

мальная скорость подачи инструмента, которую можно определить из формулы (6), приняв  $S = 1$ .

Таким образом, основное время обработки отверстия, включая все этапы, равно:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4.$$

При обработке отверстий с изменяющейся по полученным законам скоростью подачи инструмента, кроме уменьшения максимального крутящего момента, улучшается качество обработанных отверстий, снижается основное время обработки, повышается стойкость инструмента и более равномерный износ зубьев по всей их длине, что объясняется уменьшением толщины среза, а следовательно, силовой и тепловой нагрузок на участках режущей части с большими диаметрами, где скорость резания возрастает.

### Л и т е р а т у р а

1. А. с. 371037 (СССР). Режущий инструмент / Ящерицын П.И., Миткевич С.И., Комаров В.Н. – Оpubл. в Б.И., 1973, № 12.
2. Ящерицын П.И., Комаров В.Н., Миткевич С.И. Силовое развертывание отверстий. – Промышленность Белоруссии, 1972, № 8.
3. Эффективное применение силового развертывания в машиностроении: Обзорная инф. / П.И.Ящерицын, В.Н.Комаров, С.И.Миткевич, Л.С.Овчинников. – Мн., 1979.
4. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. – М., 1976.

УДК 621.951.7

С.И.Миткевич, канд. техн. наук (БПИ)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИЛОВЫХ РАЗВЕРТОК ПО КРИТЕРИЮ РАЗМЕЩЕНИЯ И ВЫВОДА СТРУЖКИ ИЗ ОБРАБАТЫВАЕМОГО ОТВЕРСТИЯ

Особенностью работы силовых разверток является снятие стружки большого объема одновременно на всей длине обрабатываемого отверстия. Поэтому при проектировании этих инструментов особое внимание нужно уделять вопросу размещения и вывода стружки из обрабатываемого отверстия, что в некоторых случаях определяет вообще работоспособность силовых разверток.

В теории резания металлов направление перемещения стружки, определяемое углом схода стружки  $\rho$ , связывают с кинематическим углом наклона режущего лезвия  $\lambda$ . С точки зрения кинематики силовое разворачивание относится к процессу косоугольного резания, которое характеризуется величиной  $\lambda$ . При невысоких скоростях резания и небольших толщинах среза (что характерно для процесса силового разворачивания) угол схода стружки  $\rho$  незначительно отличается от угла наклона лезвия  $\lambda$  [1, 2].

Угол  $\lambda$  силовых разверток может изменяться в широком диапазоне и принимать большие значения в зависимости от направления зубьев, их угла наклона и положения вектора скорости резания и определяется по уравнению

$$\lambda = \omega \mp \arctg (\operatorname{tg} \sigma \cdot \cos \varphi), \quad (1)$$

или, учитывая малый угол  $\varphi$ , по упрощенному уравнению, полученному из схем на рис. 1,

$$\lambda = \omega \mp \sigma, \quad (2)$$

где знак минус соответствует левому направлению режущих лезвий, а плюс – правому.

Угол  $\sigma$  в уравнениях (1) и (2) характеризует направление вектора действительной скорости резания  $\vec{V}$  и измеряется меж-

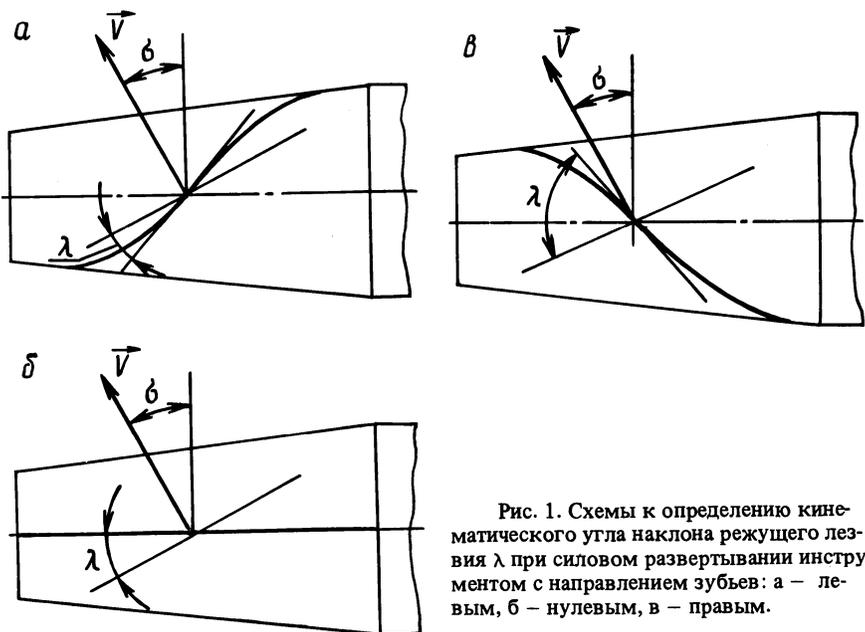


Рис. 1. Схемы к определению кинематического угла наклона режущего лезвия  $\lambda$  при силовом разворачивании инструментом с направлением зубьев: а – левым, б – нулевым, в – правым.

ду плоскостью относительного движения, включающей этот вектор, и плоскостью, перпендикулярной оси инструмента. Значение угла  $\beta$  находится из зависимости

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{S}{\pi D_i}, \quad (3)$$

где  $S$  – подача, мм/об;  $D_i$  – диаметр режущей части инструмента в рассматриваемой точке лезвия, мм.

Эксперименты по изучению стружкообразования при силовом развертывании проводились инструментами диаметром 24 мм из быстрорежущей стали P12 на образцах из стали 45 длиной 25 мм. Конструктивные и геометрические параметры силовых разверток принимались следующие: направление винтовых зубьев левое, правое и нулевое; угол наклона зубьев на калибрующей части – 0, 15, 30 и 40°; угол в плане  $\varphi$  – 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0°; передний угол 15°; длина режущей части – 60 мм; глубина стружечной канавки на максимальном диаметре режущей части – 5 мм. Обработка велась на токарно-винторезном станке на скорости резания 0,085 м/с и подаче от 3,5 до 44 мм/об с применением в качестве СОЖ 5%-ной эмульсии.

Для каждого опыта вычислялся угол  $\lambda$  и определялся угол  $\tau$  (рис. 2), характеризующий вытягивание стружечного валика по длине и измеряемый между лежащей в плоскости, параллельной оси стружечного валика, касательной к винтовой кромке ребра стружки и плоскостью, перпендикулярной к этой оси. Измерение угла  $\tau$  производилось на большом инструментальном микроскопе. Усредненные его значения округлялись до ближайших целых чисел. Результаты проведенных экспериментов частично представлены в табл. 1.

Согласно теории косоугольного резания предполагалось, что при больших значениях угла  $\lambda$ , а следовательно, и угла  $\rho$  (для инструментов с правым направлением винтовых зубьев) угол  $\tau$  также будет большим и стружка будет хорошо выводиться из обрабатываемого отверстия в сторону, противоположную подаче (назад), и, наоборот, угол  $\tau$  стружки будет меньшим при малых углах  $\lambda$ , характерных для инструментов с левым направлением зубьев. Однако проведенными экспериментами данное положение не подтвердилось. При силовом развертывании угол  $\rho$  и соответственно угол  $\tau$  стружки не определяются кинематическим углом наклона лезвия  $\lambda$ , а зависят в основном от совокупности трех факторов: направления винтовых зубьев, углов их наклона и величины подачи, характеризваемой углом  $\beta$ . Так,

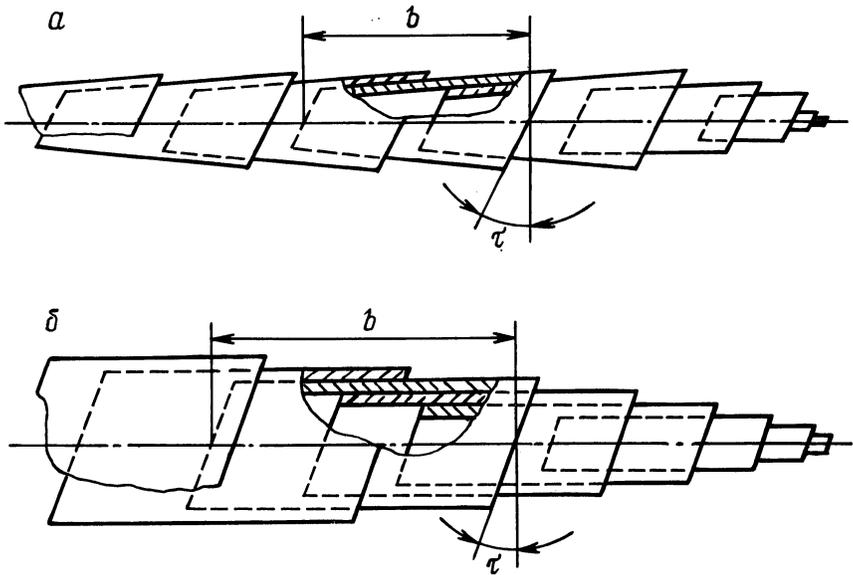


Рис. 2. Схемы свертывания сливной стружки в валик; а – в два слоя и не увеличивающийся по диаметру, б – в три слоя и увеличивающийся по диаметру.

при условиях обработки, когда  $\lambda = 0$  (№ 1 в табл. 1), угол  $\tau$  достигает  $50^\circ$ , а при  $\lambda = 45^\circ$  (№ 6 в табл. 1) – всего лишь  $2^\circ$ . При правом направлении зубьев силовой развертки с  $\omega = 15^\circ$  (№ 5 в табл. 1) стружка движется не против подачи (назад), как предполагалось, а по подаче (вперед), при этом

Таблица 1. Зависимость угла  $\tau$  стружки и направления ее перемещения от параметров силовой развертки и подачи

№ экс-перимента	Направление зубьев	Угол $\omega$ , град	Угол $\varphi$ , град	Подача $S$ , мм/об	Угол $\sigma$ , град	Угол $\lambda$ , град	Направление перемещения стружки	Угол $\tau$ , град
1	Левое	30	0,5	44	30	0	Вперед	50
2	Левое	30	1,0	20	16	14	Вперед	39
3	Левое	30	2,0	7	6	24	Вперед	29
4	Нулевое	0	0,25	44	30	30	Вперед	31
5	Правое	15	1,0	20	15	30	Вперед	16
6	Правое	30	1,0	20	15	45	Назад	2
7	Правое	30	2,0	7	6	36	Назад	9

свертывается под углом  $\tau$ , равным  $16^\circ$ . Из этого следует, что подача оказывает более сильное влияние на направление перемещения стружки, чем направление зубьев.

Полученные результаты можно объяснить влиянием сил трения и сил адгезии между передней поверхностью зуба инструмента и стружкой в момент ее образования. Отделяемый слой металла, плотно контактирующий с материалом инструмента частично через нарост, увлекается вместе с инструментом в направлении движения подачи, сильно изменяя тем самым расчетный угол схода стружки. При совпадающих направлениях перемещения стружки, обусловленных левым направлением зубьев и осевым перемещением инструмента, угол  $\tau$  принимает большие значения и соответственно условия вывода стружки улучшаются, и, наоборот, при противоположных направлениях перемещения стружки (что происходит при правом направлении зубьев) угол  $\tau$  мал и вывод стружки из отверстия затрудняется.

В процессе проведения экспериментов было также установлено, что значение угла  $\tau$  для инструментов с левым направлением зубьев возрастает до трех градусов за счет происходящей усадки и уширения стружки и до четырех градусов – при обработке без применения СОЖ. СОЖ, уменьшая трение, ослабляет влияние подачи на направление движения стружки.

Согласно данным эксперимента угол  $\tau$  стружки для прямозубых инструментов можно принимать равным углу  $\beta$ , а для инструментов с левым направлением винтовых зубьев этот угол можно определять по приближенной зависимости:

$$\tau = c \cdot \omega + \beta, \quad (4)$$

где  $C$  – коэффициент, полученный опытным путем и равный  $0,65 \dots 0,75$ .

Меньшие значения этого коэффициента нужно брать при угле  $\omega$  свыше  $15^\circ$ , а большие – до  $15^\circ$ .

Надежный вывод стружки из зоны обработки достигается тогда, когда стружка свертывается в цилиндрический валик не более чем в два слоя (см. рис. 2, а). В этом случае по мере обработки отверстия наружный диаметр валика стружки за счет свертывания каждого завитка ее по форме усеченного обратного конуса нарастать не будет. Такое условие выполняется, если

$$\tau \geq \arctg \frac{b}{f \cdot \pi \cdot h}, \quad (5)$$

где  $b$  – ширина среза, мм;  $h$  – глубина стружечной канавки инструмента, мм;  $f$  – коэффициент, учитывающий осевое смеще-

ние каждого последующего витка стружки по отношению к предыдущему.

Из схемы на рис. 2, а видно, что стружка будет свертываться не более чем в два слоя при значении  $1 < f < 2$ . Следовательно, для расчета этот коэффициент можно рекомендовать равным 1...1,8. Меньшее его значение следует брать для больших толщин среза (более 0,05 мм), когда деформация стружки по усеченному конусу затрудняется.

Если установлено, что условие (5) не соблюдается, то есть стружка свертывается более чем в два слоя, и диаметр стружечного валика по мере обработки нарастает (см. рис. 2, б), что чаще всего может быть при работе прямозубых инструментов, инструментов с правым направлением зубьев и с левым направлением, но с малым углом  $\omega$ , то тогда работоспособность силовой развертки нужно проверить по размещаемости стружки в стружечных канавках. Эту проверку можно производить, как и при протягивании, по коэффициенту заполнения стружечной канавки  $k$  из условия

$$F_k \geq k \cdot F_c. \quad (6)$$

Принимая во внимание тот факт, что срезаемая стружка свертывается в цилиндрический валик, при расчете следует учитывать только площадь поперечного сечения так называемой рабочей части канавки, равную

$$F_k = \frac{\pi h^2}{4},$$

В свою очередь площадь поперечного сечения срезанного слоя при силовом развертывании определяется из выражения

$$F_c = \frac{l_o}{S} \sqrt{S^2 + (\pi D_{cp})^2} \cdot a, \quad (7)$$

где  $l_o$  — длина обрабатываемого отверстия, мм;  $D_{cp}$  — диаметр режущей части инструмента в среднем сечении, мм;  $a$  — толщина среза, мм.

Как показал опыт применения силовых разверток, коэффициент  $k$  при расчетах можно принимать таким же, как и при протягивании отверстий (2...3,5).

Разработанная методика определения работоспособности силовых разверток по критерию размещения и вывода стружки была апробирована на инструментах других размеров, а также при обработке сталей различных марок и дала положительные результаты.

## Л и т е р а т у р а

1. Зорев Н.Н. Нормальные силы и силы трения при косоугольном свободном резании. – В кн.: Тр. ЦНИИТМАШ. – М., 1948, кн. 15.
2. Бобров В.Ф. О деформации стружки при свободном косоугольном резании. – В сб.: Тр. Тульского мех. ин-та. М., 1950, вып. 5.

УДК 621.922.34.029

П.И.Ящерицын, докт. техн. наук (АН БССР),  
В.О.Соколов, инженер (ППИ),  
В.Д.Дорофеев, канд. техн. наук (ППИ)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОФИЛИРОВАНИЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ

Одним из наиболее эффективных методов профилирования алмазно-абразивных кругов на металлических связках является электроэрозионный.

Сущность метода заключается в следующем [1]. В результате воздействия импульсных электрических разрядов с высокой концентрацией энергии происходит эрозия связки, приводящая к вскрытию зерен. По мере обнажения зерно входит в контакт с электродом-инструментом, что вызывает появление напряжений в зоне его закрепления. Через определенный промежуток времени напряжения достигают такой величины, при которой устойчивость зерна нарушается. В этот момент или при последующих контактах с электродом-инструментом зерно выпадает из связки.

Таким образом, в процессе профилирования формируется рабочая поверхность круга, представляющая собой поверхность вращения геометрически правильной формы, проведенную через вершины наиболее выступающих зерен.

Большой теоретический и практический интерес представляет определение погрешности профилирования, которая рассматривается в сечении круга вдоль оси. При этом будем полагать, что профиль электрода-инструмента полностью соответствует чертежу.

Профилю рабочей поверхности алмазно-абразивного круга и профилю, заданному чертежом, приписываются скалярные геометрические поля  $F_K$  и  $F_I$ . Представление геометрических ха-