

ABSTRACT

Purpose. Development of the structure, functioning algorithms and mathematical model of a control system for the formation of multicomponent portions of charge for downloading into the blast furnace to increase the capacity of a blast furnace and reduce the specific consumption of coke.

The methodology of research consists on simulation methods, which were used to test the developed control system for the formation of multicomponent portions of charge on a computer.

Findings. It is indicated that increase of efficiency of functioning of blast furnaces maybe to creation of control system of forming multicomponent (mixed) portions of charge before loading in a stove. It is shown that the functioning control system is possible only if reliable means of measuring geometric parameters portions, adequate value depending on the area of costs outlet funnel weight, and the algorithm of the system in conjunction with current information of the process of mixing.

The originality. The algorithm of the system considering the location specified components, their ratio in portions, total volumetric productivity of conveyor, variable geometry unloaded material in conjunction with current information of the process of mixing. Found that developed control system allows the formation of mixed portions form a portion of any structure that is defined by the operator using timely information on the process of mixing.

Practical implications. The results of the work can be used in the design and development of systems for automatic control of blast furnace batching.

Keywords: automation, batch, multi-batch, control system, metering, model

УДК 537.534.9:621.787:538.971

© Ю.В. Савченко

ИМПУЛЬСНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ЛОМА ГЕТЕРОГЕННЫХ ТВЁРДЫХ СПЛАВОВ

© Iu. Savchenko

IMPULSE MODIFICATION OF SECONDARY BAR OF HETEROGENEOUS SOLID ALLOYS

Исследовано поверхностное структурообразование в материалах при воздействии высокоэнергетических импульсов в твёрдом сплаве WC- Co. Открыто влияние ударно-волновой обработки на морфологию поверхности и структуру материала. Структурные изменения как результат влияния уровня излучения, позитивно влияют на изнашивание и сопротивление изгибу твердых сплавов.

Досліджено поверхневе структуроутворення в матеріалах при впливі високоенергетичних імпульсів у твердому сплаві WC- Co. Відкрито вплив вибуховолнової обробки на морфологію поверхні і структуру матеріалу. Структурні зміни як результат впливу рівня випромінювання, позитивно впливають на зношування й опір вигину твердих сплавів..

Определение научной проблемы и ее значение.

Впервые в мире разработана промышленная высокоэффективная технология производства режущего, разрушающего и формообразующего инструмента из вольфрамокобальтовых и вольфрамоникелевых сплавов путём прямой регенерации вторичного сырья без использования термохимических и металлургических методов [1].

Технология принципиально отличается от существующих высокими технико-экономическими показателями, производительностью, малой энергоёмкостью и экологической чистотой.

Поверхностное структурообразование в материалах при воздействии высокоэнергетических импульсов происходит за счет комплекса модифицирующих эффектов, обусловленных термическими, термомеханическими и диффузионными явлениями [2]. Наряду с указанными факторами, формирование структурно-фазовых состояний в значительной степени определяется и структурными особенностями обрабатываемого материала.

Исследование образцов проводилось с помощью растрового электронного микроскопа с возможностью рентгеновского микроанализа РЭММА 202-М. В основе исследований лежат физические закономерности взаимодействия пучка электронов с высокой энергией и атомов исследуемого материала.

Для получения изображения поверхности образца использовали детектор вторичных электронов. Контраст изображения во вторичных электронах получается вследствие изменения выхода количества вторичных (низкоэнергетических) электронов с поверхности и их траекторий при переходе от одной точки образца к другой. Изменение наклона поверхности всего лишь на несколько градусов обычно бывает достаточным для того, чтобы вызвать заметное изменение яркости изображения. Это позволяет детально изучать структурные элементы поверхности образцов с большой разрешающей способностью и глубиной резкости.

Химический анализ порошка проводили с помощью энергодисперсионного анализатора (ЭДАР). Анализировалось характеристическое рентгеновское излучение с эталона и образца и по методике количественного электронно-зондового анализа ZAF определялось их процентное соотношение. Методика ZAF (методика трех поправок) представляет собой отношение функции эталона к функции образца с поправками: на атомный номер, на поглощение и флуоресценцию.

Анализ исследований проблемы и публикации.

Если некоторый объём гетерогенного твёрдого тела подвержен быстронапряжённому состоянию за пределами прочности материала, то разрушение носит множественный характер и сопровождается образованием осколков самых различных форм и размеров. Такое разрушение имеет место при ударе и взрыве.

Цели и задачи статьи.

Исследование влияния режимов высокоэнергетической обработки ударными волнами на пространственно-временное распределение поля температур,

элементный состав, морфологию поверхности и механизмы формирования структуры приповерхностных слоев сплава WC-Co, а также изменение служебных характеристик модифицированного материала.

Изложение основного материала.

В образцах имеются области, различающиеся по химическому составу. При последовательном сканировании электронного луча по образцу эти области отражают электроны с высокими энергиями и с помощью детектора формируют изображение за счет контраста отражения, зависящего в основном от атомного химического элемента. Коэффициент отражения электронов увеличивается с возрастанием атомного номера. Если исследуемая область является сплавом различных элементов, то эффективный коэффициент отражения равен усредненному коэффициенту отражения чистых элементов.

При регистрации сигнала с исследуемого образца и последующей обработке добиваются, чтобы на экране Электронно-Лучевой Трубки (ЭЛТ) элемент с самым высоким атомным номером (или фаза с самым высоким коэффициентом, усредненным с весовыми коэффициентами) выглядел белым, а самым низким атомным номером - черным, а с промежуточными значениями - соответствовал бы разным градациям серого.

Структурно-фазовые превращения, происходящие в поверхностных слоях гетерофазных материалов при высокоэнергетической обработке ударными волнами генерируемых детонацией взрывчатых веществ, которая распространяется по нормали к обрабатываемой поверхности, что приводит к существенному изменению их физико-механических свойств, определяются динамикой возбуждаемых в материале тепловых полей и волн механических напряжений.

Вследствие высокого градиента температур и термомеханических напряжений в образце происходит образование каскадов смещенных атомов и большой концентрации дефектов структуры, что является причиной наблюдаемых сегрегационных явлений и интенсивных диффузионных потоков атомов примеси. На рис.1 представлены концентрационные профили атомов углерода (кривые 1-3) и вольфрама (кривые 5-7) в твердом сплаве ВК8 до (пунктирные кривые) и после воздействия одним (кривые 2, 6) и тремя (кривые 3, 7) импульса высокоэнергетического нагружения.

Для расчета термомеханических характеристик обрабатываемого материала численно решали систему уравнений, содержащую: 1) кинетическое уравнение, описывающее перенос ионов в веществе; 2) уравнения механики сплошной среды; 3) уравнение для внутренней энергии с учетом эффекта теплопроводности среды; 4) широкодиапазонное уравнение состояния. Используя численную схему Уилкинса для одномерного (плоского) случая, проведены расчеты термомеханических характеристик твердых сплавов (рис. 2). В результате моделирования установлено, что для значения, например $E_s = 1.2 \text{ Дж/см}^2$, максимальное по модулю термоупругое напряжение может достигать значения 2.7 МПа; максимальная температура поверхности образца - 3420 К; максимальные скорости нагревания и охлаждения, соответственно,

$1.37 \cdot 10^{11}$ К/с и $1.09 \cdot 10^{11}$ К/с; глубина проплавления - 0,07 мкм; время нахождения образца в расплавленном состоянии - 7,5нс; средняя скорость движения фронта расплава - 18 м/с.

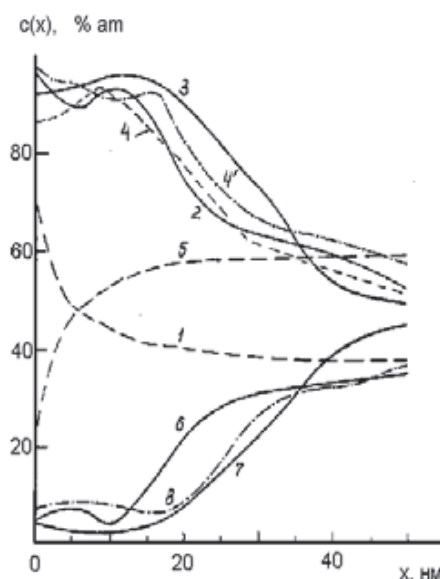


Рис. 1. Концентрационные профили углерода и вольфрама до и после высокоэнергетической обработки ударными волнами

Для описания сегрегационных явлений в сплаве ВК8 при воздействии мощного импульса исходили из уравнения массопереноса с учетом градиентов температуры и давления [2]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{k_1}{T} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{k_2}{T} \frac{\partial P}{\partial x} \right) \right] \quad (1)$$

с граничными и начальными условиями

$$\frac{\partial C(0, t)}{\partial x} = 0, \quad C(b, t) = C_0; \quad C(x, 0) = \phi(x), \quad (2)$$

где $C(x, t)$ -концентрация атомов на глубине x в момент времени t ; D - коэффициент диффузии; T - температура, P - давление; k_1 и k_2 - термо- и бародиффузионные отношения. Функция $\phi(x)$ описывает начальный концентрационный профиль до воздействия высокоэнергетичного импульса; b - координата задней поверхности образца; C_0 - константа. Специфику ударного воздействия исследовали используя выражение для давления в виде солитонного профиля:

$$P(x, t) = P_0 \operatorname{ch}^{-2} \frac{(x - s(t - \tau))}{x_0}. \quad (3)$$

где P_0 - амплитуда давления; x_0 - полуширина импульса; s - скорость его распространения; τ - время задержки импульса.

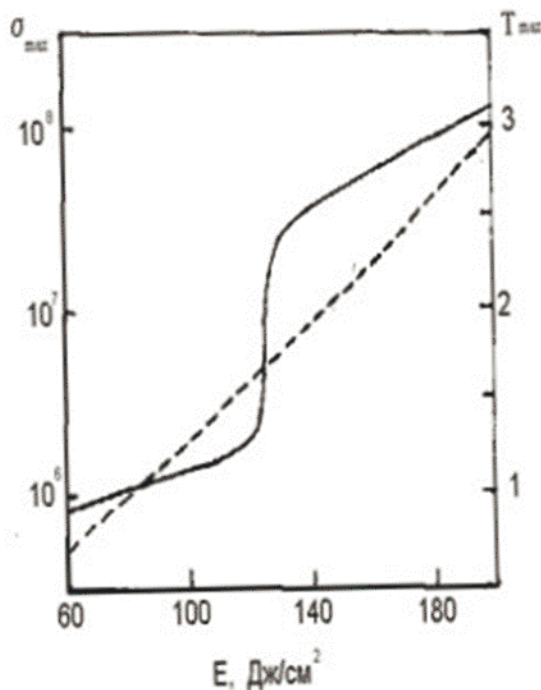


Рис. 2. Зависимость максимального уровня напряжения 1) и максимальной скорости нагрева 2) сплава WC-Co от энергии УВ

Сформулированная краевая задача 1-3 решалась численно конечно-разностными методами совместно с уравнением теплопроводности. Коэффициент диффузии D и характеристики импульса (P_0 , x_0 , s) в расчетах выступали в качестве варьируемых параметров, значения которых определялись из визуального сопоставления измеренных и рассчитанных концентрационных профилей. Коэффициенты термо- и бародиффузионных отношений оценивались по алгоритму работы [3]. Чтобы описать немонотонный ход наблюдаемых концентрационных кривых, в формуле (3) в экспоненту включили время задержки импульса τ . Это обусловлено тем фактом, что при воздействии импульсом УВ при больших плотностях энергии в зоне обработки происходит испарение материала. При этом наряду с эффектом термоупругости вклад в формирование волн напряжения вносит импульс отдачи.

Испарение начинается лишь по мере достижения температуры кипения, а не сразу с момента действия импульса. Приведенные на рис.1 теоретические кривые для атомов углерода (4 - для одного нагружения, 4' - для трех) и вольфрама (8 - три нагружения) соответствуют моменту времени полного затвердевания образца (60 нс) и следующим значениям параметров: коэффициент диффузии атомов углерода $0.0002 \text{ см}^2/\text{с}$, атомов вольфрама - $0.005 \text{ см}^2/\text{с}$, амплитуда давления $\pm 10 \text{ ГПа}$ (положительный знак - для атомов углерода, отрицательный - для вольфрама); скорость распространения импульса 6 км/с . Из сопоставления модельных расчетов с экспериментальными данными следует, что значения коэффициентов диффузии атомов в сплаве при

воздействии импульса на 9 порядков больше, чем при непрерывном режиме термообработки.

На основании проведенных исследований можно предполагать, что перенос атомов в твердом сплаве при воздействии УВ вызван, главным образом, градиентом температуры, а немонотонный характер концентрационных профилей распределения атомов в образце после обработки - градиентом давлений. Источником возбуждения волн напряжений при плотностях энергии $E_s < 0.9 \text{ Дж/см}^2$ является эффект термоупругости, вызванный резким расширением разогретого до высоких температур тонкого поверхностного слоя, а при $E_s > 0.9 \text{ Дж/см}^2$ - импульс отдачи, обусловленный сублимацией материала в зоне обработки и последующим разлетом паров.

Интенсивное термическое воздействие при плотностях энергии более 0.9 Дж/см^2 приводит к заметным морфологическим изменениям поверхности твердых сплавов, в результате чего происходит образование рельефных поверхностных структур, характеризующихся наличием кратеров и кратерных образований, размеры и форма которых зависят от плотности энергии и количества импульсов обработки (рис. 3).

Исследование закономерностей морфологических изменений позволяет отметить, что повышение интенсивности высокоэнергетического воздействия способствует увеличению масштаба модификации от кристаллического до зеренного. Это проявляется через взаимное растворение, связывание зеренных конгломератов с образованием соединений по типу $\text{Co}_x\text{W}_y\text{C}_z$ и $\text{Co}_x\text{W}_y\text{O}_z$.

В случае использования сильных УВ наблюдаются аналогичные морфологические изменения поверхности.

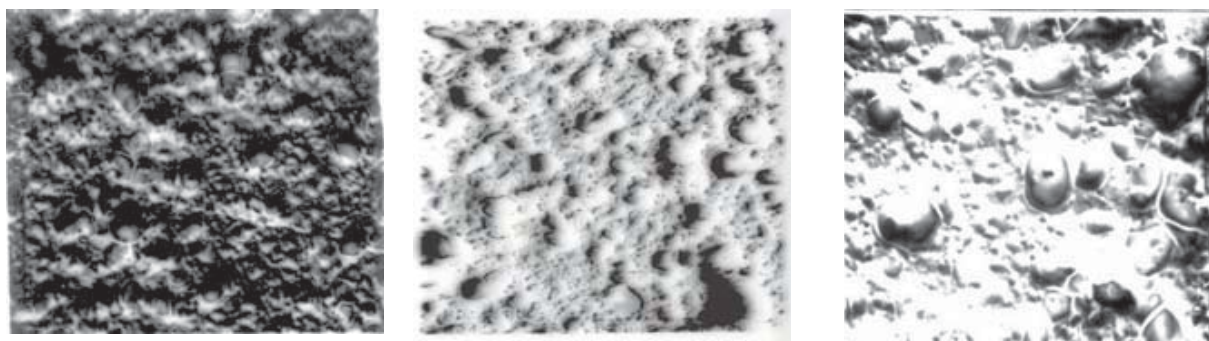


Рис. 3. Морфология поверхности сплава системы WC-Co после обработки высокоэнергетичной УВ

При плотности энергии импульса $E_s = 0,8 \text{ Дж/см}^2$ хорошо выявляется структура материала (на фоне карбидных зерен видны темные участки кобальтовой связки, средний размер зерен карбида WC составляет мкм). При $E_s = 1 \text{ Дж/см}^2$ квазистатические термоупругие напряжения в поверхностном слое возрастают настолько, что приводят к смещению зерен WC относительно друг друга и образованию характерного рельефа. Наблюдаются также признаки оплавления вершин многогранников кристаллов WC, что свидетельствует о дополнительном растворении в нем кобальта (рис. 4). С увеличением E_s до 2

Дж/см² этот процесс усиливается, а начиная с $E_s = 2,7$ Дж/см², происходит интенсивное переплавление поверхностного слоя, сопровождающееся образованием микрократеров диаметром до 2.5 мкм (в местах расположения Co) и протяженных микротрещин. Наблюдается также фрагментация кобальтовой связки с образованием различного рода микродефектов. При $E_s = 2$ Дж/см² зафиксировано появление новой фазы на границе карбидного зерна и кобальтовой прослойки.

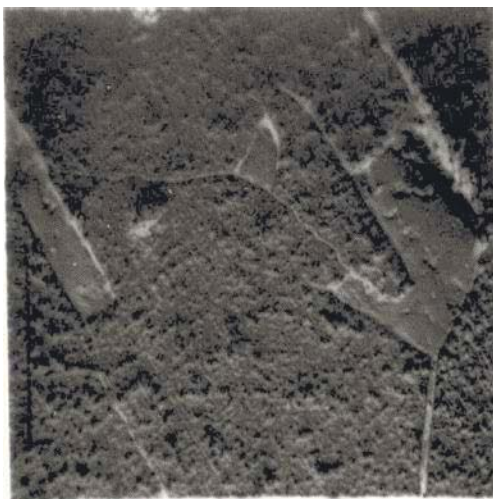


Рис. 4. Фрактограмма излома сплава системы WC-Co разрушенного высокоэнергетическими УВ

Установленные структурно-фазовые изменения в приповерхностных слоях твердых сплавов при воздействии высокоэнергетических импульсов обусловлены следующими эффектами:

1. Размытием межфазных границ WC-Co, (практически с полным их исчезновением в случае тонких межзеренных прослоек), образованием зеренных конгломератов;

2. Слиянием границ зерен WC на участках их большой протяженности (связанности);

3. Образованием интерметаллидных химических соединений по типу $Co_xW_yC_z$ и $Co_xW_yO_z$.

Максимальная температура при наибольших плотностях энергии (скоростях детонации) может достигать температуры плавления фазы лишь в тонких (до 1 мкм) приповерхностных слоях, существенно меньших, чем размер зеренных конгломератов.

Экспериментально наблюдаемые зеренные конгломераты имеют преимущественно диффузионную природу и характеризуются неоднородностью химического состава по сечению. Неоднородность состава конгломератов является следствием пресыщения твердых растворов и образования новых интерметаллидных фаз. В центрах карбидных зерен по-прежнему остается фаза. Поскольку в результате указанных процессов

отсутствуют ярко выраженные границы раздела фаз, образования выглядят как единые конгломераты.

Формирование подобных структур оказывает существенное влияние на изменение их физико-механических свойств.

Выводы и перспективы дальнейших исследований.

Установлено, что воздействие высокоэнергетической обработки ударными волнами на твердый сплав сопровождается сильно неоднородным разогревом приповерхностных слоёв и вызывает усиленный массоперенос с коэффициентами диффузии, превышающими на 8 порядков коэффициенты диффузии при обычной термической обработке материалов. Обработка ударными волнами приводит к существенным морфологическим, структурным и фазовым изменениям поверхностных слоев сплава; образованию кратеров, форма и размеры которых зависят от параметров импульсов, гомогенизации поверхности в результате оплавления и взаимного растворения фазовых составляющих, а также образованию интерметаллидных соединений. В случае использования импульсов большой мощности на границе WC-Co отмечено появление новой фазы $\text{Co}_3\text{W}_9\text{C}_4$. Совокупность структурных превращений приповерхностных слоев в результате обработки оказывает влияние на изменение физико-механических свойств сплавов системы WC-Co, что свидетельствует о возможности направленной модификации инструментальных материалов для решения технологических задач.

Перечень ссылок

1. Iu. Savchenko, A. Gurenko, O. Naumenko. Cutting-edge industrial technology of mining tool manufacturing - Mining of Mineral Deposits. - Vol 10 (2016), 4, pp. 105-110
2. Погребняк А.Д. Модификация свойств металлов под действием мощных ионных пучков/ Погребняк А.Д., Ремнев Г.Е., Чистяков С.А., Лигачев А.Е. // Изв. вузов. Физика. 1987. № 1. С. 52-65.
3. Асаинов О.Х. Моделирование конечно-разностными методами уравнение теплопроводности / Асаинов О.Х., В.П. Кривобоков, А.Е. Лигачев, Г.А. Сапульская // Физика и химия обработки материалов. 1987. № 2. С.53.

ABSTRACT

Purpose. The influence of the high-energy processing modes by impact waves on the space-time distribution of the temperature field, the elemental composition, the surface morphology and mechanisms of the formation of the structure of the near-surface layers of the WC-Co alloy, as well as the change in the performance characteristics of the modified material.

Methods. The samples were analyzed by means of a scanning electron microscope with the possibility of X-ray microanalysis of REMMA 202-M. The research is based on physical regularities of the interaction of a high-energy electron beam and the atoms of the material being studied. A secondary electron detector was used to obtain an image of the sample surface. The chemical analysis of the powder was carried out using an energy-dissipation analyzer (EDAR). The characteristic X-ray radiation from the standard and the sample was analyzed, and the percentage ratio was determined by the method of quantitative electron-probe analysis of ZAF. The ZAF method (the three-correction technique) is the ratio of the reference function to the sample function, with corrections: atomic number, absorption and fluorescence.

Findings. The investigation of thermal and diffusion processes in the near surface layers of the alloy WC-Co was carried out. The influence of the irradiation on the morphology of surface and structure of the mate-rail is investigated. It was discovered that the structural changes as an effect of the irradiation render positive influence on the wear and tear resistance of solid alloys.

Originality. Fundamental way of shock wave treatment to stimulate destruction of powder product of any configuration in order to obtain a high-quality powder for further formation, sintering and tool manufacturing of multiple use is demonstrated; ecologically friendly technology of hard alloys and cermet components of outdated military hardware and ammunition recycling has been developed.

Practical implications. It is established that the effect of high-energy processing by shock waves on a hard alloy is accompanied by a highly inhomogeneous heating of the near-surface layers and causes an enhanced mass transfer with diffusion coefficients exceeding by diffusion factors by 8 orders of magnitude during conventional heat treatment of materials. Treatment with shock waves leads to significant morphological, structural and phase changes in the surface layers of the alloy; the formation of craters, the shape and size of which depend on the parameters of the pulses, the homogenization of the surface as a result of fusion and mutual dissolution of the phase constituents, as well as the formation of intermetallic compounds.

Keywords: *tungsten, cobalt, tool, hard alloy, metal ceramics, recycling, heterogeneous medium*

УДК:669.162.215

© А.Н. Селегей, В. И. Головко, М.А. Рыбальченко,
И.Г. Тригуб, И.А. Маначин.

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗАГРУЗКИ ШИХТЫ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ

© A.Selegej, V. Golovko, M. Rybal'chenko,
I. Trigub, I. Manachin

THEISSUE OF THE INFORMATION MODEL BATCH CHARGING INTO THE BLAST FURNACE

В статье рассмотрены актуальные вопросы движения шихтовых материалов по элементам загрузочных устройств доменных печей. Проведен анализ существующих методик теоретического определения кинематических характеристик движения шихты; указаны их достоинства и недостатки. Выявлено, что существующие методики не могут учитывать в необходимой мере ряд важных параметров шихтовых материалов, которые, исходя из практики, коррелируются с кинематикой движения. Материалы работы могут быть использованы при разработке новых и оптимизации существующих методов подачи шихты в рабочее пространство доменной печи с широкими возможностями коррекции и рационализации технологических операций.