

Юй Сяолин (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Ваулина Ольга Юрьевна, к.т.н., доцент

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СВОЙСТВА ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ

Актуальными задачами технологии производства порошковых изделий является получение материалов, которые достаточно сложно или невозможно изготовить другим методом, достижение высоких технических показателей, где прослеживается экономный расход металла и исключение отходов, получение материалов с точным химическим составом [1, 2].

Целью работы является – исследовать порошковую смесь состава стали 304-L после механической активации.

Известно, что механическая активация приводит к увеличению запаса свободной энергии, что влияет на ускорение реакций между частицами и повышение свойств порошка. Активация измельчением, как новый способ ускорения физико-химических процессов, находит все более широкое применение [1].

Материал и методы исследования. Химический состав исследуемой порошковой смеси подбирали таким образом, чтобы состав соответствовал стали 304-L, таблица 1. В работе исследовали три группы порошковой смеси: до (1 группа) и после механической активации в течение 1 (2 группа) и 5 минут (3 группа).

Таблица 1

*Химический состав порошковой смеси 304-L*

Компоненты	Fe	C	Cr	Ni	Mn	Cu
Содержание, % (по весу)	70	0,01	18	9	2	0,99

Механическая активация проводилась в планетарной шаровой мельнице центробежного типа АГО-2. Порошковую смесь смешали в механическом смесителе типа «Пьяная бочка» в течение 24 часов. Микроструктуру порошка исследовали с помощью СЭМ “Vega3” фирмы TESCAN. Рентгенофазовый анализ порошка проведен на рентгеновском дифрактометре Rigaku, UltimaIV.

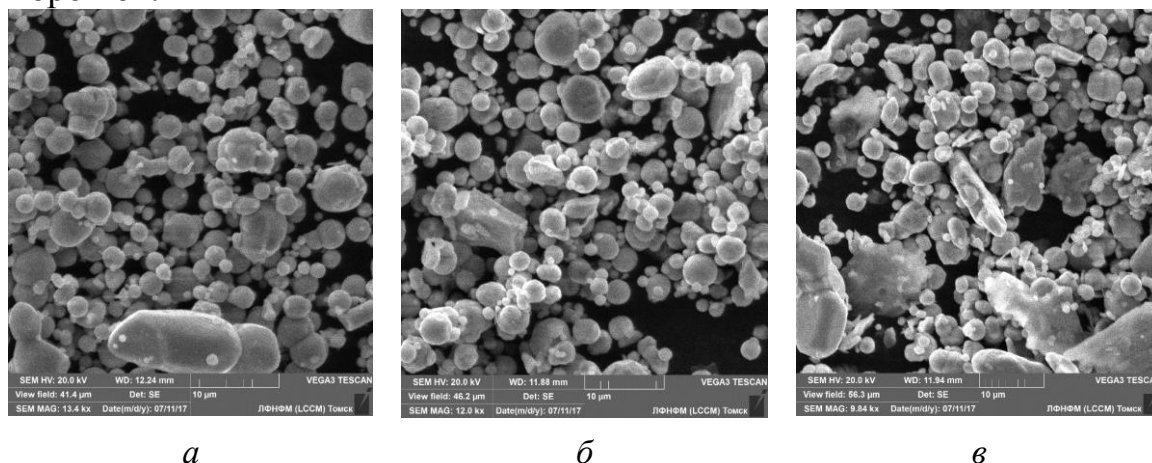
Результаты исследования. Насыпную плотность порошка измеряли в соответствии с ГОСТ 19440-94[3]. Результаты измерения насыпной плотности порошковой смеси представлены в таблице 2.

Таблица 2

*Характеристика исследуемой порошковой смеси*

Время механической активации, мин	0	1	5
Насыпная плотность, $\rho_{\text{ср}}$ , г/см <sup>3</sup>	2,70±0,04	3,57±0,04	2,93±0,01
Средний размер частиц порошка, мкм	3,67±1,43	3,13±0,45	4,21±1,77

На рисунке 1 представлены снимки порошковой смеси стали 304-L при разном времени механоактивации. Видно, что после механической активации размер и форма частиц порошков изменяется. При механической активации в течение 1 минуты частицы измельчаются, это способствует увеличению насыпной плотности, таблица 2. Увеличение времени активации до 5 минут приводит к агломерации частиц, т.е. частицы слипаются между собой, образуя большие объемы – конгломераты неправильной формы, по сравнению с исходным. Возникновение явления агломерации доказывает, что порошок представляет собой композитный порошок.



*Рис. 1. РЭМ порошковой смеси 304L:*

*а – без активации, б – активация на 1 минуту, в – активация на 5 минут*

Рентгенофазовый анализ порошка проведен на рентгеновском дифрактометре Rigaku, UltimaIV с фокусировкой по Бреггу-Брентано, излучением  $\text{Cu-K}_{\alpha}$ , длина волны  $\lambda(\alpha_1)=1.5418\text{\AA}$ . Сканирование рентгеновскими лучами осуществлялось в диапазоне углов  $2\theta$  от  $10^\circ$  до  $130^\circ$ . Полученные дифрактограммы представлена на рисунке 2а.

С помощью закона экстинкции определили фазу  $\alpha$ - Fe и Cr является ОЦК, а фазу Ni является ГЦК. Из дифрактограммы видно, что в дифрактограмме образца без механической активации дифракционные пики

соответствуют острым кристаллическим дифракционным пикам железа, хрома и никеля соответственно. Видимое изменение произошло в дифрактограмме образцов после механической активации, острые дифракционные пики железа, хрома и никеля постепенно расширяются, а интенсивность пиков ослабевает. Расширение дифракционных пиков происходит из-за искажения решетки и измельчения зерна порошка во время измельчения в шаровой мельнице. Изменения интенсивности пика указывают на взаимную диффузию между железом, хромом и никелем.

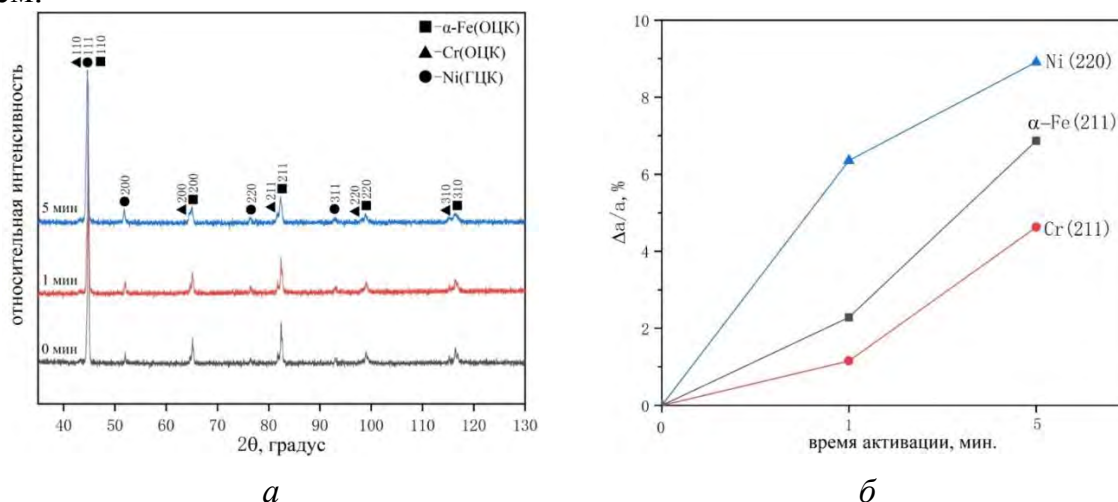


Рис. 2. Рентгенофазовый анализ порошковой смеси: а - фрагмент дифрактограммы при разном времени механической активации; б - зависимость скорости изменения параметра решетки от времени механической активации порошка 304L

На рисунке 2б представлен график зависимости скорости изменения параметра решетки от времени механической активации порошковой смеси. Радиус атомов Ni немного больше радиуса атомов Fe, результатом механической активации является то, что степень искажения решетки Ni больше, чем степень искажения решетки Fe, то есть скорость диффузии атомов Fe в Ni велика. Fe и Cr вызовут деформацию сжатия в решетке в течение механической активации, что делает параметр решетки меньше. Поэтому под действием деформации сжатие параметра решетки Fe и параметра решетки Cr уменьшаются. Поэтому изменение параметра решетки Fe и Cr меньше, чем изменение параметра решетки Ni [5,6].

Для определения параметров решетки Fe, Cr, Ni построили экстраполяционные графики, результаты сведены в таблицу 3.

Из таблицы 3 видно, что с увеличением времени механической активации параметр решетки Fe увеличивается, а с увеличением времени механической активации параметр решетки Cr и Ni уменьшаются. Па-

раметр решетки Fe увеличивается, параметры решетки Cr и Ni уменьшаются.

Таблица 3

Параметр решетки  $\alpha$ -Fe, Cr, Ni

Время механической активации, мин	0	5
$a_{\alpha-Fe}$	2,8702	2,8706
$a_{Cr}$	2,8876	2,8875
$a_{Ni}$	3,5293	3,5242

В данной работе изменение параметра решетки зависит от трех причин. Во-первых, атомный радиус. Во-вторых, скорость диффузии. В-третьих, деформация сжатия.

Параметр решетки никеля уменьшается из-за включения атомов меньше его атомного радиуса. Во-вторых, у него самая высокая скорость диффузии. Уменьшение параметра решетки хрома связано с уменьшением скорости диффузии и деформации сжатия. Параметр решетки атомов железа становится больше из-за включения атомов, больших, чем его атомный радиус, из-за низкой скорости диффузии и деформации сжатия. Поэтому решетка атомов железа сильно не увеличивается [7, 8].

Выводы:

Определены насыпные плотности всех состояний порошков: без активации насыпная плотность составляет  $2,70 \pm 0,04$  г/см<sup>3</sup>, после активации в течение 1 минуты –  $3,57 \pm 0,04$  г/см<sup>3</sup>, после активации 5 минут –  $2,93 \pm 0,01$  г/см<sup>3</sup>.

Средний размер частиц трех групп меняется незначительно, но при активации в течение 5 минут частицы агломерируются, вследствие чего насыпная плотность этой группы порошков уменьшается.

Рентгеноструктурным анализом доказано, что в порошковой смеси фаза  $\alpha$ -Fe и Cr является ОЦК, а фаза Ni является ГЦК. С увеличением времени механической активации параметр решетки Fe увеличивается, а параметры решетки Cr и Ni уменьшаются.

В данной работе изменение параметра решетки зависит от трех причин: атомный радиус, скорость диффузии, деформация сжатия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука. 1986. 305 с.

2. Хань Лян, Ваулина О. Ю. Влияние механической активации на свойства и морфологию порошка инвара // VIII Всероссийская научно-практическая конференция «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов» г. Томск, мая 2018г. - Томск: Изд-во ТПУ, 2018. - С. 108-112.
3. Юй Сяолин, Ваулина О. Ю. Исследование влияния механической активации на свойства порошковой стали 304L // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов: сборник докладов IX Всероссийской научно-практической конференции г. Томск, апреля 2019г. - Томск: Изд-во ТПУ, 2019. - С. 135-140.
4. Liu Zi-li, LIU Bo-lu, LIU Xi-qin, WANG Li-hong. Sintering properties of mechanically activated Ti47Ni47Al6 powders. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2014, 24(3): 765-722.
5. Ху Гэнсян, Цянь Мяогэнь, металловедение: учебник. – Шан Хай: Изд-во: Шанхайское научно-техническое издательство, 1980. – С.113.
6. Zhuge Lanjian, Li Yadong, Jin Zhongming, Sun jianping. Mechanical alloying of Ni-Ti-Cu Powers. Material Science and Technology, 1997, 5(2): 6–8.
7. Hai xianv, Xi Shengqi, Zhang Yue, Li Longyu, Sun Chongfeng, Shu Chengyong. Research on Fe-10%Ni alloy synthesized by mechanical alloying. Rare metal materials and engineering, 2014, 43(12): 3177–3182.
8. Zhou Zhengcun. Nano-crystalline Fe-Cr alloy by mechanical alloying. Journal of Suzhou Vocation University, 2006, 17(3): 84–86.

Юй Чунян (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научные руководители: Салосина Ирина Викторовна, к.п.н., доцент  
Володина Дарья Николаевна, к.филол.н., доцент

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ**

В настоящее время мировая экономика развивается быстрыми темпами, неизбежно истощение традиционных источников энергии и возникновение экологических проблем. Это определяет актуальность поиска альтернативных источников энергии. Солнечная энергия является одним из них.

Солнечная энергия имеет много преимуществ. Например, солнечная энергия является чистым и возобновляемым источником энергии.