

плитуды для прямой схемы резания выше, чем для обратной. Так, для направления наименьшей жесткости с увеличением глубины резания от 0,25 мм до 0,6 мм для прямой схемы резания отмечено увеличение амплитуды от 38 до 80 м/с<sup>2</sup> (более чем в 2 раза) когда как для обратной схемы увеличение составило от 28 до 43 м/с<sup>2</sup> (в 1,5 раза). Это может быть объяснено уменьшением кинематического заднего угла для обратной схемы и соответственным повышением устойчивости процесса резания.

3. При анализе влияния подачи (диапазон 0,28-0,57 мм/об) установлено, что для обратной схемы амплитуда возрастает во всех направлениях измерения, например, с 40 до 60 м/с<sup>2</sup> для направления наименьшей жесткости. Для прямой схемы резания отмечен максимум значения  $A$  при подачах от 0,28 до 0,43 мм/об ( $A=53$  м/с<sup>2</sup>). Дальнейшее увеличение подачи приводит к снижению интенсивности колебаний резца (при  $S=0,57$  мм/об  $A=48$  м/с<sup>2</sup>), т.е. увеличение подачи свыше 0,43 мм/об сопровождается повышением устойчивости процесса резания.

4. Для всех экспериментов характерна максимальная амплитуда колебаний в направлении наименьшей жесткости, а минимальная – в радиальном направлении.

5. Направление минимальной жесткости зависит от соотношения составляющих силы резания, что необходимо учитывать при конструировании ротационных резцов, обеспечивая угол оси жесткости около 35-45°. Это создает предпосылки для устойчивости процесса при низких и высоких скоростях резания (рис.1).

6. Зависимости интенсивности колебаний от углов заточки ротационного резца (рисунок 2) имеет ярко выраженный экстремальный характер, причем величина углов заточки, при которых наблюдаются экстремумы, примерно одинакова для всех измеряемых направлений. Эти величины для условий экспериментов близки к назначенным углам заточки ( $\gamma_3=30^\circ$ ,  $\alpha_3=20^\circ$ ), которые были ранее оптимизированы в отношении максимальной стойкости инструмента.

Указанные выводы обосновывают возможность оптимизации геометрии ротационного инструмента на основе использования метода АЭ, не проводя длительных испытаний на износ и сравнительной оценки режущих свойств инструментов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов Е.Г., Борисенко А.В. Исследование спектра колебаний резца в процессе устойчивого резания металлов // Докл. АН БССР, 1968, т. XII, № 9.
2. Подураев В.Н., Борзов А.А. Анализ и прогнозирование процесса резания методом акустической эмиссии. – В сб. Перспективы развития режущего инструмента. – М.: МДНТП, 1978.
3. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. – Мн.: Наука и техника, 1972.
4. Ящерицын П.И., Борисенко А.В., Дривотин И.Г., Лебедев В.Я. Ротационное резание материалов. – Мн.: Наука и техника, 1987.

УДК 621.9.02-589.22

*Лебедев В.Я., Сидоренко В.А.*

## **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ РОТАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»,  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Известно, что в общем случае кинематическая реализация обработки резанием включает рабочие движения, сообщаемые инструменту или заготовке: главное движение, одно или несколько движений подачи и касательное движение. Последнее движение ис-

пользуется относительно реже и предназначено для смены контактирующих с заготовкой участков режущей кромки [1]. В технической литературе это движение иногда называют как «движение режущей кромки вдоль самой себя». Для ротационного резания [2, 3], когда режущая часть инструмента выполняется в виде тела вращения, касательное движение выражается как вращательное движение чаще всего круговой режущей кромки вокруг своей геометрической оси.

В настоящее время наиболее изучен принцип самовращения режущей части под действием возникающих сил трения от взаимодействия обрабатываемого материала и рабочих поверхностей инструмента. Вместе с тем несомненно, что использование в конструкции инструмента дополнительного привода принудительного вращения режущей части иногда просто необходимо вследствие, например, прерывистости процесса резания или неустойчивости самовращения. Кроме того, в изменении скорости, направления и периодичности вращения или дискретного поворота режущей части инструмента заложен большой и пока еще не в достаточной мере изученный, а потому и неиспользованный резерв управления процессом ротационного резания. На использовании этого эффекта в республике разработано «шаговое» резание [4], «брежущее» резание стеклопластиков [5].

Для изучения процесса ротационного резания с принудительным вращением режущей части ротационного инструмента разработано устройство, конструкция которого приведена на рис. 1. На основании 8, устанавливаемым вместо суппорта токарного станка, крепится траверса 3 с вертикальными Т-образными пазами, относительно которых может перемещаться в вертикальном направлении инструментальная плита 10. На ней закреплены соосно резцедержатель 7 с ротационным узлом и реверсивный электродвигатель 1 постоянного тока. Вращательное движение от электродвигателя передается через полумуфты 2 и 9, закрепленные соответственно на валу электродвигателя и хвостовике ротационного резца. С помощью расположенных в круговых пазах двух шпилек 4 с гайками осуществляется поворот плиты 3 в вертикальной плоскости на центральный угол установки  $\omega$  и закрепление плиты к траверсе. Путем перемещения инструментальной плиты 10 в вертикальных пазах стойки 3 обеспечивается установка вершины режущей части 6 (в точке ее касания с обрабатываемой заготовкой 5) строго на уровне оси центров станка.

Реверсивный электродвигатель постоянного тока позволяет обеспечивать бесступенчатое регулирование частоты вращения ротора от 0 до 2000 мин<sup>-1</sup> в обоих направлениях вращения. Контроль скорости вращения ротора, а следовательно, и режущей чашки ротационного резца осуществляется с использованием датчика, установленного на свободном конце вала электродвигателя, и записывающего прибора. Датчик имеет вид металлической втулки с участком из электроизолирующего материала (эбонита), контактирующей с упругим металлическим контактом, скользящим по периферии втулки.

Для осуществления прямой и обратной схем ротационного резания (рис. 1) плита 8 может поворачиваться в горизонтальной плоскости на различные углы установки оси ротационного резца соответственно на  $\varphi_{пр}$  и  $\varphi_{обр}$ .

Для кинематического анализа результатов использования ротационного резца с принудительным вращением режущей части важна не абсолютная величина ее вращения (касательного движения), а относительный параметр, называемый кинематическим коэффициентом  $K$  ротационного резания,

$$K = \frac{V_p}{V} = \frac{d \times n_p}{D \times n},$$

поэтому в последующем все результаты исследований будут связаны с коэффициентом  $K_{пр}$  для принудительного вращения.

В данной работе приведены результаты исследования следующих показателей качества обработанной поверхности (шероховатость, волнистость, относительная опорная длина профиля, степень и глубина наклепа, текстура материала поверхностного слоя). Использовались образцы из стали 45 после отжига, диаметром  $D=77$  мм, режущей чашки диаметром  $d=31...37$  мм из твердого сплава ВК8 с углами заточки  $\gamma_3=30^\circ$ ,  $\alpha_3=20^\circ$ . Частота

принудительного вращения режущей чашки ротационного резца  $n_p = +2000 \dots -2000 \text{ мин}^{-1}$ . Знак «плюс» соответствовал вращению в направлении самовращения режущей чашки, знак «минус» - во встречном направлении. Режим резания: частота вращения обрабатываемой заготовки  $n = 630 \text{ мин}^{-1}$  (скорость главного движения  $-V = 152,5 \text{ м/мин}$ ); глубина резания  $t = 0,2 \text{ мм}$ ; подача  $S = 0,3 \text{ мм/об}$ . Углы установки резца относительно обрабатываемой поверхности  $\omega = 30^\circ$ ,  $\varphi = 30^\circ$ . Резание без охлаждения.

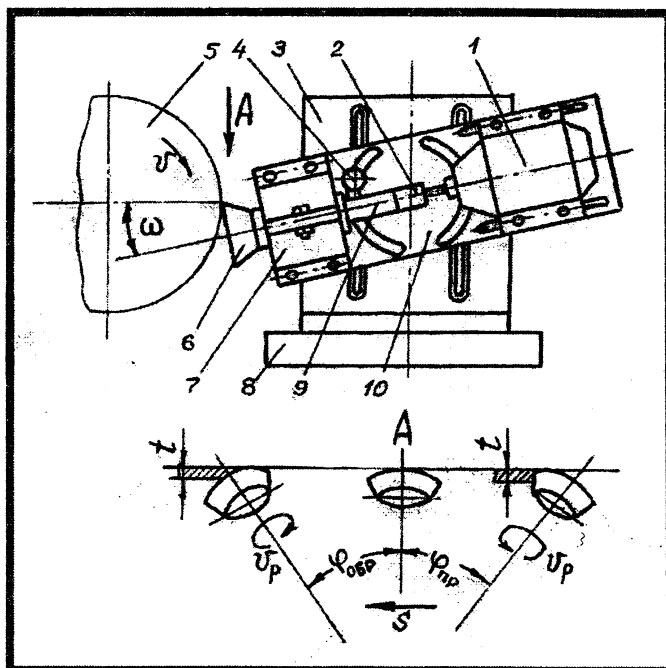


Рисунок 1 – Устройство для принудительного вращения режущей чашки ротационного резца. Вид А – установка по прямой ( $\varphi_{пр}$ ) и обратной ( $\varphi_{обр}$ ) схемам резания ( $t$ ,  $s$ ,  $v$  – параметры режима резания)

### *Шероховатость и волнистость обработанной поверхности*

Анализ графиков 1-4 (обратная и прямая схемы) показывает:

1. Сообщение ротационному резцу касательного движения (изменение  $K_{пр}$  от 0, т.е. от неподвижного или как принято говорить, заторможенного ротационного резца) в обоих направлениях для обеих схем резания приводит к плавному уменьшению высоты микронеровностей. Это объясняется тем, что с уменьшением абсолютной величины  $K_{пр}$  (от 0,9...1,3) до нуля увеличивается скорость проскальзывания задней поверхности режущей чашки ротационного резца, увеличивается пластическая деформация слоя, растет высота микронеровностей.

2. Особенно характерна установленная зависимость для области отрицательных значений  $K_{пр}$ , вплоть до  $K_{пр} = -1,3$ , т.е. при «встречном» вращении режущей кромки резца уменьшение высоты микронеровностей более существенно.

3. При прямой схеме резания высота микронеровностей в зоне положительных значений  $K_{пр}$  на 25-30% меньше, чем при обратной схеме. Вместе с тем в области отрицательных значений  $K_{пр}$  разность между достигаемыми значениями параметра шероховатости  $R_a$  при различных схемах резания достигает 70%. Это объясняется тем, что уменьшается кинематический задний угол, и при прямой схеме рабочая задняя поверхность режущей чашки играет роль накатного ролика и заглаживает микронеровности обработанной поверхности до значений  $R_a = 0,3 \text{ мкм}$  (в условиях опытов).

4. На обработанной ротационным резцом поверхности вследствие неизбежного радиального и осевого биений его режущей кромки образуется волнистость, причем по высоте и шагу волнистости более проявляется поперечная волнистость

5. Высота волнистости превышает высоту микронеровностей, а шаг волнистости значительно (в несколько раз) больше значения предельной подачи ротационного резца

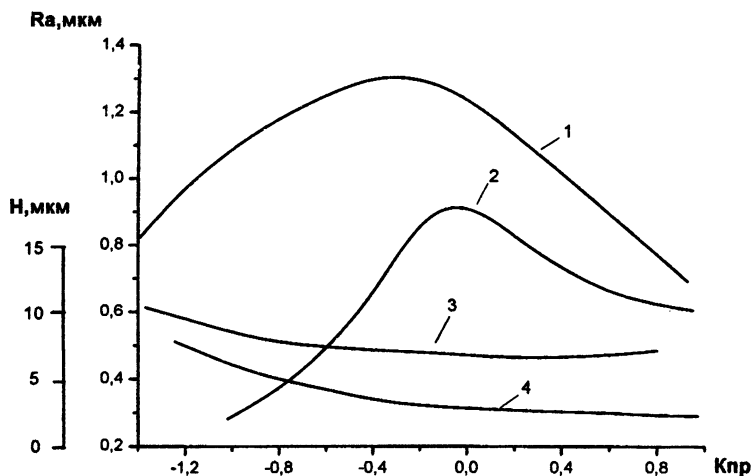


Рисунок 2 – Зависимость параметра шероховатости  $R_a$  (1, 2) и высоты волнистости  $H$  (3, 4) поверхности от кинематического коэффициента  $K_{пр}$  по обратной (1, 3) и прямой (2, 4) схемам

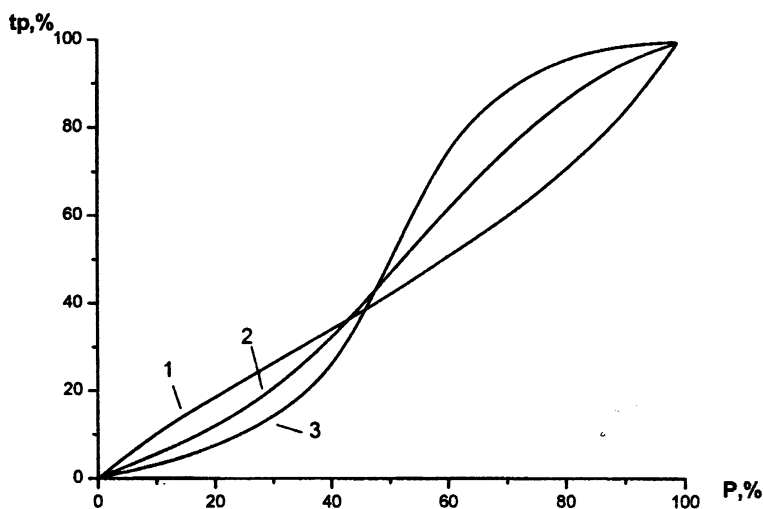


Рисунок 3 – Зависимость относительной опорной длины профиля  $t_r$  от уровня сечения профиля  $P$  при обработке резцом: 1 – призматическим; 2 и 3 – ротационным соответственно при  $K_{пр} = 0,94$  и  $K_{пр} = -1,1$

6. При прямой схеме резания высота и шаг волнистости соответственно в 2 и 1,6...1,8 раза меньше, чем при обратной схеме.

#### Относительная опорная длина профиля

Анализ полученных данных показывает, что обработанная поверхность после ротационного точения с принудительным вращением режущей чашки имеет характерный профиль, отличающийся от профиля, полученного обычным точением. На рис. 3 совмещены кривые относительной опорной длины профиля для следующих крайних случаев: для призматического резца и для ротационного резца при значениях  $K_{пр} = 0,94$  и  $K_{пр} = -1,1$ .

Из графиков следует:

1. Для ротационных резцов по сравнению с призматическим зона линий выступов имеет небольшую относительную опорную длину, что способствует более быстрой приработке сопряженных деталей, работающих на трение скольжения. Эта особенность характерна примерно до значений  $t_r = 50\%$ .

2. На уровне сечений профиля, превышающем 50% и более, опорная поверхность для ротационных резцов значительно больше. Это свидетельствует о формировании щелей для

удержания смазки, способствует получению прочных прессовых соединений в связи с уменьшением смятия гребешков, возрастанию усилия запрессовывания, увеличению фактической поверхности контакта. Так же, как и в предыдущих случаях, «встречное» направление касательного движения (знак «минус») предпочтительнее.

#### *Степень и глубина наклепа поверхностного слоя*

Приведены результаты для обратной схемы резания, так как предварительные эксперименты показали, что при прямой схеме резания в условиях эксперимента степень  $\Delta H\%$  и глубина  $h$  наклепа на 20...30% меньше. Для условий получения минимального наклепа обработанной поверхности прямая схема показала себя более предпочтительной.

При обратной схеме резания с уменьшением  $K_{пр}$  от +0,8 до -0,2 (рис. 4, кривая 2)  $\Delta H$  уменьшается с 30 до 16 %, т.е. в 1,9 раза, дальнейшее изменение  $K_{пр}$  приводит к увеличению  $\Delta H$  до 30%. Такой же экстремальный характер имеет и зависимость глубины наклепа  $h$ . Эти зависимости объясняются изменением направления силы резания, кинематических передних и задних углов режущей чашки и угла наклона лезвия. В области отрицательных значений  $K_{пр}$  основное влияние на наклеп обработанной поверхности оказывает уменьшение кинематического заднего угла, вследствие чего возрастают нормальные силы и силы трения в контактной зоне, и увеличивается степень пластической деформации и объем деформируемого металла поверхностного слоя.

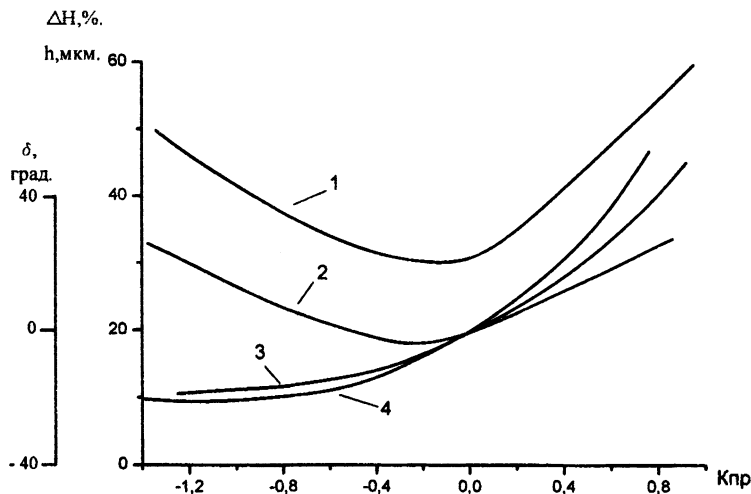


Рисунок 4 – Зависимость глубины  $h$  (1), степени наклепа  $\Delta H$  (2) и угла наклона  $\delta$  текстуры металла поверхности от кинематического коэффициента  $K_{пр}$  (3 – прямая, 4 – обратная схемы резания)

#### *Текстура поверхностного слоя*

При обработке резанием в поверхностном слое обработанной детали формируется определенная текстура (вытянутость зерен металла), которая совпадает с направлением следов режущего лезвия резца по обработанной поверхности. От направления текстуры во многом зависят эксплуатационные свойства обработанных деталей. Ротационный резец, имеющий дополнительное касательное движение, формирует в отличие от призматического совершенно иной текстурированный слой, располагающийся под некоторым углом  $\delta$  к направлению главного движения. Кинематический коэффициент  $K_{пр}$  является надежным параметром, регулирующим угол наклона текстуры в широких пределах. При ротационном резании по обратной схеме угол наклона текстуры меняется в наибольшей степени при изменении  $K_{пр}$ . Так, уже при  $K_{пр} = +0,8$  угол наклона текстуры достигает  $60^\circ$ , т.е. почти в 1,5 больше, чем для прямой схемы. В направлении противовращения возможности схем резания сближаются и при  $K_{пр} = -1,2$  угол наклона текстуры приближается к  $20^\circ$ .

Полученная при ротационном резании картина текстуры благоприятно влияет на прочность и надежность соединяемых прессованием сборных деталей, способствует захвату смазки у торца и продвижению ее по всей поверхности трения наподобие винтового насоса.

При осуществлении способа по авт. свид. № 416162 [6] возможно регулировать микрорельеф поверхности, вплоть до получения квазихонингованной структуры поверхностного слоя.

Таким образом, проведенные исследования и производственные испытания подтвердили эффективность процесса ротационного резания с принудительным вращением режущей чашки. Особенно это касается, как показали эксперименты, прямой схемы резания по 2-ой геометрической схеме установки резца с принудительным его вращением в сторону «встречного» вращения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 25762-83. Обработка резанием. Термины определения и обозначения общих понятий. 2. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. – Мн.: Наука и техника, 1972. 3. Ящерицын П.И., Борисенко А.В., Дриготин И.Г., Лебедев В.Я. Ротационное резание материалов. – Мн.: Наука и техника, 1987. 4. Шатуров Г.Ф., Мрочек Ж.А. Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. 5. Филиппов М.Н. Технологическое обеспечение качества обработанных поверхностей деталей из стеклопластиков на тканой основе при точении способом брешущего резания. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Мн.: БПИ, 1988. 6. А.с. 416162. Способ резания принудительно вращаемым чашечным резцом / Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А. – Опубл. БИ, 1974. № 7.

*Ивашин А.В., Лебедев В.Я., Туромша В.И.*

#### РАБОТОСПОСОБНОСТЬ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТЕКЛА

Белорусский национальный технический университет  
ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

**Введение.** Значительная часть (70 – 80 %) алмазного инструмента, применяемого на предприятиях РБ для обработки стекла, приходится на инструмент, поставляемый из РФ и Украины. В основном используется инструмент на алмазоабразивных композиционных материалах на металлической основе (металлические связки М1-01, М2-01, М3-01, М6-14, М1-04, М1-05 и др.). Реже применяется инструмент на органических связках (В2-01, В1-02 и др.) и керамических связках (К2-01, К3-01). Для изготовления алмазного инструмента обычно применяют шлифпорошки из синтетических алмазов АС6 – АС15 узких фракций. Концентрация алмазов в инструменте для грубых операций составляет 25 – 100 %. В зависимости от требований производства применяются круги с нестандартной концентрацией 30, 35 % и др. Особое внимание уделяется расसेву порошков, так как наличие закрупненных фракций в таком инструменте резко ухудшает качество обработки. Характеристики алмазоносного слоя и работоспособность инструмента определяются маркой, зернистостью и концентрацией алмазного порошка, а также связкой. Связка часто определяет работоспособность, режущую способность круга и удельный расход алмазов [1].

Основные формы применяемого инструмента регламентируются ГОСТ 16167—70 — ГОСТ 16181—70. Диаметр кругов достигает 250 мм. Требования к кругам для стеклообработки определяются ГОСТ 30352. Ряд предприятий, в том числе и ПРУП «Борисовский хрустальный завод» применяют круги нестандартных типоразмеров и параметров алмазоносного слоя.

Создание высокоэффективного алмазного инструмента для обработки стекла на металлических связках с высокими эксплуатационными характеристиками, превышающими характеристики аналогичного инструмента, выпускаемого зарубежными производителями