

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ НА МИКРОСТРУКТУРУ ЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ И СВОЙСТВА ХГН ПОКРЫТИЙ

Т.М. Видюк, А.Е. Чесноков, А.В. Смирнов, В.С. Шикалов

*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
630090, Новосибирск, Россия*

Нанесение покрытий на механические детали методами газотермического и газодинамического напыления в настоящее время являются неотъемлемой частью автомобильной, авиационной, тяжелой, а также медицинской, биологической и других промышленности. Основная задача покрытий заключается в увеличении срока эксплуатации деталей и функциональных узлов различной техники и оборудования при высоких механических нагрузках, температурах, химически агрессивных средах и других воздействиях. В процессе напыления влияние на формирование внутренней структуры покрытия оказывают основные физические параметры, такие как скорость, температура, размер, форма и внутренняя структура частицы, температура подложки, материал и состояние поверхности [1]. Формирование покрытия происходит последовательно вследствие соударения с подложкой отдельных частиц - сплэтов – основных элементарных объемов структуры покрытия. Для газотермических методов напыления характерен нагрев до и выше температуры плавления материала частиц. Особенностью холодного газодинамического напыления (ХГН) является возможность наносить покрытия частицами без существенного нагрева, что позволяет получать покрытия со свойствами, близкими к свойствам материала напыляемых частиц [2]. Как правило, предварительное высокоэнергетическое воздействие на исходный материал приводит к изменению структуры частиц. Например, механическая обработка порошков в планетарной мельнице приводит к накоплению энергии деформации по всему объему, появлению точечных и линейных дефектов в кристаллической решетке; очищению их поверхности вследствие разрушения оксидных пленок и адсорбированных слоев, которые являются диффузионным барьером для начала химического взаимодействия реагентов; химических превращений и т.д. [3]. Следовательно, характеристики покрытий, напыленных из механически обработанных частиц, будут отличаться от значений физических, химических и механических параметров покрытий, полученных при напылении исходных порошков.

Целью работы является экспериментальное исследование влияния механической обработки порошка алюминия в планетарной мельнице на его микроструктуру в зависимости от времени обработки.

Для выполнения работы были решены следующие задачи:

1. Механическая обработка порошка в течение 15, 30, 45, 60 и 90 секунд, при постоянном отношении массы загружаемых шаров к обрабатываемому материалу и ускорению мельющих тел;
2. Определен гранулометрический состав и удельная поверхность, исследована морфология поверхности и внутренняя структура механически обработанных и исходных частиц;
3. Исследована микроструктура покрытий, полученных при напылении механически обработанного алюминиевого порошка на стальную и алюминиевую подложки;
4. Методом Виккерса определена микротвердость полученных ХГН покрытий.

После механической обработки порошок был разделен на две фракции с размерами меньше и больше 90 мкм. Разделение частиц на две фракции обусловлено тем, что частицы основной фракции с размерами меньше 90 мкм имеют широкое применение, в част-

ности, в газотермическом, детонационном и холодном газодинамическом напылении. Частицы размерами больше 90 мкм формой в виде деформированного диска могут быть обработаны в плазменной струе, результатом которой будет порошок, состоящий из микронного и декамикронного размера частиц сферической формы. Такие частицы в настоящее время востребованы аддитивными технологиями, лазерной наплавкой и в других отраслях порошковой металлургии. Увеличение времени механической обработки приводит к уменьшению массовой доли частиц фракции меньше 90 мкм. При взаимодействии мелющего тела с частицей кинетическая энергия расходуется на пластическую деформацию частицы с выделением большого количества тепла, вплоть до 95% [4]. При увеличении времени механической обработки возрастает количество введенной энергии в материал, что приводит к увеличению теплоты, выделяемой во время деформации частиц, которая не успевает рассеяться, вследствие чего происходит стремительный рост температуры всей системы, приводящий к нагреву материала до температуры, близкой к температуре плавления или к его плавлению [5]. Частицы, имеющие температуру, близкую к температуре плавления материала, являются пластичными, легко взаимодействуют друг с другом; происходит увеличение их размеров вследствие процесса гранулирования методом окатывания. Плавление алюминиевых частиц наблюдается при механической обработке в течение 120 секунд. Результаты исследования гранулометрического состава показывают, что наблюдается увеличение среднего размера частиц при механической обработке, которое характеризует зарождение и образование агломератов, состоящих из ультрадисперсных частиц алюминия слоистой структурой.

В работе проведено экспериментальное исследование влияния времени механической обработки на гранулометрический состав и внутреннюю структуру алюминиевых частиц. Показано, что увеличение времени механической обработки приводит к росту температуры всей системы (шар-частица), вследствие чего наблюдается процесс гранулирования методом окатывания. Увеличивается массовая доля частиц размером больше 90 мкм. При механической обработке в течение 120 секунд обрабатываемый материал достигает температуры плавления. Также показано, что структура ХГН покрытий, полученных при напылении механически обработанного алюминиевого порошка, представлена агломерированными частицами, которые сохранили свое слоистое строение, полученное в ходе обработки в планетарной мельнице. За счет того, что при механической обработке алюминия возрастает дефектность его структуры, микротвердость ХГН покрытий, полученных при напылении обработанного порошка превышает микротвердость покрытий из исходного сферического алюминиевого порошка на 15-20%.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 19-19-00335.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Gao P.H., Li Y.G., Li C.J., Yang G.J., Li C.X.** Influence of Powder Porous Structure on the Deposition Behavior of Cold-Sprayed WC-12Co Coatings // *Journal of Thermal Spray Technology*. 2008. Vol. 17. P. 742-749.
2. **Alkhimov A.P., Kosarev V.F., Papyrin A.N.** Cold Spray Technology. Experimental study of the deposition process // *Applied mechanics and technical physics*. 1998. Vol. 39, No 2. P. 182-188.
3. **Avvakumov E.G.** Mechanical methods of activation of chemical processes. Novosibirsk: Nauka, 1988. 305 p.
4. **Taylor G.I.** The mechanism of plastic deformation of crystals // *Proceedings of the Royal Society of London*. 1934. Vol. A145. P. 362-404.
5. **Bowden F.P., Thomas P.H.** The surface temperature of sliding solids // *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 1954. Vol. 223, No. 1152, P. 29-40.