

А.Л. ПЛОТНИКОВ, д-р техн. наук, проф. ВГТУ, Волгоград;
И.Н. КОЛУПАЕВ, канд. физ.-мат. наук, доц., НТУ» ХПИ;
С.М. ШЕВЧЕНКО, ассистент, НТУ «ХПИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ В ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Розглянуто питання моделювання глибини білого шару в залежності від технологічних параметрів алмазно-іскрового шліфування (АІШ).

Рассмотрены вопросы моделирования глубины белого слоя в зависимости от технологических параметров алмазно-искрового шлифования (АИШ).

The issues of white layer (WL) depth modeling depending on technological operation factors of diamond-spark grinding and other pulse reinforcing machine processing's are examined.

Вступлення. В современной практике широко применяются отделочные упрочняющие методы, целью которых является формирование в поверхностном слое структуры «белого слоя» (БС). Метод алмазно-искрового шлифования (АИШ) на определенных режимах позволяет реализовать условия, характерные для импульсных упрочняющих обработок, в результате происходит оптимизация структуры за счет формирования структуры БС или бесструктурного мартенсита.

Воздействие в процессе АИШ–упрочнения можно назвать «управлением», если рассматривать обрабатываемый материал как динамическую систему. Практически применяемыми воздействиями являются нагрев, охлаждение и изотермическая выдержка – это составляет смысл термической обработки как технологии упрочнения деталей машин. При исследовании процессов импульсной упрочняющей термической обработки, предпринимается расчет температурного поля внутри обрабатываемой детали.

Постановка задачи. Необходимо получить зависимость глубины БС от технологических режимов АИШ и химического состава обрабатываемой стали. Важное прикладное значение метода АИШ стимулирует более детальное исследование процесса АИШ для выработки общих рекомендаций и прогнозов эффективности метода. Материал исследования – сталь У7 в состоянии после закалки, низкого отпуска и последующего АИШ. Оценка требует указания термодинамических параметров материала и воздействия (параметров АИШ), проводимого в данной работе. Это и осуществляется операторами программы расчета WZ4S(c), система *MATLAB* [1, 2, 3].

Математическая модель. Моделирование предполагает определение толщины такого слоя в образце, в котором энергетические условия не противоречат кинетическим по отношению к возникновению БС. Для получения качественных БС [4], необходимо обеспечивать условия, удовлетворяющие энергетическому критерию K_3 , [(К × Па × с × кг)/ Дж]:

$$K_3 = TP_0\tau / (cT_3), \quad (1)$$

где c – удельная теплоемкость обрабатываемого металла, Дж/(кг × К); T_3 – температура закалки металла, К.

Уравнение теплопроводности принимается в виде закона Фурье [5], согласно которому количество теплоты, передаваемой через изотермическую поверхность, пропорционально площади этой поверхности, времени протекания теплоты и температурному градиенту:

$$dQ = -\lambda dF(dQ/dn)d\tau. \quad (2)$$

Для оценки тепловыделения в зоне обработки учитывается выделение джоулевого тепла в плоскости контакта за время действия теплового импульса. Реальная площадь контакта и переходное сопротивление принимаются на основе экспериментальных данных. При расчете температурного поля учитывается изменение теплоемкости стали при нагреве. Таким образом, целью расчета является оценка глубины конкретной марки стали У7.

Температура на заданной глубине вычисляется исходя из закона теплопроводности с учетом выделения тепла на поверхности шлифования и фазовых превращения стали при достижении определенной температуры [3]:

$$T = (q/(2\lambda))\sqrt{2\pi ah/V_\delta}, \quad (3)$$

где h – ширина зоны контакта вдоль направления движения детали (ширина детали); V_δ – скорость перемещения теплового источника (детали); a – коэффициент температуропроводности, м²/с; λ – коэффициент теплопроводности Вт/м·К.

Для формулы (3) определяем плотность теплового потока q :

$$q = (P_z \cdot V_{kp}) / S, \quad (4)$$

где P_z – сила резания, Н; V_{kp} – скорость круга, м/с; S – площадь зоны контакта, м²,

$$S = h \cdot l, \quad (5)$$

h – ширина зоны контакта (высота шлифовального круга, м); l – длина дуги контакта, м,

$$l = \sqrt{\left((1 \pm V_\delta / (60V_{kp}))^2 + (S_{np} / (60V_{kp}))^2 \right) \cdot (Ddt / (D + d))}. \quad (6)$$

В формуле (4) определяем тангенциальную составляющую силы резания, величину P_z , [кг] [7]:

$$P_z = 14,7 t^{0,88} S_{np}^{0,89} V_d^{0,85} . \quad (7)$$

Время действия максимальной температуры и давления τ , [с] составляет:

$$\tau = 1/V_d , \quad (8)$$

l – длина дуги контакта.

Давление в зоне обработки P_0 , [Па] определяется по формуле:

$$P_0 = P_y / S , \quad (9)$$

где S – площадь зоны контакта; P_y – радиальная составляющая силы резания [7]:

$$P_y = 51 t^{0,79} S_{np}^{0,74} V_d^{0,74} . \quad (10)$$

Расчет требует указания термодинамических параметров материала (стали У7) и воздействия, проводимого в данной работе: интенсивность выделения энергии в зоне контакта, диапазон расстояний (от поверхности), коэффициент теплопроводности, теплоемкость, длительность теплового импульса, плотность материала, температуропроводность материала, диапазон величины тока (тепловое воздействие), реальная площадь контакта, контактное электросопротивление, температура фазового превращения. Обозначаются переменные и разумный диапазон их значений, принимаемые в качестве аргументов. В данном случае – это параметры внешнего воздействия: величина тока и длительность его действия. Вычисление ведется на основе уравнения теплового баланса в нестационарных условиях.

Результаты моделирования. Распределение температуры по глубине материала показано на графиках (рис.) в зависимости от длительности импульса и величины тока.

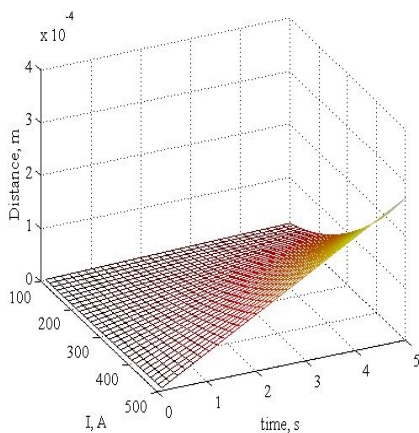
Влияние параметров внешнего воздействия: величины тока и длительности его действия представлены на рис., а. Для параметров внешнего воздействия (нагрузка и длительность действия импульса тока) проводится аналогичный расчет, результаты которого представлены на рис., б.

Отличие состоит в расчете снижения контактного напряжения за счет пластической деформации материала. Для этого учитывается снижение напряжения текучести стали У7 [8] в рассчитанном температурное поле.

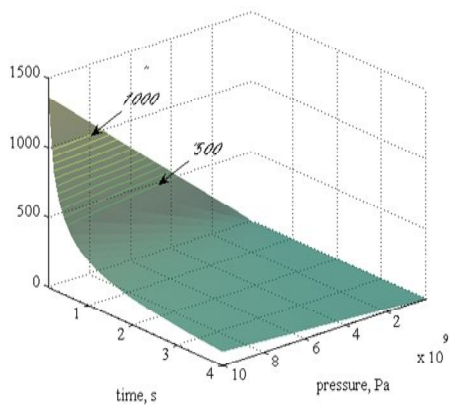
Таким же путем учитывается изменение теплоемкости стали при нагреве [9].

Особенностью настоящей модели является учет изменения напряжения пластического течения материала при нагреве как важного параметра, влияющего на площадь контакта круг-деталь. Обычно удельное давление считается постоянным, однако по нашему мнению, его изменение при нагреве может изменять условия возникновения БС.

Зависимость носит монотонный характер и позволяет количественно определить соотношение длительности и силы тока при котором выполняются условия критерия.



а.



б.

Рисунок – Зависимость глубины БС от параметров импульсного теплового воздействия:

а). длительность – сила тока; б). длительность – нагрузка.

Воздействие в процессе АИШ–упрочнения можно назвать *управлением*, если рассматривать обрабатываемый материал как динамическую систему. Практически применяемыми воздействиями являются нагрев, охлаждение и изотермическая выдержка – это составляет смысл термической обработки как технологии упрочнения деталей машин.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. На основании предложенной модели, в которой рассматривается критерий возникновения БС как параметра оценки можно перейти к более общей модели, учитывающей динамику изменения фазового состава материала в процессе обработки.

Прикладное материаловедение традиционно пользуется диаграммной техникой. Обращает на себя внимание «инкубационный период превращения t^* », то есть время, которое можно оценить из С-образной диаграммы.

Величина t^* зависит от переохлаждения для конкретного материала даже в изотермических условиях. Фазовое превращение (ФП) происходит с некоторой конечной скоростью, описанием которой занимается кинетика ФП

как частного случая кинетики химических реакций, при этом внутренние параметры всех фаз должны успевать принимать равновесные значения [10]. Образом «К» условия является константа равновесия, прямо связанная со скоростью ФП. Кроме температуры и давления появляется параметр «время».

Если выбирать критерий как соотношение скоростей – тогда можно «взять» эффективную скорость V_{eff} как отношение температуры ФП к времени инкубационного периода.

Для моделирования скорости превращения существует также уравнение Авраами:

$$V_{id} = A \cdot \exp(-B \cdot t)$$

Проще всего рассматривать первый порядок превращения – тогда скорость превращения:

$$dc/dt = -K \cdot c,$$

а величина K может быть связана с «характерным временем» t^* соотношением:

$$(c - c_0)/t^* \approx K \cdot (c - c_0), \quad \text{то есть} \quad K \sim 1/t^*.$$

Предложенный расчет рассматривает время как важный параметр импульсного энергетического воздействия и позволяет сопоставлять известные технологии импульсного упрочнения. С развитием компьютерного имитационного моделирования, математические модели позволяют анализировать все более сложные материаловедческие ситуации.

Список литературы: 1. *Потемкин В.* Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.x (в 2-х томах). – Диалог-МИФИ. 1999. 2. *Колупаев И. Н., Шипкова И. Г.* Количественная обработка цифровых изображений микроструктур (система MatLab): Учеб. метод. пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 84 с. 3. <http://dkhramov.dp.ua/index.php?n=Sci.Matlab>. 4. *Бабей Ю.И.* Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – Киев: «Наукова думка», 1988. – 237 с. 5. *Якимов А.В., Слободяник П.Т., Усов А.В.* Теплофизика механической обработки. – Киев – Одеса: Либідь, – 1991. – 237 с. 6. *Маслов Е.Н.* Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с. 7. *Беззубенко Н.К.* Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов / Н.К. Беззубенко. Докторская диссертация. Харьков: ХГПУ, 1995. – 200 с. 8. *Гольдсмит Х. Д.* Сплавы внедрения – М.: Металлургия, – 1971, – 423 с., т.1. 9. *Кристал М. А.* Механизм диффузии в железных сплавах. – М.: Металлургия, – 1972. – 398 с. 10. *Палатник Л.С., Равицкая Т.М., Островская Е.Л.* Структура и динамическая долговечность сталей в условиях тяжелого нагружения. – Челябинск: «Металлургия», Челябинское отделение, – 1988. – 160 с.

Поступила в редколлегию 08.09.2011