

В.Д.Шипков, В.С.Коротин

ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМСОСТАВА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ
ДЛЯ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ

Использование новых быстрорежущих сталей позволяет значительно повысить производительность процесса фрезерования закаленных сталей твердостью 35–45 HRC. С целью выявления оптимального сочетания легирующих элементов в составе быстрорежущей стали, применяемой для указанных работ, кафедрой "Технология машиностроения" втуза при ЛМЗ им. ХХП съезда КПСС были проведены сравнительные исследования режущих свойств вольфрамо-молибдено-кобальтовых быстрорежущих сталей нормальной и повышенной производительности. За критерий оценки режущих свойств принимался коэффициент относительной производительности K_v , представляющий собой отношение V_{20} (скорость резания при стойкости $T = 20$ мин) исследуемой стали к V_{20} эталонной стали. За эталон принята сталь P18.

В качестве обрабатываемого материала выбрана закаленная сталь 18X2H4BA твердостью 38–42 HRC.

Все опыты проводились на вертикально-фрезерном станке 6A12П однозубыми концевыми фрезами с механическим креплением пластинок из исследуемых сталей. Использовались заготовки размерами 100 x 100 x 250 мм. Закрепление их осуществлялось в машинных тисках на столе станка. Обработка велась без охлаждения при встречной подаче. Фрезеровался уступ размерами: $t = 5$ мм, $B = 5$ мм. Подача была во всех опытах постоянной и равной 0,1 мм/зуб. Геометрия заточки всех пластин была одинаковая: $\omega = 0^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 20^\circ$, $\alpha_1 = 15^\circ$, $\varphi = 15^\circ$. Переходная кромка выполнялась в виде фаски 1x45°. В ходе исследований специальным микроскопом измерялся износ пластин по задней поверхности (точность измерения 0,01 мм). Стойкость определялась по кривым износа обычным образом. За критерий затупления на основании предварительных опытов принята ширина фаски 0,8 мм. Каждый опыт повторялся по 3 – 4 раза.

Исследования проводились при трех скоростях резания: $v = 32, 40, 50$ м/мин. По результатам опытов были выведены зависимости скорости резания от стойкости известного вида:

$$v = \frac{C}{T^m}$$

(I)

Для определения коэффициентов C и m использовался метод наилучших линейных оценок в сочетании с кодированием уровней переменной [1], [2]. Значения C и m , также как и рассчитанные по ним значения V_{20} и K_v , для каждого исследованного материала даны в таблице.

Марка стали	C	m	V_{20} , м/мин	K_v
P 18	79	0,40	24	I
P 12	133,4	0,46	33	I,38
P 9	81,3	0,30	33,1	I,38
P9K5	79,4	0,28	34,7	I,45
P6M5	83	0,30	34	I,42
P9M4K8 (ЭП 688)	100	0,25	47,3	I,97
P012M6K8AT (ЭП 733)	42,7	0,23	36,3	I,51
P202M6K8AT (ЭП 734)	162,2	0,41	43,3	I,80
P18Ф2K8M (ЭП 379)	85,1	0,25	40,8	I,70
P6Ф2M5K8 (ЭП 658)	147,9	0,37	49	2,04
P6M4K12 (сталь США)	40	0,19	35,3	I,47
P12Ф2M3K8 (ЭП 657)	114,8	0,35	40,3	I,68
P9Ф4K8M	97,7	0,30	39,8	I,66
P6M5K5	63	0,22	32,4	I,35

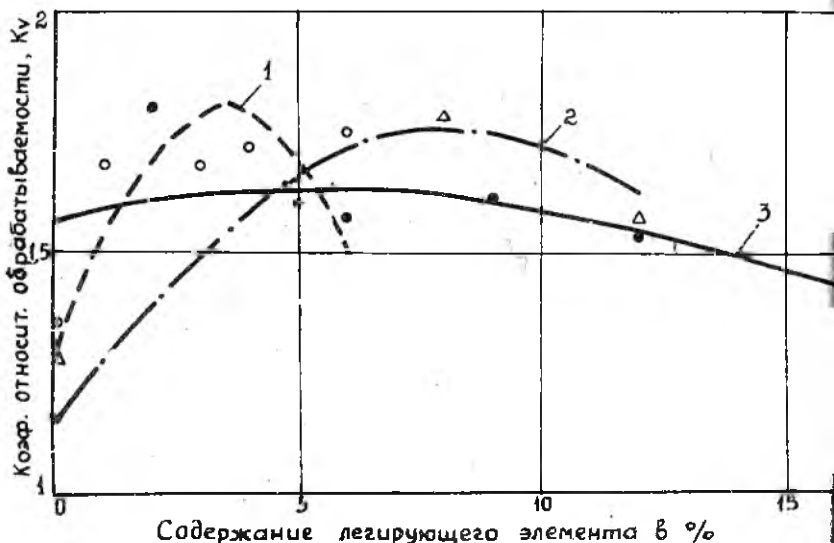
Далее выводилась корреляционная зависимость коэффициента относительной производительности K_v от содержания основных легирующих элементов в составе стали - W , Mo , Co . Влияние ванадия не оценивалось, так как все исследованные стали содержат его 1-2%. Не оценивалось также влияние титана, который в очень небольшом количестве (до 0,25%) входит только в стали ЭП 733 и ЭП 734.

Для вывода корреляционной зависимости результаты опытов группировались по группам сталей, содержащих одинаковое количество исследуемых легирующих элементов, и рассчитывалось среднее значение K_v . Эти значения наносились на график (рис. 1). Расположе-

ние точек на графике показывает экстремальный характер выводимых зависимостей. Они могут быть аппроксимированы параболой вида

$$y = a_{0i} + a_{1i} x_i + a_{2i} x_i^2, \quad (2)$$

где $y = K_{\nu}$; x_i - содержание одного из легирующих элементов, %
 a_{0i}, a_{1i}, a_{2i} - коэффициенты регрессии.



Р и с. 1. Зависимость коэффициента относительной обрабатываемости от содержания легирующих элементов: 1 - $K_{\nu} = f(Mn)$; 2 - $K_{\nu} = f(Co)$; 3 - $K_{\nu} = f(W)$

Для определения коэффициентов уравнения (2) использован известный метод наименьших квадратов [2], уравнения которого для данного случая имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \sum n \cdot a_{0i} + \sum x_i \cdot n \cdot a_{1i} + \sum x_i^2 \cdot n \cdot a_{2i} &= \sum y \\ \sum x_i \cdot n \cdot a_{0i} + \sum x_i^2 \cdot n \cdot a_{1i} + \sum x_i^3 \cdot n \cdot a_{2i} &= \sum x_i \cdot y \\ \sum x_i^2 \cdot n \cdot a_{0i} + \sum x_i^3 \cdot n \cdot a_{1i} + \sum x_i^4 \cdot n \cdot a_{2i} &= \sum x_i^2 \cdot y \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь n - количество наблюдений.

На основании трех частных зависимостей (2) (для каждого из легирующих элементов) выводится общее уравнение

$$y = a_0 + a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + a_{13} x_3 + a_{21} x_1^2 + a_{22} x_2^2 + a_{23} x_3^2, \quad (4)$$

где индекс 1 относится к вольфраму, 2 - к молибдену, 3 - к кобальту. Ввиду независимости переменных друг от друга коэффициент a_{01} получается как среднее значение трех величин a_{0i} . После решения этих систем и определения всех входящих в них коэффициентов a получены следующие уравнения связи:

$$y = 1,58 + 0,0188 x_1 - 0,00183 x_1^2; \quad (5)$$

$$y = 1,30 + 0,3 x_2 - 0,0445 x_2^2; \quad (6)$$

$$y = 1,16 + 0,1475 x_3 - 0,009 x_3^2. \quad (7)$$

По уравнениям (5) - (7) на рис. 1 построены кривые регрессии и выведена обобщенная корреляционная зависимость

$$y = 1,35 + 0,0188 x_1 + 0,3 x_2 + 0,1475 x_3 - 0,00183 x_1^2 - 0,0445 x_2^2 - 0,009 x_3^2. \quad (8)$$

Оценка с использованием критерия Фишера показывает, что коэффициент множественной корреляции значим. Следовательно, с достоверной вероятностью 95% можно утверждать, что уравнение (8) достоверно.

Анализ обобщенного уравнения (8) на экстремум методом частных производных дает следующий результат:

$$\partial y / \partial x_1 = 0,0188 - 2 \cdot 0,00183 x_1 = 0;$$

$$\partial y / \partial x_2 = 0,3 - 2 \cdot 0,0445 x_2 = 0;$$

$$\partial y / \partial x_3 = 0,1475 - 2 \cdot 0,009 x_3 = 0.$$

Отсюда оптимальные значения будут следующими:

$$x_{10} = 5,15\% \text{ W}; \quad x_{20} = 3,37\% \text{ Mo}; \quad x_{30} = 8,2\% \text{ Co}.$$

Поэтому оптимальный состав быстрорежущей стали для фрезерования закаленных сталей типа 18X2H4BA должен включать в себя 5-6% W, 3-4% Mo и 8-9% Co. Из исследованных сталей наиболее близкий к оптимальному состав имеет сталь ЭП 658 (P6Ф2M5K8). Она и показала наилучшие режущие свойства ($K_v = 2,04$). Подставляя оптимальные значения X_i в уравнение (8), можно вычислить, что для стали с оптимальным хим составом K_v должно равняться 2,52, т.е. на 48% превысит стойкость стали ЭП 658.

Оптимальный химсостав стали может быть получен на базе стали ЭП 658 путем уменьшения содержания молибдена.

На основании изложенного можно сделать следующие основные выводы:

1. Между химическим составом быстрорежущей стали и коэффициентом относительной производительности K_v при концевом фрезеровании закаленных сталей существует корреляционная связь, выражаемая уравнением (8).

2. Из рассмотрения уравнения (8) и кривых на рис. 1 следует, что наибольшее влияние на режущие свойства оказывает в данном случае молибден, а наименьшее - вольфрам.

3. Оптимальным вариантом состава стали для рассмотренного случая обладает композиция на базе 5-6% W, 3-4% Mo и 8-9% Co.

4. Сталь оптимального состава обеспечит повышение производительности примерно в 2,5 раза по сравнению со сталью P18.

5. Из выпускаемых промышленностью сталей лучшими режущими свойствами для фрезерования закаленных сталей обладает сталь ЭП 658 (P6Ф2M5K8), имеющая коэффициент относительной производительности примерно в 2 раза больше стали P18.

Л и т е р а т у р а

1. Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента. - М.: Наука, 1971.
2. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1968.