

Л.Ф. БИЛЕНКО, д-р техн. наук, гл. научн. сотр.,
ОАО «НПК «Механобр-техника», Санкт-Петербург, Россия

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОСТИ РАСКРЫТИЯ МИНЕРАЛОВ В ПРОЦЕССАХ ПОДГОТОВКИ РУДЫ К ОБОГАЩЕНИЮ

Физической основой рациональной организации процессов подготовки руд к обогащению является селективность дезинтеграции. Повысить селективность разрушения руд без увеличения ошлавливания можно наведением в кусках измельчаемой руды сети зародышевых трещин по плоскостям сростания минералов. Достигается это рациональным ведением горных работ (увеличение расхода взрывчатых веществ, уменьшением сетки скважин, регулированием скорости взрыва и т.п.), а также предварительным разупрочнением руды перед подачей в мельницу, например, с использованием электроимпульсных воздействий или дроблением руды в слое кусков. Приведены примеры обогащения исходной и разупрочненной руды. Повышается качество концентрата на 30 % относительных, а извлечение на 8 % абсолютных. Разупрочнение руды приносит существенную выгоду народному хозяйству.

Известно, что показатели извлечения полезных компонентов из руды и качество получаемых концентратов напрямую зависят от качества подготовки руды перед обогащением, от полноты раскрытия сростков минералов с пустой породой.

Теоретические исследования и богатый опыт промышленности позволяют утверждать, что физической основой рациональной организации процессов дробления и измельчения применительно к задачам обогащения руд является селективность дезинтеграции. То обстоятельство, что традиционные способы дробления и измельчения, применяемые при обогащении полезных ископаемых, по своей физической организации являются процессами неселективного разрушения, всегда отрицательно сказывалось на технологических и технико-экономических показателях работы фабрик. При переработке крупно- или мелковкрапленных руд это обстоятельство не имело решающего значения. При массовом же вовлечении в эксплуатацию месторождений бедных, сложных по составу, тонковкрапленных руд к проблеме колоссальных энергетических затрат на рудоподготовку добавились проблемы переизмельчения рудных минералов с одновременным неполным раскрытием их сростков с породой, что стало основной причиной потерь

металлов на обогатительных фабриках. В связи с этим технологами постоянно предпринимаются попытки найти варианты схем в рамках существующих технологий рудоподготовки, позволяющие снизить указанные потери за счет более селективного раскрытия минералов.

В настоящее время все более актуальной становится задача разработки новых ресурсосберегающих технологии дезинтеграции, а также новых перспективных машин, обеспечивающих селективное раскрытие минералов и более тонкое измельчение горнорудного сырья.

На основе анализа современных положений физики твердого тела, экспериментальных исследований сопротивляемости разрушению как отдельных компонентов рудного сырья, так и зон срастания, в институте «Механобр» были разработаны основные принципы рациональной организации раскрытия минеральных сростков при подготовке рудного сырья к обогащению.

Наиболее плодотворными явились: в сложных поликомпонентных рудах обеспечение селективного раскрытия сростков возможно при предварительном разупрочнении связей в зонах контакта; необходимость приложения к разрушаемому материалу на разных стадиях разрушения дозированных по величине нагрузок; в целях снижения шламообразования нагрузка должна выбираться по сопротивляемости более слабого компонента.

Руководствуясь указанным подходом к проблеме совершенствования рудоподготовки, в ОАО «НПК «Механобр-техника» разработали основные направления интенсификации процессов измельчения, а также подготовки сырья к последующим обогатительным и металлургическим переделам.

Существуют два метода разупрочнения:

- создание сети трещин в зонах контакта при взрывной отбойке горной массы;
- создание сети трещин в зонах контакта при электроимпульсном воздействии на перерабатываемую руду.

Важным условием обеспечения селективности раскрытия минералов является организация предварительного разупрочнения руды на ранних стадиях рудоподготовки, до операций дробления и измельчения. При ведении горных работ энергия взрыва стала использоваться не только для отделения руды от массива, но и для разупрочнения кусков отбитой руды. Достигается это за счет некоторого увеличения расхода взрывчатых веществ, изменения расположения зарядов (сетки скважин) и кинетики взрыва. При

этом часть энергии взрыва расходуется не на образование новой поверхности, а на создание сети зародышевых трещин внутри отбитых кусков. В результате разупрочнения взрывом резко увеличивается эффективность последующих процессов дробления и измельчения, причем раскалывание руды идет уже по ослабленным местам, преимущественно по плоскостям срастания минералов [1].

Промышленные испытания интенсифицированной взрывной отбойки на предприятиях цветной металлургии дали положительные результаты. Исследования, выполненные ОАО «Механобр-техника» на одном из месторождений медных порфириновых руд, показали, что увеличение расхода взрывчатых веществ на 40 % по сравнению с обычной практикой взрывной отбойки позволяет:

- снизить средневзвешенный размер взорванной массы на 12,6 %;
- повысить производительность экскавации руды в карьере на 8 %;
- повысить производительность дробилки крупного дробления на 21 %, а узла среднего дробления – на 18 %;
- улучшить дробимость руды на 10 %, а измельчаемость руды – на 7,6 % .

Реализация способов интенсификации взрывной отбойки железистых кварцитов позволяет увеличить производительность экскаваторов на погрузке отбитой горной массы на 10 – 15 %, дробилок крупного дробления – на 15 – 20 %, среднего и мелкого дробления – на 3 – 5 %, мельниц – на 5 – 7 % и увеличить извлечение металла при обогащении на 1 – 1,5 %.

Важно отметить, что необходимая степень раскрытия зерен в руде, взорванной путем разупрочняющей отбойки, достигается при более грубом измельчении [2].

Идея предварительного разупрочнения реализуется и при организации на новых принципах стадий среднего и мелкого дробления руды с помощью электроимпульсного воздействия. Сущность электроимпульсного воздействия – длина ударной волны должна быть соизмерима с размерами зёрен минералов или, по крайней мере, с размерами кусков руды. В результате создаётся концентрация локальных напряжений в межзерновом пространстве. Такие условия реализуются при электрическом разряде в жидкости, где длительность возникающего импульса давления может быть на 1 – 2 порядка меньше длительности механического или взрывно-

го воздействия. Так для редкометальной руды крупностью 1,6 – 2 мм, получены следующие результаты [3].

На рис. 1 представлена зависимость среднего диаметра от интенсивности разупрочнения.

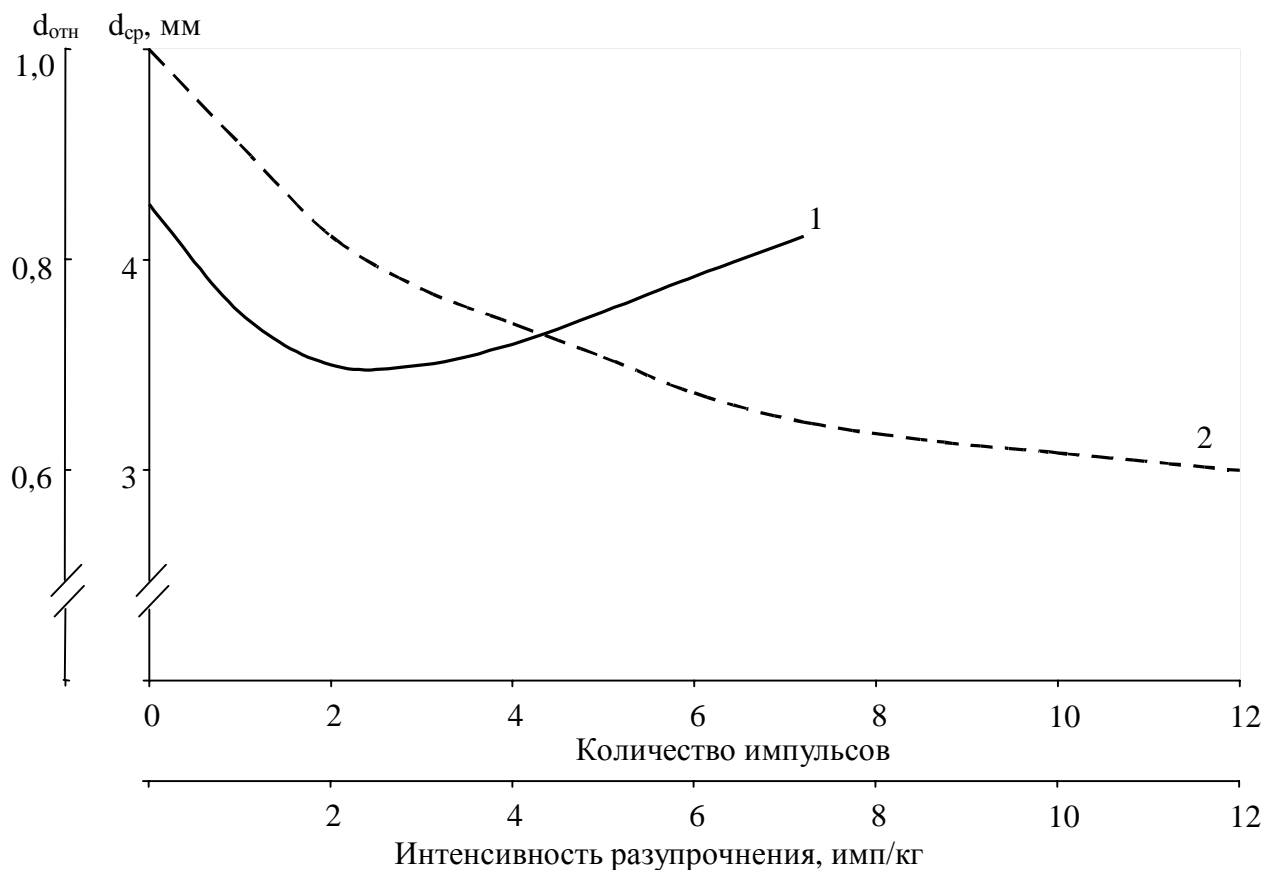


Рис. 1 – Изменение среднего (1) и относительного(2) диаметров частиц продуктов разрушения, соответственно на копре и в стержневой мельнице в зависимости от количества импульсов и интенсивности разупрочнения

После 1 – 3 импульсов средний диаметр снижается, что свидетельствует о снижении прочности кусков руды. При увеличении количества импульсов всё больше кусков разрушаются, однако, вследствие разрушения оставшихся на копре более прочных кусков, средний диаметр немного повышается.

На рис. 2 представлена кинетика измельчения разупрочнённой и исходной руд.

Из рисунка видно, что разупрочнённая руда измельчается значительно быстрее исходной. Независимо от режима измельчения предварительное разупрочнение руды обеспечивает увеличение извлечения полезного компо-

нента в черновой концентрат не менее, чем на 10 %, по сравнению с обогащением исходной руды [3].

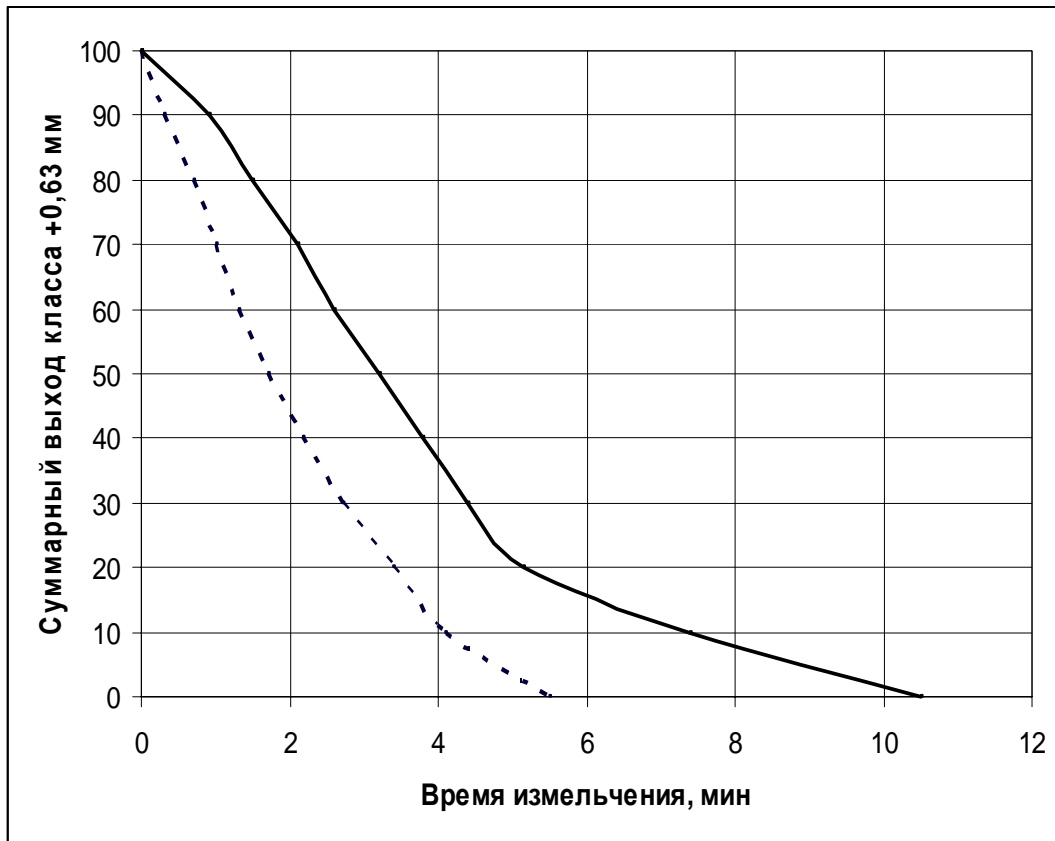


Рис. 2 – Кинетика измельчения разупрочнённой (-----) и исходной руды (—).

Развитие рудоподготовительного передела идет по пути определенного упрощения операций дробления – измельчения в технологических схемах. Основные направления этих изменений – уменьшение числа операций за счет использования аппаратов с высокой степенью сокращения крупности при повышенной единичной производительности, все расширяющееся применение эффекта разрушения руды кусками той же руды, разработка и внедрение систем разупрочнения сырья в ходе проведения рудоподготовки.

В первую очередь следует отметить продолжающиеся работы по переносу объемного разрушения из более энергоемких циклов измельчения в менее энергоемкие циклы дробления, то есть снижение крупности питания мельниц. При этом не только повышается производительность мельниц и снижается общий расход энергии на сокращение крупности руды, но и повышаются технологические показатели обогащения за счет сосредоточения полезных компонентов в эффективнообогащаемых классах и уменьшения

потерь при флотации как во фракциях крупнее 0,15 мм, так и в шламовых фракциях.

Указанное направление можно рассматривать и как вариант обеспечения дозированных разрушающих нагрузок. Создание в ОАО «НПК «Механобр-техники» конусных инерционных дробилок КИД позволило получать в открытом цикле дробленый продукт крупностью менее 14 (12) мм, или средневзвешенной крупности 6 мм. Такое питание мельниц обеспечивает повышение селективности измельчения сростков минералов с пустой породой [4].

Конусные и щековые дробилки по принципу действия являются наименее подходящими машинами для макроселективного раскрытия, поскольку жесткая кинематическая схема не позволяет регулировать дробящие усилия. Более селективно высвобождение минеральных зерен осуществляется в дробилках ударного действия.

Рассматривая процесс разрушения твердого тела ударным способом, следует отметить, что в момент удара в нем возникает сложное поле напряжений и деформаций, способствующее селективной дезинтеграции. Динамический характер нагружения при высокоскоростном ударе, возможность свободного разрушения единичных кусков, а также немедленного вывода продуктов разрушения из рабочей зоны создают предпосылки для рациональной организации ударной дезинтеграции. Однако, существующие ударные дробилки, в частности молотковые, не могут обеспечить высоких скоростей удара. Поэтому были проведены исследования новых технологий и центробежного оборудования для дезинтеграции руд и материалов ударным способом.

Применение центробежных ударных дробилок для рудного сырья требует повышения их энергонапряженности, что сдерживается достигнутым пределом скоростей соударения. Поэтому повышение скоростей до 80 – 100 м/с позволит выйти на качественно новый уровень.

В НПО «Центр» (г. Минск) и ОАО «Новые технологии» (г. Санкт-Петербург) создан ряд центробежных дробилок с высокой скоростью летящего куска.

Проведены опыты по обогащению медной руды, подготовленной разными способами:

- дробление в центробежной дробилке с последующим сухим измельчением в шаровой мельнице до крупности 70 % класса -0,074 мм;

- дробление в центробежной дробилке с последующим мокрым измельчением в шаровой мельнице до крупности 70 % класса -0,074 мм;

- дробление в валковой дробилке, грохочение руды на грохоте на сетке 6 мм, возвращение класса +6 мм обратно на дробление и мокрое измельчение класса -6 мм в шаровой мельнице до крупности 70 % класса -0,074мм [1].

Минералогический анализ медной руды, измельченной до флотационной крупности, показал, что раскрытие минеральных сростков значительно лучше происходит при ударном разрушении (таблица).

Таблица – Влияние способа дезинтеграции медной алмалыкской руды на показатели раскрытия минеральных сростков

Способ дезинтеграции	Содержание свободных (раскрытых) зерен в минералах, %								
	Халькопирит			Пирит			Сфалерит		
	Анализируемые классы крупности, мм								
	>0,16	0,16 – 0,074	-0,045	>0,16	0,16 – 0,074	-0,045	> 0,16	0,16 – 0,074	-0,045
Ударное дробление и измельчение	80 – 95	98 – 99	100	85	99	100	50 – 55	95 – 97	100
Ударное дробление + шаровое измельчение	–	–	98	78 – 83	85	100	50	58 – 59	100
Дробление в щековых и конусных дробилках + шаровое измельчение	55 – 60	80 – 85	95 – 98	75	90	100	45	40 – 45	95

Содержание раскрытых сростков халькопирита в классе более 0,16 мм при ударном разрушении составляло от 80 до 95 %, в то время как при стандартном способе дезинтеграции оно снижалось до 55 – 60 %.

Содержание свободных (раскрытых) зерен пирита в классе крупности более 0,16 мм при ударном способе составляло 85 % против 75 % при стандартном разрушении.

Преимущество более селективного ударного разрушения наблюдалось и в других классах крупности пирита и сфалерита. При комбинированном способе (дробление в ударной дробилке, измельчение в шаровой мельнице) степень раскрытия сростков была ниже, чем при ударном, но выше, чем при стандартном способе дезинтеграции.

Проведенные исследования показали, что наиболее высокие результаты получены при флотации руды, подготовленной к обогащению ударным способом дезинтеграции. Концентрат содержал 16,5 % меди при извлечении 78,9 %, хвосты содержали 0,09 % меди. При обогащении руды, подготовленной к флотации стандартным способом (дробление в щековой, конусной и валковой дробилках и измельчение в шаровой мельнице), содержание меди в концентрате составляло всего лишь 10,6 % при извлечении 69,9 %.

Комбинированный способ (дробление в ударной дробилке и измельчение в шаровой мельнице) также обеспечил при флотации хорошие результаты. Содержание меди в концентрате составило 17,0 %.

Следует отметить, что в процессе ударного дробления в центробежной дробилке образовывались макро- и микротрещины на линиях срастания минералов, по которым происходило разрушение при измельчении в шаровой мельнице.

Другим направлением, обеспечивающим разупрочнение кусков руды перед измельчением является использование на последних стадиях дробления конусных инерционных дробилок (КИД) конструкции ОАО НПК «Механобр-техника». В этих аппаратах дробление руды осуществляется «под завалом» в слое кусков материала. При этом за счет вращения конуса частицы руды переворачиваются и постоянно перемешиваются.

Кроме раздавливания (сжатия) присутствуют также сдвиг, изгиб, сколы и т.п. В материале появляются остаточные трещины, концентрации напряжений, дислокации. Все это облегчает измельчение кусков руды при попадании в мельницу. Концентрация напряжений происходит в местах срастания минералов, что и обеспечивает повышенную селективность раскрытия минералов.

Опыты обогащения руды, подготовленной дроблением в КИД и измельчением в шаровой мельнице, дали примерно такие же результаты по раскрытию сростков и извлечению металла в концентрат, как и на материале, подготовленном с использованием центробежной дробилки.

Таким образом, комбинированный способ рудоподготовки позволяет более селективно подготавливать материал к флотации и получать более высокие показатели обогащения по сравнению со стандартным способом при той же тонине помола.

Поэтому на основании проведенных исследований в целях повышения эффективности рудоподготовки и последующего флотационного обогащения

следует рекомендовать комбинированную схему дезинтеграции, включающую мелкое дробление в КИДе либо в центробежных высокоскоростных ударных дробилках и последующее измельчение в шаровых мельницах.

Еще одним из направлений улучшения показателей цикла измельчения является изменения аппаратурного оформления цикла. На обогатительных фабриках в Алмалыке и Норильске вместо громоздких спиральных классификаторов были установлены в первой стадии измельчения барабанные грохоты со щелью 4 – 6 мм. Верхний продукт направлен в мельницу, а подрешетный продукт направлен во вторую стадию измельчения. В результате была увеличена производительность цикла на 25 – 30 %, резко снижено переизмельчение продукта и ошламование, повысилось качество концентратов. Это мероприятие будет весьма полезным на всех фабриках, где имеется измельчение руды в две стадии.

Список литературы: 1. *Биленко Л.Ф.* О предварительном разупрочнении при дезинтеграции руд и принципах селективного раскрытия минералов / *Л.Ф. Биленко* // Обогащение руд. – 1997. – № 5. – С. 3 – 6. 2. *Костин И.М.* Интенсификация взрывной отбойки – повышение эффективности рудо-подготовки / [*И.М. Костин, В.М. Вайсберг, Н.А. Лозовская*] // Обогащение руд. – 1986. – № 1. – С. 2 – 4. 3. *Биленко Л.Ф.* Повышение селективности измельчения руды путем предварительного ее разупрочнения / *Л.Ф. Биленко, В.К. Задорожный, А.И. Ракаев* // Обогащение руд. – 1985. – № 5. – С. 2 – 4. 4. *Биленко Л.Ф.* Прогрессивные тенденции в технике и технологии дезинтеграции руд / *Л.Ф. Биленко, И.М. Костин* // Перспективные направления по созданию техники и технологии для переработки минерального и техногенного сырья: всес. научн.-технич. конф., 4-6 марта 1991 г.: сборник стат. – С-Пб., 1991. – С. 80 – 86.

Поступила в редколлегию 20.08.12

УДК 622.74

Приоритетные направления повышения селективности раскрытия минералов в процессах подготовки руды к обогащению / *Л.Ф. БИЛЕНКО* // Вісник НТУ «ХП». – 2012. – № 59 (965). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 3 – 11. – Бібліогр.: 4 назв.

Фізичною основою раціональної організації процесів підготовки руд до збагачення є селективність дезинтеграції. Підвищити селективність руйнування руд без збільшення ошламовування можна наведенням в кусках подрібненої руди мережі зародкових тріщин по площинах зростання мінералів. Досягається це раціональним веденням гірничих робіт (збільшення витрат вибухових речовин, зменшенням сітки свердловин, регулюванням швидкості вибуху і т.п.), а також попередньо розміщеної руди перед подачею в млин, наприклад, із використанням електроімпульсних впливів або дробленням руди в шарі шматків. Наведено приклади збагачення вихідної і знеміцнення руди. Підвищується якість концентрату на 30 % відносних, а витяг на 8 % абсолютних. Знеміцнення руди приносить суттєву вигоду народному господарству.

The physical basis for the rational organization of the processes of preparing ores for enrichment is selectivity disintegration. Increase the selectivity of the destruction of ores without increasing oshlamovaniya possible guidance in ore lumps Chopping network initiating cracks on the planes srostaniya minerals. This is achieved by rational management of mining operations (an increase in consumption of explosives, reduced well spacing, variable speed explosion, etc.), as well as preliminary softening ore before being fed into the mill, for example, with the use of electropulse impacts or in a layer of crushed ore lumps . The examples of the initial concentration and weakening of ore. Improves the quality of the concentrate by 30% relative, and the extraction of 8% absolute. Softening ore brings significant benefit to national economy.

УДК 620.22.66.067.124

Э.С. ГЕВОРКЯН, д-р техн. наук, проф., УкрГАЖТ, Харьков,

О.М. МЕЛЬНИК, асп., УкрГАЖТ, Харьков,

В.А. ЧИШКАЛА, канд. техн. наук, доц., ХНУ им. В.Н. Каразина, Харьков

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРО-КОНСОЛИДАЦИИ НА ГЕНЕЗИС И ЭВОЛЮЦИЮ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НАНО-ZrO₂

Рассмотрены процессы структурообразования при горячем прессовании с пропусканьем высокоамперного тока нанопорошков состава ZrO₂-n мас. % Al₂O₃ (n = 10, 20, 30) с топологическими признаками частиц гранулярного и чешуйчатого характера. Экспериментально установлено, что в зависимости от величины начального давления и соответственно стартовой плотности, а также скорости и равномерности нагрева объясняются разные значения относительной плотности полученных образцов одинакового состава при одинаковой температуре.

Введение. Известно, что трансформационно-упрочненная керамика конструкционного назначения помимо высокой прочности обладает также и повышенной трещиностойкостью, что объясняется торможением трещины на включениях метастабильной фазы. Особо интересной является трансформационно-упрочненная керамика. Широко известным в этой области керамическим материалом является керамика на основе частично стабилизированного диоксида циркония. ЧСДЦ-керамика обладает высокой прочностью и вязкостью разрушения, что обусловлено эффектом трансформационного упрочнения. Кроме того, заслуживают внимания композиты на основе состава ZrO₂/Al₂O₃, показывающие повышение прочности и ударной вязкости по

© Э.С. Геворкян, О.М. Мельник, В.А. Чишкала, 2012