

валом вдоль координаты Z равным 50 мм, и вдоль координаты X в положениях стола при двухстороннем позиционировании [2], по суммарным значениям средних отклонений составляющих погрешностей примет вид (рисунок 3,а).

Погрешность позиционирования и отклонения от прямолинейности перемещения кроме среднего арифметического значения характеризуются также рассеиванием параметров. Упрощенное для наглядности поле погрешностей с учетом зоны рассеивания вдоль координаты Y равной $3\delta_y$ (при условии нормального закона распределения отклонений и заданной вероятности $P(t) = 0,9973$) показано на рисунке 3г.

Как уже было отмечено [1], в начальном состоянии станка на стабильность траектории перемещения оказывают влияние и силовые факторы, т.е. изменение веса заготовки и ее местоположение. При исследованиях МС была произведена оценка данного влияния при центрально расположенной статической нагрузке в 500; 1000; 1500 Н на отклонения от прямолинейности перемещения ползуна в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также погрешности позиционирования для условий аналогичных измерениям геометрических параметров. Ограничение рассеивания определяется особенностью системы управления, которая не разрешает отработку следующего кадра при не установке рабочего органа в зоне ± 6 мкм от заданного положения.

В общем случае влияние нагрузок приводит к изменению отклонений, сформировавших поле геометрических погреш-

ностей, которое и показано на рисунке 3б (при нагрузке 500 Н) и рисунке 3в (при нагрузке 1500 Н).

Таким образом, при построении поля геометрических погрешностей в плоскости стола необходим учет всех составляющих погрешностей с приведением их положения к единой системе отсчета. При этом характер изменения поля геометрических погрешностей в плоскости, сформированного в начальный период, зависит от вида воздействия (нагрузки) и местоположения рабочих органов, которые приводят к пространственной переориентации данного поля. Выбор соотношения веса и положения рабочих органов позволяет выявить область минимального смещения данного поля. Используя возможность компенсации систематических составляющих погрешности выходного параметра в рабочем объеме через систему программного управления можно осуществлять стабилизацию точности станка в процессе обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горбунов В.П., Григорьев В.Ф. Баланс погрешностей выходного параметра многоцелевого станка в системе привод подач - подвижный рабочий орган // Вестник БГТУ – Машиностроение, автоматизация, ЭВМ.- №4, 2002- с.4-7.
2. Григорьев В.Ф., Горбунов В.П. Исследование точности позиционирования многопозиционного станка.- Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике/ Труды X Научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов. Ч 1.-Брест, БПИ, 1998.-с.95-97.

УДК 622.24.051

Монтик С.В.

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКОМ ФОРМИРОВАНИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (ТВЕРДЫЙ СПЛАВ – СТАЛЬ) ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

ВВЕДЕНИЕ

Применение биметаллических изделий, состоящих из твердосплавной рабочей части и стального основания, выполняющего роль державки, обеспечивает снижение расхода дорогостоящего твердого сплава. Биметаллические изделия возможно изготавливать методом электроконтактного механотермического формирования (МТФ), разработанного в Государственной академии нефти и газа имени И. М. Губкина (г. Москва). МТФ характеризуется спеканием порошка твердого сплава и получением монолитного соединения его со сталью за счет выделения теплоты при пропуске электрического тока и формирующего давления.

Распределение температуры в твердом сплаве при МТФ является одним из факторов, определяющих качество биметаллического изделия, т. к. от температуры зависит скорость и характер спекания твердого сплава, скорость диффузии на границе со сталью и прочность соединения твердый сплав – сталь, величина остаточных напряжений.

Процесс МТФ применительно к биметаллическим (твердый сплав – сталь) зубкам для шарошек буровых долот изучался Н. А. Жидовцевым, В. Я. Кершенбаумом, Э. С. Гинзбургом, А. И. Мизиным, И. Г. Барило и Л. А. Резником [1 - 4].

Для получения биметаллических (твердый сплав – сталь) зубков формы Г26 рекомендовано применять одностадийное МТФ в керамической форме с использованием медного электрода-пуансона (см. рис. 1, а, б) [1]. При проведении МТФ

давление прессования составляет 25 - 50 МПа, плотность тока 8 - 20 А/мм², время процесса 5 - 7 секунд. Однако проведенные нами исследования показывают, что биметаллические зубки, изготовленные данным методом, имеют низкую твердость (HRA 78 вместо HRA 86,5 ... 87,5 по ГОСТ 3882-74) и высокую пористость (0,8% объемных вместо 0,2 % по ГОСТ 9391-80) в поверхностных слоях твердого сплава. Это можно объяснить тем, что при данной технологии МТФ в поверхностных слоях твердого сплава не происходит жидкофазное спекание из-за низкой температуры вследствие малого времени МТФ или теплоотвода в медный электрод-пуансон.

Целью данной работы является исследование температурного поля в твердосплавной части биметаллического зубка при МТФ для проверки данных предположений и разработка технологии электроконтактного МТФ, позволяющей изготавливать биметаллические изделия сложной формы.

1. Математическая модель для исследования температурного поля в твердосплавной части биметаллического зубка при МТФ

Выполним анализ температурного поля биметаллического изделия применительно к биметаллическим (твердый сплав – сталь) зубкам формы Г26 (см. рис. 1, а) по ГОСТ 880-75 диаметром 12 мм и высотой 14 мм для шарошек буровых долот. Для изготовления рабочей части зубка используются твердые сплавы типа ВК, состоящие из карбида вольфрама и кобальта, например, твердые сплавы ВК8-В и ВК8-ВК по ГОСТ 3882-74.

Монтик Сергей Владимирович, доцент каф. машиноведения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

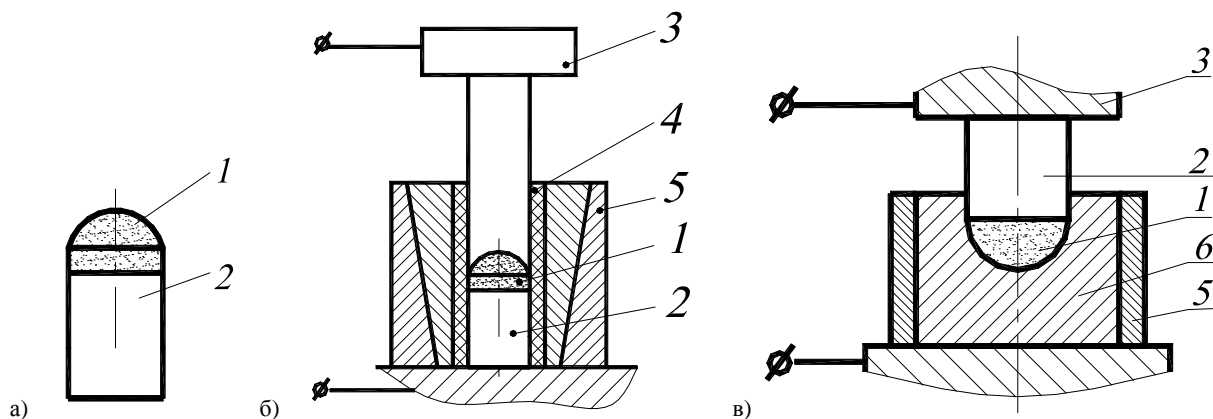


Рис. 1. Биметаллический зубок (а) формы Г26 по ГОСТ 880-75 и технология его изготовления МТФ с использованием медного электрода-пуансона (б) и с использованием графитовой пресс-формы (в) (1 – твердый сплав, 2 – стальное основание зубка, 3 – медный электрод-пуансон, 4 – керамическая форма, 5 – стальная оправка, 6 – графитовая пресс-форма).

Поскольку размеры биметаллического зубка соизмеримы с размерами отверстий, необходимых для введения термопар, то экспериментальные исследования дают лишь качественную оценку распределения температуры. Была сделана попытка проведения аналитических исследований распределения температуры в твердосплавной прессовке при прохождении через нее тока во время МТФ.

Задача решалась в следующей математической постановке. Имеется полусфера радиусом R из спрессованного порошка твердого сплава. Внутри полусферы действует внутренний источник тепла, удельную мощность которого обозначим q . Для упрощения расчетов будем считать, что удельная мощность источника q в любой точке полусферы одинакова. Тогда уравнение теплопроводности имеет вид [5]:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial U}{\partial r} \right) + q, \quad (1)$$

$$t > 0, \quad 0 \leq r \leq R,$$

$$U = U(r, t) = \frac{T(r, t) - T_0}{T_{СП} - T_0},$$

где $U(r, t)$ – относительная температура в полусфере на расстоянии r от центра в момент времени t ; T_0 – температура окружающей среды, $T_0 = 20$ °С; $T_{СП}$ – температура жидкофазного спекания твердого сплава, $T_{СП} = 1380$ °С; $T(r, t)$ – температура в полусфере на расстоянии r в момент времени t ; a^2 – коэффициент температуропроводности твердосплавной прессовки, которые определяется

$$a^2 = \frac{\lambda_{ВК}}{c_{ВК} \gamma_{ВК}},$$

где $\lambda_{ВК}$, $c_{ВК}$, $\gamma_{ВК}$ – соответственно коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и плотность спрессованного порошка твердого сплава.

Согласно [5], удельная мощность источника тепла определяется

$$q = \frac{i^2 \rho_{ВК} - T_0}{T_{СП} - T_0}, \quad (2)$$

где i – плотность тока, $\rho_{ВК}$ – удельное сопротивление твердосплавной прессовки.

В начальный момент времени температура полусферы равна температуре окружающей среды:

$$U = 0, \quad t = 0, \quad 0 \leq r \leq R. \quad (3)$$

Граничное условие для поверхности полусферы, контактирующей с медным электродом-пуансоном, имеет вид:

$$U = U_0(1 - e^{-\beta t}), \quad r = R, \quad t > 0, \quad (4)$$

$$U_0 = \frac{T_M - T_0}{T_{СП} - T_0},$$

где U_0 – относительная температура плавления меди, $U_0 = 0,78$; T_M – температура плавления меди, $T_M = 1083$ °С; β – постоянный коэффициент, который определяется экспериментально.

При $r \rightarrow 0$ значение относительной температуры U ограничено.

Выражение (4), описывающее изменение температуры на поверхности сферы, хорошо согласуется с экспериментальными данными работ [1, 3, 4].

Рассмотрим температурное поле твердосплавной прессовки при увеличении времени t электроконтактного МТФ до 60 и более секунд. В этом случае использовалась следующая математическая постановка задачи. При $t \rightarrow \infty$ относительная температура U зависит только от расстояния r до центра полусферы, т.е. $U(r, t) = U_\infty(r)$, а уравнение теплопроводности принимает вид

$$U_\infty'' + \frac{2}{r} \cdot U_\infty' = -\frac{q}{a^2}. \quad (5)$$

Граничное условие (4) будет иметь вид

$$U_\infty(R) = U_0.$$

Решая уравнение (5), получаем функцию распределения температуры при $t \rightarrow \infty$

$$U_\infty(r) = U_0 + \frac{q}{6a^2}(R^2 - r^2). \quad (6)$$

2. Анализ распределения температуры в твердосплавной прессовке

Расчеты, проведенные по функции (6), показывают, что при использовании медного электрода твердосплавная головка биметаллического зубка остается неспеченной на глубину 2,5 мм (см. рис. 2), несмотря на увеличение времени МТФ, что подтверждается экспериментально.

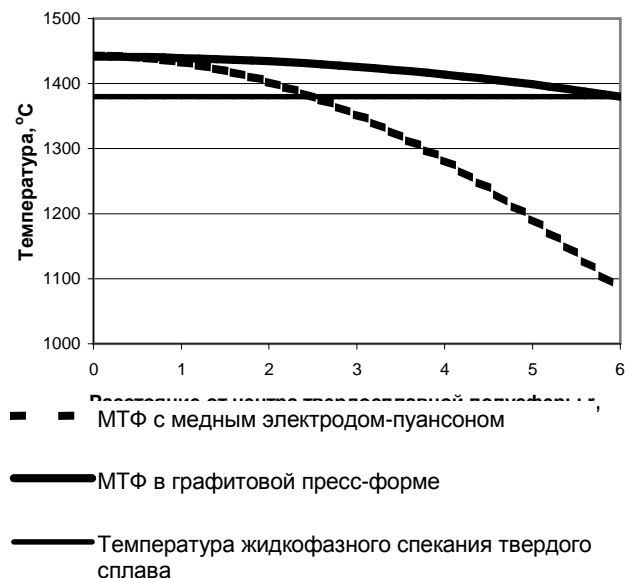


Рис. 2. Распределение температуры в твердосплавной прессовке биметаллического зубка.

Из выражения (6) следует, что при длительном процессе МТФ температура поверхности слоев твердого сплава будет равна температуре электрода, с которым он контактирует. С продвижением к центру твердосплавной прессовки температура будет возрастать. Для спекания твердого сплава по всему объему необходимо, чтобы температура поверхности электрода или пресс-формы была равна температуре жидкофазного спекания твердого сплава, что можно достичь, используя графитовый электрод или пресс-форму. Графит имеет более высокое удельное сопротивление и низкую теплопроводность по сравнению с медью. При проведении МТФ графит нагревается до температуры, превышающей 1400 °C [3].

Рассмотрим распределение температуры в твердосплавной прессовке при проведении процесса МТФ в графитовой

пресс-форме в течение 60 ... 200 секунд с плотностью тока 4 - 5 А/мм² (см. рис. 1, б). Для этого используем функцию (6), полагая, что температура внутренней поверхности пресс-формы при МТФ равна температуре жидкофазного спекания твердого сплава, т.е. $U_0 = 1$, а удельная мощность q внутреннего источника тепла уменьшается в 4...16 раз из-за снижения плотности тока, проходящего через твердосплавную прессовку.

Анализ распределения температуры показывает, что при проведении одностадийного МТФ в графитовой пресс-форме во всем объеме твердосплавной прессовки будет происходить жидкофазное спекание (см. рис. 2), что должно обеспечить требуемое качество твердого сплава биметаллического зубка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что для обеспечения жидкофазного спекания твердого сплава по всему объему необходимо проведение одностадийного МТФ в графитовой пресс-форме со следующими параметрами: плотность тока 4 - 5 А/мм², длительность процесса от 60 до 200 с. Полученные результаты были подтверждены экспериментальными исследованиями. Физико-механические свойства и микроструктура твердого сплава биметаллических зубков формы Г26, изготовленных по предложенной технологии, соответствуют ГОСТ 3882 - 74.

Данная технология может быть рекомендована для изготовления биметаллических (твердый сплав - сталь) изделий сложной формы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Долговечность шарошечных долот / Н. А. Жидовцев, В. Я. Кершенбаум, Э. С. Гинзбург и др. - М.: Недра, 1992. - 271 с.
2. Кершенбаум В. Я. Механотермическое формирование поверхностей трения. - М.: Машиностроение, 1987. - 232 с.
3. Барило И. Г. Повышение износостойкости долот за счет использования комбинированных твердосплавных зубков: Автореферат дис. ... к. т. н., - М., 1975. - 20 с.
4. Резник Л. А. Износостойкость твердосплавного вооружения породоразрушающего инструмента при абразивном изнашивании и разработка метода её оценки на основе энергетического критерия: Дисс. ... канд. техн. наук. - М., 1988. - 113 с.
5. Тихонов А. Н., Самарский Т. И. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1977 - 735 с.

УДК 621.382.049.77

Раткевич А.В., Дереченник С.С.

ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР

ВВЕДЕНИЕ

Тонкие пленки и структуры на их основе находят широкое применение в различных областях науки и техники, и, в первую очередь, в микро- и нанoeлектронике. Среди важнейших задач твердотельной электроники, решаемых пленочным материаловедением - разработка новых материалов с необходимыми качественными и количественными свойствами, а также методов синтеза многослойных систем, позволяющих

эффективно управлять их структурными и электрофизическими характеристиками.

Тонкие пленки - это особый вид состояния конденсированного вещества. По своей структуре и свойствам они существенно отличаются от своих массивных аналогов. Это обусловлено, в том числе, спецификой процесса их формирования: конденсация молекулярных потоков вещества при различных термодинамических условиях из паровой, газовой или

Раткевич Алексей Васильевич, аспирант кафедры «ЭВМ и системы» Брестского государственного технического университета, e-mail: bcntiilexus@yandex.ru.

Дереченник Станислав Станиславович, к.т.н., доцент, зав. каф. «ЭВМ и системы» Брестского государственного технического университета, e-mail: chief.cm@bstu.by
Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.