

УДК 621.9.06.014

В. И. Туромша, канд. техн. наук, доц.**КОНЦЕПЦИЯ СКОРОСТНОГО СИЛОВОГО РЕЗАНИЯ**

Учтены одновременно преимущества силового и скоростного методов обработки резанием. При максимальной загрузке станка по мощности и полном использовании режущего инструмента по стойкости наибольшая производительность достигается назначением максимально возможной подачи, а также увеличением скорости резания режущим инструментом более высокого качества.

Введение

Параметрами процесса резания, влияющими на производительность обработки деталей, являются глубина резания t , мм, и связанное с ней число рабочих ходов инструмента i , подача s_o , мм/об, а также скорость резания v , м/мин. В соответствии с известной зависимостью [1] машинное время t_m , мин, при токарной обработке определяется как

$$t_m = \frac{\pi DLh}{1000} \cdot \frac{1}{t \cdot s_o \cdot v}, \quad (1)$$

где D – диаметр обрабатываемой детали, мм; L – длина рабочего хода инструмента, мм; h – припуск на обработку, мм.

Учитывая наличие постоянных в формуле (1), производительность обработки может быть также оценена объемом материала, снятого в единицу времени [2]:

$$\Pi = t \cdot s \cdot v, \quad (2)$$

где s , мм, соответствует перемещению режущей кромки резца в движении подачи за один оборот заготовки, т. е. численно равно s_o .

Известные методы сокращения времени на обработку деталей (повышения производительности) основаны на увеличении одного из параметров режима резания:

– глубинное резание – обработка с максимально возможной глубиной резания [2];

– силовое резание – обработка с увеличенной подачей [3];

– скоростное резание – обработка с высокой скоростью резания [3].

Каждый из данных методов в свое время развивался как отдельное научно-техническое направление.

В формулах (1) и (2) функциональные связи между параметрами не учитываются, а каждый множитель представлен как независимая переменная, в одинаковой степени влияющая на производительность. В действительности же параметры режима резания связаны друг с другом. Уравнений связи известно как минимум два:

1) уравнение мощности резания, которая ограничена мощностью привода главного движения станка;

2) уравнение стойкости режущего инструмента, которая ограничена заданным периодом стойкости (часто данное уравнение представляют в виде уравнения скорости резания, допускаемой инструментом).

Учитывая, что в соответствии с уравнениями связи степень влияния t , s_o и v на мощность резания и стойкость инструмента не одинакова [4], можно говорить о том, что различна и степень их влияния на производительность обработки. Решение уравнения (2) с учетом уравнений связи позволяет не только уточнить оценку эффективности каждого из перечисленных методов повышения производительности обработки в отдельности, но и сформулировать новую концепцию резания, объединяющую достоинства силового и скоростного методов обработки, – концепцию *скоростного силового резания*.

Обеспечение максимальной производительности обработки

Анализ влияния параметров режима резания на производительность обработки деталей выполнен при полной загрузке станка по мощности и режущего инструмента по стойкости, поскольку данные условия обеспечивают максимальное использование технических возможностей станка и инструмента. Этим требованиям отвечает математическая модель, включающая уравнения эффективной мощности резания N и скорости резания v , допускаемой инструментом, а также целевую функцию производительности Π :

$$\begin{cases} P_z = C_P t^{x_P} s_o^{y_P} v^{\mu_P}; \\ v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s_o^{y_v}}; \\ N = \frac{P_z \cdot v}{61200}; \\ \Pi = t \cdot s \cdot v \rightarrow \max, \end{cases} \quad (3)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания; C_v, C_P – постоянные коэффициенты; $x_v, y_v, x_P, y_P, \mu_P$ – показатели степени; m – показатель относитель-

ной стойкости.

В [4, 5] показано, что параметры режима резания, являющиеся решениями модели (3), позволяют достичь наибольшей производительности обработки. При заданных ограничениях N (соответствует мощности привода главного движения станка) и T решение модели (3) может быть получено путем варьирования с определенным шагом значениями s_o и вычислением t и v . Для каждого шага определяется производительность обработки, а затем сочетание параметров режима резания, при котором $\Pi \rightarrow \max$.

Пример решения для токарной обработки деталей из конструкционной стали резцом из твердого сплава Т15К6 приведен в табл. 1. Исходные параметры системы (3) [6]: $x_P = 1,0$; $y_P = 0,75$; $\mu_P = -0,15$; $C_P = 3000$; $m = 0,2$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,2 \dots 0,45$ и $C_v = 221 \dots 283$ (при $s_o < 0,3$ – $C_v = 283$, $y_v = 0,2$; при $s_o > 0,7$ – $C_v = 221$, $y_v = 0,45$; при $0,3 \leq s_o \leq 0,7$ – $C_v = 227$, $y_v = 0,35$).

Табл. 1. Значения параметров режима резания и производительность снятия материала при точении деталей из конструкционной стали резцом из твердого сплава Т15К6 в соответствии с моделью (3)

s_o , мм/об	$N = 10$ кВт						$N = 20$ кВт					
	$T = 15$ мин			$T = 60$ мин			$T = 15$ мин			$T = 60$ мин		
	t , мм	v , м/мин	Π , см ³ /мин	t , мм	v , м/мин	Π , см ³ /мин	t , мм	v , м/мин	Π , см ³ /мин	t , мм	v , м/мин	Π , см ³ /мин
0,1	14,21	175	249	18,60	128	238	31,40	156	490	41,19	113	466
0,2	8,96	163	292	11,74	119	279	19,80	145	574	26,0	106	551
0,4	6,13	139	341	8,03	101	324	13,60	123	669	17,80	90	641
0,8	4,30	114	392	5,63	83	374	9,50	101	768	12,50	74	740
1,6	3,21	87	447	4,20	64	430	7,10	78	886	9,30	56	833
3,2	2,40	67	515	3,14	49	492	5,30	59	1001	6,95	43	956
4,0	2,18	61	532	2,86	45	515	4,83	54	1043	6,34	40	1014
5,0	1,99	56	557	2,60	41	533	4,40	50	1100	5,76	36	1037

Из анализа полученных результатов следует, что при условии максимальной загрузки станка по мощности и полного использования режущего инструмента по стойкости:

- увеличение глубины резания, например, при $N = 10$ кВт и $T = 15$ мин от 2,40 до 8,96 мм, т. е. в 3,9 раза, сопровождается увеличением скорости резания от 67 до 163 м/мин, т. е. в 2,35 раза, уменьшением подачи от 3,2 до 0,2 мм/об, т. е. в 16 раз и снижением производительности от 515 до 292 см³/мин, т. е. в 1,76 раза;

- увеличение подачи, напротив, хотя и сопровождается снижением глубины и скорости резания, но в итоге приводит к увеличению производительности обработки.

Следовательно, максимум производительности достигается при назначении максимально возможной подачи. Данный вывод хорошо согласуется с результатами исследований по силовому резанию, т. е. резанию с большими подачами [3].

Силовое резание

Инициатором силового течения был токарь-новатор В. А. Колесов [7]. С целью повышения производительности обработки он работал с подачами до 10...15 мм/об, причем подача могла превышать глубину резания, т. е. $s/t > 1$. Идеи силового резания в дальнейшем получили развитие в ряде исследований [3]. В настоящее время для обработки деталей с большими подачами применяются в основном режущие инструменты, производимые зарубежными фирмами [8] и представляющие собой усовершенствованную конструкцию резца В. А. Колесова.

Таким образом, увеличение подачи является общим в концепциях силового и скоростного силового резания. Отличие же их в том, что традиционное силовое резание не требует установления зависимости скорости и глубины резания от подачи и рекомендует про-

изводить обработку деталей с глубиной резания, равной припуску. Концепция скоростного силового резания определяет такую зависимость через систему уравнений модели (3). Кроме того, данная концепция решает задачу повышения производительности (объема снимаемого в единицу времени материала) также и за счет увеличения скорости резания (см. ниже), т. е. в ней объединены основные идеи как силового, так и скоростного резания. Глубина резания при этом может быть меньше припуска, т. е. снятие припуска производится за несколько рабочих ходов инструмента.

Скоростное резание

Одним из основоположников метода скоростного резания был немецкий ученый М. Кроненберг [9]. В соответствии с разработанной в 1930 г. методикой он принимает за наивыгоднейший режим резания такой, при котором достигается полная загрузка станка по мощности и полное использование инструмента, т. е. работа на скорости, соответствующей экономическому сечению стружки. М. Кроненберг для достижения максимальной производительности предлагал увеличивать скорость резания, в том числе и за счет уменьшения площади сечения срезаемого слоя, поэтому его метод назван «скоростным».

Недостатками математической модели М. Кроненберга можно считать то, что, во-первых, взяв за основной параметр площадь сечения срезаемого слоя, автор не учитывал разную степень влияния подачи и глубины резания на силу резания (мощность) и период стойкости инструмента, во-вторых, М. Кроненберг в своих моделях не использовал стойкость T инструмента.

Отличим предложенной в настоящей работе математической модели (3) от модели М. Кроненберга является то, что подача и глубина резания представлены как независимые переменные, а под использованием режущего инструмента

понимается обеспечение заданного периода стойкости T .

Увеличение скорости резания может быть достигнуто двумя основными методами:

1) за счет увеличения скорости, допускаемой инструментом, т. е. путем повышения качества инструмента (улучшения инструментального материала и его структуры, применения износостойких покрытий, совершенствования конструкции и геометрии инструмента и т. д.);

2) за счет снижения периода стойкости T режущего инструмента.

Для оценки влияния качества режущего инструмента (стойкости) на соотношение параметров режима резания и производительность обработки определим в соответствии с моделью (3) параметры режима резания при токарной обработке деталей из конструкционной нелегированной стали (код стали 01.1 по Sandvik Coromant, группа обрабатываемости по ISO – P), являющейся аналогом стали 45, инструментом с ромбической пластиной твердого сплава GC4015 с трехслойным CVD покрытием

TiCN – Al₂O₃ – TiN [8]. Данный твердый сплав обладает более высокими эксплуатационными свойствами по сравнению со сплавом T15K6. Параметры модели (3) для сплава GC4015: $x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $\mu_p = -0,15$; $C_p = 3000$; $m = 0,15$; $x_v = 0,15$; $T = 15$ мин; $y_v = 0,2...0,45$ и $C_v = 430...670$ (при $s_o < 0,3$ – $C_v = 670$, $y_v = 0,2$; при $s_o > 0,7$ – $C_v = 430$, $y_v = 0,45$; при $0,3 \leq s_o \leq 0,7$ – $C_v = 510$, $y_v = 0,35$).

Результаты расчета при $N = 20$ кВт и $s_o = 1,6$ мм/об представлены в виде диаграмм (рис. 1). Применение твердого сплава GC4015 с покрытием по сравнению с T15K6 позволяет увеличить скорость резания в 2,5 раза и уменьшить глубину резания (и площадь сечения срезаемого слоя) в 2,2 раза. Благодаря тому, что возрастание скорости резания происходит в большей степени, чем снижение глубины, увеличивается объем снимаемого в единицу времени материала в 1,14 раза.

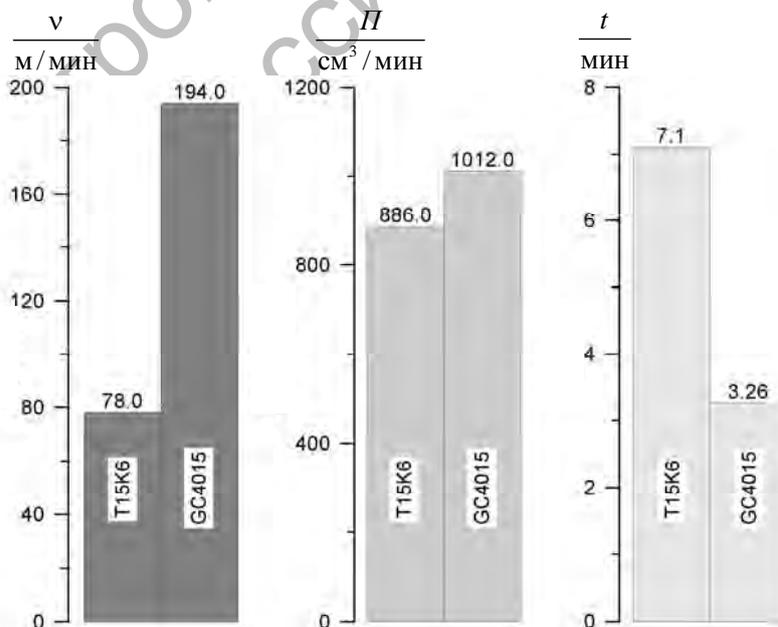


Рис. 1. Расчетные значения v , Π и t для инструментов из твердых сплавов T15K6 и GC4015 ($N = 20$ кВт, $T = 15$ мин, $s_o = 1,6$ мм/об)

В результате в дополнение к концепции силового резания повышение производительности обеспечивается также и за счет роста скорости резания в соответствии с концепцией скоростного резания. С точки зрения снижения сил резания и нагрузок на приводы станка увеличение объема удаляемого материала при меньшей площади среза является предпочтительным.

Математически полученный результат объясняется главным образом увеличением параметра C_v в модели (3). Рост C_v соответствует увеличению допускаемой инструментом скорости резания при том же значении заданного периода стойкости T . В результате достигается увеличение расчетной скорости резания и производительности обработки при меньшей глубине резания и площади среза.

Анализ влияния параметра C_v на производительность

Параметр C_v в модели (3) характеризует качество инструмента, выражаемое допускаемой скоростью резания при заданном периоде стойкости. Поэтому

моделирование влияния допускаемой инструментом скорости резания на производительность обработки и соотношение параметров режима резания выполнялось путем изменения параметра C_v .

Одним из методов повышения эксплуатационных свойств режущих инструментов является применение износостойких покрытий (однослойных и многослойных) [10]. Коэффициент k повышения допускаемой скорости резания зависит от марки покрытия и, по сути, является поправочным коэффициентом для C_v в формуле скорости резания (значения коэффициента k приведены в табл. 2 [10]):

$$v = \frac{C_v \cdot k}{T^m t^{x_v} S_o^{y_v}} \quad (4)$$

На рис. 2 приведены параметры процесса обработки деталей инструментом из твердого сплава GC4015 Sandvik Coromant, рассчитанные по модели (3) при $N = 30$ кВт и $T = 15$ мин с учетом коэффициента k , т. е. при изменении C_v .

Табл. 2. Коэффициент k повышения скорости резания для твердых сплавов при применении покрытий

Вид покрытия	k
Без покрытия	1,00
TiN	1,15
Ni-P + TiN	1,20
TiC	1,25
TiN + Al ₂ O ₃ + Ti (C,N)	1,30
Ni-P + TiC	1,45
Комбинированные покрытия	1,55
Ni-P + Ti (C,N)	1,60
Ni-P + комбинированные покрытия	1,75

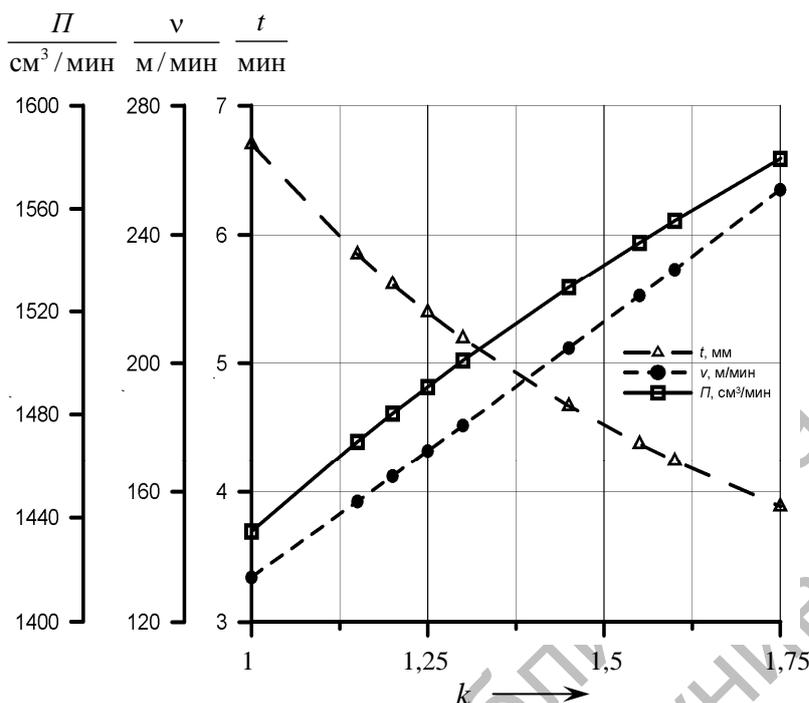


Рис. 2. Зависимость v , Π и t от коэффициента k повышения C_v при полной нагрузке по мощности ($N = 30$ кВт) и стойкости ($T = 15$ мин) для твердого сплава GC4015 ($s_o = 1,6$ мм/об)

Исходные значения C_v при $k = 1$ (твердый сплав без покрытия) составляют: при $s_o < 0,3$ — $C_v = 515$; при $0,3 \leq s_o \leq 0,7$ — $C_v = 400$; при $s_o > 0,7$ — $C_v = 330$.

Увеличение C_v от 330...515 до 580...900 приводит к возрастанию расчетной скорости резания от 134 до 254 м/мин и снижению глубины резания от 6,70 до 3,89 мм. Это дает возможность производить обработку деталей при меньшей площади сечения срезаемого слоя. Благодаря росту скорости резания происходит увеличение объема снимаемого в единицу времени материала от 1435 до 1579 см³/мин.

Следовательно, в соответствии с концепцией скоростного силового резания возрастание скорости резания и производительности обработки, а также снижение площади срезаемого слоя достигается за счет увеличения допускаемой инструментом скорости, выра-

жающейся увеличением параметра C_v в модели (3).

Влияние мощности привода главного движения станка на производительность

Привод главного движения выполняет работу резания, затрачиваемую на снятие материала с заготовки. Объем материала, снятого в единицу времени, т. е. производительность обработки определяется работой резания, произведенной за единицу времени, т. е. эффективной мощностью резания. Поэтому увеличение мощности двигателя привода главного движения является одним из методов повышения производительности обработки деталей.

Приведенные в табл. 1 результаты расчета подтверждают данное положение. Но обращает на себя внимание тот факт, что для конкретного инструмента (инструментального материала) рост производительности при увеличении N

происходит в основном за счет увеличения глубины резания, поскольку скорость резания ограничена качеством режущего инструмента в соответствии с уравнением (4). В результате при повышенной мощности расчетная глубина резания может превысить допустимые пределы, т. е. возрасти до величин, которые невозможно реализовать на практике. Следовательно, возможности увеличения N ограничены параметрами качества режущего инструмента, применяемого на станке.

Иная картина наблюдается при использовании инструмента с более высокими эксплуатационными свойствами. В табл. 3 приведены значения параметров режима резания для инструмента, оснащенного пластиной твердого сплава GC4015 с покрытием

TiCN – Al₂O₃ – TiN. При $N = 20$ кВт в диапазоне подач $s_o = 0,4 \dots 1,6$ мм/об расчетная глубина резания снизилась по сравнению с T15K6 от 7,10...13,6 до 3,26...5,30 мм. Рекомендуемая при черновой обработке конструкционной стали твердосплавным резцом глубина резания составляет 6...9 мм [6]. Поэтому для твердого сплава GC4015 мощность привода главного движения может быть увеличена до 31,16 кВт. Глубина резания в этом случае возрастает до рекомендуемых значений 5,41...8,98 мм, а производительность – от 886 до 1558 см³/мин, т. е. в 1,76 раза. В результате применение качественного инструмента, имеющего более высокую допускаемую скорость резания, дает возможность значительно увеличить мощность привода главного движения станка и производительность обработки.

Табл. 3. Значения параметров режима резания и производительность снятия материала при точении деталей из конструкционной стали резцом из твердого сплава GC4015

s_o , мм/об	$N_1 = 31,16$ кВт			$N_2 = 20,0$ кВт			$N_3 = 10,0$ кВт		
	t , мм	v , м/мин	P , см ³ /мин	t , мм	v , м/мин	P , см ³ /мин	t , мм	v , м/мин	P , см ³ /мин
0,2	12,48	422	1053	7,51	455	683	3,39	512	347
0,4	8,98	337	1210	5,30	372	789	2,40	419	402
0,8	7,24	235	1361	4,37	253	885	1,97	285	449
1,6	5,41	180	1558	3,26	194	1012	1,47	218	513
3,2	4,04	138	1784	2,44	148	1156	1,10	167	588
4,0	3,64	127	1849	2,22	136	1208	1,00	153	612
5,0	3,33	116	1931	2,02	125	1263	0,91	140	637

Таким образом, в соответствии с концепцией скоростного силового резания увеличение S_v , сопровождающееся снижением глубины резания, позволяет увеличить производительность обработки за счет повышения мощности привода главного движения станка до такого уровня, при котором параметры сечения срезаемого слоя возрастают до рекомендуемых значений при черновой обработке.

Влияние заданного периода стойкости T на производительность

Увеличение скорости резания может быть достигнуто также путем снижения заданного периода стойкости T режущего инструмента. Анализ результатов расчета, приведенных в табл. 1, показывает, что рост скорости при снижении T приходится компенсировать уменьшением t для обеспечения полной

загрузки станка по мощности. В результате объем снимаемого материала в единицу времени практически не изменяется. В то же время съём материала при большей скорости резания и меньшей площади сечения срезаемого слоя является предпочтительным при снижении сил резания и нагрузок на приводы металлорежущего станка. В этом заключается положительный результат от снижения T с позиции концепции скоростного силового резания.

Кроме того, снижение глубины резания при уменьшении T также является резервом повышения мощности главного привода станка и производительности обработки в соответствии с изложенной выше концепцией.

Образование обратной стружки и производительность обработки

Резание с большими подачами сопровождается образованием стружки с обратной формой среза. Условие обра-

зования обратного среза – $t/s_o < \sin \varphi$ (φ – главный угол резца в плане) [1, 11]. В этом случае большое значение приобретает вспомогательная режущая кромка, на долю которой приходится значительная часть работы по формированию поверхности резания, а показатели степени x_v и y_v в формуле (4) меняются местами [7, 11]. Это способствует увеличению производительности обработки за счет роста скорости резания при одновременном снижении площади сечения срезаемого слоя.

На рис. 3 приведены результаты расчета с учетом образования стружки с обратной формой среза при точении конструкционной стали твердосплавным резцом Т15К6. Параметры модели (3) (по данным [12]): $x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $\mu_p = -0,15$; $C_p = 3000$; $m = 0,2$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,35$; $C_v = 340 \dots 420$ (при $s_o < 0,3$ – $C_v = 420$; при $s_o > 0,7$ – $C_v = 340$; при $0,3 \leq s_o \leq 0,7$ – $C_v = 350$).

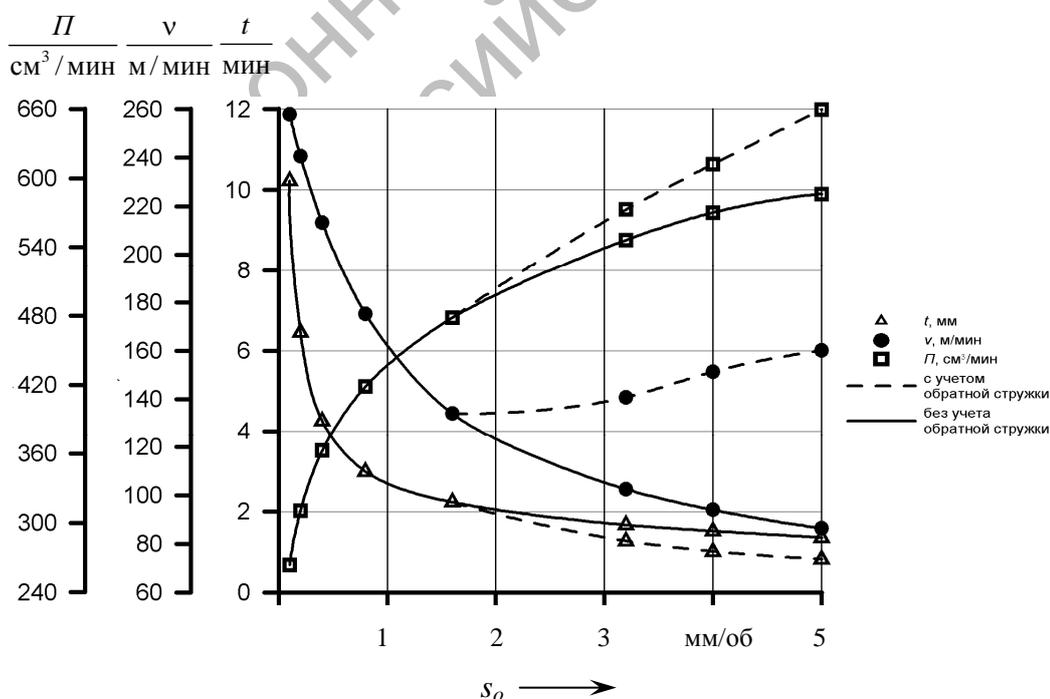


Рис. 3. Изменение расчетных значений t , v и Π при образовании стружки с обратной формой среза

При $N = 10$ кВт и $T = 20$ мин обратный срез образуется при $s_o = 1,6$ мм/об. Обращает на себя внимание существенное «обратное» повышение скорости резания, возрастающее по мере увеличения подачи, и весьма значительное снижение глубины резания. Так, при $s_o = 5,0$ мм/об за счет образования обратного среза скорость резания возрастает от 86 до 160 м/мин (почти в 2 раза), а глубина резания снижается от 1,36 до 0,82 мм, что является положительным фактором при снижении нагрузок на приводы станка. Объем снимаемого материала в единицу времени возрастает от 587 до 660 см³/мин.

Глубинное резание

Табличные методы назначения параметров режима резания, изложенные в [2, 6, 11, 12], реализуют в основном концепцию глубинного резания, поскольку рекомендуют назначение максимальной глубины резания. Метод основан на двух законах резания, сформулированных проф. С. Ф. Глебовым [13], в соответствии с которыми для достижения наибольшей производительности рекомендуется производить обработку с максимальной площадью сечения срезаемого слоя, в т. ч. за счет снижения скорости резания, а глубину резания следует по возможности увеличивать за счет подачи. Следует обратить внимание на то, что данные законы сформулированы только на основании анализа количества теплоты, отводимой от режущего лезвия резца. Не учтены силовые и другие характеристики процесса резания, а также технические параметры металлорежущего станка. В результате режим резания назначается на основе возможностей режущего инструмента применительно к конкретной обрабатываемой детали и не учитывает возможностей станка, т. е. метод исходит от инструмента. В качестве основного доказательства эффективности метода принята следующая модель.

Оценка влияния элементов режима резания на производительность обработки в данных работах выполняется с помощью только одного уравнения стойкости (или скорости), т. е.

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s_o^{y_v}},$$

которое является частью модели (3). Его применение при расчете обеспечивает полное использование режущего инструмента по стойкости, но не учитывает загрузку станка по мощности.

Для оценки влияния глубины резания и подачи на производительность принято $x_v = 0,35$, $y_v = 0,65$ [5]. Увеличение глубины резания в 2 раза дает

$$\begin{aligned} v_{2t} &= \frac{C_v}{T^m (2t)^{0,35} s_o^{0,65}} = \\ &= \frac{1}{2^{0,35}} \cdot \frac{C_v}{T^m t^{0,35} s_o^{0,65}} = 0,78v, \end{aligned}$$

т. е. скорость резания снижается на 22 %. Производительность при этом

$$P_{2t} = (2t) \cdot s \cdot (0,78v) = 1,56P,$$

т. е. возрастает в 1,56 раза.

При постоянной глубине резания увеличение подачи в 2 раза дает

$$\begin{aligned} v_{2s} &= \frac{C_v}{T^m t^{0,35} (2s_o)^{0,65}} = \\ &= \frac{1}{2^{0,65}} \cdot \frac{C_v}{T^m t^{0,35} s_o^{0,65}} = 0,63v, \end{aligned}$$

т. е. скорость резания снижается на 37 %. Производительность при этом составляет

$$P_{2s} = t \cdot (2s) \cdot (0,63v) = 1,26P,$$

т. е. возрастает в 1,26 раза, что меньше, чем в первом случае. Отсюда делается вывод о преимуществе работы с максимальной глубиной резания.

Анализ данного примера показывает, что для того чтобы получить $P_{2t} \geq P_{2s}$, необходимо выполнение ус-

ловия $x_v \leq y_v$. В реальности же при обработке многих материалов возможно, что $x_v > y_v$ [6], т. е. приведенное выше доказательство не является полностью корректным.

Кроме того, анализ результатов расчета по модели (3), приведенных в табл. 1 и 3, показывает, что при условии полной загрузки станка по мощности максимум производительности достигается при назначении наибольшей подачи, но не глубины резания. Это подтверждает вывод ряда исследователей (Г. И. Темчина [4] и др.), занимавшихся моделированием процесса резания, о том, что законы резания, сформулированные С. Ф. Глебовым, недостаточно обоснованы.

Данный анализ показывает, что концепция скоростного силового резания расходится с концепцией глубинного резания относительно выбора параметров режима резания, оказывающих наибольшее влияние на производительность обработки деталей.

Практическая реализация концепции скоростного силового резания

Рассмотрим точение стального цилиндрического вала диаметром $D = 150$ мм и длиной $L = 200$ мм резцом из твердого сплава Т15К6 на станке с мощностью двигателя 10 кВт. Припуск $h = 10$ мм. Для сравнения параметры режима резания назначены по традиционной методике, т. е. с максимальной глубиной резания, и в соответствии с концепцией скоростного силового резания, т. е. с максимальной подачей.

Обработка с максимальной глубиной резания. Глубина резания принимается максимальной – $t = 10$ мм. Остальные параметры режима резания по [12]: $s_o = 0,5$ мм/об; $v = 47,5$ м/мин; $n = 100$ мин⁻¹; $i = 1$. Машинное время

$$t_m = \frac{L}{n \cdot s_o} \cdot \frac{h}{t} = 4 \text{ мин.}$$

Обработка с максимальной пода-

чей. Принимаем подачу $s_o = 3$ мм/об. Остальные параметры режима резания: $t = 1,67$ мм; $v = 83,5$ м/мин; $n = 177$ мин⁻¹; $i = 6$. С учетом обратных ходов инструмента со скоростью 5 м/мин $t_m = 2,37$ мин. Эффект роста производительности по машинному времени составляет 41 %.

Выбор величины подачи при скоростном силовом резании определяется конструкцией и геометрическими параметрами режущего инструмента, а также требованиями к качеству обработанной поверхности. В последнее время в технической литературе появляются примеры технологий, в большой степени соответствующие концепции скоростного силового резания. Например, фирма «Сандвик Коромант» [8] предлагает твердосплавные пластины для токарного инструмента, работающего с подачей до 1,5 мм/об, а также для фрез, работающих с подачей 4 мм/зуб, что намного превышает традиционные подачи. Особенно эффективным является фрезерование с большой подачей при обработке карманов в сплошном материале (рис. 4).

Несмотря на снижение глубины резания до 1,2...2 мм, при торцевом фрезеровании достигается снятие очень большого объема стружки – 1400 см³/мин. Для удаления всего припуска применяется фрезерование с врезанием по двум или трем осям, а также прерывистое врезание и фрезерование с предварительным засверливанием.

Выводы

Основные положения концепции скоростного силового резания могут быть сформулированы следующим образом.

1. *Скоростное силовое резание* – это метод обработки деталей, при котором одновременно используются преимущества *силового и скоростного методов* с целью достижения наибольшей производительности, характеризуемой объемом удаляемого материала в единицу времени.

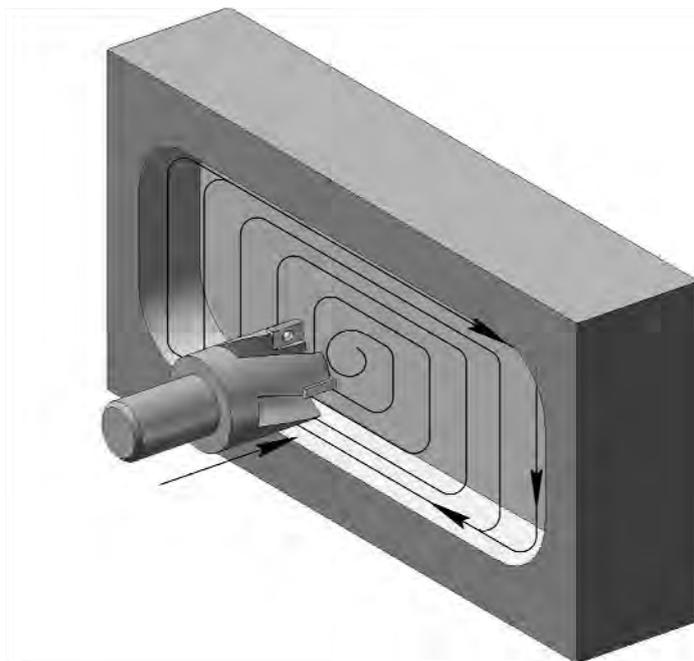


Рис. 4. Высокопроизводительное фрезерование с большой подачей кармана в сплошном материале с врезанием по трем осям [8]

2. В соответствии с предлагаемой концепцией связь между параметрами режима резания определяется математической моделью, включающей уравнения эффективной мощности резания

$$N = \frac{C_P t^{x_P} s_o^{y_P} v^{\mu_P} \cdot v}{61200}$$

и допускаемой режущим инструментом скорости резания $v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s_o^{y_v}}$, а также уравнение

целевой функции в виде производительности обработки $P = t \cdot s \cdot v$.

3. Наибольшая производительность обработки достигается при максимальной загрузке станка по мощности и полном использовании режущего инструмента по стойкости, а также при назначении *максимально возможной подачи*.

4. Данная концепция решает также задачу повышения производительности (объема снимаемого в единицу времени материала) *за счет увеличения скорости резания*. Это достигается применением режущего инструмента более высокого качества, характеризуемого в предло-

женной математической модели параметром C_v . Кроме того, повышение C_v дает возможность производить обработку деталей при меньшей глубине резания и площади сечения срезаемого слоя, что является благоприятным фактором при снижении нагрузок на приводы станка. Глубина резания при этом может быть меньше припуска, т. е. снятие припуска производится за несколько рабочих ходов инструмента.

5. Увеличение скорости резания при снижении заданного периода стойкости T режущего инструмента приходится компенсировать уменьшением глубины резания t для обеспечения полной загрузки станка по мощности. В результате объем снимаемого материала в единицу времени практически не изменяется. В то же время съём материала при большей скорости резания и меньшей площади сечения срезаемого слоя является предпочтительным.

6. В соответствии с концепцией скоростного силового резания увеличение параметра C_v , сопровождающееся снижением глубины резания, позволяет

увеличить производительность обработки за счет повышения мощности привода главного движения станка до такого уровня, при котором параметры сечения срезаемого слоя возрастают до рекомендуемых значений при черновой обработке.

Снижение глубины резания при уменьшении T также является резервом повышения мощности главного привода станка и производительности обработки.

7. Резание с большими подачами сопровождается образованием стружки с обратной формой среза, а показатели степени x_v и y_v в математической модели меняются местами. Это способствует увеличению производительности обработки за счет роста скорости резания при одновременном снижении площади сечения срезаемого слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рыжкин, А. А.** Обработка материалов резанием : учеб. пособие / А. А. Рыжкин, К. Г. Шучев, М. М. Климов. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 411 с.
2. Справочник нормировщика-машиностроителя : в 4 т. Т. 2 : Техническое нормирование станочных работ / Л. Винник [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Стружестраха. – М. : Машгиз, 1961. – 892 с.
3. **Промптов, А. И.** Скоростное и силовое точение металлов / А. И. Промптов, Л. А. Хворостухин. – Иркутск : Иркут. книжное изд-во, 1957. – 57 с.
4. **Темчин, Г. И.** Многоинструментальные наладки. Теория и расчет / Г. И. Темчин. – М. : Машгиз, 1963. – 543 с.
5. **Туромша, В. И.** Назначение параметров режима резания при ограничении по мощности / В. И. Туромша, Чан Ким Тоан // Вестн. акад. наук Беларуси. – 1995. – № 1. – С. 38–45.
6. Справочник металлста : в 5 т. / Е. Анненкова [и др.] ; под ред. А. Н. Малова. – М. : Машгиз, 1959. – Т. 4. – 779 с.
7. **Колесов, В. А.** Силовое резание металлов / В. А. Колесов. – Куйбышев : Куйбышев. книжное изд-во, 1953. – 78 с.
8. Руководство по металлообработке. Точение – фрезерование – сверление – растачивание – оснастка : техн. справочник Sandvik Coromant. – М. : Сандвик – МКТС, 2005. – 553 с.
9. **Кроненберг, М.** Основы теории резания. Введение в теорию обработки металлов резанием и применение ее на практике / М. Кроненберг. – М. : ГТИ, 1931. – 182 с.
10. Инструментальные материалы : учеб. пособие / Г. А. Воробьева [и др.]. – СПб. : Политехника, 2005. – 268 с.
11. **Панкин, А. В.** Обработка металлов резанием / А. В. Панкин. – М. : Машгиз, 1961. – 820 с.
12. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.

Белорусский национальный технический университет
Материал поступил 14.12.2009

V. I. Turomsha **Concept of high speed power cutting**

The concept realizes the advantages of both high speed and power cutting to get the largest stock removal capacity. Proceeding from the conditions of the maximum capacity of the machine tool and the full application of the cutting tool by durability, the maximum capacity is achieved when setting the maximum possible feed. The increase in the capacity by raising the cutting speed is achieved by using the cutting tool of a higher quality.