

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХ. И ФИЗ.-ТЕХН. ОБРАБОТКИ

УДК 621.941.1

В. М. КИШУРОВ, В. Н. ИПОЛИТОВ, М. В. КИШУРОВ, М. Ю. НЕКРАСОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ БЫСТРОРЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Представлены результаты исследований обрабатываемости конструкционных сталей быстрорежущим инструментом с модифицированными рабочими поверхностями. Разработана математическая модель, позволяющая назначать оптимальные скорости резания при обработке конструкционных сталей инструментами с модифицированными рабочими поверхностями, обеспечивающими повышенную их износостойкость. *Модифицированные рабочие поверхности инструмента; оптимальная скорость резания*

Одним из способов создания локального износостойкого покрытия на рабочих поверхностях режущих инструментов является метод электроакустического напыления-легирования (ЭЛАН). Это один из наименее трудоемких и экономичных методов повышения эксплуатационной надежности и долговечности инструментов. Принципиальная схема нанесения износостойкого покрытия представлена на рис. 1.

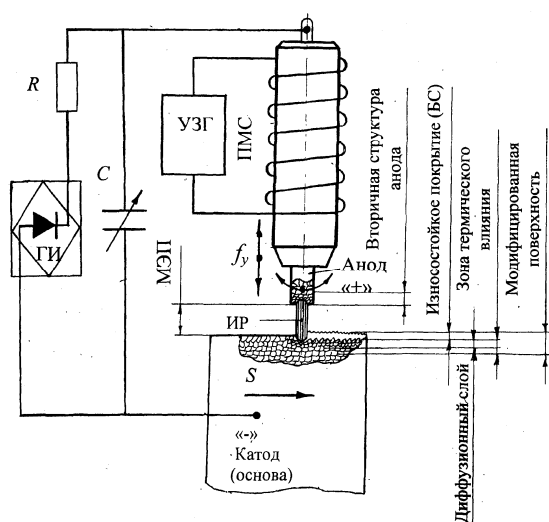


Рис. 1. Схема процесса электроакустического напыления: ГИ – генератор импульсов; УЗГ – ультразвуковой генератор; ПМС – преобразователь магнитно-стрикционный; C – емкость разрядного контура; ИР – искровой разряд; МЭП – межэлектродное пространство; БС – «белый слой»

1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Метод электроакустического напыления-легирования основан на использовании плазменных импульсных искровых разрядов в воздушной среде с малой длительностью существования ($10^{-6} \leq t_u \leq 10^{-3}$ с) и с прохождением мощных импульсных токов (до 10^6 А/мм²) при периодическом контактировании упрочняющего электрода с упрочняемой поверхностью. Вследствие этого происходит перенос и осаждение материала электрода на поверхность инструмента. Одновременно комплексные продольно-крутильные колебания упрочняющего электрода с ультразвуковой частотой от 19 до 22,5 кГц воздействуют на обрабатываемую поверхность инструмента как удар со сдвигом (с эффектом «проковки»). Температура плазмы в межэлектродном зазоре может достигать от 7000°C до 11000°C и зависит от регулируемой емкости разрядного контура установки [1, 2]. С помощью электроакустического напыления-легирования возможно локально вводить в состав упрочняемой поверхности необходимые тугоплавкие химические элементы, не изменяя при этом исходное состояние основы.

Основными факторами, определяющими толщину, твердость, шероховатость и сплошность покрытия, являются сила технологического тока I (А), емкость разрядного контура C (мкФ) и величина ультразвуковой частоты f_y (кГц). Анализ экспериментальных исследований позволил выделить четыре основных режима нанесения покрытий: «мягкий», «средний», «грубый» и «черновой». Каждый из выделен-

ных режимов характеризуется определенной величиной технологического тока I (А), емкостью разрядного контура C (мкФ) и ультразвуковой частотой f_y (кГц).

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Металлографический анализ упрочненного слоя, нанесенного на поверхность инструмента из стали Р6М5, показал, что покрытие состоит из «белого» верхнего слоя, состоящего из мелкодисперсных карбидов вольфрама, титана и кобальта, и подслоя, состоящего из аустенитно-мартенситной структуры с включением указанных мелкодисперсных карбидов (рис. 2).



a



б

Рис. 2. Микроструктура поверхностного слоя легированной стали после нанесения износостойкого покрытия (электрод – твердый сплав) $\times 500$:
a – мягкий режим; *б* – грубый режим

Известно, что при резании металлов инструментальные и обрабатываемые материалы контактируют между собой, как правило, в тяжелых условиях трения и изнашивания при повышенных нагрузках, температурах и наличии ювенильности контакта.

В таких условиях определяющую роль в формировании приповерхностной зоны в процессе изнашивания играет прочность адгезион-

ных связей на срез τ_n , определяемая путем моделирования с использованием специальной установки – адгезиометра [3] – и рассчитываемая по формуле

$$\tau_n = \frac{3 F_{\text{экс}} R_{\text{экс}}}{4 \pi r_o^3}, \quad (1)$$

где $F_{\text{экс}}$ – окружная сила на диске, вращающем индентор; $R_{\text{экс}}$ – радиус диска, в котором закрепляется индентор; r_o – радиус отпечатка (лунки) на образцах.

Экспериментальные данные и соответствующие расчеты величины τ_n различных контактирующих пар (сталь 40Х-Р6М5 без напыления-легирования индентора и инденторов с модифицированными поверхностями упрочненные W (98%), ВК8 и Т5К10) показали, что большее значение τ_n во всем диапазоне температур (20–450°C) присуще контактирующей паре сталь 40Х-Р6М5 (без упрочнения). Далее в порядке уменьшения τ_n для модифицированных инденторов – твердым сплавам Т5К10, ВК8 и вольфрамом W.

На основании проведенных исследований адгезионного взаимодействия контактирующих пар при различных температурах выбирается материал электрода, обеспечивающий наиболее износостойкое покрытие, оцениваемое параметрическим критерием модификации k_M определяемый выражением:

$$k_M = \tau_n / \tau_{nm}, \quad (2)$$

где τ_n , τ_{nm} – величины для неупрочненного и модифицированного инденторов соответственно.

Исследованиями адгезионного взаимодействия контактирующих пар «инструмент-деталь» (Р6М5-40Х и 40Х-Р6М5, модифицированных ВК8, Т5К10 и W) на установке ЭЛАН-3 установлено, что при использовании W в качестве упрочняющего материала следует ожидать получение более износостойкого покрытия на рабочих поверхностях инструмента, что и подтвердилось проведенными стойкостными испытаниями (рис. 3).

Для исследования обрабатываемости конструкционных сталей инструментами из быстрорежущей стали Р6М5 была принята группа конструкционных сталей с действительным пределом прочности S_b довольно широкого диапазона (от 582 до 1015 Н/мм²). Действительный же предел прочности S_b является суммарным критерием, оценивающим одновременно влияние прочности и пластичности обрабатываемого материала.

Нанесение износостойких покрытий на режущий инструмент осуществлялось на установках ВУ-1Б и ЭЛАН-3.

На основании проведенных стойкостных испытаний получены зависимости $h_{03} = f(V)$; $l = f(V)$ и $\theta = f(V)$, представленные на рис. 3 для инструментов с модифицированными рабочими поверхностями и стандартного инструмента без покрытия.

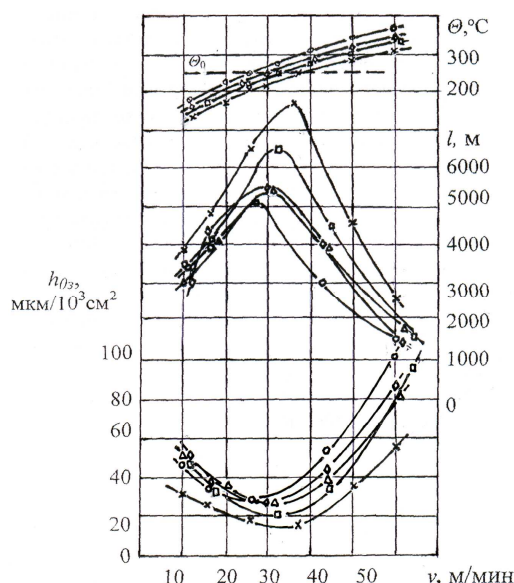


Рис. 3. Влияние скорости резания на интенсивность износа резцов Р6М5, длину пути резания и температуру с различными покрытиями при чистовом точении стали 40Х ($t = 0,25$ мм, $s = 0,125$ мм/об): \circ – стандартный резец; \square – напылен W; Δ – напылен ВК8; \diamond – напылен Т5К10; \times – упрочнен методом КИБ (ZrN)

Анализ полученных данных показал, что зависимости $h_{03} = f(V)$ и $l = f(V)$ носят четко выраженный экстремальный характер (рис. 3) с точкой перегиба в зоне оптимальных скоростей резания по интенсивности износа инструмента. При этом уровень оптимальных скоростей резания для инструментов с износостойкими покрытиями по сравнению со стандартными неупрочненными инструментами повышается от 1,15 до 1,5 раза. Интенсивность износа упрочненного

инструмента снижается от 1,1 до 1,8 раза, длина пути резания увеличивается более чем в 1,5 раза.

Основной предпосылкой для аналитического определения оптимальной скорости резания V_0 явилось существование тесной взаимосвязи, с одной стороны, между V_0 и действительным пределом прочности S_b обрабатываемого материала и с другой – между V_0 и параметром (модификации) упрочнения $K_{ми}$.

Для получения аналитической зависимости $V_0 = (S_b, s, t, r, K_{ми})$, которая позволяла бы определить оптимальную скорость резания для широкого диапазона конструкционных сталей и широкого изменения условий резания, был проведен полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа 25 в логарифмических координатах, так как известно, что применение многофакторного планирования эксперимента позволяет получить математическую модель, которая наиболее полно отражает внутренние связи исследуемого процесса.

В качестве независимых переменных были взяты действительный предел прочности стали при оптимальной температуре S_b , подача s , глубина резания t , радиус резца при вершине r и параметр упрочнения (модификации) $K_{ми}$.

Кодовое обозначение и уровни этих переменных приведены в таблице.

Реализация плана (ПФЭ) позволила получить адекватную математическую модель

$$y = \lg V_0 = 1,761281 - 0,129151x_1 - 0,166758x_2 - 0,015127x_3 + 0,059831x_4 + 0,072982x_5. \quad (3)$$

Интерпретация уравнения (3) показывает, что повышение S_b , s и t приводит к снижению V_0 , а повышение r и $K_{ми}$ – к повышению V_0 .

Для натуральных величин зависимость (3) имеет вид [4]:

$$V_0 = 10^{4,032057} S_b^{-1,069379} s^{-0,699017} \times t^{-0,050251} r^{0,2508} K_{ми}^{0,998879} \text{ м/мин.} \quad (4)$$

Таблица

Кодовое обозначение и уровни переменных

Уровни варьирования		Независимые переменные, влияющие на V_0				
		Действ. предел проч-ти S_b , Н/мм ²	Подача s , мм/об	Глубина резания t , мм	Радиус резца при верш. r , мм	Модификация $K_{ми}$
Верхний	+1	1015	0,15	1,0	1,5	1,4
Средний	0	798,5	0,1	0,625	1,0	1,2
Нижний	-1	582	0,05	0,25	0,5	1,0

ВЫВОДЫ

Таким образом, с помощью разработанных моделей удалось впервые в формализованном виде представить влияние различных видов износостойких покрытий на величину оптимальной скорости резания при точении конструкционных сталей инструментами из быстрорежущей стали Р6М5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тополянский, П. А.** Опыт нанесения электроискровых покрытий на режущий инструмент и штамповую оснастку / П. А. Тополянский // Металлообработка. 2004. № 6. С. 37–40.

2. **Гадалов, В. Н.** Применение электроакустического напыления для упрочнения и восстановления деталей машин / В. Н. Гадалов, Д. Н. Романенко и др. // Сварка и родственные процессы в промышленности. Киев: Экотехнология, 2007. С. 69–76.

3. **Постнов, В. В.** Методы и результаты оценки контактного взаимодействия применительно к процессам металлообработки / В. В. Постнов, В. Ю. Шолом, Л. Ш. Шустер. М.: Машиностроение, 2004. 103 с.

4. **Ипполитов, В. Н.** Определение оптимальных скоростей резания при точении конструкционных сталей инструментами с модифицированными рабочими поверхностями / В. Н. Ипполитов, В. М. Кишуров, М. Ф. Мугафаров // Вестник УГАТУ. 2006. Т. 7, № 1(14). С. 199–202.

ОБ АВТОРАХ



Кишуров Владимир Михайлович, зав. каф. теории и технологии механообработки филиала УГАТУ в г. Ишимбае. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1966). Канд. техн. наук по технологии двигателей ЛА (МАИ, 1973). Иссл. в обл. обрабатываемости материалов лезвийным инструментом.



Ипполитов Владимир Николаевич, доцент той же каф. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1987). Канд. техн. наук по технологии и оборудованию мех. и физ.-техн. обработки (УГАТУ, 2007). Иссл. в области повышения износостойкости режущего инструмента.



Кишуров Максим Владимирович, ст. преп. каф. КПМ и ИС НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Дипл. инж. (УГАТУ, 2000). Иссл. в области повышения износостойкости режущего инструмента.



Некрасова Мария Юрьевна, асс. каф. теории и технологии механообработки филиала УГАТУ в г. Ишимбае. Дипл. инж.-техн. (УГАТУ, 2007). Иссл. в области износостойкости режущего инструмента.