

РЕЖИМЫ АКТИВАЦИИ ПОРОШКОВ МЕДИ И ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ*

Н.В. МАРТЮШЕВ, канд. техн. наук

*А.Г. МЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук
(ТПУ, г. Томск)*

С.В. ВЕСЕЛОВ, канд. техн. наук

*Д.С. ТЕРЕНТЬЕВ, аспирант
(НГТУ, г. Новосибирск)*

*И.В. СЕМЕНКОВ, аспирант
(ТПУ, г. Томск)*

Статья поступила 3 сентября 2012 года

Мартюшев Н.В. – 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
Томский политехнический университет, e-mail: martjushev@tpu.ru

Представлены сведения о результатах активации смеси порошков в планетарной шаровой мельнице при различных режимах обработки. Для исследований были выбраны порошки оксида алюминия и меди. Варьировалось соотношение масс исходных порошков и время обработки в шаровой мельнице. Результаты показали, что увеличение времени обработки приводит к измельчению частиц порошков и внедрению частиц более твердого порошка оксида алюминия в частицы меди. Изменения фазового состава порошков в процессе активации не происходит. Агломерации частиц при времени обработки до 5 мин также не наблюдается.

Ключевые слова: медь, бронза, кристаллизация, скорость охлаждения, циклическая долговечность, свинцовые включения.

В современной промышленности широко применяются медные сплавы. Наиболее распространенными из них являются бронзы и латуни. Эти материалы известны своими высокими антифрикционными свойствами. Часто для улучшения антифрикционных свойств и обрабатываемости резанием бронз и латуней в них вводят свинец. Не взаимодействуя с другими фазами этих сплавов, свинец образует отдельные включения. Прочность таких включений по сравнению с медной матрицей очень низкая. Поэтому наряду с положительным действием – снижением коэффициента трения такие включения будут снижать прочностные свойства. Снижение прочностных свойств ограничивает сферу применения таких бронз. Их, как правило, заменяют более прочными материалами, но с более высоким коэффициентом трения. Одним из современных способов повышения прочностных свойств литых антифрикционных марок бронз является модифицирование расплава ультрадисперсными порошками.

Легирование расплавов нанопорошками металлов и химических соединений металлов является новым этапом в разработке высокопрочных материалов в современном материаловедении. Значитель-

ное количество уже проведенных работ показывает, что введение небольшого количества нанопорошков перед процессом кристаллизации в расплав позволяет существенно увеличить прочностные свойства отливок [1, 2]. Такое модифицирование медных сплавов перспективно сразу с нескольких точек зрения. Во-первых, введенные в расплав частицы нанопорошков служат центрами кристаллизации. В результате микроструктура отливок получится мелкозернистой. Такая мелкозернистая структура будет обладать более высокими прочностными свойствами в сравнении с обычной микроструктурой. Во-вторых, введение дополнительных частиц нанопорошка – зародышей зерен позволит сузить температурный интервал кристаллизации сплава. Тем самым достигается снижение усадочной пористости отливки. Отливка становится более плотной с меньшим количеством дефектов. Это приводит к росту прочностных свойств. В-третьих, частицы нанопорошка оксидов и нитридов металлов обладают высокой температурой плавления и высокой твердостью. Они не растворятся в объеме отливки и останутся в виде наноразмерных включений. В процессе пластической деформации такие включения будут являться препятствием для течения дислока-

* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, соглашение № 14.В37.21.0136.

ций. Таким образом, равномерно распределенные частицы будут создавать дисперсионное упрочнение отливки. Кроме того, рост прочности матрицы может давать улучшение антифрикционных свойств (снижение коэффициента трения и уменьшение износа).

Легирование расплавов нанопорошками сопряжено с рядом проблем. В качестве материала для модифицирования бронзовых сплавов целесообразно использовать оксиды металлов (ZrO_2 , Al_2O_3). В отличие от нанопорошков чистых металлов эти оксиды и нитриды имеют очень высокую температуру плавления, высокую твердость, низкую себестоимость и их легче транспортировать. Но тугоплавкие частицы оксидов не смачиваются расплавом металла. Это приводит к тому, что порошок либо всплывает на поверхность расплава, либо неравномерно распределяется по отливке. Повышения прочностных и триботехнических свойств в таком случае не происходит. Решением данной проблемы может стать предварительная активация порошка в шаровых металлических мельницах. Такая активация дополнительно размалывает частицы порошка и создает положительный заряд на поверхности частиц [3]. Благодаря этому заряду частицы должны смачиваться расплавом бронзы, не всплывать на поверхность и равномерно распределяться по всему объему. Проведенные ранее автором исследования [4] показывают, что для получения максимального эффекта легирования порошок необходимо вводить в расплав перед самой разливкой в виде медной лигатуры (уже распределенном в большом количестве в небольшом образце меди). Исходя из этого для обеспечения лучшего смачивания частиц порошка расплавом целесообразно при механической активации в тугоплавкий порошок оксидов добавить порошок меди.

При последующем модифицировании подобным образом активированным порошком бронзового расплава в значительной мере на этот процесс будут влиять фазовый состав порошка, его структура. В свою очередь, фазовый состав и итоговая структура будут определяться режимами работы шаровой мельницы. В современной литературе данные о влиянии режимов работы установки активации на параметры перемешиваемых порошков освещены слабо. В данной работе авторами были проведены исследования изменений, происходящих в структуре порошка, активированного в шаровой мельнице, в зависимости от режимов активизации.

Для исследований были взяты ультрадисперсный порошок оксида алюминия со средним размером частиц ~ 5 мкм, полученный плазмохимическим способом, и порошок меди со средним размером частиц $\sim 0,07$ мм. Выбор в качестве материала ультра-

дисперсного порошка оксида алюминия обусловлен его высокой температурой плавления – 2040°C и низкой себестоимостью. Перемешивание и активацию порошков проводили в планетарной шаровой мельнице Активатор-2SL. При активации частота вращения планетарного диска с барабанами составляла 600 об/мин. Общий вес обрабатываемых порошков за одну загрузку составлял 50 г. При активации изменяли время и массовое соотношение порошков. После обработки было произведено исследование фазового состава порошков, формы и размеров частиц. Фазовый состав определялся с помощью рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA. Анализ морфологии, среднего размера частиц и их формы производился по фотографиям, сделанным с помощью растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO50 с микроанализатором EDS X-Act (Oxford Instruments). Расчет среднего размера частиц производился с помощью программных средств и методик, изложенных в [5].

Для изучения влияния режимов работы шаровой мельницы на параметры обработанных порошков были взяты четыре смеси порошков оксида алюминия и меди в разных соотношениях (по массе): 50 % Al_2O_3 – 50 % Cu; 25 % Al_2O_3 – 75 % Cu; 15 % Al_2O_3 – 85 % Cu; 5 % Al_2O_3 – 95 % Cu. Каждая смесь подвергалась активации в мельнице в течение 1, 2,5 и 5 мин. Увеличение времени обработки от 5 до 10 мин приводит к агломерации порошка. При времени обработки более 10 мин порошок налипает на стенки барабана и дальнейшая обработка нецелесообразна. Перед проведением испытаний был выполнен анализ рентгенограмм исходных порошков. Так, порошок оксида алюминия состоит из шести фаз (рис. 1), медный порошок содержит α -фазу меди с ГЦК-решеткой и небольшое количество оксида меди. После активации порошков их фазовый состав в смесях не изменился. На рентгенограмме пики фаз оксида алюминия наложились на пики меди и ее оксида. Новых фаз в смесях не образовалось (рис. 2).

Анализ фотографий, сделанных на растровом электронном микроскопе, показал, что обработка порошков в шаровой мельнице сильно изменяет морфологию частиц меди. Частицы меди на фотографиях выглядят более светлыми, частицы оксида алюминия – темно-серыми. С увеличением времени обработки частицы меди становятся меньше. Так, при перемешивании в течение минуты их размер меняется с 70 до 52 мкм (рис. 3, а), 2,5 мин ~ 39 мкм (рис. 3, б) и 5 мин ~ 31 мкм (рис. 3, в). Изменения размеров частиц оксида алюминия при этом не происходило. Вместе с тем при времени обработки в 1 мин частицы оксида алюминия равномерно покрывают более крупные частицы меди.

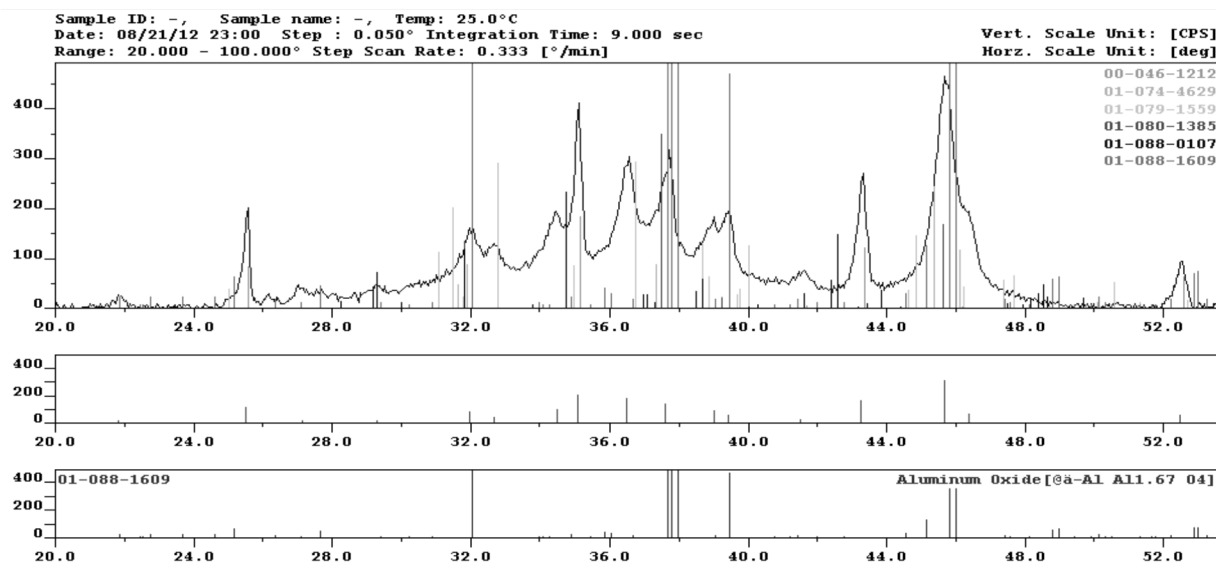


Рис. 1. Данные рентгенофазового анализа образца порошка оксида алюминия, полученного плазмохимическим способом

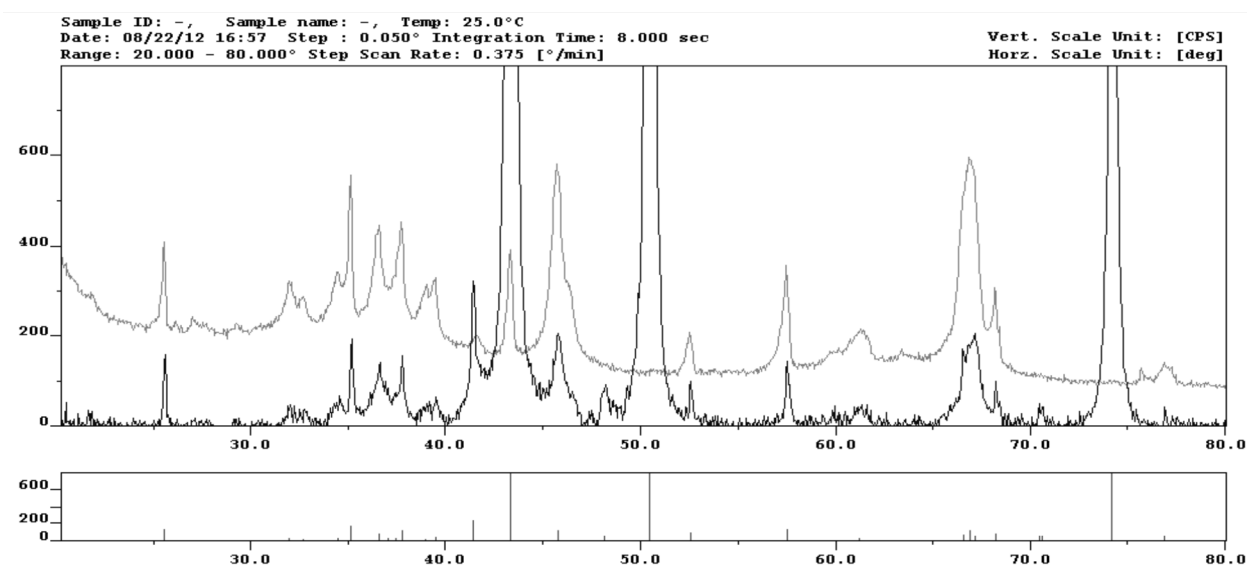


Рис. 2. Данные рентгенофазового анализа смеси порошков оксида алюминия (50 %) и меди (50 %) после обработки в шаровой мельнице (5 мин)

При увеличении времени обработки до 2,5 мин происходит внедрение частиц оксида алюминия в частицы меди. Рост времени обработки до 5 мин еще более увеличивает число внедренных частиц оксида алюминия, при этом число частиц на поверхности меди значительно сокращается. Из рис. 3, з видно, что увеличение времени обработки до 5 мин приводит к активации поверхности частиц оксида алюминия, и медь начинает равномерно располагаться на поверхности более твердых частиц порошка оксида алюминия. Равномерное обволакивание частиц оксида алюминия позволит обеспечить смачиваемость порошка расплавом бронзы. Измельчение части порошка меди с внедренными частицами позволит увеличить число центров кристаллизации при модифицировании.

Таким образом, обработка смеси из порошков меди и оксида алюминия в шаровой мельнице приводит к значительному измельчению частиц порошка меди, размеры частиц оксида алюминия остаются практически неизменными. В результате обработки фазовый состав порошков не изменяется, никаких химических реакций между ними не происходит. На основании проведенных исследований можно сказать о том, что увеличение времени обработки порошков приводит к внедрению твердых частиц оксида алюминия в более мягкие частицы меди.

Представленные в статье исследования были выполнены при поддержке ОАО «НИИПП» в рамках постановления Правительства РФ № 218 от 9 апреля 2010 года «О мерах государственной поддержки раз-

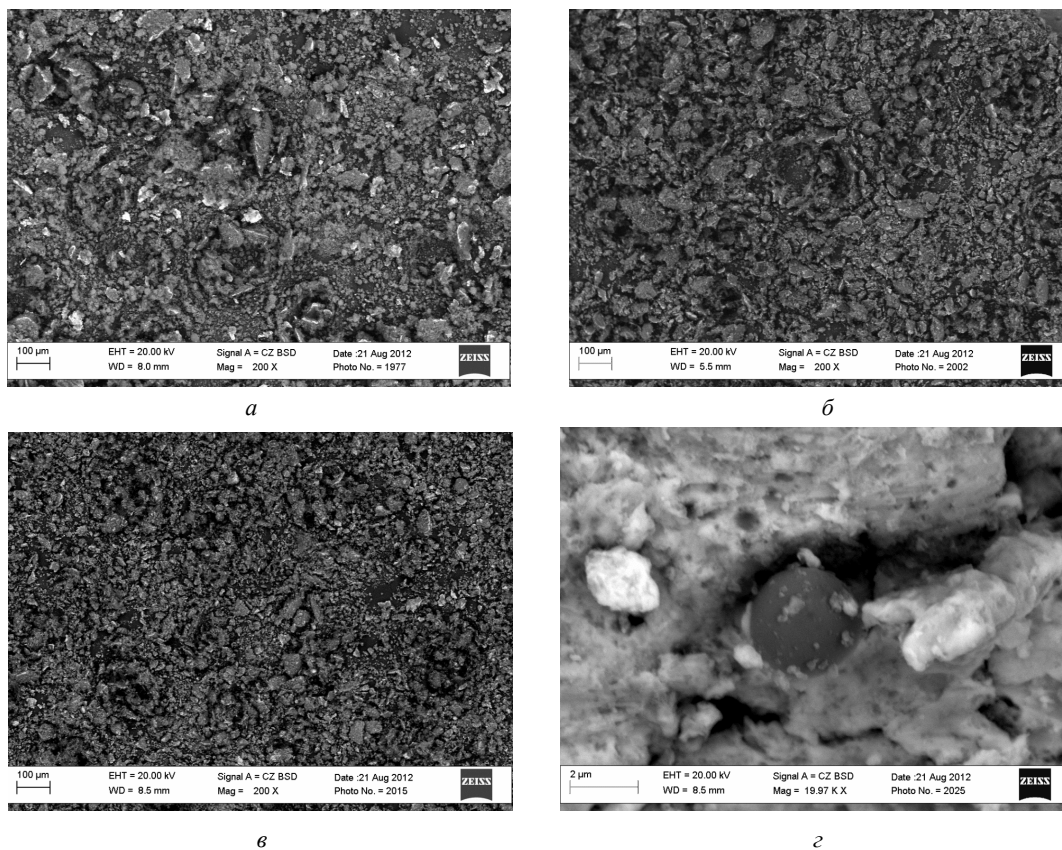


Рис. 3. Фрактограммы:

а – смеси порошков оксида алюминия (50 %) и меди (50 %) после обработки в шаровой мельнице (1 мин); *б* – смеси порошков оксида алюминия (50 %) и меди (50 %) после обработки в шаровой мельнице (2,5 мин); *в, г* – смеси порошков оксида алюминия (50 %) и меди (50 %) после обработки в шаровой мельнице (5 мин)

вития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Список литературы

1. Крушенко Г.Г., Москвичев В.В., Буров А.Е. Применение нанопорошков химических соединений при производстве металлоизделий // Тяжелое машиностроение. – 2006. – № 9. – С. 22–25.
2. Коротяева З.А. Получение ультрадисперсных порошков механохимическим способом и их применение для модифицирования материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск.: ИХТМ СО РАН, 2008. – 22 с.

3. Сабуров В.П., Миннеханов Г.П. Применение ЭУДП для модифицирования сталей и никелевых сплавов // Тезисы докладов Российской конференции «Получение, свойства и применение энергонасыщенных ультрадисперсных порошков металлов и их соединений». – Томск: ТПУ, 1993. – С. 60–61.

4. Мартюшев Н.В. Улучшение свойств бронз, содержащих свинец, их легированием и микролегированием // Металлургия машиностроения. – 2011. – № 3. – С. 40–44.

5. Мартюшев Н.В. Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 1–6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/105-r6745>

Activation modes of copper and aluminum oxide powders in a spherical mill

N.V. Martyshev, A.G. Melnikov, S.V. Veselov, D.S. Terentyev, I.V. Semenov

In this work data on results of powders mix activation in a planetary spherical mill are presented at various modes of processing. For researches were chosen powders of aluminum oxide and copper. The ratio of initial powders mass and processing time in a spherical mill varied. Results showed that the increase in time of processing leads to powders particles crushing and introduction of firmer aluminum oxide powder particles in copper particles. Changes of powders phase structure in the activation course don't occur. Particles agglomerations at processing time till 5 minutes also it is not observed.

Key words: Copper, aluminum oxide, ultradisperse powders, activation, spherical mill, crushing, modifying.