

Это можно сделать численно, используя, например, метод "золотого сечения". Параметры для соотношения (4) должны определяться путем решения на каждой итерации системы уравнений (5).

По предложенной методике проведен расчет для свободного косоугольного резания образца из стали 45. На рис. 1 представлена зависимость угла схода стружки ν от угла λ , полученная из расчета, а также кривая, полученная экспериментально [2]. Расчет дает хорошее совпадение с результатами эксперимента для $\lambda < 20^\circ$.

На основании вышеизложенного видно, что параметры процесса свободного стружкообразования с углом $\lambda \neq 0$ зависят от угла схода стружки, и поэтому приведенная методика может служить основой для теоретической оценки термомеханического режима неортогонального свободного резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грановский Г.И. Кинематика резания. – М., 1948. – 199 с.
2. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. – М., 1956. – 367 с.
3. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов. – М., 1962. – 149 с.
4. Куцер В.М. Анализ процесса ортогонального резания с учетом переменных свойств обрабатываемого материала // Машиностроение. – Мн., 1988. – Вып. 13. – С. 8–15.
5. Куцер В.М. Теоретическая оценка сил при ортогональном резании // Машиностроение. – Мн., 1989. – Вып. 14. – С. 7–11.

УДК 621.91.02

В.А. ДАНИЛОВ,
канд.техн.наук (НПИ)

СХЕМЫ РОТАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ КОМБИНИРОВАННЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Ротационное резание, обеспечивая многократное повышение производительности обработки и стойкости инструмента [1], является эффективным методом обработки в автоматизированном производстве, что подтверждается его применением при изготовлении роторов и статоров электродвигателей. Однако этот метод еще не получил широкого применения, в частности, из-за сложности обеспечения стружкодробления при обработке пластичных материалов круглыми резами. В связи с этим создание схем и инструментов для ротационного резания, обеспечивающих надежное стружкодробление, имеет важное практическое значение.

Кинематические особенности ротационного резания позволяют осуществить стружкодробление способами, основанными на изменении классической кинематики ротационного точения. К ним относится резание с неравномерным вращением резца или вращением его вокруг оси, не совпадающей с его геометрической осью, с переменными параметрами режущей части резцов. Однако в первом случае усложняется конструкция устройства для ротационного точения и невозможна обработка при оптимальном соотношении угловых скоростей заготовки и резца, так как оно непрерывно изменяется. При вращении резца вокруг оси, не совпадающей с его геометрической осью, биение режущей

кромки снижает качество обработки. Круглые резцы с переменными передним углом и углом наклона режущей кромки сложны в изготовлении и поэтому находят ограниченное применение.

Отмеченных недостатков лишены комбинированные ротационные инструменты в виде круглого резца с непрерывной режущей кромкой и дополнительного режущего инструмента.

На рис. 1 изображена схема обработки инструментом, содержащим круглый резец 2 и установленный над ним многозубый инструмент 3 [2]. Передний и задний углы заточки режущей части инструмента 3 отличаются на угол от соответствующих углов резца 2.

В процессе обработки заготовке 1 сообщается вращательное движение B_1 , а инструменту — продольная подача S и непрерывное вращение B_2 с частотой и по направлению, обеспечивающим максимальную его стойкость. Формообразование цилиндрической поверхности осуществляется непрерывно круговой режущей кромкой резца 2. Режущие элементы инструмента 3 вступают в работу периодически и срезают металл на некотором угле поворота заготовки одновременно с резцом 2, причем большая часть глубины резания приходится на верхний инструмент, а меньшая — на круглый резец. Благодаря периодическому перераспределению глубины резания между инструментами 2 и 3 достигается устойчивое дробление стружки. Для обеспечения равномерного изнашивания круглого резца рекомендуется периодически или непрерывно поворачивать инструмент 3 вокруг оси вращения комбинированного инструмента. Непрерывное вращение инструмента 3 может использоваться также для обеспечения заданной степени измельченности стружки.

Дробление стружки осуществляется каждый раз при выходе из зоны резания режущей кромки нижнего или верхнего инструмента. Непрерывная стружка образуется в течение времени T контакта режущего лезвия с обрабатываемой заготовкой. Поэтому максимальная длина (м) стружки при обработке пластичных материалов выражается зависимостью

$$l_c = Tvk_1,$$

где T — время контакта; $T = (b + c)/v_p$, с; b — длина режущего лезвия многорезвийного инструмента, м; c — длина дуги контакта резца с заготовкой: $c = \epsilon d_p / 2$, м; ϵ — угол контакта резца с заготовкой: $\epsilon = \arccos(1 - 2t/d_p)$, рад;

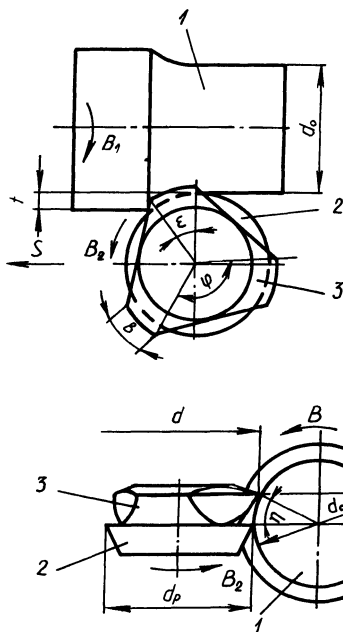


Рис. 1. Схема обработки комбинированным инструментом с многорезвийным резцом

d_p — диаметр реза, м; t — глубина резания, м; v — скорость главного движения, м/с; k_l — коэффициент укорочения стружки, определяемый экспериментально; v_p — окружная скорость вращения инструмента, м/с.

Тогда длина стружки, срезаемой верхним резцом,

$$l'_c = \frac{v}{v_p} k_l \left[b + \frac{d_p}{2} \arccos \left(1 - \frac{2t}{d} \right) \right]. \quad (1)$$

Аналогично длина стружки, срезаемой нижним резцом, выражается зависимостью

$$l''_c = \frac{v}{v_p} k_l \left(\frac{\varphi d_p}{2} - b + \frac{\epsilon d_p}{2} \right), \quad (2)$$

где φ — угол между соседними режущими зубьями инструмента Z .

Из выражений (1) и (2) следует, что одинаковая длина элементов стружки, срезаемой нижним и верхним инструментами, обеспечивается при $b = \varphi d_p / 4$.

Количество элементов стружки, образуемых за один оборот комбинированного инструмента, в 2 раза больше числа режущих зубьев инструмента Z . Если же режущие зубья этого инструмента имеют форму, аналогичную режущей части проходного резца ($b = 0$), количество элементов стружки равно числу этих зубьев, а l_c определяется зависимостью

$$l_c = \frac{d_p v}{2v_p} k_l (\varphi + \epsilon). \quad (3)$$

На рис. 2 изображена конструкция комбинированного инструмента, реализующего эту схему обработки [3]. На передней поверхности круглого резца 9 диаметром d_p установлена обойма 8 с режущими пластинками 1, вершины которых равномерно расположены по окружности диаметром d на высоте h от передней поверхности резца 9. Пластинки 1 прижаты к этой поверхности прихватом 6, оснащенным самоустанавливающимися фиксаторами 3 с пружинами 4 для точной установки режущих пластинок в обойме. Упругие элементы 2 служат для повышения надежности крепления при неидентичности их по высоте. Круглый резец 9, обойма 8 и прихват 6 установлены неподвижно относительно друг друга на оправке 7, снабженной гайкой 5, посредством которой через прихват 6 и упругие элементы 2 осуществляется зажим пластин 1. В обойме могут быть также круглые режущие пластины.

В процессе обработки заготовке диаметром D сообщается вращение с частотой n_3 , а комбинированному инструменту — вращение с частотой n и движение подачи S вдоль образующей обработанной поверхности диаметром d . При этом пластинки 1 осуществляют разделение стружки, срезаемой резцом 9, на элементы длиной l_c (см. формулу (3)).

Следовательно, угол между соседними режущими пластинками

$$\varphi = \frac{2l_c v_p}{k_l d_p v} - \epsilon.$$

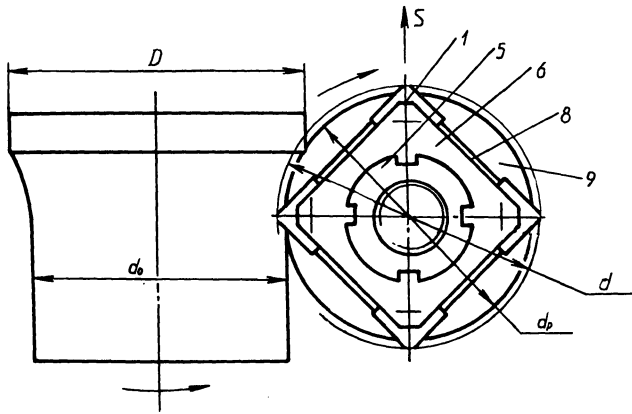
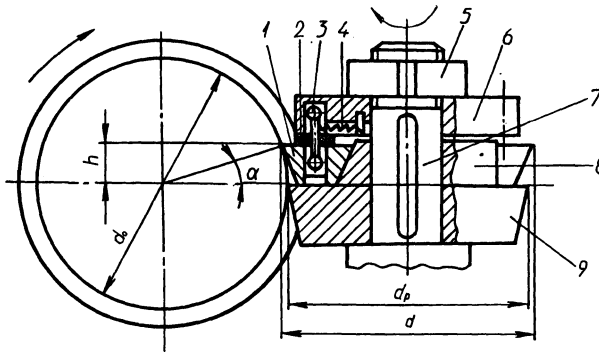


Рис. 2. Схема обработки комбинированным инструментом со сменными пластинками

Таким образом, для обеспечения заданной степени измельчения стружки в обейме должны быть установлены z режущих пластинок, количество которых определяется зависимостью

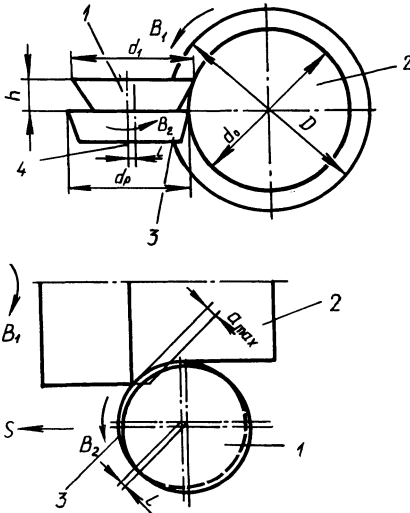
$$z \geq \frac{\pi}{\frac{l_c v_p}{k_l d_p v} - 0,5 \epsilon}$$

При небольшой глубине резания ϵ можно пренебречь, тогда

$$z > \frac{\pi d_p k_l v}{l_c v_p}$$

Вершины режущих пластинок расположены на окружности, диаметр которой определяется зависимостью

Рис. 3. Схема обработки комбинированным инструментом с эксцентрично установленным круглым резцом



$$d = d_p + \frac{2h^2}{d_0} \quad (4)$$

Во всех случаях значение d , вычисленное по формуле (4), меньше диаметра, при котором вершины режущих пластинок касаются обработанной поверхности диаметром d_0 , на

$$\Delta d = d_0 \left(1 - \cos \arcsin \frac{2h}{d_0} \right) - \frac{2h^2}{d_0}$$

Практически всегда $\Delta d < 0,1$ мм. Расстояние между вершинами режущих пластин и обработанной поверхностью составляет $\Delta d/2$. Следовательно, режущие пластинки, установленные в обойме, в процессе резания не касаются обработанной поверхности диаметром d_0 , которая формируется только круглым резцом. Вследствие же малости Δd инструмент обеспечивает надежное стружкодробление и при небольшой (меньше 1 мм) глубине резания.

На рис. 3 изображена схема ротационного точения комбинированным инструментом в виде двух круглых резцов, верхний 1 из которых установлен эксцентрично, а нижний 3 — концентрично относительно оси вращения [4]. В процессе обработки заготовке 2 сообщается вращение B_1 со скоростью главного движения, а резцам — вращение B_2 по направлению схода стружки вокруг оси 4 нижнего резца и движение подачи S вдоль образующей обрабатываемой поверхности.

Вследствие эксцентричной установки верхнего резца толщина слоя, срезаемого каждым резцом, изменяется от максимального значения до нуля или любого заданного из условия стружкообразования значения, обусловленного эксцентриситетом и диаметрами резцов. Суммарная толщина срезаемого слоя металла в любой момент времени величина постоянная, равная глубине резания, причем максимальному значению толщины слоя, срезаемого одним рез-

цом, соответствует минимальное значение толщины слоя, срезаемого вторым резцом, благодаря чему обеспечивается устойчивое дробление стружки независимо от свойств обрабатываемого металла. При этом за счет концентричной установки нижнего резца обеспечивается формообразование поверхности вращения.

За каждый оборот резцов стружка дробится дважды, поэтому максимальная длина ее отдельных участков выражается зависимостью

$$l_c = \frac{vk_l}{2n} = \frac{\pi D n_3 k_l}{2n},$$

или

$$l_c = \pi k_r d_p \frac{v}{v_p}.$$

Благодаря плавному изменению толщины слоев, срезаемых каждым резцом в пределах общей глубины резания, процесс стружкодробления не сопровождается существенными колебаниями суммарной силы резания и ее составляющих, что создает благоприятные условия для работы обоих круглых резцов.

Эксцентриситет e установки верхнего резца относительно нижнего рекомендуется задавать примерно равным половине максимального значения толщины среза a_{\max} , которая для круглого резца определяется зависимостью $a_{\max} = 2S \sqrt{t/d_p}$ [1]. С увеличением l уменьшается длина режущей кромки верхнего резца, участвующей в резании, и соответственно возрастают нагрузка на нижний резец и неравномерность процесса резания. При $l < a_{\max}/2$ может не обеспечиваться надежное дробление стружки. Диаметр d_1 верхнего резца при установке нижнего на уровне центров станка определяется зависимостью

$$d_1 = d_p - 2l + d_0 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4h^2}{d_0^2}} \right).$$

При симметричном расположении резцов относительно оси вращения заготовки

$$d_1 = d_p - 2l.$$

Рассмотренные схемы ротационного резания могут быть использованы на универсальных и автоматизированных токарных станках, оснащенных устройствами для ротационного точения. При этом может быть решена задача надежного стружкодробления при обработке пластичных материалов и расширена область применения ротационного резания в металлообработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. — Мн., 1972. — 272 с. 2. А.с. 814575 (СССР). В.А. Данилов, Н.С. Иванов. Устройство для ротационного точения. 3. А.с. 1355363 (СССР). В.А. Данилов. Способ дробления стружки при ротационной обработке. 4. А.с. 891219 (СССР). В.А. Данилов. Способ ротационного точения.