

Рис. 6. Эффективность покрытий BALINIT при: а – нарезании резьбы метчиком, сталь 47MnCr4; б – развертывании, серый чугун; в – протягивании, спеченный материал; г – нарезание зубьев червячной фрезой, сталь 28Cr4

ЛИТЕРАТУРА

1. Wysięcki M. Nowoczesne materiały narzędziowe. – Warszawa: WNT, 1997. – 172 s. 2. Klocke F., Kreig T. Coated Tools for Metal Cutting – Features and Applications// Annals of CIRP. – 1999. – Vol. 48. – № 2. – P. 515 – 525.

УДК 621.9.

Бачанцев А.И., Туромша В.И.

НАЗНАЧЕННАЯ СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРИ ВЫБОРЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

*Белорусская государственная политехническая академия.
Минск, Беларусь.*

При назначении режимов обработки одним из важных показателей и наиболее часто ограничивающих увеличение параметров режима резания является стойкость - время работы инструмента (машинное время) до достижения предельно-допустимого износа [1].

Однако величина машинного времени не совсем точно отражает фактически выполненную работу для данного инструмента с точки зрения производительности.

Производительность при обработке резанием может определяться различными показателями [7] (длиной пути, пройденного инструментом за единицу времени, площадью обработанной поверхности, объемом снятого материала, машинным временем на операцию, количество одинаковых обработанных деталей за определенный промежуток времени и др.). Этими же показателями можно оценивать и стойкость инструмента.

Как известно зависимость стойкости T от параметров режима резания выражается следующей формулой:

$$T = \frac{C}{V^m * s^x * t^y} \quad (1)$$

Из теории резания [2], [3], для точения сталей средней твёрдости (45, 40 и др.), резцами с пластинами из твёрдого сплава, показатели степени будут следующие: $m=5 \div 3,3$; $x = 1$; $y=0,3 \div 0,5$;

Если учесть соотношения между данными показателями степени, то приближённо можно принять $y = 1$, $x \approx 2$, $m \approx 4$.

Следовательно, формула 2 будет выглядеть следующим образом:

$$T \approx \frac{C}{V^4 * s^2 * t^1} \quad (2)$$

Из формулы (4) следует, что на стойкость инструмента параметры режима резания действуют совершенно по-разному. Таким образом, при назначении режимов резания, для наименьшего влияния на стойкость, необходимо сначала увеличивать глубину резания, затем подачу и в последнюю очередь скорость или, говоря иначе, более всего на стойкость инструмента влияет увеличение скорости резания.

Если рассматривать черновую токарную обработку, то показателем производительности и стойкости можно принять объемом снятого материала в единицу времени.

Зависимость производительности, скорости резания и стойкости инструмента заставляет искать оптимальное их соотношение. Например, в работах [1-3] критерий производительности увязывают с периодом стойкости инструмента, как одним из факторов, влияющим на эффективность процесса резания.

$$T_Q = ((1-m)t_{cm})/m, \quad (3)$$

где T_Q – стойкость наибольшей производительности; t_{cm} – время смены инструмента; m – показатель относительной стойкости (для твердосплавных инструментов - $m = 0,2$ [1]).

Подразумевается, что, назначив период стойкости инструмента в соответствии с (3), при ранее выбранной максимальной глубине резания t и максимально-допустимой подаче s , мы получим скорость резания v , обеспечивающую наибольшую производительность обработки.

Снижать стойкость инструмента до минимума не рекомендуется, т.к. при низкой стойкости, преимущества, получаемые за счет уменьшения основного времени приводят к обратному результату в связи с простоями для смены инструмента. Поэтому вводится экономический критерий [2] оптимальности стойкости – стойкость, которая обеспечивает наибольшую производительность при заданных условиях обработки и наименьшую себестоимость обработки.

$$T_{\text{э}} = \left(\frac{1}{m} - 1 \right) \left(t_{cm} + \frac{Q_t + Q_n}{E} \right), \quad (4)$$

где Q_t - затраты, связанные с работой инструмента в течение одного периода стойкости (коп.); Q_n - Затраты, связанные с переточкой инструмента; E - стоимость одной станкоминуты, включая заработную плату рабочего; S_T - затраты, связанные с изготовлением и эксплуатацией режущих инструментов за период его стойкости.

На станках с ЧПУ с автоматической заменой инструментов $T_{\text{э}}$ рекомендуется назначать 15-25 мин [2; 3].

Современные производители инструмента, например, Sandvik Coromant, в своих каталогах по выбору режимов резания приводят значения скорости резания исходя из стойкости 15 мин.

Исходя из сказанного, при назначении режимов резания, сложилась существующая традиционная методика: учитывают характер обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал и состояние заготовки, тип и состояние оборудования и

затем назначают элементы режима резания. Для черновой обработки их обычно устанавливают в следующем порядке:

- ✓ назначают по возможности максимальную глубину резания t , равную всему припуску на обработку или большей части его;
- ✓ выбирают максимально возможную подачу s , исходя из жесткости и прочности системы СПИД, мощности привода станка, прочности твердосплавной пластинки и других ограничивающих факторов;
- ✓ скорость резания V рассчитывают по эмпирическим формулам;
- ✓ мощность резания, сравнивают с мощностью станка.

Между тем, при выбранных максимальными глубине резания и подаче, почти всегда встает вопрос о корректировке режимов, так как мощность резания превышает мощность станка. Возникает вопрос: останется ли период стойкости инструмента после корректировки режимов резания, равный выбранному?

Для того чтобы дать ответ на этот вопрос, выполним расчет режима резания при обработке поверхности $\varnothing 150$ мм с припуском на обработку $\delta=7$ мм для различных материалов и вычислим период стойкости инструмента. Рассмотрим случай, когда обрабатываемым материалом является углеродистая конструкционная сталь. Режущая часть - пластина с механическим креплением из твердого сплава Т15К6. Главный угол в плане $\varphi=93^\circ$. Глубина резания $t=6$ мм. По [1] подача $S=0,6...1,0$ мм/об. Принимаем $S = 0,8$ мм/об

◆ Скорость резания:

$$V = C_v K_v / (T^{m_v} t^{x_v} S^{y_v}) = 340 * 0,9 / T^{0,2} * 6^{0,15} * 0,8^{0,45}, \quad (5)$$

◆ Зададимся рядом значений периода стойкости, которые рекомендованы выше: $T=10; 20; 30; 60; 120; 240$ мин. Для них рассчитаем скорость резания (5) и сведем результаты в таблицу 1

◆ Мощность резания:

$$N_z = P_z V / (1020 * 60) = 10 C_{pz} t^{x_z} S^{y_z} V^{z_z} K_p / (1020 * 60), \quad (6)$$

При превышении мощностью резания мощностью привода главного движения ($N_p=8$ кВт) справочные пособия рекомендуют ограничить скорость резания, т.е. решить неравенство:

$$N_z \leq N_p, \quad (7)$$

где N_z – мощность резания, кВт;

N_p – мощность привода главного движения, кВт.

Подставив в (5) уравнение (6) можно выразить скорость резания для конкретной мощности оборудования:

$$V \leq (n_z + 1) \sqrt{\frac{61200 N}{C_{pz} \times t^{x_z} \times S^{y_z} \times K_p}}. \quad (8)$$

Рассчитаем мощность резания по формуле (6) и сведем результаты в таблицу 1.

Таблица 1. Обработка углеродистой стали

Заданный период стойкости T , мин	V , м/мин (5)	N_z , кВт (6)	ПЕРЕСЧИТАННЫЕ ДАННЫЕ		
			Произв. $Q_{теор}$, см ³ /мин	Скорость резания V , м/мин (8)	Фактическая стойкость T_f , мин (9)
10	163,2	18,90	783,2	59,3	1573,5
20	142,0	16,80	681,8	59,3	1573,5
30	131,0	15,68	628,7	59,3	1573,5
60	114,0	13,94	547,3	59,3	1573,5
120	99,3	12,39	476,4	59,3	1573,5
240	86,4	11,01	414,8	59,3	1573,5

Из таблицы видно, что с увеличением стойкости уменьшается скорость резания V и, как следствие, мощность. Но во всех случаях мощность резания превышает мощность привода станка. Из этого следует, что необходимо корректировать режимы резания и в первую очередь скорость. Пересчитаем скорость по формуле (8)

Используя полученную скорость резания (8), рассчитаем, период стойкости инструмента, который будет соответствовать полученным скоростям. Для этого используем выражение для стойкости, полученное из уравнения (5):

$$T = m_v \sqrt{\frac{C_v \times K_v}{V \times t^{x_v} \times s^{y_v}}} \quad (9)$$

Подставляя в (9) пересчитанные по формуле (8) значения скорости резания, получим значения фактической стойкости. Результаты заносим в таблицу 1.

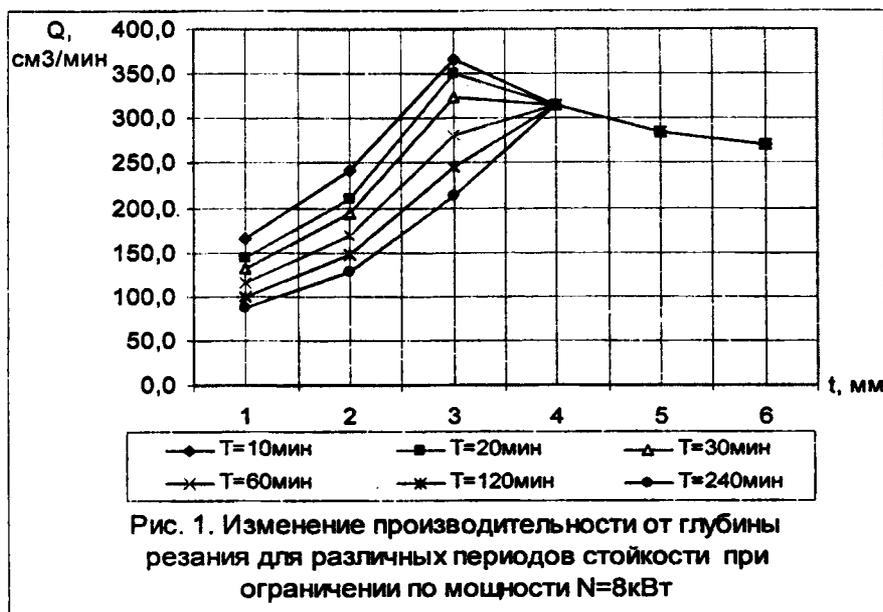


Рис. 1. Изменение производительности от глубины резания для различных периодов стойкости при ограничении по мощности $N=8\text{кВт}$

Для того чтобы проследить влияние стойкости на производительность рассмотрим зависимость производительности от глубины резания. Используя все вышеупомянутые формулы, заполняются таблицы 2 и 3, строится график (Рис. 1)

Таблица 2. Производительность при различной стойкости инструмента

Глубина резания t, мм	Производительность Q, см3/мин, при N=8кВт					
	T=10мин	T=20мин	T=30мин	T=60мин	T=120мин	T=240мин
0,5	164,8	143,5	132,3	115,2	100,3	87,3
1	241,3	210,1	193,7	168,6	146,8	127,8
2	366,0	350,0	322,7	281,0	244,6	212,9
4	314,0	314,0	314,0	314,0	314,0	314,0
6	284,8	284,8	284,8	284,8	284,8	284,8
8	270,7	270,7	270,7	270,7	270,7	270,7

Анализируя результаты таблиц 1 и 3 можно отметить, что заданный и фактический периоды стойкости совпадают лишь в том случае, когда режимы обработки не подвергаются корректировке, то есть мощность резания не превышает мощности оборудования. Для назначения режимов при ограничении по мощности уменьшение стойкости до "стойкости наибольшей производительности" эффективно лишь для малых глубин резания (до 2мм, смотри таблицу 3). Но данные величины глубины резания не характерны для черновой обработки.

Таблица 3. Фактическая стойкость после корректировки скорости

Глубина резания t , мм	Назначенная стойкость T , мин					
	$T=10$ мин	$T=20$ мин	$T=30$ мин	$T=60$ мин	$T=120$ мин	$T=240$ мин
	Фактическая стойкость, после корректировки					
0,5	10,0	20,0	30,0	60,0	120,0	240,0
1	10,0	20,0	30,0	60,0	120,0	240,0
2	16,0	20,0	30,0	60,0	120,0	240,0
4	318,1	318,1	318,1	318,1	318,1	318,1
6	1573,5	1573,5	1573,5	1573,5	1573,5	1573,5

На рисунке 2 видно, что теоретически термин “стойкость наибольшей производительности” оправдывает себя, так как меньшей назначенной стойкости соответствует наибольшая производительность в случае, если мощность не ограничена. Однако если имеется ограничение по мощности, то после корректировки скорости резания, производительность резко падает и фактическая стойкость далеко не соответствует назначенной. Кроме этого можно заметить, что, уменьшив стойкость в 24 раза (с 240 мин до 10 мин) производительность, увеличились только менее чем в два раза (с 414,8 см³/мин до 783,2 см³/мин) и только если нет ограничения по мощности. Когда вводятся ограничения по мощности (в нашем случае $N=8$ кВт) теряется весь смысл в данном подходе, так как после корректировки скорости резания скорость и производительность будут одинаковы как для назначенной стойкости 240 минут, так и для 10 мин.



Рис. 2. Изменения скорости и производительности от назначенного периода стойкости

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. – Т 1. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985. – 656с.
2. 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. – 512с.
3. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. Спец. вузов. - М.: Выш. Шк. 1985. - 304с.
4. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник: в 2-х т.: Т. 1/ А.Д. Локтев, И.Ф. Гушин и др. - М.: Машиностроение, 1991. – 640с.
5. CoroSecy. Руководство по повышению производительности. Точение – фрезерование – сверление., Каталог SANDVIK COROMANT, 6-е издание 2000. – 216 с.
6. Общемашиностроительные нормативы режимов резания резцами с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин. Обработка на станках с ЧПУ. Серийное и мелкосерийное производство - М.: НИИМаш, 1978. – 56с.
7. Шарин Ю.С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1986. – 176 с.