МЕХАНИКА

УДК 621.882.085/.086.004

Вагабов Н.М., Курбанов А.З., Магомедова М.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЗОНЫ НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ С ПОМОЩЬЮ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Vagabov N.M., Kurbanov A.Z., Magomedova M.A.

RESEARCH OF THERMAL STATUS OF THREADING ZONE WITH THE HELP OF FULL FACTOR EXPERIMENT

Температурное состояние зоны обработки при нарезании резьбы в жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавах является важной проблемой в общей теории резания металлов. При прочих равных условиях температура в зоне обработки этих материалов выше, чем при резании углеродистых конструкционных сталей, поскольку они обладают повышенной прочностью и пластичностью, пониженной теплопроводностью, что затрудняет условия работы метчиков, увеличивается площадь контакта инструмента с деталью, ухудшается смазывание и охлаждение зоны резания из-за повышенной склонности жаропрочных материалов к схватыванию. Это обуславливает возрастание силы и работы трения и, как следствие, повышение температуры резания. Исследование температурного состояния зоны формирования резьбовых витков комбинированным инструментом зенкер-метчиком является одной из основных задач, которая стоит перед авторами данной работы. При выполнении работы был использован факторный эксперимент. Температура в зоне резания резьбы определялась с помощью встроенных хромель-алюминиевых термопар с площадью сечения термоэлектрода 0,23мм². Эксперименты проводили с применением аппарата математической статистики. Проведенные исследования показали, что наибольшее влияние на температурное состояние зоны резания оказывает предел прочности материала. Влияние скорости резания в исследованном интервале варьирования сравнительно менее заметно. Объяснение этому специальная схема резания комбинированного зенкер-метчика, позволяющая значительно улучшить условия в зоне резания. Предлагаемая конструкция метчика позволяет снизить температуру в зоне нарезания резьбы на 20%.

Ключевые слова: температура термopapa, резьба, крутящий момент, стойкость, качество, теплопроводность, прочность, пластичность, предел прочности, скорость.

Thermal processing zone status when threading in heatproof, high-strength and titanium alloys is a major problem in the general theory of metal cutting. Under other equal conditions temperature in the processing zone of these materials is higher than in cutting of carbon structural steels, as they have high strength and ductility, low thermal conductivity, that makes difficult the working conditions of the taps, increases the area of the tool contact with the workpiece, deteriorates lubrication and cooling of the cutting area because of the increased tendency of heat-resistant materials for the curing. This causes an increase in the work and force of friction and as a consequence the rise of cutting temperature. Research of temperature state of the threaded coils formation zone with combined countersink tool-tap is one of the major challenges facing the authors of this work. When performing the work was used factorial experiment. The temperature in the cutting zone of the thread was determined by a built-in chromel-aluminum thermocouple with thermoelectrode cross-sectional area $0,23\text{mm}^2$. Experiments were carried out using the apparatus of mathematical statistics. Studies have shown that the greatest impact on the temperature state of the cutting area has a tensile strength of the material. Effect of cutting speed in the studied variation range is relatively less noticeable. The explanation for this is a special scheme of cutting of combined countersink tap which allows significantly improve conditions in the cutting zone. The proposed design of the tap allows to reduce the temperature in the area of tapping for 20%.

Key words: *temperature thermocouple, thread, torque, durability, quality, thermal conductivity, strength, ductility, tensile strength, speed.*

При нарезании резьбы в жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавах снижение температуры резания обеспечивает повышение стойкости инструмента и качество резьбы. Увеличенная площадь контакта инструмента с деталью, недостаточное смазывание и охлаждение, а также повышенная склонность жаропрочных материалов к схватыванию обуславливают возрастание силы и работы трения и, как следствие, повышение температуры резания.

Кроме того, из-за упругого последействия витков резьбы, особенно при обработке титановых сплавов, возникают нормальные силы, приводящие к защемлению зубьев метчика во впадинах резьбы в возрастании суммарного крутящего момента. В результате этого при нарезании резьбы метчиком в жаропрочных титановых сплавах наблюдаются выкашивания отдельных зубьев и их поломка [3].

Исследование температурного состояния зоны формирования резьбовых витков является основной задачей данной работы. При выполнении работы был использован факторный эксперимент. Температура зоны нарезания резьбы определялась с помощью встроенных хромель-алюмелевых термопар с площадью сечения термоэлектрода $0,23\text{ мм}^2$. Термопары заделывались в заготовки (в каждую – по три) на возможно близком расстоянии к предполагаемому внутреннему диаметру резьбы. Показания термопар усреднялись. Резьба нарезалась «за проход», длина заготовок $l_3 = (1.0-1.5) d$.

Исследуемые переменные факторы – скорость резания и предел временного сопротивления – были соответственно обозначены через X_1 и X_2 . На основании априорных данных предполагаемую экспериментальную зависимость аппроксимировали уравнением вида (1):

$$T = ev^x G_b^y, \quad (1)$$

где T – температура в зоне резания, град;

e – постоянный коэффициент;

v – скорость резания, м/мин;

G_b – предел временного сопротивления, Н/мм².

Метчик был изготовлен из быстрорежущей стали Р9К5 твердостью 65-67 HRC (балл карбидной неоднородности не выше второго) со следующими геометрическими параметрами: $\gamma = 7^\circ$; $\phi = 5^\circ$.

Линейная модель температурной зависимости имеет вид (2):

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (2)$$

Особенность полного факторного эксперимента заключается в том, что данный метод планирования позволяет отдельно оценить коэффициенты при линейных членах и при эффектах взаимодействия [2]. При планировании эксперимента для каждого исследуемого фактора были выбраны число уровней и шаг варьирования, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные для планирования эксперимента

Факторы	Значение для числа уровней			Интервал варьирования
	- 1	0	+ 1	
$X_1, \text{м/мин}$	7	22	37	15
$X_2, \text{м/мин}^2$	600	1350	2100	750

Примечание. Уровни исследуемых факторов закодированы таким образом, что верхнему соответствует +1, среднему 0, а нижнему – 1

При кодировании уровней использовались уравнения преобразования

$$x_1 = \frac{2(1nv - 1nv_{\max})}{2nv_{\max} - 1nv_{\min}} + 1 \quad (3)$$

$$X_2 = \frac{2(1nG_b - 2nG_{b\max})}{2nG_{b\max} - 1nG_{b\min}} + 1 \quad (4)$$

В соответствии с матрицей планирования (табл. 2) были проведены опыты и найдены неизвестные коэффициенты; определяющим контрастом при этом было принято соотношение $1 = X_1 X_2$.

Таблица 2 – Матрица для планирования эксперимента

Номер опыта	Условия резания		Кодовые обозначения		Функция отклика			Среднее значение	
	v, м/мин	G _b , Н/мм ²	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃	$\bar{Y}$	2ny
1	7	600	-1	-1	35	40	40	38,3	3,64
2	37	600	+1	-1	50	53	55	52,6	3,955
3	7	2100	-1	+1	63	68	70	67	4,204
4	37	2100	0	+1	70	70	75	74,3	4,308
5	22	1350	0	0	40	43	45	42,6	3,744
6	22	1350	0	0	35	41	48	41,0	3,713

Уравнение регрессии имеет вид

$$Y = 3,928 + 0,103X_1 + 0,227 X_2. \quad (5)$$

Значимость коэффициентов уравнения (5) проверяли по критерию Стьюдента, который при проценте риска $\alpha = 0,05$ соответствует $t = 2,12$. Величина доверительного интервала при $t = 2,12$ составила $\Delta b = \pm 0,045$. Следовательно, можно полагать, что все коэффициенты уравнения значимы.

Проверка на адекватность показала, что полученная математическая модель соответствует принятой ранее. Ошибка эксперимента в центре плана больше разности свободного члена и среднего значения температуры в центре плана ($\sqrt{2,01} > |3,928 - 3,7151|$).

Для того чтобы уравнения задать в натуральных значениях факторов, необходимо вместо безразмерных переменных подставить значения независимых переменных и вычислить их по формулам преобразования

$$X_1 = \frac{2(1nv - 1n37)}{1nv37 - 1n7} + 1 = 1,201 1nv - 4,337; \quad (6)$$

$$X_2 = \frac{2(1nG_b - 1n2100)}{1n2100 - 1n600} + 1 = 1,595G_b - 12,212. \quad (7)$$

Подставляя полученные значения в формулу (5), получим

$$Y = 3,928 + 0,103 (.201nv - 4,337) + 0,227 (1,596G_b - 12,212) = 0,709 + 0,1241nv + 0,3631nG_b.$$

После потенцирования имеем:

$$Y = T \approx \frac{e^{3,07} + 2,06 \cdot 10^{-2} v + 7,85 \cdot 10^{-3} G_b}{v^{1,67} \cdot 10^{-3} G_b}. \quad (8)$$

Из анализа уравнения (8) следует, что наибольшее влияние на температурное состояние зоны резания оказывает G_b . Влияние скорости резания в исследуемом интервале варьирования менее заметно. Это происходит вследствие применения новой схемы резания комбинированным метчиком. По этой

схеме длина режущих кромок инструмента сокращается, т.е. остаются фаски, равные 0,1 – 0,15 мм. Фаски получали на зубьях метчика дополнительным шлифованием кругом с профильным углом меньше профильного угла резьбы. Резьба при дополнительном шлифовании нарезается с обратной конусностью [1].

Выводы.

Анализируя результаты выше приведенных экспериментальных исследований метчиков малых диаметров, приходим к выводу, что предлагаемая конструкция метчика позволяет снизить температуру в зоне нарезания резьбы на 20 %. Особенность полного факторного эксперимента заключается в том, что данный метод планирования позволяет отдельно оценить коэффициенты при линейных членах и при эффектах взаимодействия [2]. При планировании эксперимента для каждого исследуемого фактора были выбраны число уровней и шаг варьирования.

Библиографический список:

1. Курбанов А.З., Тынянский В.П. Комбинированный метчик // Машиностроитель. 1984. - №5. – С45-46.
2. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. – 340 с.
3. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение, 1981.

УДК.620.193.16.004.624

Мусаилов Б.М., Устаев И.Ю.

ИЗНАШИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ НАЛИЧИИ В ЗОНЕ КОНТАКТА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Musaibov B.M., Ustaev I.Y.

WEAR OF THE FRICTION SURFACES PARTS IN THE PRESENCE OF SOLID PARTICLES CONTACTING ZONE

Рассмотрены проблемы интенсивности изнашивания деталей машин, работающих в масле, загрязненном абразивными частицами, зависящие от механических свойств материала деталей и абразивных частиц, их размеров, формы и концентрации, нагрузки, температуры поверхности трения, скорости скольжения, качества смазочного материала.