемая величиной пути стружки, которые разделили по внешнему виду на стружки скалывания, сливные и надлома;

тываемый материал будет деформироваться, что значительно повысит остаточные напряжения. По данным [6] нагрузка на единицу длины кромки определяется:

$$\rho_n = \frac{\rho E}{9,35} \sin^2 \theta,$$

где ρ – радиус округления лезвия, мм; E – модуль упругости, МПа; θ – угол скалывания, град.

Исходя из выражения можно определить радиус округления лезвия имея допустимую нагрузку на единицу длины $[\rho_n]$. Получим:

$$\rho = \frac{9,35[\rho_n]E}{E \sin^2 \theta}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещака А. С., Третьяков И. П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1986. 192 с.
2. Гах В. М. [и др.]. Упрочняющее скругление кромок твердосплавного инструмента методом объемной вибрационной обработки // Вестник машиностроения. 1975. № 12. С. 44–47.
3. Аршинов В. А., Алексеев Г. А. Резание металлов и режущий инструмент: учебник для машиностроительных техникумов. Изд. 3-е перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1976. 440 с.
4. Башков В. М., Кацев П. Г. Испытания режущего инструмента на стойкость. М.: Машиностроение, 1985. 130 с.
5. Реченко Д. С., Попов А. Ю. Технология высокоскоростного затачивания твердосплавных инструментов // Старый Оскол: ТНТ. 2015. 160 с.
6. Полетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. М.: Машиностроение, 1969. 150 с.

УДК 621.74.041

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ОТЛИВОК ПРИ ЛИТЬЕ В ВАКУУМНО-ПЛЕНОЧНЫЕ ФОРМЫ

М. Ю. Солнышков

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Изготовление отливок в вакуумно-пленочных формах (ВПФ) является высокоэффективной, ресурсосберегающей технологией, позволяющее получать литые изделия с более высокими параметрами качества, чем в обычных песчано-глинистых формах. Сложность физико-химических процессов, протекающих при формировании отливок в таких формах, с одной стороны ограничивает возможность использования этого способа для любых типоразмеров литья, с другой стороны не позволяет применять традиционные методы проектирования при разработке технологии. Целью работы является повышение эффективности и расширение области применения изготовления отливок в (ВПФ). В соответствии с этой задачей исследования является определение основных типоразмеров отливок, рекомендованных к изготовлению в ВПФ, выявление основополагающих специальных конструкторско-технологических объектов в ВПФ, влияющих на формирование отливки и позволяющих получать качественное литье. На основании ранее полученных экспериментальных данных проведен теоретический анализ, позволивший сделать следующие выводы: основными параметрами отливки, определяющими возможность ее изготовления в ВПФ, являются габаритные размеры, толщина стенок и величина разностенности; основополагающими конструкторско-технологическими объектами в ВПФ, влияющими на формирование отливки и позволяющие получать качественное литье являются литниково-питающая и, в большей степени, вентиляционная системы; основным направлением развития основ расчета и создания методик проектирования таких конструкций для ВПФ являются теплофизический расчет в системе: жидкий металл – полимерная пленка – краска – формовочный наполнитель и вакуумно-временной расчет в системе: объем наполнителя формы – поверхностный пленочно-фильтрационный слой – объем литейной полости.