

В.Н. Комаров, канд.техн.наук,  
С.И. Миткевич, канд.техн.наук,  
Л.С. Овчинников

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ МЕТОДОМ СИЛОВОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ

Целью настоящей работы явилось определение закономерностей изменения сил резания в процессе обработки сквозных цилиндрических отверстий силовыми развертками. Зная величину и характер изменения усилий, можно вести расчет режущих инструментов и станков, работающих по методу силового развертывания.

Эксперименты проводились на токарно-винторезном станке мод. VDF с наибольшей подачей 27,6 мм/об и мощностью электродвигателя главного привода 10 квт. Для достижения наибольшей жесткости системы СПИД была принята схема, обеспечивающая главное движение жесткозакрепленным в шпинделе инструментом. Движение подачи осуществлялось заготовкой, закрепленной в приспособлении на суппорте станка. Приспособление одновременно служило динамометром для определения сил резания. В качестве основного размера был принят диаметр обработки отверстий 24 мм.

Экспериментальные инструменты изготавливались из быстрорежущей стали P12. В качестве материалов заготовок в основной серии опытов использовались сталь 45 и чугун СЧ 18-36. Стальные образцы изготавливались из прутков одной плавки и проката и перед чистой обработкой подвергались нормализации при температурах 930°... 950°С. При изготовлении образцов из чугуна использовались отожженные отливки также одной плавки.

Для сравнительной характеристики в дополнительной (контрольной) серии опытов были проведены испытания на образцах из сталей 18ХГТ, 20, 40Х и меди М1. Для одновременного измерения двух составляющих усилия резания (осевого и окружного) был спроектирован динамометр, работающий по принципу преобразования упругих деформаций, возникающих в процессе резания, в электрические сигналы, которые регистрировались осциллографом Н-700.

Влияние на силы резания каждого из исследуемых параметров определялось при постоянстве следующих факторов: толщины среза - 0,06 мм; скорости резания 5,1 м/мин для стали 45 ,

14,5 м/мин для чугуна СЧ18-36 ; угла  $\varphi = 1^\circ$ ; угла наклона зубьев  $\omega = 30^\circ$  (левого); переднего угла  $\gamma_T = 15^\circ$ ; заднего угла режущей части  $\alpha_p = 6^\circ$ ; заднего угла калибрующей части  $\alpha_k = 1^\circ$ .

Анализ полученных зависимостей (рис. 1, а) позволяет заключить, что окружная сила  $P_{окр}$  отстает от роста толщины среза, а осевая  $P_{ос}$  пропорциональна толщине среза (значения сил резания для удобства дальнейших расчетов переведены в удельные значения на единицу длины отверстия (мм) при условии резания одним зубом). Это объясняется тем, что при изменении подачи наряду с увеличением толщины среза изменяет свое направление вектор действительной скорости резания. Данное явление особенно характерно для силового развертывания, что вызвано значительным увеличением осевых подач по сравнению с общеизвестными методами обработки (сверлением, зенкерованием и т.д.). Вектор действительной скорости резания отклоняется больше в направлении осевого перемещения, в результате чего изменяется соотношение составляющих силы резания: осевая составляющая увеличивается, окружная уменьшается. Вместе с этим изменяются значения кинематических параметров зубьев (переднего и заднего углов), что влечет за собой изменение характера зависимости усилий от подачи. Чувствительность усилий резания к величинам подач сохраняет свой характер и при других геометрических параметрах инструмента.

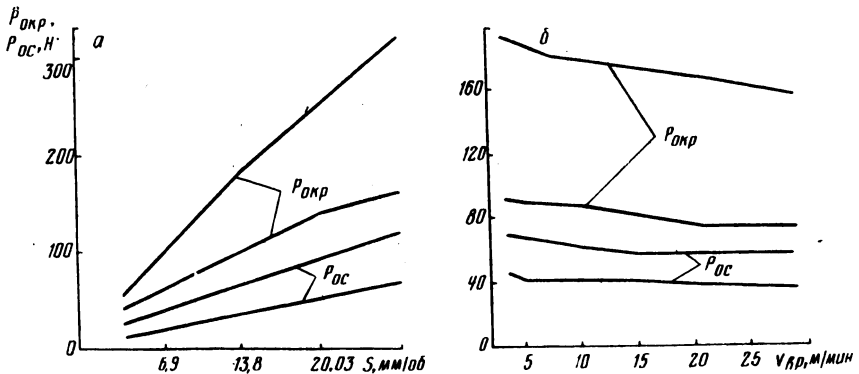


Рис. 1. Влияние подачи (а) и скорости резания (б) на составляющие усилия резания: 1 и 2 -  $P_{окр}$ ; 3 и 4 -  $P_{ос}$ ; для стали 45 (сплошные линии) и чугуна СЧ18-36 (штриховые).

С возрастанием скорости резания (рис. 1, б) в диапазоне экспериментальных значений наблюдается некоторое снижение усилий резания для обоих исследуемых материалов.

Таблица 1

Угол, град	Направление зубьев						
	правое				левое		
$\delta$	46	35,5	23	16,5	15,5	20	28
$\omega$	40	30	15	0	15	30	40

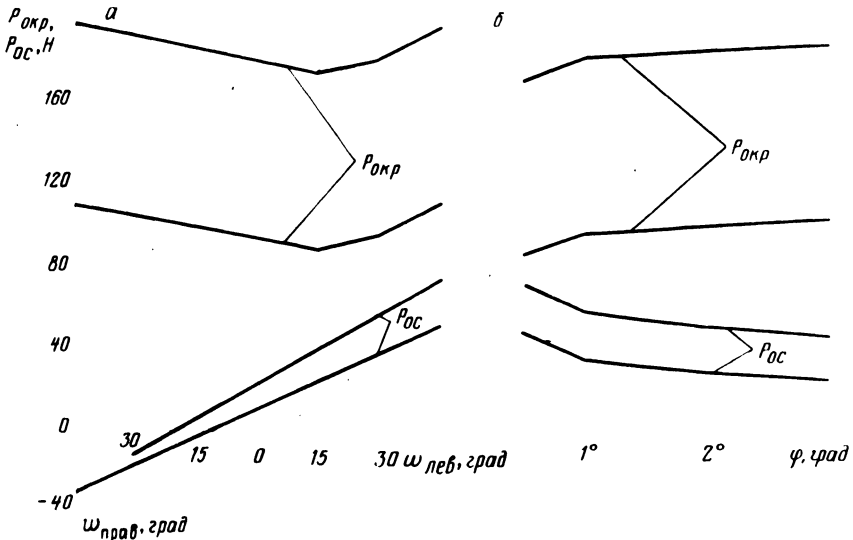


Рис. 2. Влияние направления, угла наклона (а) и главного угла в плане (б) на составляющие усилия резания.

Изменение угла  $\omega$  наклона зубьев вызывает изменение длины контакта лезвий с обрабатываемым материалом, характера косоугольного резания, а также условий свертывания, вывода и размещения стружки в стружечных канавках. При увеличении угла  $\omega$  возрастает суммарная длина контакта зубьев с материалом заготовки, что увеличивает силу резания. С другой стороны, с возрастанием угла  $\omega$  и изменением направления винтовых зубьев увеличивается значение действительного переднего угла. В табл. 1 приведены значения переднего угла при  $\delta_T = 15^\circ$ , что свидетельствует о наибольших значениях кинематического (действительного) переднего угла при работе инструментов с правым наклоном зубьев.

Полученные экспериментальные зависимости (рис. 2, а) объясняются результирующим влиянием изложенных факторов на силу резания. Наиболее заметно влияние на осевую составляющую. При определенных условиях (геометрия инструмента, режимы и др.) осевая сила равна нулю. В этом случае осевая

Таблица 2

Значения коэффициента	Марка стали					Медь М 1	Чугун СЧ18-36
	18ХГТ	20	45	40Х	33ХГС		
$K_{P_{окр}}$	1,17	1,08	1,00	0,95	0,91	0,89	0,56
$K_{P_{ос}}$	1,05	1,01	1,00	0,93	0,91	0,76	0,87

сила, возникающая от угла наклона режущего лезвия, равна осевой силе, необходимой для внедрения зубьев в металл при снятии слоя определенной толщины.

Как указывалось, исследования проводились при соблюдении постоянной толщины среза. Таким образом, каждому значению угла  $\varphi$  соответствовало определенное значение подачи:

$\varphi$ , град	0,5	1	2	3
$S$ , мм/об	27,6	13,8	6,9	4,6

Известно, что изменение подачи вызывает изменение направления вектора действительной скорости резания, что влияет на соотношение составляющих силы резания.

При увеличении подачи (т.е. при уменьшении угла  $\varphi$ ) доля осевой силы возрастает, а окружной уменьшается. Наряду с перераспределением составляющих силы резания с изменением скорости подачи изменяются кинематические углы  $\gamma$  и  $\alpha$ . Совместное воздействие перечисленных факторов позволяет заключить, что наибольшее влияние угла  $\varphi$  сказывается на осевой составляющей. Эксперименты (рис. 2,б) подтверждают данное положение.

Марка обрабатываемого материала оказывает весьма существенное влияние на силы резания и затраты мощности. В табл. 2 приведена пропорция усилий  $P_{окр}$  и  $P_{ос}$  для различных марок, при этом коэффициент  $K=1$  принят для стали 45. Эмпирические зависимости окружной  $P_{окр}$  и осевой  $P_{ос}$  сил от подачи  $S$ , числа зубьев  $z$ , углов  $\gamma_r$ ,  $\varphi$ ,  $\omega$ , диаметра  $D$  и длины отверстия  $l_o$  следующие:

а) при обработке стали 45

$$P_{ос} = 432 \left( \frac{S \sin \varphi}{z} \right)^{1,05} \left( \frac{S}{\pi D} \right)^{0,26} \omega^{0,56} \frac{1}{\gamma^{0,19}} l_o z, \quad (1)$$

$$P_{\text{окр}} = 2580 \left( \frac{S \sin \varphi}{z} \right)^{0,82} \omega^{0,11} \frac{1}{\gamma^{0,25}} l_0 z; \quad (2)$$

б) при обработке чугуна СЧ18-36

$$P_{\text{ос}} = 173 \left( \frac{S \sin \varphi}{z} \right)^{0,95} \left( \frac{S}{\pi D} \right)^{0,33} \omega^{0,65} \frac{1}{\gamma^{0,17}} l_0 z, \quad (3)$$

$$P_{\text{окр}} = 725 \left( \frac{S \sin \varphi}{z} \right)^{0,68} \omega^{0,13} \frac{1}{\gamma^{0,2}} l_0 z. \quad (4)$$

Полученные формулы справедливы для инструментов с левым наклоном зубьев и углом  $\omega$  от 15 до 40°, как наиболее приемлемых.

Резюме. При силовом развертывании с увеличением подачи обе составляющие силы резания возрастают не в одинаковой степени: окружная сила отстает от роста  $S$ , осевая почти пропорциональна ей. Направление и угол наклона зубьев оказывают значительное влияние на осевую составляющую. При правом наклоне зубьев, начиная с определенного для данных условий работы значения угла  $\omega$ , вектор осевой силы совпадает с направлением подачи, что требует восприятия станком двусторонней осевой нагрузки (беззазорного привода подачи). Угол  $\varphi$  влияет на соотношение величин составляющих силы резания. При уменьшении  $\varphi$  осевая сила увеличивается, а окружная уменьшается.

УДК 621.787.4.04

П.И. Ящерицын, акад. АН БССР,  
И.П. Филонов, канд. техн. наук, А.П. Минаков

### ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА В ПРОЦЕССЕ ПНЕВМОЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

Новые конструкции инструментов, предложенные в [1, 4], предназначены для отделочно-упрочняющей обработки внутренних поверхностей вращения. Теоретические и экспериментальные исследования [2, 3] позволили выявить особенности изменения исходного микрорельефа и формирования некоторых других характеристик качества обработанной поверхности.