

М. В. КАСЬЯН, Г. Б. БАГДАСАРЯН, Г. А. АРУТЮНЯН

О НЕКОТОРЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

В отличие от многих отраслей народного хозяйства для машиностроения характерна многовариантность. Эта особенность отражается на показателях эксплуатации предприятия и имеет большое значение при проектировании машиностроительного завода. Вместе с тем в современных условиях, когда наряду со станками общего назначения, в эксплуатации бывают также станки-автоматы, станки с программным управлением, агрегатные станки и автоматические линии, вопрос выбора оптимальной технологии становится особенно актуальным. В настоящее время объем работ по оптимизации технологических процессов непрерывно возрастает и передовые предприятия машиностроения используют для этих целей ЭВМ.

Разумное построение технологических процессов в современных условиях, справедливость выбранного варианта и степень обеспечения поставленных общих и специальных требований заметным образом зависят от оптимизации режимов резания. Если для первого приближения считать, что вопросы выбора материала режущего инструмента, его геометрии и конструкции решены с определенной степенью конкретности, то все остальные показатели процесса обработки резанием (качество поверхности, ее несущая способность, стойкость инструмента, себестоимость обработки и другие) являются функцией режимов резания и физико-механических свойств обрабатываемого материала. Поскольку приблизительная математическая модель всех показателей процесса резания имеет вид

$$R_1 = c_1 v^{x_1} s^{y_1} t^{z_1}, \quad (1)$$

где R_1 — искомый показатель, c_1 — характеристика свойств обрабатываемого материала, v, s, t — параметры режимного поля, то общее выражение оптимальности определится из выражения:

$$\frac{dR_1}{dv \cdot ds \cdot dt} = 0. \quad (2)$$

Эти вопросы в последний период получили освещение в работах [1, 2]. Однако, исходя из современных требований, необходима оптимизация режимов резания на основе критерия минимума себестоимости. К сожалению, на практике почти невозможно отождествлять оптималь-

ные режимы по разным критериям с оптимальными режимами резания по минимальной себестоимости обработки.

В частности, оптимальная скорость резания по минимальной себестоимости $v_{эк.}$ часто отличается от оптимальных значений скорости резания, полученных по разным критериям.

Это является следствием многих причин. Наиболее часто встречающиеся из них следующие:

станок не имеет необходимого числа оборотов для достижения оптимальной $v_{эк.}$;

стойкость инструмента, соответствующая минимальной себестоимости обработки, низка;

станок не имеет необходимой мощности для ведения обработки со скоростью $v_{эк.}$

Между тем установление оптимальной скорости резания по минимальной себестоимости обработки имеет большое народнохозяйственное значение. Если качество обработки является критерием оптимизации отделочных операций, то при предварительных, черновых обработках именно себестоимость обработки должна быть критерием установления оптимальной скорости резания.

Согласно [3], теоретическая экономическая скорость резания для данных обрабатываемого материала, инструмента, параметров сечения среза определяется как

$$\frac{dA}{dv} = 0, \quad (3)$$

где A —стоимость (себестоимость) обработки, являющаяся функцией геометрических параметров резания и констант в уравнении стойкости (определяющих пару: инструментальный—обрабатываемый материалы).

Подсчитанные по (3) скорости $v_{эк.}$ не всегда приемлемы для применения по причинам, изложенным выше. Поэтому анализ экономических режимов обработки должен выполняться не в теоретических, а в максимально приближенных к практическим условиям.

В настоящей работе рассмотрено использование вышеприведенных положений в конкретных случаях.

Известно, что себестоимость обработки детали определяется по

$$A = t_{\text{маш}} \cdot E + E \frac{t_{\text{см}}}{Q} + \frac{S_1}{Q}, \quad (4)$$

где Q —число деталей, обработанных за период стойкости режущего инструмента T : $Q = \frac{T}{t_{\text{маш}}} = \frac{T}{C_0 T^m} = \frac{1}{C_0 T^{m-1}}$, E —полная себестоимость станко-минуты работы станка: $E = a_{\text{ст}} + a_{\text{раб.}}$ ($a_{\text{ст.}}$ —затраты, связанные с эксплуатацией станка за 1 мин. с начислениями в коп., $a_{\text{раб.}}$ —зарботная плата станочника за 1 мин. с начислениями); S_1 —

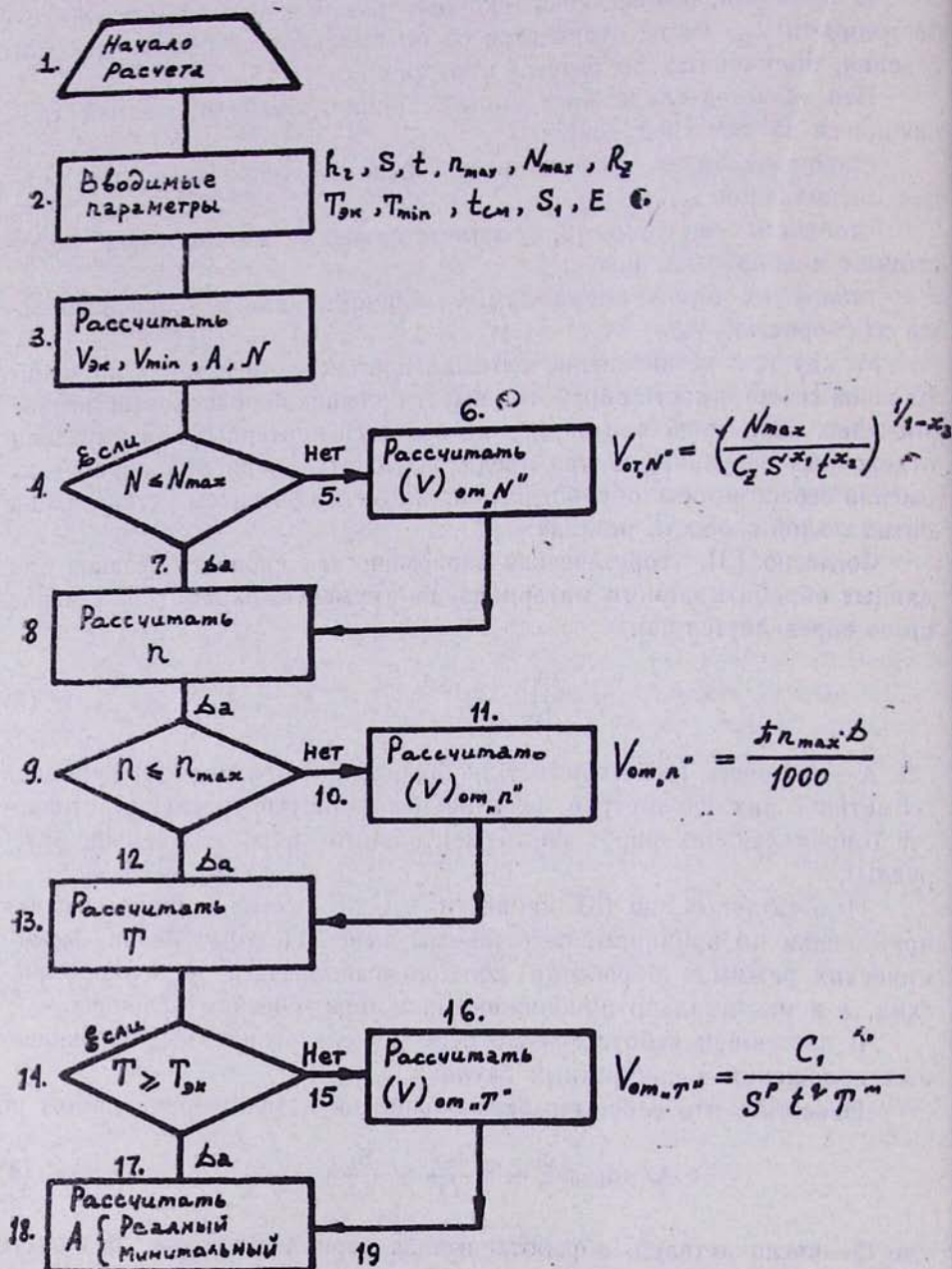


Рис. 1.

затраты, связанные с эксплуатацией режущего инструмента за период его стойкости в коп., T — стойкость режущего инструмента в мин., $t_{\text{маш.}}$ — машинное время в мин: $t_{\text{маш.}} = C_0 T^m$; $t_{\text{см}}$ — время смены режущего инструмента в мин.

Подставляя значение Q и $t_{\text{маш.}}$ в (4), получим:

$$A = C_0 T^m E = C_0 T^{m-1} [t_{\text{см.}} E + S_1] \lambda, \quad (5)$$

где λ — количество переточек резца: $\lambda = 1 + \frac{t_{\text{немаш.}}}{t_{\text{маш.}}}$.

Минимум функции A получим, взяв первую производную по T и приравняв ее нулю;

$$T_{\text{min}} = \left(\frac{1}{m} - 1 \right) \left(t_{\text{см}} + \frac{S_1}{E} \right). \quad (6)$$

С другой стороны, между стойкостью и режимами резания существует зависимость:

$$v = \frac{C_1}{S^p t^q T_{\text{min}}^m}. \quad (7)$$

Подставляя в (5) значение (7) с учетом рекомендации [4], получим минимальную экономическую скорость резания, где учтены критерии затупления резца:

$$v_{\text{min}} = \sqrt[1+1/m]{\frac{100 h_r \cdot 1/m}{\lambda \left(t_{\text{см}} + \frac{S_1}{E} \right) C_0 S^p t^q}}, \quad (8)$$

где h_r — радиальный износ резца в мм: $h_r = \frac{c_2 T^k V^x}{1000}$.

Ограничения по потребляемой на резание мощности, когда известны параметры v , s , t , можно определить по:

$$N = \frac{P_z \cdot v}{\eta}, \quad (9)$$

где $\eta = 0,75$, P_z — тангенциальная составляющая силы резания в кг: $P_z = C_z S^{x_1} t^{x_2} v^{1+x_3}$.

Отсюда

$$N = \frac{C_z S^{x_1} t^{x_2} v^{1+x_3}}{\eta}. \quad (10)$$

Для определения показателей, а также числовых значений констант, входящих в уравнения (6), (8), (10), проводится факторный эксперимент типа 3^3 , базисная таблица которого приведена в табл. 1.

В качестве исследуемого объекта выбрали стойкость резца, размерный износ резца, силы резания и шероховатость поверхности [5].

Опыты проводились на токарно-винторезном станке модели ИК62.

Обрабатывалась сталь 45 с 5-гранными резцами НЭП, конструкции ВНИИ (марка Т15К6).

Таблица 1

Скорость резания, v , м/мин	Подача, s , мм/об	Глубина резания, t , мм	Результаты объектов исследования в окончательном функцион. виде			
			T	h_r	P_z	R_z
75	0,25	3	$T = \frac{e^{12,1}}{v^{1,9} s^{0,55} t^{0,5}}$	$h_r = \frac{242 \cdot 10^{-6} v^{0,2} s^{0,2}}{1000}$	$P_z = \frac{359 s^{0,68} t^{0,78}}{v^{0,67}}$	$R_z = \frac{100 s^{0,87} t^{0,3}}{v^{0,3}}$
117	0,25	1,5				
185	0,25	2,12				
75	0,4	1,5				
117	0,4	2,12				
185	0,4	3				
75	0,6	2,12				
117	0,6	3				
185	0,6	1,5				

Расчет экономических режимов резания с учетом этих ограничений был выполнен на ЭВМ по программе, схема которого приведена на рис. 1 [3]. Согласно данной программе, проведен расчет для конкретного примера и определено, как влияют некоторые ограничения на стоимость обработки.

В табл. 2 приведены расчеты вариантов обработки для ниже приведенного примера.

Пример — Определить стоимость обработки валика, имеющего длину 100 мм, диаметр обработки $\varnothing 40$ мм, материал сталь 45, режущий инструмент 5-гранный резец НЭП конструкции ВНИИ.

Т р е б у е т с я — изготовить валик с шероховатостью $R = 6,3$ мкм.

Из расчета, приведенного в табл. 2, ясно, что первый вариант, который считается самым экономическим, не может быть приемлем из-за перечисленных ограничений, указанных в этой таблице.

Второй вариант также неприемлем, поскольку все условия обработки являются самыми минимальными. В результате стоимость обработки в три раза дороже, чем при первом варианте. Как показывают расчеты, самым оптимальным вариантом можно считать III вариант — обработка по оптимальным режимам резания. Хотя стоимость обработки в этом варианте немного больше по сравнению с I вариантом, но по сравнению со II вариантом дешевле на 2,1 коп.

Это говорит о том, что III вариант является единственным вариантом обработки в данном примере.

Выводы

Рассмотрена методика оптимизации процесса резания при некоторых ограничениях, позволяющая определить наилучшие условия использования станка и инструментов из твердых сплавов. Предлагаемая ме-

Таблица 2

Вариант III Самое оптимальное условие, где учтены все ограничения	Вариант II Самое минимальное условие, где учтены ограничения по п, N	Вариант I Самый экономичный вариант	Принятые варианты
1	2	3	4
150 $R_z = \frac{100 s^{0,87} t^{0,3}}{v^{0,3}}$ при $s=0,3$ мм/об, $t=1,5$ мм	124 $V = \frac{C_v}{T_{min}^m}$	510 $R_z = \frac{100 s^{0,87} t^{0,3}}{v^{0,3}}$ при $s=0,4$ мм/об, $t=2$ мм	Скорость резания v м/мин По какому условию определяется $v_{эк}$.
24 $T = \frac{e^{12,4}}{v_{опт.}^{1,9} s_{опт.}^{0,55} t_{опт.}^{0,5}}$	20 $T_{min} = (1/m - 1) \left(t_{cm} + \frac{S_1}{E} \right)$	8 $T = \frac{e^{12,4}}{v^{1,9} s^{0,55} t^{0,5}}$	Стойкость резца, T мин По какому условию определяется T
0,1 $h_r = \frac{242 \cdot 10^{-6} T_{опт.}^{0,2} v_{опт.}^{2,2}}{1000}$	0,04 $h_r = \frac{242 \cdot 10^{-6} T^{0,2} v^{2,2}}{1000}$	0,06 $h_r = \frac{242 \cdot 10^{-6} T^{0,2} v^{2,2}}{1000}$	Износ резца, h_r мм По какому условию определяется h_r
1200 $n_{эк} = \frac{1000 v_{опт.}}{\pi d}$	992 $n_{min} = \frac{1000 v_{min}}{\pi d}$	4060 $n_{эк} = \frac{1000 v_{эк}}{\pi d}$	Число оборотов, n об/мин По какому условию определяется $n_{эк}$.

1	2	3	4
5	3,5	9	
$P_z = \frac{359 s_{\text{опт.}}^{0,68} t_{\text{опт.}}^{0,78}}{v_{\text{опт.}}^{0,07}}$	$P_z = \frac{359 s^{0,68} t^{0,78}}{v^{0,07}}$	$P_z = \frac{359 s^{0,68} t^{0,78}}{v^{0,07}}$	Мощность обработки, N квт. По какому условию определяется $N_{\text{эк}}$.

$$s=0,3 \text{ мм/об}$$

$$t=0,5 \text{ мм}$$

Стоимость операции, коп.

$$A=4,4 \text{ коп.}$$

$$A=6,5 \text{ коп.}$$

$$A=2,2 \text{ коп.}$$

$$m=0,2$$

$$E=10 \text{ коп.}$$

$$s_1=40 \text{ коп.}$$

$$t_{\text{см}}=1 \text{ мин.}$$

$$c_e=0,07$$

$$\lambda=3$$

Этот вариант не осуществляемый, так как имеются следующие ограничения:

$$v=510 \text{ м/мин,}$$

$$N=9 \text{ квт}$$

$$n=4060 \text{ об/мин}$$

$$T=8 \text{ мин}$$

$$A = C_0 T^m E +$$

$$+ C_0 T^{m-1} [t_{\text{см}} E - s_1] \lambda$$

тодика может быть эффективно реализована на ЭВМ, что значительно сократит время поиска оптимальных условий процесса резания металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Касьян, Г. Б. Багдасарян, Г. А. Арутюнян. Об одном методе оптимизации процесса резания. Воздействие режущего инструмента на физические свойства металлов. Вып. V, АН Арм. ССР, 1976.
2. Г. Б. Багдасарян, А. О. Геворкян. Оптимизация процесса резания по объемной деформации стружки. Сборник научных трудов X конференции Ленфилиала ЕрПИ, 1976.
3. Влияние ограничений при оптимизации режимов резания. Экспресс Информация—«Режущие инструменты», 1976, № 3, стр. 9.
4. А. Д. Макаров. Износ и стойкость режущих инструментов. М., Машгиз, 1966.
5. Г. Б. Багдасарян, А. О. Геворкян. Оптимальные условия деформации стружки при обработке на автоматических линиях. Изв. АН Арм. ССР, серия тех. наук, 1976, № 3.