

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВВОДА УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ АЛЮМИНИЯ В ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

А.Е. Чесноков¹, А.В. Смирнов¹, Т.М. Видюк^{1,2}

¹*Институт теоретической и прикладной механики СО РАН
630090, Новосибирск, Россия*

²*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
630117, Новосибирск, Россия*

В порошковой металлургии одной из основных операций является механическая обработка порошков, в том числе в шаровых мельницах планетарного типа, которая влияет на размер частиц и их форму. Одной из задач механической обработки порошка является получение частиц, имеющих минимальный размер, с максимальными площадью удельной поверхности и насыпной плотностью материала при затрате минимальной энергии воздействия [1]. Механическая обработка порошковой смеси сопровождается интенсивным механическим воздействием на частицы. В начальный момент обработки происходит значительное диспергирование исходных компонентов. Затем, в силу высокой поверхностной активности, ультрадисперсные частицы образуют так называемые «слоистые композиты» (механокомпозиты), или порошковые агломераты в случае монофазного химического соединения. В результате интенсивной пластической деформации в образующихся агломератах многократно увеличивается площадь межчастичных контактов, создается высокая концентрация неравновесных дефектов и внутренних напряжений [2]. При взаимодействии мелющего тела с частицей кинетическая энергия расходуется на пластическую деформацию частицы с выделением большого количества тепла, вплоть до 95% [3]. В [4] показано, что температура в контакте, возникающая вследствие трения скольжения, может достигать значений температуры плавления одного из материалов. В этой связи, проводимые исследования по определению влияния вводимой энергии мелющими телами на обрабатываемый материал, для установления оптимальных режимов обработки материала, в настоящее время весьма актуальны [5-8]. В работе [9] подробно рассмотрены процессы, возникающие между мелющими телами и обрабатываемым материалом. Высокие энергии напряжений могут быть обеспечены большими диаметрами шаров или высокой плотностью мелющих тел и высокой скоростью их вращения, что подтверждают работы [10]. Особо пластичные материалы (Ni, Zn, Cu, Al, Nb и т.д.) требуют более мягких условий измельчения при более низких температурах и меньшей энергии столкновения.

Цель работы – экспериментально исследовать влияние интенсивности ввода удельной энергии на механическую обработку порошка алюминия.

Энергетическая мощность шаровых мельниц рассчитывается по эмпирической формуле [11]

$$N = \frac{g^{3/2}}{4\pi A} \frac{M_b}{m_p} \left(\frac{a}{g} \right)^{3/2} R^{3/2},$$

где $A = 0,03$ м – эмпирический параметр, M_b – масса шаров, m_p – масса загружаемого по-

рошка, R – внутренний радиус барабанов, $a = 4\pi^2 n^2 R$ – ускорение шара, n – количество оборотов в секунду, g – ускорение свободного падения.

После механической обработки порошок был разделен на две фракции с размерами

меньше и больше 90 мкм. Показано, что независимо от интенсивности ввода сопоставимых значений энергии в обрабатываемый материал, размеры частиц имеют близкие значения. Интенсивность ввода энергии оказывает влияние только на массовую долю частиц размером больше 90 мкм в механически обработанном материале. Необходимо отметить, что механизм поведения частиц алюминия при механической обработке типичен для механической обработки пластичных металлических материалов в планетарных мельницах [12, 13] независимо от режимов введения удельной энергии в материал.

При постоянной массе загружаемых мелющих тел в стакан мельницы уменьшение диаметра шаров приводит к увеличению их количества. Соответственно, кинетическая энергия одного шара уменьшается пропорционально его массе при неизменной скорости движения. Следовательно, для системы взаимодействия шар – частица уменьшение диаметра шара приводит к уменьшению степени деформации частицы и к уменьшению нагрева ее объема. Учитывая, что при уменьшении диаметра шара увеличивается кривизна его поверхности, кинетическая энергия шара при соударении с частицей передается на меньшую площадь контакта с резким локальным повышением температуры в месте взаимодействия. Далее происходит спекание при взаимодействии между частицами порошка по площади горячего пятна. Уменьшение кривизны поверхности (увеличение диаметра шара) приводит к увеличению площади контакта; происходит спекание более крупных частиц, и соответствующее увеличение диаметра механически обработанных частиц алюминия для заданного режима работы планетарной мельницы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда №19-19-00335 с использованием с использованием научного оборудования, входящего в состав ЦКП "Механика".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдырев В.В., Аввакумов Е.Г., Логвиненко А.Т. Эффективность измельчительных аппаратов для механического активирования твердых тел, Новосибирск: Наука, 1977.
2. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов, Новосибирск: Наука, 1988.
3. Taylor G. I. The mechanism of plastic deformation of crystals. // Proc. Roy. Soc. 1934. Vol. A145, P. 362–404.
4. Bowden F. P., Thomas P. H. The surface temperature of sliding solids. // Proc. Roy. Soc. 1954. Series A. Vol. 223, No 1152, P. 29–40.
5. Afkhami Y., Azari Khosroshahi R., Kheirifard R., Taherzadeh Mousavian R., Brabazon D. Microstructure and Morphological Study of Ball-Milled Metal Matrix Nanocomposites. // Physics of Metals and Metallography. 2017. Vol. 118. No 8, P. 749–758. <https://doi.org/10.1134/S0031918X17080026>
6. Schmidt R., Scholze M., Stolle H. Temperature progression in a mixer ball mill. // Int. J. Industrial Chemistry. 2016. Vol. 7: P. 181–187. <https://doi.org/10.1007/s40090-016-0078-8>
7. Dastanpoor E., Enayati M. H. Effect of milling intensity on mechanical alloying of Cu-Zr-Al system. // Indian Journal of Engineering & Materials Sciences. 2015. Vol. 22. P. 521–526.
8. Vaezi R., Ghassemi M., Shokuhfar A. Effect of different sizes of balls on crystalline size, strain, and atomic diffusion on Cu-Fe nanocrystals produced by mechanical alloying // J. Theor Appl. Phys. 2012. Vol. 6, P. 7. DOI: 10.1186/2251-7235-6-29
9. Burmeister C. F., Kwade A. Process engineering with planetary ball mills. // Chem. Soc. Rev. 2013. Vol. 42. Issue 18, P. 7660–7667. <http://dx.doi.org/10.1039/C3CS35455E>
10. Broseghini M., Gelisio L., D'Incau M. et al. Modeling of the planetary ball-milling process: The case study of ceramic powders. // Journal of the European Ceramic Society. 2017. Vol. 37. Issue 3, P. 1141. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2015.09.032>
11. Полуобояров В.А., Паули И.А. Оценка эффективности химических реакторов для механической активации твердофазных взаимодействий. // Химия в интересах устойчивого развития. 1996. Вып. 4. С. 519–523.
12. Gheisari Kh., Javadpour S., Oh J.T., Ghaffari M. The effect of milling speed on the structural properties of mechanically alloyed Fe–45%Ni powders // Journal of Alloys and Compounds. 2009. Vol. 472. Issues 1–2, P. 416–420. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2008.04.074>
13. Poluboyarov V.A., Solonenko O.P., Zhdanok A.A., Chesnokov A.E., Pauli I.A. Comparison of the Efficiency of the Mills “AGO-2” and “Activator-2SL” at the Mechanical Activation of Titanium Powder // SibFU Journal. Engineering and Technologies. 2017. Vol. 10, No. 5. P. 646–656. DOI: 10.17516/1999-494X-2017-10-5-646-656