

ло проходов 2. Образцы после РКУП отжигали в течение 1 часа при 350 и 450 °С.

Для определения ударной вязкости материала *KCV* использованы образцы Шарпи с размерами 5×10×55 по ГОСТ 9454-78; температуры испытаний 20° и –40 °С.

Испытания на износ в условиях трения скольжения проводились по схеме «диск-палец», граничная смазка – машинное масло. Контртело – диск Ø50 мм с газотермическим покрытием из порошка ПР-Н70Х17С4Р4. Нагрузка при испытаниях 170 Н, частота вращения вала 5 об/с. Массовый износ образцов измеряли поэтапно через определенное число циклов трения (всего 36000 циклов).

Основные результаты

При положительной температуре испытаний для всех ультрадисперсных состояний стали 09Г2С получено многократное увеличение ударной вязкости: значение *KCV* при 20 °С повысилось до 0,45–0,63 МДж·м⁻² против 0,22 МДж·м⁻² в исходном крупнозернистом состоянии; при –40 °С ударная вязкость сохранилась неизменной (в среднем, как и для исходного состояния, *KCV* = 0,13 МДж·м⁻²).

Исследование трибологических свойств в условиях трения скольжения стали 09Г2С в зависимости от уровня дисперсности ее структуры показало, что появление наноразмерных карбидных частиц в субмикроструктурной структуре значительно улучшило износостойкость: массовый износ и интенсивность изнашивания уменьшились более чем в 2 раза, причем на стадии приработки для материала, обработанного по режиму «холодное РКУП + отжиг при 350 °С», снижение массового износа составило 2,7 раза, интенсивности изнашивания – 3,4 раза. Повышение общей износостойкости при росте ее значения на стадии приработки считается более благоприятным с позиций трибологии.

Выводы. Нано-, субмикроструктурные структуры, образующиеся в стали 09Г2С при холодном РКУ прессовании в сочетании с низкотемпературным отжигом, обеспечили технически значимое улучшение комплекса эксплуатационных свойств: прочности (до 3 раз), сопротивления хрупкому разрушению (при комнатной температуре ударная вязкость *KCV* повысилась в ~3 раза, при –40 °С сохранилась неизменной) и износу (массовый износ и интенсивность изнашивания снизились более чем в 2 раза).

Исследования выполнены при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований президиума РАН (проект 7.3).

Список литературы

1. Яковлева С.П., Махарова С.Н. Механические свойства стали 09Г2С при низкотемпературном отжиге после холодного равноканального углового прессования // Изв. Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12, № 1. – С. 589-591.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА МАТРИЦЫ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ АЛМАЗОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ВЗРЫВНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

Яковлева С.П., Махарова С.Н., Васильева М.И.
*Институт физико-технических проблем Севера им.
В.П. Ларионова СО РАН, Якутск,
e-mail: s.p.yakovleva@iptpn.yasn.ru*

Важной задачей при изготовлении алмазо-содержащих материалов для рабочих элементов алмазного инструмента является выбор связующего материала, который должен иметь определенные вязкоупругие и пластические свойства, обеспечивающие оптимальную его износостойкость и жесткость закрепления зерен алмаза в связке при ведении обработки. В данной работе представлены результаты исследования износостойкости алмазometаллических композитов (АМК), полученных взрывным прессованием (ВП) с последующей термообработкой (ТО), при изменении состава матрицы.

Возможности ВП для создания АМК связаны с экстремальностью процессов, протекающих при высоких давлениях, скоростях, температурах, когда в результате практически мгновенного высокоинтенсивного воздействия на порошки происходят их уплотнение, нагрев и деформирование, сопровождающиеся контактообразованием между частицами. В ИФТПС им. В.П. Ларионова СО РАН разработана технология получения износостойких АМК при ударно-волновом прессовании с последующей ТО смесей порошков природного алмаза и относительно дешевых порошков сплавов на основе железа [1-2]. Научные основы технологии базируются на следующих факторах: интенсивное упрочнение компонент металлической матрицы при ТО после ударно-волнового формования; возможность обеспечения лучшей сохранности алмазной компоненты, чем при традиционных способах спекания; высокое алмазоудержание. Было выявлено, что происходящая на стадии взрывного формования высокоскоростная деформация порошков железоуглеродистых сплавов дает возможность целенаправленно воздействовать на их структуру и свойства (вследствие определенной «активации» порошковых частиц) при ТО, в результате чего твердость порошков значительно повышается. Кроме того, высокая энергетическая активность контактных участков способствует ускорению диффузионных процессов при спекании. Это позволило разработать составы двухкомпонентных матриц, сочетающих легкодеформируемые и высокопрочные порошки железоуглеродистых сплавов. Благодаря присутствию легкодеформируемой компоненты обеспечиваются монолитность прессовок и лучшая сохранность алмазной компоненты при воздействии взрыва. При

ТО происходит упрочнение обеих компонент, но упрочнение «мягкой» компоненты происходит более интенсивно: твердость увеличивается в 2...3 раза и более. Технология позволяет дифференцированно регулировать прочность компонент матрицы для повышения ее твердости при сохранении необходимой пластичности.

Матрица опытных АМК представляла собой смесь порошков с различной твердостью – ПХ18Н9Т (относительно мягкий порошок нержавеющей стали) и ПГ-ФБХ6 (износостойкий порошок повышенной твердости для напыления) с объемной долей алмазов 2%. В составе матрицы варьировали процентное содержание порошка ПХ18Н9Т от 20 до 40%. Для экспериментов по взрывному компактированию была выбрана цилиндрическая схема нагружения. Испытания на износостойкость проводились для АМК, полученных ВП при различных технологических условиях (при различной мощности заряда взрывчатого вещества). Также для сравнения проведен анализ износостойкости алмазных правящих карандашей аналогичных типоразмеров, изготовленных промышленным способом по ГОСТ 607-80: тип 04, исполнение

А, весовая группа алмазов 500/400 каратов, объемная доля алмазного сырья 5% (примерно в 2,5 раза выше, чем у экспериментальных АМК).

Торцевые части испытывавшихся образцов и карандашей истирались плоской поверхностью равномерно вращающегося круга при скоростях скольжения 0,61; 0,87 м/с и постоянной осевой нагрузке 5 Н. Определяли весовой износ образцов после прохождения равных промежутков пути трения.

Сравнительные испытания позволили выбрать предпочтительные составы, режимы ВП и ТО, обеспечившие получение образцов АМК с износостойкостью, соответствующей износостойкости промышленных алмазных карандашей, но при вдвое меньшем расходе алмазного порошка.

Список литературы

1. Larionov V.P., Yakovleva S.P. Diamond and Metallic Composites (DMC) for Tool Making // Materials for Nontraditional System of Energy Generation, Storage and Saving (General Assembly and Fourth APAM Topical Seminar). – September, 3-5, 2000, Seoul National University, Seoul. – Korea. – P. 38-47.
 2. Ларионов В.П., Яковлева С.П., Махарова С.Н., Васильева М.И. Получение алмазметаллических композиций взрывным прессованием // Химическая технология. – 2000. – №2. – С. 12-16.

Физико-математические науки

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ (2,1)-МЕТОДА ПЕРЕМЕННОГО ШАГА

Ващенко Г.В.

Сибирский государственный технологический университет, Красноярск, email: algo_v@mail.ru

Предложен параллельный алгоритм переменного шага на основе (2,1)-метода. В предлагаемом параллельном алгоритме изменение величины шага построено на основе контроля точности численной схемы.

В настоящее время одним из основных параметров, характеризующих эффективность использования вычислительной техники в науке и технологии, являются математические модели и численные методы, применяемые при создании программ для реализации исследований и расчетов по этим моделям. Моделирование процессов во многие важных приложениях приводит к необходимости численного решения задачи Коши для умеренно жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений [1, 2].

Рассматривается задача Коши для автономной системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка

$$y' = f(y), \quad y(t_0) = y_0, \quad t_0 \leq t \leq t_k, \quad (1)$$

где $y: [t_0, t_k] \rightarrow R^N, f: [t_0, t_k] \times R^N \rightarrow R^N, [t_0, t_k]$ – отрезок интегрирования. Для численного решения (1) применим схему (2,1)-метода

$$y^{(n+1)} = y^{(n)} + p_1 K_1^{(n)} + p_2 K_2^{(n)}, \quad (2)$$

$$D_n = E - ah_n f'_n, \quad D_n K_1^{(n)} = h_n f_n$$

$$D_n K_2^{(n)} = K_1^{(n)}$$

где коэффициенты a, p_1 и p_2 определяют свойства точности и устойчивости схемы (2), h – шаг интегрирования, $f'_n = \partial f(y_n) / \partial y$ – матрица Якоби системы (1). Будем считать, что (1) имеет единственное решение. Пусть известны условия для контроля точности вычислений, именно $p_1 + p_2 = 1$ и $ap_1 + 2ap_2 = 0,5, a = 1 - 0,5\sqrt{2}$. Изменение величины шага основано на оценке локальной ошибки δ_n . Учитывая соотношение, $\delta_n = \|K_1^{(n)} - K_2^{(n)}\| = O(h^2)$, новый шаг h_{new} определяем по формуле $h_{new} = qh$, где значение q находится из уравнения $q^2 \|\delta_n\| = \epsilon$. Если $q < 1$, то осуществляем повторное вычисление решения с шагом $h = h_{new}$. При $q > 1$ выполняем следующий шаг интегрирования с шагом h_{new} . Введем функции $Par_LU_Decompos()$, $Par_LU_Solution()$, реализующие декомпозицию матрицы D_n и нахождение векторов $K_1^{(n)}, K_2^{(n)}$. Для контроля точности численной схемы (2) введем функцию $accr_control()$, для выполнения которой назначим процессор $proc(1)$. Параллельный алгоритм вычисления приближенного решения $y^{(n+1)}$ переменного шага формулируем следующим образом.

Алгоритм. Пусть для численного решения системы (1) используется (2.1)-метод с контролем точности, и известно решение $y^{(n)}$ в точке t_n с шагом h_n . Тогда для получения значения $y^{(n+1)}$ в точке t_{n+1} справедлив параллельный алгоритм, в