

Закономерности уплотнения и гомогенизации порошковой стали при ее формировании методом электроконтактного уплотнения.

С.Н.Егоров¹, Т.А. Литвинова², Х.К. Ризаев¹, Г.А. Шуваев²

¹ Донской государственный технический университет, Волгодонский филиал

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Волгодонский инженерно-технический институт-филиал

Аннотация: Выявлены основные закономерности уплотнения и гомогенизации при формировании порошковых сталей методом электроконтактного уплотнения (ЭКУ). Определены технологические режимы электроконтактного уплотнения (ЭКУ): плотность тока 36 МА/м², давление прессования 380 МПа, продолжительность процесса 70 с, обеспечивающие достижение высокоплотного состояния материала.

Ключевые слова: электроконтактное уплотнение, железографитовая композиция, уплотняемость, гомогенизация, пористость, порошковая сталь, диффузия, микроструктура, сращивание, плотность тока.

Современный уровень порошковой металлургии позволяет создавать новые и совершенствовать известные технологии изготовления материалов и изделий различного назначения с заданными функциональными свойствами. Одним из таких методов является электроконтактное уплотнение (ЭКУ), при котором приложение уплотняющего усилия сопровождается пропуском электрического тока через уплотняемую шихту [1]. Задачей настоящей работы является дальнейшее развитие теоретических основ ЭКУ, в частности, изучение гомогенизации железографитовой шихты, а также установление влияния технологических режимов на формирование порошковой стали с уровнем свойств, соответствующим заданному химическому составу.

В ранее проведенных исследованиях [2-4] была доказана применимость метода электроконтактного уплотнения для изготовления деталей из карбонильного железного и распыленного бронзового порошков, обладающих низкой прессуемостью в условиях холодного статического прессования. В результате установлен факт интенсификации диффузионных

процессов и формирования качественного межчастичного сращивания при электроконтактном уплотнении порошков.

В связи с этим в настоящей работе был проведен ряд экспериментов, заключающихся в уплотнении железграфитовой шихты по предлагаемой технологии [5].

В качестве исследуемого материала была выбрана углеродистая конструкционная сталь со средним содержанием углерода 0,45 %. Для её формирования использовали карандашный графит марки ГК-1 и железный порошок марки ПЖР 3.200.28. Эти материалы широко применяются в практике порошковой металлургии [6-8].

Исследования проводили на лабораторной установке ЭКУ, состоящей из гидравлического пресса, развивающего усилие прессования до 7,6 кН, источника электрического тока на базе сварочного инвертора ВДУ-1201 и герметичной рабочей камеры с диэлектрической матрицей и токопроводящими пуансонами. Для предотвращения окисления исследуемого материала рабочая камера продувалась аргоном. Для улучшения уплотняемости шихты на стенки матрицы наносили тонкий слой порошка CaF_2 . Снижение трения на контактных поверхностях «пуансон – шихта» достигалось нанесением на рабочий торец пуансона хранения графитного слоя. Максимальное значение силы тока составляло 1000 А и измерялось амперметром. Прессование проводили с плавающей матрицей по двухсторонней схеме. При расчете плотности тока использовали номинальное поперечное сечение образца.

В работе был применен метод математического планирования экспериментов [9]. В качестве параметра оптимизации принимали значение остаточной пористости формируемой стали. В результате реализации крутого восхождения по поверхности отклика определены значения технологических режимов ЭКУ, при которых плотность стали составляла 1-2%. Анализ

полученного уравнения регрессии показал, что наибольший вклад в процесс уплотнения оказывает плотность электрического тока.

Для объяснения установленного факта были проведены дополнительные исследования в области факторного пространства от нулевого до признанного достаточным по значению параметра оптимизации уровней. При их планировании и реализации значения технологических факторов последовательно варьировались в условиях постоянства одного из них.

В условиях постоянства плотности тока и давления прессования наблюдается монотонное снижение остаточной пористости. На характер этой зависимости оказывает влияние давление прессования, формируя различные стадийности процесса. Если при относительно малом давлении прессования порядка 127 МПа можно выделить 3 стадии уплотнения, то начиная с давления прессования 250 МПа на зависимости остаточной пористости от продолжительности уплотнения акцентировано выражены 2 стадии этого процесса.

Интенсивность уплотнения при давлении 127 МПа, наблюдаемая в течение 20 с, объясняется структурной деформацией. Её развитию способствует контактное расплавление зон срачивания (первая стадия). Развитие физического контакта сопровождается интенсификацией растворения углерода в железной основе, что способствует образованию жидкой фазы, в частности по эвтектическому механизму. Замедление уплотнения в интервале 20-40 с связано с развитием контактной поверхности, локализацией трассировки электропотока, ростом градиента температур, характеризующем неравномерность прогрева материала прессовки (вторая стадия). Эту стадию можно считать определяющей в развитии макро- и микроструктурных изменений. Дальнейшее уплотнение, происходящее до конца операции (40 – 70 с), обусловлено повышением

температуры вследствие прохождения электрического тока и развитием пластического течения материала в поровое пространство.

Повышение давления прессования (250 – 370 МПа) закономерно приводит к повышению плотности материала. Сохраняется стадия интенсивного уплотнения в начальный период уплотнения, но она становится менее выраженной. Развитие контактной поверхности способствует равномерности нагрева и увеличению объёма смещенного материала. Пластическая деформация развивается во всем объёме прессовки. Следует отметить влияние давления прессования на границу стадий уплотнения. Повышение давления прессования смещает эту границу в начальную область уплотнения. Это явление можно объяснить более интенсивной контактной деформацией при приложении большего давления, улучшением контактной поверхности из-за разрушения хемосорбированных и оксидных слоев, снижающих эффект электротермического воздействия. Следовательно, результатом этих структурных изменений скорость разогрева материала частиц увеличивается, что способствует интенсификации дальнейшего уплотнения.

Полученные результаты исследования влияния технологических режимов ЭКУ на плотность порошковой стали согласуется с общепризнанной теорией уплотнения [10].

В результате проведенных исследований выявлены основные закономерности процесса формирования порошковой конструкционной стали методом ЭКУ, разработана технология для изготовления детали с остаточной пористостью в пределах 2 - 6 %. Особенностью рассматриваемой порошковой стали следует считать формирование структуры бейнита, обеспечивающей высокий уровень структурно-чувствительных свойств, непосредственно в процессе ЭКУ.

На основе анализа результатов исследования можно констатировать влияние всех технологических режимов ЭКУ на плотность формируемого материала. Применительно к стали с содержанием углерода 0,45% (мас.) достижение высокоплотного состояния (остаточная пористость 1-2%) происходит при следующих режимах ЭКУ: плотность тока 36 МА/м², давление прессования 380 МПа, продолжительность процесса 70 с.

Отличительным признаком технологии ЭКУ следует считать существенную интенсификацию процессов гомогенизации железуграфитовой шихты по сравнению со спеканием в условиях печного нагрева.

Литература

1. Litvinova T.A., Egorov S.N., Powder steel formation under conditions of electric contact compaction //Russian Journal of Non – Ferrous Metals, 2009. V.50, № 5. pp. 522-524
2. Егоров С. Н., Медведев Ю. Ю. Влияние режимов электропластического уплотнения на пористость порошкового материала.: Материалы науч.-практ. конф. «Современные технологии в машиностроении - 2003» 26-27 апр. 2003г./ Пензенский гос. ун-т. – Пенза, 2003. – С. 12-14.
3. Егоров С.Н., Мецлер А.А. Исследование технологических параметров процесса ЭПУ при получении высокоплотных порошковых изделий // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. Науки, 2005. Спец. вып. С.101-104.
4. Егоров С.Н., Мецлер А.А. , Медведев Ю. Ю., Литвинова Т.А. Гомогенизация материала, полученного электроконтактным уплотнением порошковой бронзы// Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. Науки, 2010. № 3. - С. 51-53.
5. Литвинова Т.А., Егоров С.Н. Механические свойства порошковой стали, полученной методом электроконтактного уплотнения /Литвинова Т.А., Егоров С.Н. // Metallurg, 2010. № 1. С. 65-67.

6. Литвинова Т.А., Егоров С.Н. Закономерности формирования порошковой стали при электроконтактном уплотнении // *Металлург*. 2013, № 4. С. 94-97.

7. Литвинова Т.А., Могилевский Д.В., Подрезов Н.Н., Егоров С.Н., Пирожков Р.В. //Металлографические исследования структуры защитных покрытий, выполненных методом газопорошковой наплавки// *Инженерный вестник Дона*, 2014, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2454

8. Бойко Н.И., Фисенко К.С. Исследование качества поверхности наплавленного металла цилиндрической детали обработанной в горячем состоянии// *Инженерный вестник Дона*, 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/746

9. Литвинова Т.А. Получение высокоплотного порошкового материала методом электроконтактного уплотнения // *Металлург*. 2009, № 7. - С. 67-68.

10. Litvinova T.A., Egorov S.N. The influence of production modes of the electrocontact compaction on the porosity of the powder steel// *Russian Journal of Non – Ferrous Metals*. 2011. - V.52, № 1. pp. 101-102.

References

1. Litvinova T.A., Egorov S.N., Powder steel formation under conditions of electric contact compaction. *Russian Journal of Non – Ferrous Metals*, 2009. V.50, № 5. pp. 522-524

2. Egorov S. N., Medvedev Ju. Ju. Materialy nauch.-prakt. konf. «Sovremennye tehnologii v mashinostroenii - 2003» 26-27 apr. 2003g. Penzenskij gos. un-t. Penza, 2003. pp. 12-14.

3. Egorov S.N., Mecler A.A. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Tehn. nauki*. 2005. Spec. vyp. pp. 101-104.

4. Egorov S.N., Mecler A.A. , Medvedev Ju. Ju., Litvinova T.A. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Tehn. Nauki*, 2010, №3. pp. 51-53.



5. Litvinova T.A., Egorov S.N. Metallurg, 2010. № 1. pp. 65-67.
6. Litvinova T.A., Egorov S.N. Metallurg, 2013. № 4. pp. 94-97.
7. Litvinova T.A., Mogilevskij D.V., Podrezov N.N., Egorov S.N., Pirozhkov R.V.
8. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2454
9. Bojko N.I., Fisenko K.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/746
10. Litvinova T.A. Metallurg, 2009. № 7. pp. 67-68.
11. Litvinova T.A., Egorov S.N. The influence of production modes of the electrocontact compaction on the porosity of the powder steel. Russian Journal of Non – Ferrous Metals. 2011. V.52, № 1. pp. 101-102.