мартенсита. К нему прилегает участок неполной закалки, состоящий из мартенсита, троостита и феррита. В феррите наблюдается дробление зерен в результате рекристаллизации, протекающей под воздействием нагрева и деформации. Это свидетельствует о действии пластической деформации не только на наплавленный слой, но и на поверхностные слои подложки.

О протекании диффузионных процессов в переходном слое свидетельствует характер распределения легирующих элементов, входящих в состав порошка. Распределение ванадия в поверхностном слое при нанесении порошка Fe-V показывает, что его концентрация достигает на поверхности наплавленного слоя максимума – 8%, а затем достаточно плавно снижается в направлении подложки. О более глубоком протекании диффузионных процессов при наплавке с поверхностным деформированием свидетельствует также распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя, которое носит немонотонный характер. Минимальная твердость наблюдается вблизи границы наплавленного слоя и подложки, что связано с перераспределением углерода из-за его повышенной растворимости в жидкой фазе и с обезуглероживанием на границе раздела жидкой и твердой фаз.

Общая глубина упрочнения при поверхностном пластическом деформировании наплавленного слоя составляет (0,65–0,8 мм, в то время как без деформирования не превышает 0,4–0,55мм.

Формирование текстуры поверхностного слоя, повышенная плотность дефектов кристаллического строения, образование дисперсных равномерно распределенных карбидов при электромагнитной наплавке с поверхностным пластическим деформированием способствуют повышению эксплуатационных свойств упрочненных и восстановленных деталей машин.

Таким образом, управляя термомеханическими процессами при наплавке и пластическом деформировании посредством регулирования параметров электромагнитного поля и усилия деформирования, можно при комбинированной обработке формировать поверхностные слои высокой прочности и износостойкости.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Т98-181).

ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ В ЗОНЕ КРОМКИ ПРИ ЗАТОЧКЕ СЕГМЕНТОВ

Ефремов В.Д.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Режущие свойства сегментов зависят от вида материала, геометрии лезвия, радиуса округления кромки (или остроты лезвия) и физико-механических свойств в зоне кромки, формируемых в процессе заточки.

Особенностью теплопередачи в клиновидной области является уменьшение до нуля (на кромке) теплоотводящего объема металла. Эта особенность оказывает влияние на распространение температурных полей при шлифовании и используется для упрочнения зоны лезвия в процессе заточки (а.с. СССР N 1481036; 1689042, патенты РБ N 2366, 2159).

В работе предложен аналитико-экспериментальный метод определения температур, в основе которого лежит классическое уравнение теплопроводности. По этому методу некоторые теоретические априорные допущения заменяются данными результатов экспериментов и наблюдений.

Положительной стороной аналитико-экспериментального направления исследований является возможность сочетать широкие аналитические обобщения с количественными зависимостями, имеющими определенный физический смысл. Экспериментальные данные, принимаемые для построения расчетных схем, повышают точность полученных аналитических зависимостей.

Клиновидная область сегмента в цилиндрических координатах может характеризоваться радиусом - вектором и полярным углом, а также углом заострения клина.

При $\beta = 180°$ клиновидное пространство превращается в полупространство, а при $\beta - 0°$ теплоотводящая зона исчезает, и тепловой источник фиксирует контактную температуру с учетом бесчисленного множества отраженных источников, учитываемых коэффициентом "m", который представляет собой количество фиктивных (отраженных) источников, компенсирующих устраняемую часть неограниченного пространства. Количество отраженных источников зависит от угла и может быть представлено следующей зависимостью:

$$m = (180 / \beta) - 1 \tag{1}$$

Формирование клиновидной области алмазно-абразивной обработкой и доводкой может осуществляться путем шлифования по передней грани, заточке по задней грани, либо подвергаться обработке одновременно по обеим граням (например, при нарезании резьб многониточным кругом). В результате, тепловую модель клиновидного тела можно представить в следующем виде: по передней (обрабатываемой) поверхности или грани клина с углом заострения и скоростью V движется концентрированный источник тепла в виде полосы, ширина контакта которого (2h) может быть ориентирована по отношению к кромке: нормально, параллельно или под углом .

Используя классическую теорию теплопроводности, запишем уравнение теплопроводности с перемещением источника тепла в направлении осей oz и oy или ($z/\cos\varphi$ или $y/\cos\varphi$), а также учитывая цилиндрические координаты и тепловую схему, рассмотрим температурное поле внутри клина как нестационарную задачу с граничными условиями. Тогда дифференциальное уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах может быть записано:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \gamma^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + V \frac{\partial T}{\partial z}, \qquad (2)$$

где α – коэффициент теплоотдачи;
τ – время действия теплового источника;
T – искомая температура.
со следующими начальными и граничными условиями

$$T \Big|_{r=0} = 0; \quad \frac{\lambda}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial \gamma} \Big|_{\substack{\gamma=0 \\ |z|\le h}} = q; \quad \frac{\partial T}{\partial \gamma} \Big|_{\substack{\gamma=0 \\ |z|>h}} = \frac{\partial T}{\partial \gamma} \Big|_{\gamma=\beta} = 0, \qquad (3)$$

где q – плотность теплового источника;
λ – коэффициент теплопроводности.

В качестве частного решения дифференциального уравнения (2) используется функция Грина, которая в подвижной системе координат имеет вид

$$T(x,y,z,\tau) = \frac{Q}{c\rho(4a\pi\tau)^{3/2}} \cdot \exp\left[-\frac{(r-r')^2 - 2rr'\cos\gamma + (z-z'+V\tau)^2}{4a\tau} \right], \qquad (4)$$

где Q – количество теплоты, направленное в деталь;
c – удельная теплоемкость детали;
ρ – плотность стали.

Отсутствие теплового потока на поверхности ($\gamma = 0$), согласно теории отражения, компенсируется удвоенной мощностью источника на передней грани.

Для учета влияния на температурное поле адиабатической границы ($\gamma = \beta$), компенсирующей мощность отброшенной части (эквивалентную количеству отраженных источников), а также, вводя плотность теплового потока и проинтегрировав выражение (2) в соответствующих пределах, получим температуру в виде произведения, выраженного для полуограниченного тела, на некоторую функцию K (r, γ, z, m), характеризующую влияние ограниченности размеров детали (5)

$$T = \frac{2qa}{\pi\lambda V} \int_{Z-H}^{Z+H} K(r,\gamma,z,m) \exp(-u)\ K_0(u)\, du, \qquad (5)$$

где $Z = Vz/2a$; $H = Vh/2a$ - безразмерные комплексы по координате и ширине теплового источника, соответственно;

$K_0(u)$ – модифицированная функция Бесселя второго ряда нулевого порядка;

exp(-u) – функция распространения теплоты по глубине детали с учетом отраженного источника.

Для условий упрочняющей заточки с учетом множителя К (r, γ, z, m) выражение (5) можно записать в виде:

$$T = \frac{2qa}{\pi\lambda v} \cdot \frac{m}{2} \int_{Z-H}^{Z+H} \exp(-u)\ K_0(u)\ du \tag{6}$$

Анализ формулы (6) при $m/2 = K'$ показывает, что при $r \to 0$ и $\beta = 90$ влияние ограниченности размеров ослабляется, а при $r = \infty$ и $\beta = 180$ для всех координат множества, решение превращается в обычное, т.е. для полубесконечного тела.

Используя уравнение (5) применительно к случаю, когда тепловой источник (шлифовальный круг) движется нормально к кромке (по оси Z), то, с учетом безразмерных комплексов и баланса тепла (К"), формула (6) может быть записана следующим образом:

$$T = \frac{2qa}{\pi\lambda v} \cdot K'' \cdot \frac{90}{\beta}\ \left[J\ (Z+H) \text{-} J\ (Z\text{-}H)\right], \tag{7}$$

где $J(z) = \int_0^{z} e^{-u} K_0(u)\, du$ – функция распространения тепла в глубь детали.

Для учета влияния ограниченности теплоотводящего объема (β) используем коэффициент К' и, обозначив температуру внутри клиновидной области $J_2 = [J(Z+H) - J(Z+H)]$ через безразмерную величину, получим:

$$T = 2qa / \pi\lambda v \cdot K'' \cdot K' \cdot \Theta, \tag{8}$$

где $\theta 1$ – максимальное значение интеграла J_2, зависящее от H.

Используя аналитико-экспериментальный принцип, уточнено количество действующих факторов и значение коэффициента К'. С этой целью проведены экспериментальные исследования в условиях интенсивного воздействия сил и температур при заточке, когда наряду с обычной абразивной обработкой обеспечивается термический цикл закалки лезвия сегмента. По данным экспериментов коэффициент К', в зависимости от материала инструмента, изменяется в пределах от 1,15 до 1,33; от угла заострения клина от 1,0 до 1,42; в зависимости от глубины шлифования от – 1,27 до 1,84; от скорости детали К' = 1,09 – 1,82.

Указанные коэффициенты, полученные экспериментально, проверялись путем численного расчета методом конечного элемента и показали сходимость в пределах 80%. Результаты расчета по предложенной аналитико-экспериментальной модели существенно уточняют известные аналитические модели, построенные на основе теории отражения, и позволяют уточнить режим упрочняющей заточки сегментов.