

Результаты расчета представлены на рис. 1 (сплошные линии). Для сравнения были рассчитаны те же режимы и для тех же условий по формуле (14) (пунктирные линии).

По экспериментальным данным стойкости инструмента в условиях обработки титановых сплавов на разных режимах и оборудовании (всего 10 вариантов) просчитывались зависимости затрат по критериям

$$C_x; C_n; C_{nx}.$$

На рис. 1 приводятся случаи наибольших отклонений. Как было выяснено в результате просчета, формула (14) всегда дает несколько завышенные (по уровню затрат) значения, причем максимальная ошибка внутри диапазона скоростей  $V - 2V$  не превышает 7% и наблюдается на краях выбранного диапазона скоростей. В районе экстремума  $P_{max} = f(V)$  ошибка отсутствует, в районе экстремумов  $C_x = f_1(V)$ ;  $C_n = f_2(V)$ ;  $C_{nx} = f_3(V)$  ошибка, как правило, не превышает 1% и зависит от стоимости выбранного оборудования. Примеры оформления результатов расчетов представлены на рис. 2. Несмотря на кажущуюся громоздкость метод весьма прост, и применение его значительно облегчает и сокращает объем расчетных работ.

## Л и т е р а т у р а

1. Великанов К.М., Нрвожилов В.Н. Экономические режимы резания металлов. Л., "Машиностроение", 1972.

А.Д.Макаров, В.С.Мухин, В.М.Китуров

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ПО ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

В работе рассмотрено влияние прочностных свойств никелевых сплавов и количества упрочняющей фазы в них на оптимальную скорость резания

$V_0$  и оптимальную стойкость режущего инструмента  $T_0$ . Обработка производилась применительно к чистовому точению ( $t = 0,50$  мм;  $S = 0,09$  мм/об) резами ВК6М ( $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$ ;  $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$ ;  $\gamma = 0^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $\tau = 0,50$  мм). В качестве исследуемых материалов была взята группа жаропрочных деформируемых никелевых сплавов ЭИ437А, ЭИ437ВУ, ЭИ617, ЭИ826, ЭИ929, ЭИ220, упрочняющихся вслед-

ствии выделения интерметаллидной  $\gamma'$ -фазы  $Ni_3(Ti, Al)$ . Прочностные свойства указанных сплавов исследовались в широком диапазоне температуры 20 - 900°C [1].

Стойкостные испытания проводились с использованием метода многофакторного планирования эксперимента.

Основными предпосылками получения аналитической зависимости  $V_c = f(S_b, S_t, z, \varphi)$  явилось существование тесной взаимосвязи между оптимальной скоростью резания и действительным пределом прочности сплавов  $S_b$ , взятом при температуре, соответствующей оптимальной скорости резания, и известное положение о постоянстве оптимальной температуры резания для заданной пары инструмент-деталь [2, 3].

Для получения указанной аналитической зависимости использовался полный факторный эксперимент (ПЭ). В качестве независимых переменных при ПЭ типа  $2^5$  были взяты действительный предел прочности сплава при оптимальной температуре  $S_b$ , подача  $S$ , глубина резания  $t$ , радиус реза при вершине  $z$  и главный угол реза в плане  $\varphi$ . В эксперименте использовались сплавы ЭИ826, ЭИ437БУ, ЭИ437А. Кодовое обозначение и уровни этих переменных приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Уровни варьирования	Кодовое обозначение	Независимые переменные, влияющие на $V_c$				
		действит. предел прочности $S_b$ , кг/мм <sup>2</sup>	подача $S$ , мм/об	глубина резания $t$ , мм	радиус реза $z$ , мм	главный угол в плане $\varphi$
Верхний	+1	95	0,18	1,5	2,0	60
Средний	0	84,4	0,127	0,866	1,0	42,4
Нижний	-1	75	0,09	0,50	0,5	30

С целью получения адекватной модели (в виде полинома первой степени) и однородности дисперсий факторов были использованы логарифмические координаты [4].

Реализация плана ПЭ позволила получить следующую адекватную математическую модель в натуральных величинах:

$$V_c = 10^{4,521} S_b^{-1,872} S^{-0,466} t^{-0,311} z^{(0,143+0,592 \lg \varphi)} \varphi^{-0,516} \text{ м/мин.} \quad (1)$$

Получение аналитической зависимости оптимальной стойкости режущего инструмента  $T_0 = f(\gamma' \text{-фаза}, S, t)$  основано на обнаруженной тесной взаимосвязи между оптимальной стойкостью инструмента и количеством упрочняющей  $\gamma'$ -фазы в сплавах: с ростом количества упрочняющей фазы в сплавах стойкость инструмента  $T_0$  снижается [2].

Для решения этой задачи был использован некомпозиционный план второго порядка типа  $2^3$  [5]. В качестве независимых переменных были приняты: количество упрочняющей  $\gamma'$ -фазы в сплаве, подача  $S$  и глубина резания  $t$ . Кодовые обозначения и уровни этих переменных приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Уровни варьирования	Кодовое обозначение	Независимые переменные, влияющие на $T_0$		
		количество $\gamma'$ -фазы, %	подача $S$ , мм/об	глубина резания $t$ , мм
Верхний уровень	+1	42	0,195	1,5
Средний уровень	0	25	0,14	1,0
Нижний уровень	-1	8	0,084	0,50

В соответствии с табл. 2 в эксперименте испытывали сплавы АП220, ЭИ826 и ЭИ487А.

Реализация плана позволила получить адекватную математическую модель с 95% вероятностью в натуральных величинах:

$$\lg T_0 = 0,617 + 0,0267\gamma' + 7,028S + 0,085t - 0,0148\gamma'S - 0,0077\gamma't - 0,000485\gamma'^2, \text{ мин.} \quad (2)$$

Экспериментальная проверка уравнений (1) и (2) показала хорошую сходимость расчетных значений с экспериментальными.

Таким образом, найдена возможность аналитического определения оптимальной скорости резания и стойкости режущего инструмента применительно к чистовому точению для широкой гаммы жаропрочных деформируемых никелевых сплавов, упрочняющихся вследствие выделения интерметаллидной  $\gamma'$ -фазы  $Ni_3(Ti, Al)$ .

#### Л и т е р а т у р а

- Макаров А.Д., Мухин В.С., Кишуров В.М. Исследование свойств жаропрочных деформируемых сплавов на никелевой основе. Сб. трудов УАИ, № 34, 1972, с. 5.

2. Макаров А.Д., Мухин В.С., Кишуров В.М. Влияние прочностных свойств и структурно-фазового состава жаропрочных сплавов на их обрабатываемость резанием. "Станки и инструмент". 1973, № 6.
3. Макаров А.Д. Износ и стойкость режущих инструментов. М., "Машиностроение", 1966.
4. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. М., "Машиностроение", 1968.
5. Ружин А.П. Статистические методы оптимизации химических процессов. М., "Химия", 1972.

Г.В.Гостев, Н.М.Чернышев

#### СОКРАЩЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Известно, что при повторении стойкостных опытов при одинаковых условиях обработки резанием получаются различные значения стойкости инструмента. Это обусловлено разнообразными случайными причинами, возникающими при каждой реализации износ-время, которые практически учесть невозможно. Идеальную зависимость износ-время можно было бы получить в том случае, если бы условия обработки удалось сохранить абсолютно постоянными за все время опыта. Практически такую зависимость можно получить в результате статистического анализа достаточно большого количества реализаций износ-время, полученных при одинаковых условиях обработки, как среднюю всех реализаций. Для различных условий обработки (при разных режимах резания, обрабатываемых и инструментальных материалов и т.п.) каждый раз получается своя, присущая этим условиям зависимость износ-время.

Можно предположить, что изменение некоторых условий обработки (режима резания, геометрии инструмента и т.п.) приводит только лишь к масштабным изменениям зависимости износ-время, т.е. если привести реально получаемые зависимости к некоторым принятым значениям стойкости и износа инструмента, то получим обобщенную всех отдельных зависимостей износ-время ( $\Delta - T$ ).

Если величина критерия затупления инструмента во всех реализациях одна и та же, то изменение условий обработки приводит к масштабным изменениям только вдоль оси времени.

В качестве масштабного коэффициента можно принять отношение некоторой принятой стандартной величины стойкости  $T_0$  (например, равной 100 мин