

# ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

УДК 621.9.

А.И. Бачанцев, В.И. Туромша

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

*Белорусская государственная политехническая академия.  
Минск, Беларусь.*

Одним из показателей эффективности процесса обработки материалов резанием является производительность, т. е. количество обработанных деталей за определенный промежуток времени. Производительность обработки оценивают длиной пути, пройденного инструментом за единицу времени, или площадью обработанной поверхности, объемом снятого материала, машинным временем на операцию и др. Все эти критерии связаны друг с другом, а их уровень определяется величиной параметров режима резания (скорости резания, подачи и глубины резания) на конкретной операции.

В частности, машинное время при точении (мин)

$$T_{\text{маш}} = \frac{L}{sn} \times \frac{\delta}{t}, \quad (1)$$

где  $t$  – глубина резания, мм;  $L$  – длина одного рабочего хода инструмента, мм;  $s$  – подача, мм/об;  $n$  – частота вращения заготовки, мин<sup>-1</sup>;  $d$  – припуск, мм.

Подставив в зависимость (1) выражение для частоты вращения

$$n = \frac{1000v}{\pi D},$$

где  $D$  – диаметр заготовки, мм;  $v$  – скорость резания, м/мин, получим

$$T_{\text{маш}} = \frac{L\pi D}{1000vs} \times \frac{\delta}{t}, \quad (2)$$

Числитель формулы (2) можно рассматривать как полный объём припуска, а знаменатель – как объём стружки, снимаемой в минуту. Для уменьшения машинного времени  $T_{\text{маш}}$  необходимо увеличивать любой из параметров режима резания, стоящих в знаменателе (2). Но, как известно из теории резания, данные параметры связаны между собой как минимум математическими зависимостями мощности резания и периода стойкости инструмента

$$\begin{cases} N = \frac{P_z \times v}{61200} \\ v = \frac{C_v \times K_v}{T^m \times t^x \times s^y} \\ P_z = C_p \times t^{x_p} \times s^{y_p} \times v^{m_p} \end{cases}, \quad (3)$$

где  $N$  – мощность резания, кВт;  $T$  – период стойкости инструмента, мин;  $P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания, Н;  $m, m_p, x, x_p, y, y_p$  – показатели степени;  $C_p, C_v$  – постоянные;  $K_v$  – коэффициент.

Из анализа системы (3) следует, что для обеспечения заданного уровня периода стойкости инструмента и мощности резания при изменении одного из параметров режима резания необходимо соответствующим образом изменять два других. Это же следует учитывать при выборе оптимальных параметров режима резания по критерию производительности. Однако, в ряде работ связь между  $v, s$  и  $t$  в соответствии с системой (3) не учитывается. Например, авторы [1–3] критерий производительности увязывают с периодом стойкости инструмента, как одним из факторов, влияющим на эффективность процесса резания

$$T_Q = ((1 - m)t_{cm}) / m, \quad (4)$$

где  $T_Q$  – стойкость наибольшей производительности;  $t_{cm}$  – время смены инструмента;  $m$  – показатель относительной стойкости (для твердосплавных инструментов  $m = 0,2$ ).

Подразумевается, что, назначив период стойкости инструмента в соответствии с (4), при ранее выбранной глубине резания  $t$  и подаче  $s$ , мы получим скорость резания  $v$ , обеспечивающую наибольшую производительность обработки.

Еще более простой подход предлагается в работе [2], где рекомендуется снижать период стойкости до 15–25 мин, увеличивая тем самым скорость резания. Увеличение затрат времени на смену и наладку инструмента предлагается компенсировать в этом случае за счет автоматизации смены режущего инструмента.

При этом обращают на себя внимание следующие недостатки предлагаемых методик:

- критерий стойкости не учитывает мощность привода главного движения конкретного станка, которая обеспечивает определенную производительность резания;
- предлагается изменять только скорость резания, не учитывая связь ее с подачей и глубиной резания;
- отсутствует связь с хотя бы одним из критериев производительности резания, приведенных выше.

Традиционная методика назначения параметров режима резания по справочным таблицам также не гарантирует максимальной производительности резания, поскольку имеет свои недостатки:

- назначение в первую очередь максимально возможной глубины резания для снятия припуска за один рабочий ход инструмента изначально нарушает связь между  $t$ ,  $s$ , и  $v$ , выражаемую системой (3);
- уменьшение скорости резания в случае если мощность резания превышает мощность привода станка также производится без соответствующей корректировки  $t$  и  $s$  по системе (3);
- отсутствует методика назначения режима резания максимальной производительности.

В настоящей работе в качестве критерия производительности резания при точении принято произведение  $Pr = v \times s \times t$  (см<sup>3</sup>/мин). Тем самым учитывается связь между параметрами режима резания в соответствии с системой (3). Кроме того, через данное произведение могут быть выражены другие критерии производительности, приведенные выше. Поэтому, например, анализируя формулу (2), правильнее говорить, что для увеличения производительности резания необходимо увеличивать произведение  $v \times s \times t$ .

Экспериментальные исследования, проведенные авторами в широком диапазоне изменения подачи и глубины резания, выявили закономерность изменения численного значения показателей степени при  $t$  и  $s$  в системе (3). При этом исследования проводились в области «прямых» и «обратных» стружек [4–8]. Резание в области «обратных» стружек возникает в том случае, когда функцию главной режущей кромки по выполнению основной работы при снятии стружки обеспечивает вспомогательная режущая кромка резца. В этом случае подача больше глубины резания. Получено, что для стали с твердостью HB=200 в формуле для определения скорости резания системы (3) показатели степени составляют: в области «обратных» стружек при  $s/t > 1 - x = 0,3$  и  $y = 0,15$ ; в области «прямых» стружек при  $s/t < 1 - x = 0,15$  и  $y = 0,3$ , а при  $s/t = 1 - x = 0,3$  и  $y = 0,3$ .

Из решения системы (3) следует, что при заданной величине мощности резания и периода стойкости максимум производительности  $Pr$  достигается при назначении максимальной подачи  $s$  (рис 1). При этом глубина и скорость резания численно тоже изменяются, поскольку связаны с подачей системой (3), но при условии, что мощность резания и период стойкости инструмента остаются неизменными. Из системы (3) также следует, что с увеличением глубины резания, производительность падает (рис 2). Следовательно, при назначении режима резания не следует стремиться к назначению максимально возможной глубины резания.

Для примера сравним режимы резания при точении стали 45, полученные путем решения системы (3) и по справочным таблицам [9] (по традиционной методике).

**Значения параметров режимов резания  
для традиционной методики ( $T = 20$  мин)**

$T_{расч},$ мин	$P_p,$ см <sup>3</sup> /мин	$V,$ м/мин	$N,$ кВт	$t,$ мм
20,0	148,9	248,2	3,1	0,5
20,0	218,1	181,7	4,7	1
20,0	291,4	161,9	6,4	1,5
22,8	362,6	151,1	8	2
58,1	351,1	121,9	8	2,4
182,5	337,5	93,8	8	3
271,5	321,5	91,9	8	3,5
538,7	314,0	78,5	8	4
986,1	307,6	68,3	8	4,5

В обоих случаях стойкость инструмента принята равной  $T = 20$  мин в соответствии с рекомендациями работы [2]. Мощность резания, допускаемая станком, составляет  $N = 8$  кВт. По данным расчетов построены графики (рис. 1 и 3). Поскольку первая методика предлагает максимально увеличивать подачу, а вторая – глубину резания, то на рис. 1 показаны зависимости основных параметров при увеличении  $s$ , а на рис. 2 – при увеличении  $t$ . В табл. 1 занесены расчетные значения режимов резания, определенные по традиционной методике, с корректировкой их по мощности резания [9]. В графе « $T_{расч}$ » даны значения фактической стойкости инструмента, пересчитанные после кор-

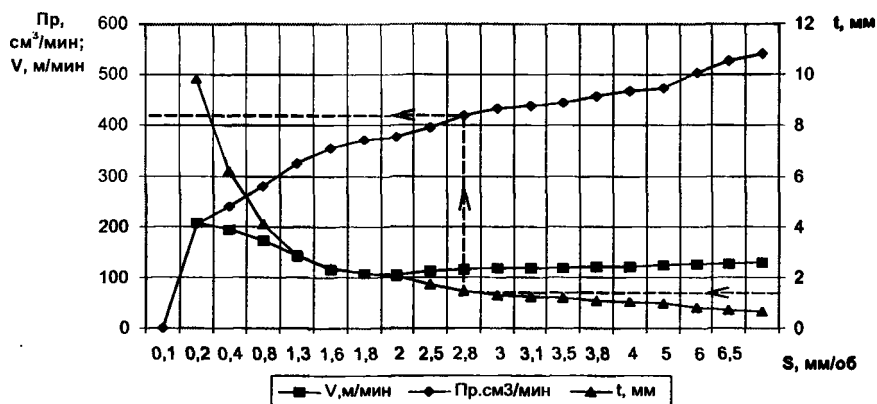


Рис. 1. Зависимости скорости резания, производительности и глубины резания от подачи ( $T=20$  мин.)

ректировки режима если мощность резания превышает мощность, допускаемую станком. В последнем случае, как отмечено выше, снижали скорость резания и, соответ-

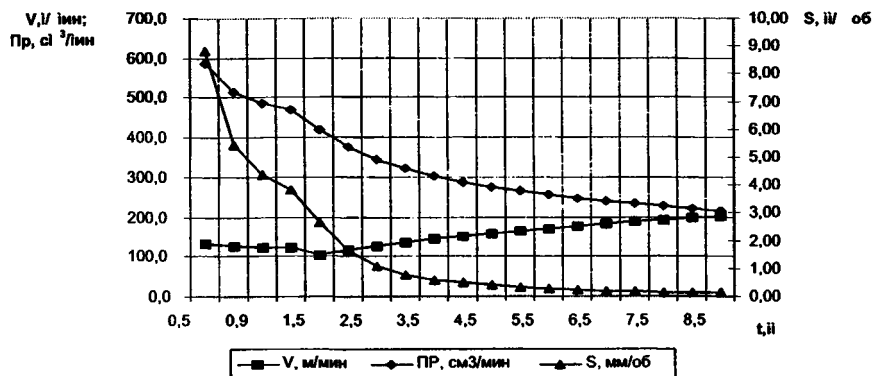


Рис. 2. Зависимость скорости резания, производительности и подачи от глубины резания ( $T=20$  мин.)

ственно, увеличивали период стойкости режущего инструмента.

Из табл. 1 и рис. 2 видно, что по традиционной методике с применением критерия «стойкость наибольшей производительности» при глубине резания 1,5 мм обеспечивается производительность обработки 291,4 см³/мин. В то же время, режим резания, полученный решением системы (3), при  $t = 1,5$  мм обеспечивает производительность 420 см³/мин. В последнем случае, кроме того, при той же стойкости инструмента можно достичь и более высокой производительности (см. рис. 1).

Анализируя данные, приведенные в табл. 1, а также на графиках (рис. 1 и 2), можно отметить следующее. Производительность обработки, рассчитанная на основе решения системы (3), возрастает с увеличением подачи. При этом скорость резания при увеличении  $s$  (рис. 1) сначала уменьшается, а затем медленно растет. Это происходит в тот момент, когда процесс резания переходит в зону «обратных стружек» и влияние подачи на скорость резания уменьшается (в области «обратных» стружек  $x > u$ , т. е. подача в меньшей степени влияет на уменьшение скорости резания, чем глубина резания). Поэтому при точении в области «обратных» стружек эффект от увеличения подачи будет более значительным, чем в области «прямых стружек». При назначении режимов резания по традиционной методике [9] при увеличении глубины резания до  $t = 2$  мм производительность обработки сначала возрастает, а затем уменьшается. Это связано с тем, что при  $t > 2$  мм мощность резания превышает мощность, допускаемую станком. После корректировки режима по мощности скорость резания (а в некоторых случаях подача) уменьшается, что, в свою очередь, приводит к снижению производительности.

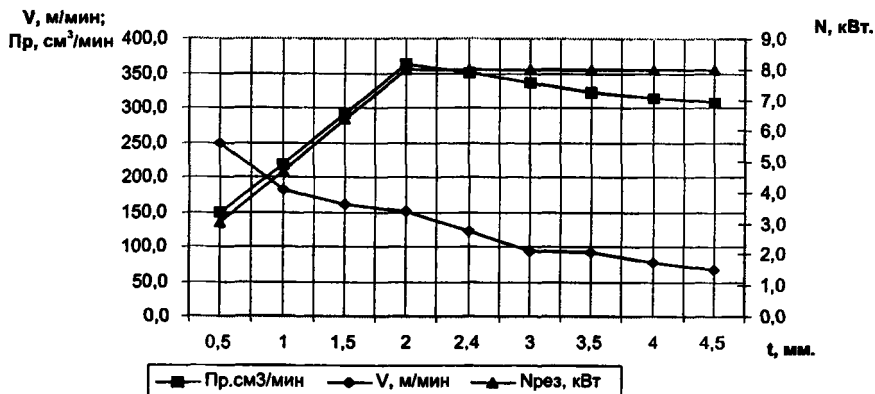


Рис. 3. Зависимость производительности, скорости резания и мощности от глубины резания по методике [9]

Учитывая результаты выполненных исследований, предложена методика выбора режима резания, основанная на учете связей параметров режима резания с техническими возможностями станка и режущего инструмента, выражаемых системой (3). Для этого вначале назначается максимально возможная подача  $s$ , затем решением системы (3) определяются скорость  $v$  и глубина резания  $t$ . Число рабочих ходов инструмента  $i$  определяется, как целая часть (int) из выражения

$$i = \text{int} (Pr / t) + 1,$$

где  $Pr$  – припуск, мм.

Время обработки одной детали  $t_{\text{шт}}$

$$t_{\text{шт}} = (L_{51}/n_{5p}) + (L_{51}/V_{\text{отв}}),$$

где  $V_{\text{отв}}$  – скорость отвода инструмента при холостом ходе, мм/мин.

Для сравнения назначили режимы резания по предлагаемой и традиционной методике на примере точения заготовки из стали 45 диаметром 100 мм до диаметра 80 мм при мощности привода главного движения станка 10 кВт. В первом случае  $t_{\text{шт}} = 0,31$  мин, а во втором –  $t_{\text{шт}} = 0,54$  мин. Таким образом, производительность процесса, выбранного по предлагаемой методике, приблизительно на 74% выше.

Учитывая изложенное, можно сделать следующие выводы:

1. При назначении параметров режима резания, исходя из критерия «стойкость наибольшей производительности», при наличии ограничения по мощности резания, повышение производительности обработки с увеличением глубины резания возможно только при малых глубинах. При средних и больших глубинах резания, после корректировки режимов, производительность обработки уменьшается.

2. В предложенной методике назначения режима резания в качестве критерия производительности обработки используется объем снимаемого материала в единицу времени. Одновременно учитывается взаимосвязь  $l$ ,  $s$ , и  $v$  через уравнения мощности резания и стойкости инструмента. Это позволяет добиться увеличения производительности токарной обработки до 74%.

3. Для станков с ЧПУ многопроходная обработка при снятии черного припуска, более эффективна, чем однопроходная. Максимум производительности резания достигается при назначении максимальной подачи инструмента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П.И. Еременко М.Л. Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. для вузов.— Мн.: Выш. Шк.— 1990.— 512 с.
2. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник.— Л.: Машиностроение, 1990.— 591 с.
3. Шарин Ю.С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1986.— 176 с.
4. Барбашов Ф.А. Стойкостные зависимости при резании металлов. М.: Машгиз, 1958.— 44 с.
5. Грудов П.П. Обработка металлов с увеличенными подачами /Под ред. Семенченко И.И.— М.: Машгиз, 1954.— 32 с.
6. Гуськов Б.С. Режимы резания при точении силовым методом. Киев: Машгиз, Укр. отд., 1954.— 36 с.
7. Зорев Н.Н., Артамонов А.Я. Высокопроизводительное точение чугуна по методу В.А. Колесова. М.: Машгиз, 1954.— 32 с.
8. Можаяв С.С., Саромотина Т.Г. Скоростное и силовое точение сталей повышенной прочности М.: Оборонгиз, 1957.— 275 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т.— Т. 1. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.Е. Мещерякова.— 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985.— 656 с.

УДК 621.833.002

П.Н. Громыко, Д.М. Макаревич, С.Н. Хатетовский

### К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ЗУБЬЕВ САТЕЛЛИТА ПЛАНЕТАРНОЙ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ

*Белорусская государственная политехническая академия  
Минск, Беларусь*

Проблема обеспечения требуемой точности обработки зубчатых поверхностей в настоящее время решена лишь для таких широкоприменяемых передач, как цилиндрические, конические, червячные и т. д. В большинстве новых передач используются колеса с зубьями, которые невозможно обработать на стандартном оборудовании или стандартным режущим инструментом. Для формирования таких зубьев прихо-