

УДК 621.9.02.+621.9.06

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА И ИНСТРУМЕНТА

канд. техн. наук, доц. В.И. ТУРОМША
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Получена математическая зависимость, позволяющая обосновать выбор предельного значения мощности привода главного движения станка с учетом качественных параметров режущего инструмента при обработке деталей из различных материалов. Разработана методика и приведены примеры расчета для токарного станка. Установлено, что применение качественного инструмента позволяет повысить мощность главного привода станка и производительность обработки деталей при заданных (постоянных) параметрах сечения срезаемого слоя. При постоянной мощности главного привода достигается увеличение производительности обработки и уменьшение параметров сечения срезаемого слоя за счет увеличения скорости резания. На основе математической модели, обеспечивающей одновременную полную загрузку станка по мощности и использование режущего инструмента по стойкости, исследовано влияние параметров станка и режущего инструмента на элементы сечения срезаемого слоя, скорость резания и объем удаляемого в единицу времени материала.

Введение. Производительность обработки деталей на металлорежущих станках определяется объемом снимаемого материала в единицу времени, т.е. $\Pi = t \cdot s \cdot v$ (t – глубина резания, мм; s – перемещение, мм, режущей кромки резца в движении подачи за 1 оборот заготовки, численно равное подаче на оборот S_0 , мм/об; v – скорость резания, м/мин) [1]. Она зависит от параметров режущего инструмента (периода стойкости T или скорости резания v , допускаемой инструментом) и станка (мощности N привода главного движения и диапазона частот вращения шпинделя $n_{min} - n_{max}$, обеспечивающего требуемую величину скорости резания) [2]. Для достижения максимальной производительности необходимо обеспечить полную загрузку главного привода станка по мощности и максимальное использование режущего инструмента по стойкости [2 – 4].

В объеме материала, снимаемого в единицу времени, скорость резания ограничена стойкостью режущего инструмента. Поэтому при использовании инструмента невысокого качества для обеспечения максимальной загрузки станка по мощности приходится увеличивать глубину резания или подачу, в результате чего они могут достигать недопустимо больших значений [4]. С другой стороны, при применении высококачественного инструмента на станке с недостаточной мощностью главного привода потенциал режущего инструмента в плане производительности обработки не будет полностью использован. Следовательно, параметры металлорежущего станка взаимосвязаны с параметрами инструмента, т.е. мощность главного привода ограничивается качеством режущего инструмента. Для установления данной связи используем математическую модель, включающую параметры станка, режущего инструмента и режима резания.

Параметры режима резания, удовлетворяющие условию максимальной загрузки станка по мощности и использования режущего инструмента по стойкости, можно определить путем решения математической модели (системы уравнений), включающей уравнения эффективной мощности резания N и допускаемой режущим инструментом скорости резания v , а также уравнение целевой функции производительности Π [2]:

$$\begin{cases} P_z = C_p t^{x_p} S_0^{y_p} v^{\mu_p}; \\ v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} S_0^{y_v}}; \\ N = \frac{P_z \cdot v}{61200}; \\ \Pi = t \cdot s \cdot v \rightarrow \max, \end{cases} \quad (1)$$

где m – показатель относительной стойкости; P_z – тангенциальная составляющая силы резания; C_v, C_p – постоянные коэффициенты; $x_v, y_v, x_p, y_p, \mu_p$ – показатели степени.

Решение может быть получено путем варьирования с определенным шагом значениями S_0 и вычислением t и v по уравнениям модели (1) при заданных значениях N и T .

Для сравнительного анализа моделирование выполнено при наружном продольном точении инструментом из быстрорежущей стали (P18) и твердого сплава (Т15К6, ВК6, ВК8) деталей из трех материалов:

- стали конструкционной углеродистой или легированной;
- стали жаропрочной;
- чугуна серого.

Исходные параметры модели (1) для указанных материалов обрабатываемых деталей и режущего инструмента представлены в таблице 1 [5].

Таблица 1

Исходные параметры системы уравнений (1)

Материал режущей части резца	Подача S_o , мм/об	C_p	x_p	u_p	μ_p	C_v	x_v	u_v	t
<i>Обрабатываемый материал – сталь конструкционная или легированная ($\sigma_b = 650$ МПа)</i>									
P18	$S_o \leq 0,25$	2000	1,0	0,75	0	87,5	0,35	0,33	0,125
	$S_o > 0,25$					56,0		0,66	
Т15К6	$S_o < 0,3$	3000	1,0	0,75	-0,15	283	0,15	0,20	0,2
	$0,3 \leq S_o \leq 0,7$					227		0,35	
	$S_o > 0,7$					221		0,45	
<i>Обрабатываемый материал – сталь жаропрочная 1Х18Н9Т (HB 141)</i>									
P18	–	2000	1,0	0,75	0	31,0	0,2	0,55	0,15
ВК8	–	2040	1,0	0,75	0	110	0,2	0,45	0,15
<i>Обрабатываемый материал – чугун серый (HB 190)</i>									
P18	$S_o \leq 0,25$	1140	1,0	0,75	0	37	0,15	0,37	0,1
	$S_o > 0,25$					35		0,35	
ВК6	$S_o \leq 0,4$	1230	1,0	0,85	0	292	0,15	0,20	0,2
	$S_o > 0,4$					243		0,40	

Результаты расчета по модели (1) приведены в таблицах 2 и 3. Их анализ показывает следующее:

- независимо от марки обрабатываемого материала и материала режущей части инструмента увеличение мощности привода главного движения станка приводит к возрастанию объема материала, снимаемого в единицу времени с заготовки, т.е. производительности обработки;

- рост производительности, связанный с увеличением мощности, обусловлен увеличением площади сечения срезаемого слоя (например, глубины резания при фиксированных значениях подачи), поскольку скорость резания ограничена возможностями режущего инструмента (стойкостью);

- расчетные значения подачи и глубины резания зависят от обрабатываемого материала и материала режущей части инструмента. Так, например, для резца из быстрорежущей стали при черновой обработке конструкционных сталей для полной загрузки станка по мощности $N = 10$ кВт требуемая глубина резания составляет 12,3...25,9 мм. Для $N = 7$ кВт при обработке жаропрочной стали необходима глубина резания $t = 12,3...36,1$ мм, а при обработке чугуна серого $t = 11,5...58,0$ мм (см. табл. 2).

Очевидно, что столь высокие значения глубины резания невозможно реализовать на практике и это означает, что приведенные значения мощности N являются завышенными. Для жаропрочной стали и чугуна серого более приемлемой является мощность $N = 3$ кВт, но для конструкционных и легированных сталей она является уже заниженной;

- применение твердого сплава, обладающего более высокой теплостойкостью по сравнению с быстрорежущей сталью, позволяет увеличить скорость резания (см. табл. 3). Благодаря этому расчетная глубина резания, обеспечивающая полную загрузку станка по мощности, снижается. В результате, при мощности привода главного движения $N = 10...12$ кВт в диапазоне черновых подач верхние значения t составляют около 10 мм, что практически соответствует рекомендуемым [6].

Таблица 2

Параметры режима резания при полной загрузке станка по мощности и режущего инструмента по стойкости
(материал инструмента – быстрорежущая сталь)

$S_{об}$ мм/об	$T = 14$ мин			$T = 20$ мин			$T = 60$ мин		
	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
<i>Обрабатываемый материал – сталь конструкционная или легированная</i>									
$N = 3$ кВт									
0,2	4,08	75,3	61	4,78	64,2	61	5,95	51,6	61
0,6	3,19	42,2	81	3,74	36,0	81	4,66	28,9	81
1,4	2,88	24,7	100	3,38	21,1	100	4,21	16,9	100
2,6	2,68	16,8	117	3,14	14,3	117	3,91	11,5	117
3,8	2,56	13,2	128	3,00	11,3	128	3,73	9,0	128
5,0	2,47	11,1	137	2,90	9,5	137	3,61	7,6	137
$N = 10$ кВт									
0,2	20,30	50,4	205	21,54	47,5	205	25,87	39,6	205
0,6	15,89	28,3	269	16,86	26,6	269	20,25	22,2	269
1,4	14,35	16,6	333	15,23	15,6	333	18,29	13	333
2,6	13,32	11,2	389	14,14	10,6	389	16,98	8,8	389
3,8	12,73	8,8	427	13,51	8,3	427	16,22	6,9	427
5,0	12,32	7,4	458	13,07	7,0	458	15,70	5,8	458
<i>Обрабатываемый материал – сталь жаропрочная</i>									
$N = 3$ кВт									
0,2	9,53	32,2	61	10,19	30,1	61	12,52	24,5	61
0,6	7,24	18,6	81	7,74	17,4	81	9,51	14,2	81
1,4	5,86	12,2	100	6,26	11,4	100	7,70	9,3	100
2,6	5,02	9,0	117	5,36	8,4	117	6,59	6,8	117
3,8	4,56	7,4	128	4,88	6,9	128	6,0	5,6	128
5,0	4,26	6,4	137	4,56	6,0	137	5,6	4,9	137
$N = 7$ кВт									
0,2	27,48	26,1	143	31,70	22,6	143	36,10	19,8	143
0,6	20,88	15,05	189	24,09	13,0	189	27,43	11,5	189
1,4	16,89	9,9	233	19,49	8,5	233	22,19	7,5	233
2,6	14,47	7,2	272	16,69	6,3	272	19,01	5,5	272
3,8	13,16	6,0	299	15,18	5,2	299	17,29	4,6	299
5,0	12,29	5,2	320	14,18	4,5	320	16,14	4,0	320
<i>Обрабатываемый материал – чугун серый</i>									
$N = 3$ кВт									
0,2	18,05	29,8	108	18,82	28,6	108	21,42	25,1	108
0,6	10,14	23,3	142	10,58	22,3	142	12,03	19,6	142
1,4	7,15	17,5	175	7,46	16,8	175	8,49	14,7	175
2,6	5,54	14,2	205	5,78	13,6	205	6,58	12,0	205
3,8	4,74	12,5	225	4,95	12,0	225	5,63	10,5	225
5,0	4,24	11,4	241	4,42	11,0	241	5,03	9,6	241
$N = 7$ кВт									
0,2	48,90	25,7	251	50,99	24,6	251	58,03	21,7	251
0,6	27,48	20,1	331	28,66	19,2	331	32,61	16,9	331
1,4	19,39	15,1	409	20,22	14,4	409	23,01	12,7	409
2,6	15,02	12,2	477	15,67	11,7	477	17,83	10,3	477
3,8	12,85	10,7	525	13,40	10,3	525	15,25	9,1	525
5,0	11,48	9,8	562	11,97	9,4	562	13,62	8,3	562

Таблица 3

Параметры режима резания при полной загрузке станка по мощности и режущего инструмента по стойкости (материал инструмента – твердый сплав)

S_{00} , мм/об	$T = 14$ мин			$T = 20$ 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
<i>Обрабатываемый материал – сталь конструкционная или легированная</i>									
$N = 3$ кВт									
0,2	2,23	204,3	91	2,39	188,3	90	2,95	146,3	86
0,6	1,23	155,2	115	1,32	143,0	113	1,64	111,2	109
1,4	0,84	115,0	136	0,90	105,9	134	1,12	82,4	129
2,6	0,65	90,5	153	0,70	83,4	151	0,86	64,8	145
3,8	0,55	78,1	164	0,59	72,0	162	0,74	56,0	156
5,0	0,49	70,3	173	0,53	64,7	171	0,66	50,3	165
$N = 12$ кВт									
0,2	10,90	161,0	351	11,68	148,3	347	14,47	115,3	334
0,6	6,04	122,3	443	6,47	112,7	438	8,02	87,6	421
1,4	4,13	90,6	524	4,43	83,5	517	5,48	64,9	498
2,6	3,18	71,3	589	3,41	65,7	582	4,22	51,1	561
3,8	2,71	61,6	634	2,91	56,7	626	3,60	44,1	603
5,0	2,42	55,4	668	2,59	51,0	660	3,21	39,7	636
<i>Обрабатываемый материал – сталь жаропрочная</i>									
$N = 3$ кВт									
0,2	2,33	128,9	60	2,50	120,6	60	3,07	98,2	60
0,6	1,55	85,4	79	1,65	79,9	79	2,03	65,0	79
1,4	1,13	58,5	92	1,20	58,1	98	1,48	47,3	98
2,6	0,89	47,7	111	0,95	46,1	114	1,17	37,5	114
3,8	0,77	42,7	126	0,83	40,0	126	1,02	32,5	126
5,0	0,70	38,6	135	0,75	36,1	135	0,92	29,4	135
$N = 10$ кВт									
0,2	10,51	95,4	201	11,24	89,3	201	13,81	72,6	201
0,6	6,96	63,2	264	7,44	59,1	264	9,15	48,1	264
1,4	5,07	46,0	326	5,42	43,0	326	6,66	35,0	326
2,6	4,02	36,5	381	4,30	34,1	381	5,28	27,8	381
3,8	3,49	31,6	419	3,73	29,6	419	4,58	24,1	419
5,0	3,14	28,5	449	3,36	26,7	449	4,13	21,7	449
<i>Обрабатываемый материал – чугун серый</i>									
$N = 3$ кВт									
0,2	2,89	202,7	117	3,15	186,3	117	4,07	143,9	117
0,6	1,37	167,6	138	1,50	154,2	138	1,94	119,0	138
1,4	0,88	127,8	157	0,96	117,5	157	1,24	90,7	157
2,6	0,63	104,8	172	0,69	96,3	172	0,89	74,4	172
3,8	0,52	92,8	182	0,56	85,3	183	0,73	65,9	183
5,0	0,45	85,0	190	0,49	78,1	190	0,63	60,3	190
$N = 12$ кВт									
0,2	14,78	158,7	469	16,07	145,9	469	20,81	112,7	469
0,6	7,02	131,3	553	7,64	120,7	553	9,89	93,2	553
1,4	4,48	100,0	628	4,88	92,0	628	6,32	71,0	628
2,6	3,23	82,0	689	3,51	75,4	689	4,55	58,2	689
3,8	2,64	72,6	730	2,87	66,8	730	3,72	51,6	730
5,0	2,29	66,5	760	2,49	61,2	760	3,22	47,2	760

Уравнение связи мощности привода главного движения станка с параметрами режущего инструмента. Из приведенных выше результатов следует, что мощность привода главного движения станка ограничивается качественными параметрами режущего инструмента, и в частности скоростью резания v , допускаемой инструментом, которая в свою очередь определяется величиной параметра C_v (см. систему уравнений (1)).

Выразим связь мощности N с параметром C_v в виде математической зависимости. Для этого решим систему уравнений (1) относительно N :

$$N = C_v^{\mu_p+1} \cdot \frac{C_p \cdot t_{ном}^{\lambda_p-\lambda_v(\mu_p+1)} \cdot S_{оном}^{\lambda_p-\lambda_v(\mu_p+1)}}{61200 \cdot T^{m(\mu_p+1)}}, \quad (2)$$

где $t_{ном}$ и $S_{оном}$ – номинальные (расчетные) значения глубины резания и подачи, соответствующие предельным значениям параметров сечения срезаемого слоя при черновой обработке.

Формула (2) позволяет определить предельное значение мощности главного привода станка для выбранного инструмента (для заданной величины C_v). Рекомендуемые величины t и S_o для черновой обработки задаются обычно в виде некоторого диапазона значений (табл. 4) [6].

Таблица 4

Подачи при черновой наружной обточке и подрезке быстрорежущими и твердосплавными резцами

Диаметр заготовки, мм	Глубина резания t , мм			
	5	8	12	30
	Подача S_o , мм/об			
До 18	До 0,25	–	–	–
от 18 до 30	0,2...0,5	–	–	–
от 30 до 50	0,4...0,8	0,3...0,6	–	–
от 50 до 80	0,6...1,2	0,5...1,0	–	–
от 80 до 120	1,0...1,6	0,7...1,3	0,5...1,0	–
от 120 до 180	1,4...2,0	1,1...1,8	0,8...1,5	–
от 180 до 260	1,8...2,6	1,5...2,0	1,1...2,0	1,0...1,5
от 260 до 360	2,0...3,2	1,8...2,8	1,5...2,5	1,3...2,0
свыше 360	–	2,5...3,0	2,0...3,0	1,5...2,5

Для выбора $t_{ном}$ и $S_{оном}$ оценим уровень мощности для разных точек диапазона изменения t и S_o , который может быть представлен в виде прямоугольника (рис. 1, а). В качестве расчетных точек приняты координаты вершин прямоугольника. На рисунке 1, б приведены кривые $t = f(S_o)$ (кривые 1 – 4), проходящие через данные точки и соответствующие разным значениям мощности.

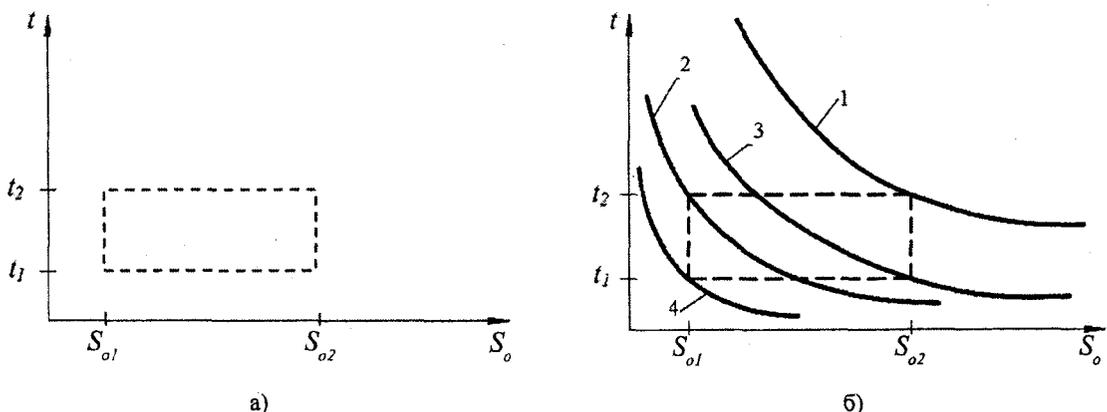


Рис. 1. Диапазон изменения t и S_o при расчете мощности привода главного движения станка (а) и зависимости $t = f(S_o)$ (кривые 1 – 4), соответствующие различным значениям мощности (б)

Кривая 1 проходит через точку $(t_2; S_{o2})$ и соответствует максимальной расчетной мощности, которая для выбранного режущего инструмента окажется завышенной, как, например, мощность $N = 7$ Вт для инструмента из быстрорежущей стали при обработке чугуна (см. табл. 2).

Кривая 4 проходит через точку $(t_1; S_{o1})$ и соответствует минимальной расчетной мощности. Она является заниженной, как например, мощность $N = 3$ кВт для твердого сплава при обработке конструкционной стали (см. табл. 3).

Кривые 2 и 3 проходят через точки $(t_2; S_{o1})$ и $(t_1; S_{o2})$ и соответствуют расчетной мощности, при которой значения t и S_o в наибольшей степени удовлетворяют рекомендуемым значениям (см. табл. 4). Целесообразно вычислить мощность для обеих точек и выбрать наиболее подходящее значение.

В качестве примера рассмотрим выбор мощности главного привода токарного станка, предназначенного для обработки конструкционных сталей инструментом из твердого сплава Т15К6.

Параметры модели (1) следующие [7]:

$$x_p = 1,0; y_p = 0,75; \mu_p = -0,15; C_p = 3000; m = 0,2; x_v = 0,15;$$

$$\text{- при } S_o < 0,3 \quad y_v = 0,2; C_v = 420;$$

$$\text{- при } 0,3 \leq S_o \leq 0,7 \quad y_v = 0,35; C_v = 350;$$

$$\text{- при } S_o > 0,7 \quad y_v = 0,45; C_v = 340.$$

Примем $T = 15$ мин; $t_1 = 4$ мм; $t_2 = 8$ мм; $S_{o1} = 0,5$ мм/об; $S_{o2} = 1,5$ мм/об.

По формуле (2) получим:

$$N_1 = 350^{(-0,15+1)} \cdot \frac{3000 \cdot 8^{1-0,15(-0,15+1)} \cdot 0,5^{0,75-0,35(-0,15+1)}}{61200 \cdot 15^{0,2(-0,15+1)}} = 20,2 \text{ кВт};$$

$$N_2 = 340^{(-0,15+1)} \cdot \frac{3000 \cdot 4^{1-0,15(-0,15+1)} \cdot 1,5^{0,75-0,45(-0,15+1)}}{61200 \cdot 15^{0,2(-0,15+1)}} = 17,0 \text{ кВт}.$$

Разница между расчетными значениями мощности составляет 2,2 кВт, среднее значение – 18,6 кВт.

Для полученных N рассчитаем параметры режима резания и объем снимаемого в единицу времени материала (табл. 5).

Таблица 5

Параметры процесса токарной обработки деталей из конструкционной стали инструментом из твердого сплава Т15К6

S_o , мм/об	$N = 17,0$ кВт			$N = 18,6$ кВт			$N = 20,2$ кВт		
	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
0,2	11,26	234,5	528	12,44	231,0	575	13,63	227,9	621
0,4	7,42	207,8	617	8,20	204,7	671	8,98	201,9	725
0,8	5,21	170,7	712	5,76	168,2	775	6,31	165,9	837
1,6	3,89	130,6	813	4,30	128,6	885	4,71	126,9	957
3,2	2,91	99,9	929	3,21	98,4	1011	3,52	97,0	1093
6,4	2,17	76,4	1061	2,40	75,2	1155	2,63	74,2	1248

Результаты расчета показывают, что вычисление средней мощности не является целесообразным, поскольку значения параметров режима резания и производительности изменяются в небольшом диапазоне при изменении мощности от N_1 до N_2 .

Окончательно может быть принята мощность $N = 20,2$ кВт, поскольку для нее значения t соответствуют рекомендуемым в диапазоне черновых подач (рис. 2), объем снимаемого материала в единицу времени – максимален, а разница в скорости резания для всех значений N незначительна.

Обращает на себя внимание существенное увеличение Π по сравнению с $N = 12$ кВт (см. табл. 3), т.е. правильный выбор мощности является важным фактором увеличения производительности металло-режущего оборудования.

Из формулы (2) также следует, что применение более качественного инструмента, характеризующееся ростом параметра C_v , позволяет увеличить мощность привода главного движения станка. При увеличении C_v в k раз N возрастает в k^{μ_p+1} раз.

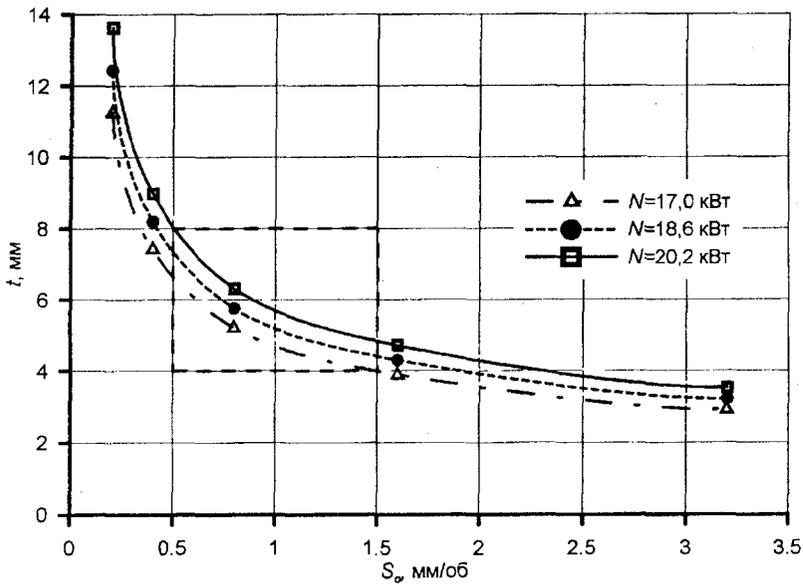


Рис. 2. Взаимосвязь между t и S_v для расчетных значений мощности при обработке конструкционной стали резцом из T15K6

Для тех же исходных данных, что и в предыдущем примере, решим задачу выбора мощности для токарного станка, предназначенного для обработки конструкционной нелегированной стали, являющейся аналогом стали 45 (код стали 01.1 по Sandvik Coromant, группа обрабатываемости по ISO-P), инструментом с ромбической пластиной твердого сплава GC4015 с трехслойным CVD покрытием TiCN – Al₂O₃ – TiN [8] (рис. 3).

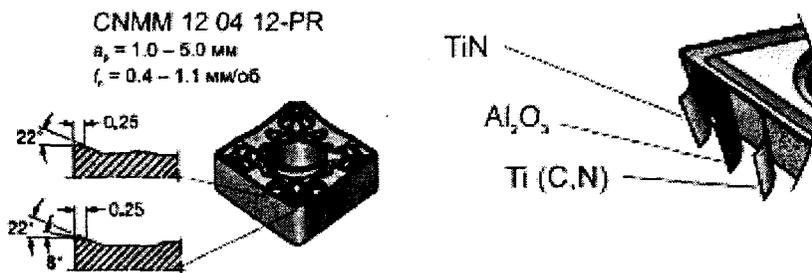


Рис. 3. Параметры пластины GC4015 (Sandvik Coromant) [8]

Параметры модели (1) следующие [8]:

$$x_p = 1,0; y_p = 0,75; \mu_p = -0,15; C_p = 3000; m = 0,15; T = 15 \text{ мин};$$

- при $S_o < 0,3$ $x_v = 0,15; y_v = 0,2; C_v = 670;$

- при $0,3 \leq S_o \leq 0,7$ $x_v = 0,15; y_v = 0,35; C_v = 510;$

- при $S_o > 0,7$ $x_v = 0,15; y_v = 0,45; C_v = 430.$

По формуле (2) получим: $N_1 = 31,2$ кВт; $N_2 = 23,4$ кВт.

В качестве расчетной может быть принята $N = 31,2$ кВт, поскольку глубина резания в наибольшей степени соответствует заданным ограничениям во всем диапазоне изменения S_o (рис. 4).

Полученный результат показывает, что увеличение C_v до 430...670 по сравнению с $C_v = 340...420$ позволяет значительно увеличить мощность привода главного движения станка (с 20,2 до 31,2 кВт), а следовательно и производительность станка.

При использовании инструмента Sandvik Coromant в несколько раз возрастает объем снимаемого в единицу времени материала. Это достигается не только за счет увеличения мощности главного привода станка, но и скорости резания (см. табл. 5 и 6).

Благодаря росту v глубина резания почти не изменилась по сравнению с обработкой резцом из твердого сплава Т15К6, несмотря на увеличение мощности. Тем самым реализуется возможность высокопроизводительного скоростного резания, сторонником которого был М. Кроненберг [3].

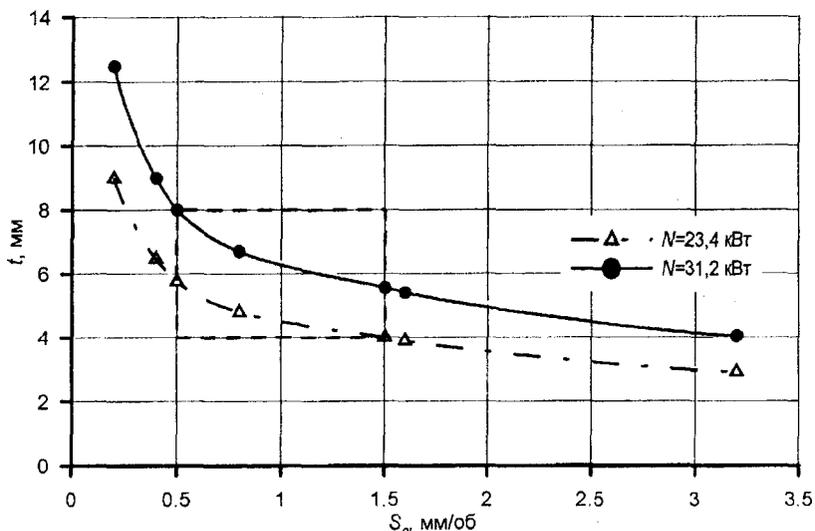


Рис. 4. Взаимосвязь между t и S_o для расчетных значений мощности при обработке конструкционной стали резцом из сплава GC4015 (Sandvik Coromant)

Таблица 6

Параметры процесса токарной обработки деталей из конструкционной стали инструментом из твердого сплава GC4015 (Sandvik Coromant)

S_o , мм/об	$N = 23,4$ кВт			$N = 31,2$ кВт		
	t , мм	v , м/мин	Π , см ³ /мин	t , мм	v , м/мин	Π , см ³ /мин
0,2	8,98	443,1	796	12,48	421,7	1053
0,4	6,46	353,9	915	8,98	336,8	1210
0,8	5,21	247,2	1031	7,24	235,3	1364
1,6	3,89	189,1	1178	5,41	180,0	1558
3,2	2,91	144,6	1345	4,04	137,7	1780
6,4	2,17	110,6	1537	3,02	105,3	2033

Влияние качественных параметров режущего инструмента на показатели процесса обработки деталей. Одним из методов повышения качества режущих инструментов (увеличения допустимой скорости резания) является применение износостойких покрытий (однослойных и многослойных) [9]. Коэффициент k повышения скорости резания зависит от марки покрытия и, по сути, является поправочным коэффициентом для C_v в формуле скорости резания (значения коэффициента k приведены в таблице 7 [9]), т. е. $v = \frac{C_v \cdot k}{T^{m_T} \cdot S_o^{n_S}}$.

Таблица 7

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

На рисунке 5 приведены параметры процесса обработки деталей инструментом из твердого сплава GC4015 Sandvik Coromant (см. выше), рассчитанные по модели (1) при $N = 30$ кВт; $T = 15$ мин и $S_0 = 1,6$ мм/об с учетом коэффициента k , т.е. при изменении C_v .

Исходные значения C_v при $k = 1$ (твердый сплав без покрытия) составляют:

- при $s_f < 0,3$ – $C_v = 515$;
- при $0,3 \leq s_f \leq 0,7$ – $C_v = 400$;
- при $s_f > 0,7$ – $C_v = 330$.

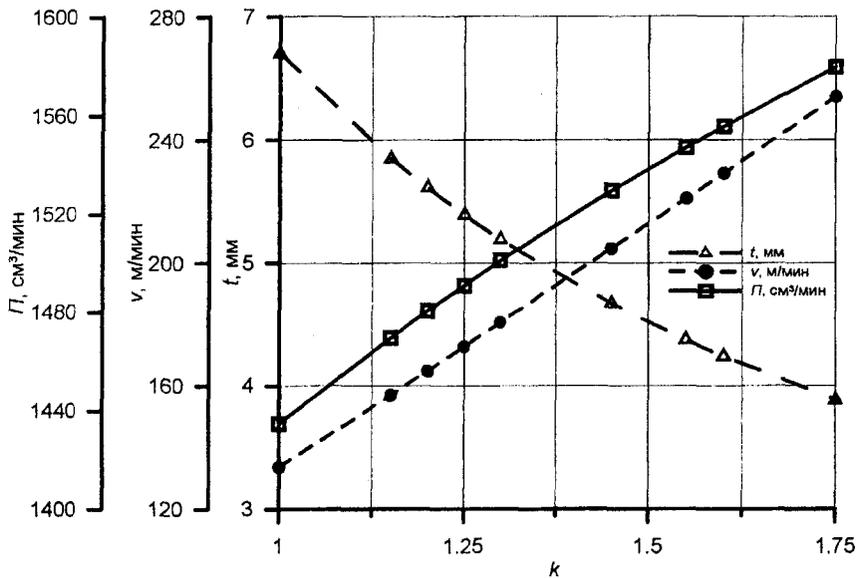


Рис. 5. Зависимость v , P и t от коэффициента k повышения C_v при полной загрузке по мощности ($N = 30$ кВт) и стойкости ($T = 15$ мин) для твердого сплава GC4015 ($S_0 = 1,6$ мм/об)

Повышение качества режущего инструмента (увеличение C_v от 330...515 до 580...900) приводит к весьма существенному (почти в 2 раза) снижению глубины резания и возрастанию скорости резания в 2 и более раза. Это дает возможность производить обработку деталей при меньшей площади сечения срезаемого слоя. С учетом роста производительности обработки даже при постоянной мощности преимущества применения качественного инструмента очевидны. Если в результате увеличения C_v параметры сечения срезаемого слоя уменьшаются ниже значений, соответствующих черновой обработке, то появляется также возможность увеличения производительности обработки за счет увеличения мощности привода главного движения станка.

Уменьшение глубины резания и площади сечения срезаемого слоя за счет увеличения скорости резания может быть достигнуто также путем снижения заданного периода стойкости T режущего инструмента (см. табл. 2 и 3). Степень уменьшения t и увеличения v при этом ниже, чем при увеличении C_v . Поэтому направление, связанное с повышением качества режущего инструмента, является наиболее перспективным, тем более что это сопровождается ростом производительности обработки. Увеличение же v 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 съем материала при большей скорости резания и меньшей площади сечения срезаемого слоя является предпочтительным с точки зрения снижения сил резания и нагрузок на приводы металлорежущего станка.

Выводы. На основе математической модели, обеспечивающей одновременно полную загрузку станка по мощности и использование режущего инструмента по стойкости, получена зависимость параметров металлорежущего станка (мощности привода главного движения) от параметров режущего инструмента (параметров уравнения допускаемой инструментом скорости резания).

Полученная математическая зависимость позволяет для выбранного инструмента (для заданного C_v) обосновать выбор предельного значения мощности привода главного движения станка, обеспечивающей требуемый уровень конкурентоспособности по критерию производительности обработки деталей и может использоваться в процессе проектирования приводов технологического оборудования.

Применение качественного инструмента, отличающегося более высокой допускаемой скоростью резания (большим значением параметра C_v), позволяет повысить мощность главного привода станка и его производительность при заданных (постоянных) параметрах сечения срезаемого слоя.

При постоянной мощности главного привода применение инструмента с более высоким значением параметра C_v позволяет увеличить производительность обработки за счет увеличения скорости резания при одновременном снижении параметров сечения срезаемого слоя.

Снижение заданного периода стойкости режущего инструмента при постоянной мощности главного привода станка приводит к увеличению скорости резания и снижению глубины резания. Работа с меньшей площадью среза и большей скоростью являются более предпочтительными в плане снижения нагрузок, действующих на приводы станка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панкин, А.В. Обработка металлов резанием / А.В. Панкин. – М.: Машгиз, 1961. – 820 с.
2. Туромша, В.И. Назначение параметров режима резания при ограничении по мощности / В.И. Туромша, Чан Ким Тоан // Весті Акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1995. – № 1. – С. 38 – 45.
3. Кроненберг, М. Основы теории резания. Введение в теорию обработки металлов резанием и применение ее на практике / М. Кроненберг. – М.: ГТИ, 1931. – 182 с.
4. Туромша, В.И. Обеспечение максимальной загрузки станка и полного использования режущего инструмента / В.И. Туромша // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2009. – № 8. – С. 160 – 166.
5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / редкол.: А. Малов (гл. ред.) [и др.]; под ред. В.М. Кована. – М.: Машгиз, 1963. – Т. 2 / редкол.: А.Н. Малов (гл. ред.) [и др.]. – 912 с.
6. Справочник металлиста: в 5 т. / редкол.: Н. Ачеркан (гл. ред.) [и др.]. – М.: Машгиз, 1957 – 1959. – Т. 4 / редкол.: А.Н. Малов (гл. ред.) [и др.]. – 1959. – 779 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
8. Руководство по металлообработке. Точение – фрезерование – сверление – растачивание – оснастка: технический справочник Sandvik Coromant. – М.: ОАО «Сандвик – МКТС», 2005. – 553 с.
9. Инструментальные материалы: учеб. пособие / Г.А. Воробьева [и др.]. – СПб.: Политехника, 2005. – 268 с.

Поступила 11.03.2010

THE RELATIONSHIP BETWEEN METAL CUTTING MACHINE TOOL PARAMETERS AND PARAMETERS OF A CUTTING TOOL

V. TUROMSHA

The mathematical dependence is given which allows to validate the choice of the ultimate power of the main motion drive of a machine tool, taking into account the qualitative characteristics of a cutting tool (equation parameters for acceptable cutting speed of a cutting tool) when machining workpieces in various materials. The procedure has been developed and the examples of computations for turning are given. The effect of the machine and cutting tool parameters on the cross-section elements of the layer being removed, on the cutting speed and the amount of the material being removed in a unit of time was studied using the mathematical model providing simultaneously both the full capacity of a machine tool and the full application of a cutting tool by durability. It was found that a high-quality cutting tool allows to increase the main motion drive power of a machine tool and its cutting capacity at the given (constant) cross-section parameters of the layer being removed. The constant power of the main motion drive enables to increase the machining capacity and to reduce the cross-section parameters of the layer being removed.