

$$y_{VF} = \frac{y_v - m}{1 - m} = \frac{0,45 - 0,15}{0,85} = 0,354 \sim 0,35;$$

$$C_{VF} = 1000^{\frac{m}{1-m}} C_v^{\frac{1}{1-m}} = 1000^{0,176} 142^{\frac{1}{0,85}} = 1125.$$

Формула для $v_{доп}$ примет вид

$$v_{доп} = \frac{1125}{(K F_0)^{0,18} t^{0,23} S_2^{0,35}} \quad (6)$$

Достоинством формулы (6) является то, что она учитывает величину обрабатываемой площади. Формулы для $v_{доп}$, приведенные в нормативных справочниках, этого обстоятельства не учитывают.

Формулы, аналогичные формуле (6), могут быть получены и для других процессов.

Л и т е р а т у р а

1. З а й ц е в В.М., Л е п и л и н В.И. Расчет наиболее выгодного режима резания при точении: Учебное пособие.-Куйбышев: КуАИ, 1974, - 120 с.

УДК 621.785.532

И.А.Масленников, С.Г.Колыгин, Д.В.Ефимов

ОСОБЕННОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ШТАМПОВАННЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ

Поверхности штампованных заготовок из титановых сплавов покрыты окалиной и коркой, имеют поверхностный альфированный слой высокой твердости, который сильно затрудняет дальнейшую обработку заготовок резанием.

В заводской практике заготовки из титановых сплавов сначала (для удаления окисной пленки) подвергают пескоструйной обработке, а затем травлению. Указанная подготовка заготовок перед механической обработкой резанием позволяет увеличить стойкость инструмента в 3 раза [1]. Однако она не всегда обеспечивает полное удаление альфированного слоя с поверхностей заготовок. При последующем фрезеровании концевыми фрезами на станках с программным управлением процесс меха-

нической обработки часто прерывается из-за выкрашивания зубьев фрез. Это объясняется невысокой жесткостью самих концевых фрез, чувствительностью процесса резания к неоднородности обрабатываемого материала. При обработке концевыми фрезами методом попутного фрезерования зубья фрезы внедряются в материал с поверхности заготовки и толщина срезаемого слоя, приходящаяся на один зуб, в этот момент максимальна. Как правило, смена фрез на станках происходит не в силу нормального износа зубьев по главной задней поверхности, а из-за хрупкого разрушения (выкрашивания) зубьев.

В работе [1] заготовки из титановых сплавов с альфированным слоем рекомендуется обрабатывать таким образом, чтобы вершина инструмента врезалась в материал под коркой, т.е. применять обработку по схеме встречного фрезерования.

По данным работы [2], стойкость фрез при попутном фрезеровании в 2 - 4 раза выше, чем при встречном. Однако при встречном фрезеровании снижается риск преждевременного выкрашивания зубьев фрезы, повышается надежность наладки станка.

Ниже приводятся результаты исследования влияния методов фрезерования на износ зубьев фрез. Сравнивались следующие методы: встречное фрезерование заготовок с альфированным слоем, попутное и встречное фрезерование заготовок без альфированного слоя. При этом был использован метод планирования экспериментов.

Задачей планируемого эксперимента являлось установление зависимости износа инструмента от основных параметров процесса (скорости резания, глубины резания, подачи на зуб) для выбранных схем фрезерования $h_{оп} = f(v, t, S)$.

Для анализа износа инструмента был применен относительный поверхностный износ $h_{оп}$, который представляет собой износ инструмента по задней поверхности, отнесенный к 1000 см^2 обработанной поверхности [3]:

$$h_{оп} = \frac{dh}{dП} = \frac{(h - h_H)}{(l - l_H) B 10^3}, \quad (1)$$

где h, h_H - износ по задней поверхности инструмента в текущий и начальный моменты соответственно, мкм;

l, l_H - путь, пройденный инструментом до достижения износа h и h_H соответственно, см;

B - фактическая ширина фрезерования, см.

В искомой зависимости были учтены три фактора [4]: x_1 - частота вращения, x_2 - подача на зуб, x_3 - глубина резания. Для

трехфакторного эксперимента матрица планирования имеет следующий вид (табл.1).

Т а б л и ц а 1

Матрица планирования полного факторного эксперимента типа 2^3

Номер опыта	План эксперимента		
	x_1	x_2	x_3
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Интервалы варьирования и уровень факторов (табл.2) были выбраны в соответствии с рекомендациями работы [2].

Т а б л и ц а 2

Интервал варьирования и уровни факторов

Наименования	Ф а к т о р ы		
	x_1	x_2	x_3
	частота вращения, n , об/мин	подача на зуб, S , мм/зуб	глубина резания, t , мм
Нулевой уровень	650	0,06	3
Интервал варьирования	150	0,02	2
Нижний уровень	500	0,04	1
Верхний уровень	800	0,08	5

Уровни фактора x_1 скорректированы с учетом возможностей вертикально-фрезерного станка модели 6М12П. В соответствии с план-матрицей был составлен рабочий план эксперимента (табл.3).

Т а б л и ц а 3

Рабочий план эксперимента

Номер опыта	Ф а к т о р ы		
	x_1	x_2	x_3
	n , об/мин	S , мм/мин	t , мм
1	500	100	1
2	800	160	1
3	500	200	1
4	800	315	1
5	500	100	5
6	800	160	5
7	500	200	5
8	800	315	5

Связь между кодовыми и натуральными выражениями факторов, согласно [4], имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{n - 650}{150}; \\ x_2 &= \frac{S - 0,06}{0,02}; \\ x_3 &= \frac{t - 3}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Фрезерование производилось комплектом фрез диаметром 25 мм с прямым зубом (число зубьев $Z = 5$) с напаянными пластинами ВК8. Геометрические параметры режущей части фрезы: передний угол $\gamma = 10^\circ$, главный задний угол $\alpha = 20^\circ$. Все фрезы были предварительно приработаны до получения износа по задней поверхности $h = 0,08$ мм. Обработывались штампованные заготовки с альфированным слоем в виде параллелепипеда размером 120x120x200 мм. Ширина фрезерования во всех случаях была $B = 25$ мм.

Перед проведением опытов по плану (см.табл.3) была произведена пробная обработка по схеме встречного фрезерования заготовок с альфированным слоем на режиме: частота вращения фрезы $n = 800$ об/мин (скорость резания $v = 62,8$ м/мин), подача на зуб фрезы $S_Z = 0,04$ мм, что составило величину минутной подачи $S = 160$ мм/мин, глубина резания $t = 2,5$ мм, ширина фрезерования $B = 25$ мм. Через определенные промежутки времени измерялся износ зубьев фрезы и рассчитыва-

лась средняя арифметическая величина износа. По данным опытов была построена зависимость износа фрезы $h = f(T)$, имеющая две типичные зоны: зону приработки, где износ более интенсивный, и зону нормального износа, где износ имеет примерно линейный характер. Износ по задней поверхности зубьев фрезы достиг за 15 минут величины $h = 0,36$ мм. Линейный участок графика находится в диапазоне износа $h = 0,1-0,36$ мм. Следовательно, можно ожидать, что все фрезы после приработки будут иметь износ по задней поверхности зубьев в зоне нормального износа.

В табл.4 представлены результаты исследования влияния длины пути фрезерования на износ фрезы при встречном фрезеровании штампованных заготовок с альфированным слоем. Место врезания фрезы в материал было предварительно очищено от альфированного слоя.

Т а б л и ц а 4

Износ фрезы при встречном фрезеровании заготовок с альфированным слоем

Номер опыта	Очередность	Номер фрезы	Путь фрезерования, l , см	Средний износ, Δn_{cp} , мкм	Относительный поверхностный износ, $h_{от} \cdot 10^{-3}$ мкм/см ²
1	I	I	100	120	0,480
2	УШ	3	60	74	0,493
3	Ш	2	60	98	0,653
4	УI	2	60	97	0,646
5	IУ	2	60	54	0,360
6	УП	3	40	40	0,400
7	У	2	40	39	0,390
8	П	I	60	96	0,640

Обработка результатов экспериментов дала следующие значения коэффициентов регрессии для рассматриваемого процесса:

$$b_0 = 0,508 \cdot 10^{-3}; \quad b_2 = 0,0745 \cdot 10^{-3};$$

$$b_1 = 0,037 \cdot 10^{-3}; \quad b_3 = -0,0602 \cdot 10^{-3}.$$

Результаты измерения износа зубьев фрезы при встречном фрезеровании заготовок без альфированного слоя представлены в табл.5.

Т а б л и ц а 5

Износ фрезы при встречном фрезеровании
заготовок без альфированного слоя

Номер опыта	Очередность	Номер фрезы	Путь фрезерования, l , см	Средний износ, Δh_{cp} , мкм	Относительный поверхностный износ $k_{оп} \cdot 10^{-3}$, мкм/см ²
1	I	4	60	26	0,173
2	УП	4	60	20	0,133
3	П	4	60	20	0,133
4	У	4	60	8	0,053
5	Ш	4	60	12	0,080
6	УІ	4	60	12	0,080
7	ІУ	4	60	16	0,107
8	УШ	4	60	20	0,133

Коэффициенты регрессии в рассмотренном процессе были следующими

$$b_0 = 0,112 \cdot 10^{-3}; \quad b_2 = -0,005 \cdot 10^{-3};$$

$$b_1 = -0,012 \cdot 10^{-3}; \quad b_3 = -0,0115 \cdot 10^{-3}.$$

В табл.6 показаны результаты измерений износа зубьев фрезы при фрезеровании заготовок методом попутного фрезерования.

Т а б л и ц а 6

Износ фрезы при попутном фрезеровании
заготовок без альфированного слоя

Номер опыта	Очередность	Номер фрезы	Путь фрезерования, l , см	Средний износ, Δh_{cp} , мкм	Относительный поверхностный износ, $k_{оп} \cdot 10^{-3}$, мкм/см ²
1	I	3	60	28	0,1870
2	УП	3	120	10	0,0333
3	У	3	120	6	0,0200
4	Ш	3	60	21	0,1400
5	УІ	3	60	22	0,1470
6	УШ	3	40	30	0,3000
7	ІУ	3	60	33	0,2200
8	П	3	60	52	0,3470

Обработка экспериментов для рассмотренного процесса позволила получить следующие коэффициенты регрессии:

$$b_0 = 0,174 \cdot 10^{-3}; \quad b_2 = 0,0075 \cdot 10^{-3};$$

$$b_1 = 0,031 \cdot 10^{-3}; \quad b_3 = 0,079 \cdot 10^{-3}.$$

С целью статистической оценки полученных результатов был произведен дисперсионный анализ [4]. Результаты дисперсионного анализа сведены в табл.7. Проверка воспроизводимости процесса осуществлялась с помощью критерия Кохрена, при этом число независимых оценок дисперсии равнялось 8 и число степеней свободы каждой оценки равнялось 4. Правомерность линейной модели характера износа фрезы от исследуемых параметров проверялась при помощи критерия Фишера.

Т а б л и ц а 7

Результаты расчетов дисперсионного анализа

Схема фрезерования	Критерий Кохрена	Дисперсия адекватности	Критерий Фишера
Встречное фрезерование заготовок с альфированным слоем	0,3639	$0,5265 \cdot 10^{-8}$	0,3065
Встречное фрезерование заготовок без альфированного слоя	0,2621	$0,2059 \cdot 10^{-8}$	0,4857
Попутное фрезерование заготовок без альфированного слоя	0,2754	$0,9207 \cdot 10^{-8}$	0,1449

Анализ результатов, приведенных в табл.7, показал, что дисперсии результатов однородны, т.е. процесс воспроизводим, а линейные модели характера износа фрезы отражают объективную закономерность.

Регрессионные уравнения, составленные из коэффициентов регрессии и преобразованные с использованием соотношения (2), имеют следующий вид:

для встречного фрезерования заготовок с альфированным слоем

$$h_{on} = (0,2145 + 0,000246n + 3,725s_z - 0,0301t) 10^{-3}, \quad (3)$$

для встречного фрезерования заготовок без альфированного слоя

$$h_{on} = (0,1962 - 0,00008n - 0,25s_z - 0,005t) 10^{-3}, \quad (4)$$

для попутного фрезерования заготовок без альфированного слоя

$$h_{on} = (-0,1013 + 0,00021n + 0,375s_z + 0,04t) 10^{-3} \quad (5)$$

Анализ выражений (3), (4), (5) позволяет сделать выводы о соответствующем влиянии параметров процесса на относительный износ для выбранных схем фрезерования.

Сравнение результатов расчетов относительного износа по регрессивным уравнениям показало, что альфированный слой на заготовке вызывает увеличение относительного износа в среднем в 4,5 раза, что согласуется с ранее опубликованными данными.

Сравнение износа фрезы, работающей по схеме встречного фрезерования заготовок с альфированным слоем, и износа фрезы, работающей по схеме попутного фрезерования, показало увеличение относительного износа фрезы в диапазоне малых глубин резания ($t = 1$ мм) в среднем в 6 раз, а в диапазоне средних и больших глубин резания ($t < 5$ мм) — в 1,6 раз. Так как в реальных условиях глубина резания при фрезеровании находится в пределах $t = 2-5$ мм, ожидается увеличение относительного износа фрезы примерно в 1,6 раза. Такое увеличение износа фрезы допустимо, учитывая факт резкого снижения вероятности поломки зуба фрезы вследствие контакта с альфированным слоем.

Известно, что при встречном фрезеровании ухудшается шероховатость поверхности по сравнению с попутным фрезерованием за счет появления вибраций, вызываемых силами резания, направленными на отрывание заготовки. Для оценки этого явления были произведены замеры шероховатости поверхности при встречном фрезеровании заготовок с альфированным слоем и при попутном фрезеровании заготовок без альфированного слоя.

Полученные результаты шероховатости поверхности при встречном и попутном фрезеровании показали незначительное ухудшение качества поверхности при встречном фрезеровании. Известно, что обработка "по корке" является, как правило, черновой, получение конечного значения шероховатости поверхности обеспечивается чистой обработкой. В случае, когда обработка производится за один проход, т.е. требования к шероховатости поверхности и точности невелики, можно мириться с некоторым ухудшением качества поверхности.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

I. Установлено, что фрезерование титановых штампованных заготовок можно производить без предварительного удаления альфированного слоя ("корки") по схеме встречного фрезерования. При этом исклю-

чаются вероятность поломок инструмента, которые характерны для схемы попутного фрезерования (в силу этого попутное фрезерование по "корке" не применяется).

2. Износ инструмента при обработке по "корке" при встречном фрезеровании в 1,6 раза больше, а шероховатость поверхности несколько ниже, чем при попутном фрезеровании без "корки".
3. Учитывая, что при встречном фрезеровании титановых штампованных заготовок не требуется предварительной обработки для удаления альфированного слоя, схема встречного фрезерования при определенных условиях может быть рекомендована для практического применения.

Л и т е р а т у р а

1. Обрабатываемость резанием жаропрочных и титановых сплавов / Под ред. К р и в о у х о в а В.А.—М.:Машгиз, 1961.
2. Режимы резания труднообрабатываемых материалов. Справочник.—М.: Машиностроение, 1976.
3. М а к а р о в А.Д. Оптимизация процессов резания.—М.:Машиностроение, 1976.
4. В и к а р с к и й М.С., Л у р ь е М.В. Планирование эксперимента в технических исследованиях.—Киев: Техника, 1975.

УДК 621.791.947.001.57:518.61

Л.А.Ушомирская, Л.Д.Казмина, Е.И.Глузберг

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОТРЕЗКЕ

Процесс электроконтактной отрезки (ЭКО) характеризуется высокими температурами и температурными градиентами в заготовке. Оптимизация процесса ЭКО требует исследования температурных полей в заготовке.

Температурное поле в заготовке рассматривается в сложной по форме области, определяемой сечением заготовки и размерами диска-инструмента. В заготовке имеется вырез шириной $2b$ и глубиной h (последняя величина увеличивается по мере перемещения диска-инструмента: $h = vt$, где v — скорость перемещения, м/с; t — время от начала отрезки, с).