

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА ПО ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА УДЕЛЬНЫЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Козлов В.Н.¹, Дин Ц.², Чжан Х.³, Ли В.⁴, Ван Ш.⁵, Пань Ц.⁶

¹НИ ТПУ, ИШНПТ, доцент ОМШ,

E-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

²НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ21,

E-mail: czechul@tpu.ru;

³НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ21,

E-mail: 1764602262@qq.com;

⁴НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 4АМ31,

E-mail: 1595534951@qq.com;

⁵НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 154А01,

E-mail: vs08@tpu.ru;

⁶НИ ТПУ, ИШНПТ, зр. 154А02,

E-mail: pc01@tpu.ru

При резании на режущий инструмент действуют силы, которые необходимо знать для расчёта мощности станка, усилия закрепления заготовки в приспособлении, расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего инструмента. В справочниках имеются формулы для расчёта технологических составляющих P_z , P_y и P_x силы резания (рис. 1). Однако там нет формул для расчёта сил при износе режущего инструмента, а это важно знать, особенно при черновой обработке, когда допускается существенный износ по задней поверхности с длиной фаски h_3 до 0,5–1,2 мм (рис. 2), что приводит к увеличению силы резания вплоть до скола режущей части [1, 2].

Исследование изменения общих технологических составляющих P_y , P_x и P_z силы резания от величины подачи s и длины искусственной фаски износа $h_{3п}$ позволило выявить уменьшение удельных сил резания при увеличении подачи (см. рис. 4). Искусственная фаска затачивалась по задней поверхности с задним углом $\alpha_{\phi} = \alpha_h = 0^\circ$ (рис. 2) для того, чтобы её угол соответствовал реальному износу, но был при этом постоянен.

Результирующая P_{xy} технологических составляющих сил P_y и P_x , действующих в основной плоскости (в плоскости направления радиальной s_y и осевой s_x подач), рассчитывается по формуле $P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$, или $P_{xy} = (P_x^2 + P_y^2)^{0,5}$. При этом принимаем, что технологическая результирующая P_{xy} действует также и в главной секущей плоскости (т. е. по линии пересечения основной и главной секущей плоскостей), поэтому её можно использовать для расчёта физических составляющих, действующих на передней поверхности: F_{Π} (касательная сила на передней поверхности) и N_{Π} (нормальная сила на передней поверхности). Для их расчёта при $\gamma > 0^\circ$ используются уравнения (1) и (2) (рис. 3).

$$N_{\Pi} = N_{Pz\Pi} - N_{Py\Pi} = P_{z\Pi} \times \cos \gamma - P_{y\Pi} \times \sin \gamma; \quad (1)$$

$$F_{\Pi} = F_{Py\Pi} + F_{Pz\Pi} = P_{y\Pi} \times \cos \gamma + P_{z\Pi} \times \sin \gamma. \quad (2)$$

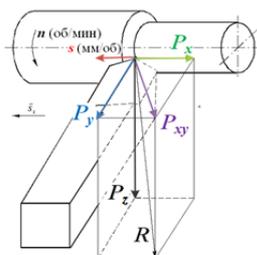


Рис. 1. Направление технологических составляющих P_y , P_x и P_{xy} силы резания

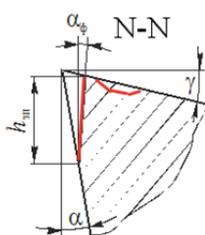


Рис. 2. Износ по главной задней поверхности резца в главной секущей плоскости N–N

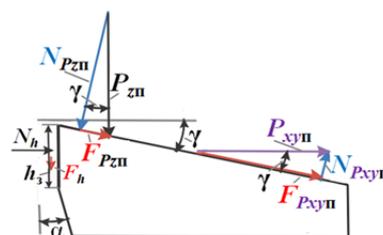


Рис. 3. Схема действия сил на передней поверхности и на фаске задней поверхности длиной h_3

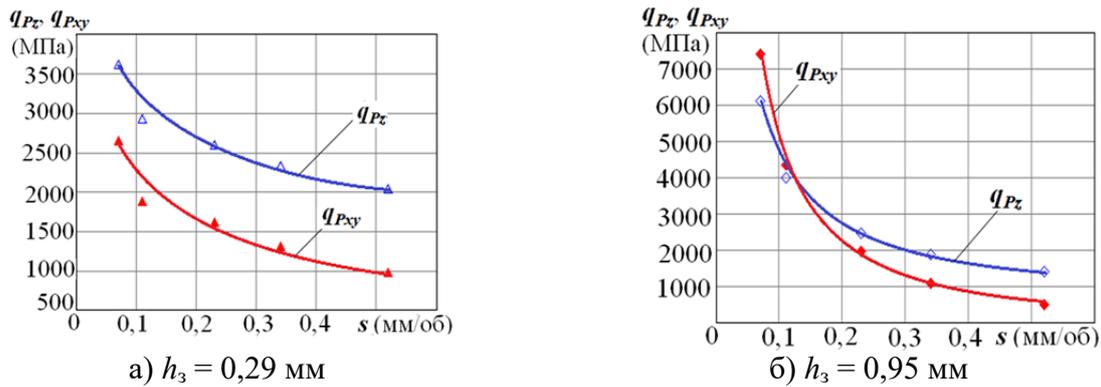


Рис. 4. Влияние подачи s (мм/об) на удельные силы резания q_{Pz} и q_{Pxy} (МПа) при обработке стали 40X с разной длиной искусственной фаски износа на задней поверхности h_3 . Сталь 40X – T15K6; $t = 2$ мм; $v = 120$ м/мин, $\varphi = 45^\circ$, $r = 0,05$ мм, $\gamma = 7^\circ$, радиус округления режущей кромки $\rho \approx 5$ мкм

При износе по задней поверхности силы резания увеличиваются за счёт увеличения длины фаски на задней поверхности, поэтому силы на передней поверхности можно выделить методом экстраполяции на нулевую фаску износа при разной величине подачи (см. рис. 5). Использование удельных сил резания $q_{Pz} = P_z / (s \cdot t)$ и $q_{Pxy} = P_{xy} / (s \cdot t)$ удобно потому, что можно рассчитать силы резания при любой величине глубине резания t (мм), т. к. удельные силы при этом не изменяются [1, 2].

Наши эксперименты показали, что с увеличением подачи удельные силы резания $q_{Pz} = P_z / (s \cdot t)$ и $q_{Pxy} = P_{xy} / (s \cdot t)$ существенно уменьшаются и при обработке стали 45 и при обработке стали 40X (рис. 3), что связано с уменьшением доли сил на задней поверхности резца и на вспомогательной режущей кромке.

При малой подаче ($s = 0,11$ мм/об) удельные силы резания больше, чем при большой подаче ($s = 0,52$ мм/об) (рис. 5), что связано подмятием (вдавливанием) слоя обрабатываемого металла под округлённую режущую кромку в зоне стружкообразования и увеличением сил со стороны задней поверхности при малой толщине срезаемого слоя $a = s \cdot \sin \varphi < 0,15$ мм, т. е. стружка не так легко идёт на переднюю поверхность даже при установившемся резании. Косвенным доказательством этого служит бóльшая величина q_{Pxy} по сравнению с q_{Pxy} при малой подаче ($s = 0,11$ мм/об) (рис. 5, $h_3 < 0,7$ мм), в то время как при большой подаче ($s = 0,52$ мм/об) всё наоборот. Интенсивное увеличение q_{Pxy} при малой подаче связано с упругим восстановлением поверхности среза: чем меньше подача (толщина среза), тем меньше длина волны упругого восстановления.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

Список литературы

1. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М.Ф. Полетика – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
2. Развитие науки о резании металлов / В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.

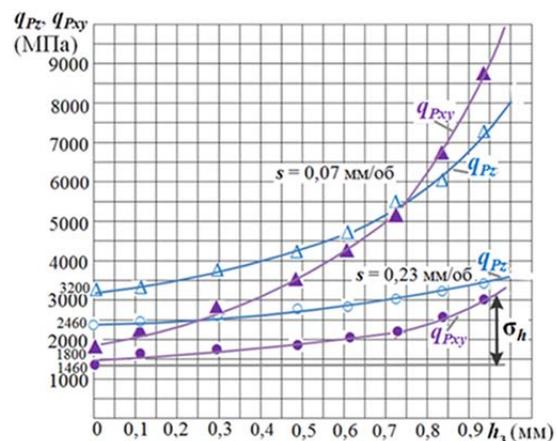


Рис. 5. Влияние длины фаски износа по задней поверхности h_3 (мм) и подачи s (мм/об) на удельные силы резания. Сталь 40X – T15K6; $t = 2$ мм; $v = 120$ м/мин, $\varphi = 45^\circ$, $r = 0,05$ мм, $\gamma = 7^\circ$