

УДК 621.762.4.043

Руденко Н. А.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ПОРООБРАЗОВАТЕЛЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ НЕСПЕЧЕННЫХ ПРЕССОВОК

Равномерность распределения плотности в прессованных порошковых изделиях определяет не только их качество, но часто и саму возможность изготовления этих изделий. На распределение плотности порошка при его прессовании в матрице существенное влияние оказывает трение. Определение этого распределения представляет интерес как для теории прессования порошковых материалов, так и для практики изготовления из них пористых и других изделий.

Экспериментальное определение распределения плотности по объему неспеченных прессовок представляет значительные трудности. Поэтому наиболее приемлемым путем нахождения этого распределения является теоретический анализ процесса прессования [1, 2]. Вследствие сложного характера распределения плотности для его определения необходимо применять численные методы анализа. В настоящее время наибольшее распространение для решения задач пластического деформирования нашел метод конечных элементов. Существует ряд конечно-элементных комплексов, позволяющих решать задачи пластического деформирования пористых тел и прессования порошковых материалов. К ним относятся как универсальные комплексы ABAQUS, ANSYS, так и специализированные программы для решения задач обработки давлением Q-FORM и DEFORM. Анализ показал, что для применения универсальных комплексов необходимо выполнять относительно сложную экспериментальную калибровку моделей деформирования пористых материалов для определения входящих в них коэффициентов и функций [3, 4]. Модуль специализированного комплекса Q-FORM, предназначенный для расчета деформирования пористых материалов и прессования порошков, предполагает, что их начальная относительная плотность не может иметь значение меньше 0,65 [5]. Такое высокое начальное значение относительной плотности обычно имеют сферические порошки, подвергнутые виброуплотнению и применяемые для получения изделий горячим изостатическим прессованием. Для большинства других порошков начальная относительная плотность значительно меньше 0,65. Специализированный комплекс DEFORM-3D не накладывает ограничений на величину начальной относительной плотности [6]. Поэтому он был использован как инструмент теоретического анализа.

Целью работы было конечно-элементное моделирование прессования с помощью полученных кривых, установление влияния добавки порообразователя к порошку железа и изучение распределения плотности по объему порошковой прессовки.

Применялся следующий порядок моделирования. Вначале строилась геометрическая модель заготовки и инструмента (пуансоны и матрица), как это показано на рис. 1, а. Инструмент определялся как жесткий недеформируемый элемент расчетной схемы. Затем на порошковой заготовке генерировалась конечно-элементная сетка, состоящая из 32000 тетрагональных элементов, как показано на рис. 1, б.

Порошковой заготовке присваивали значение начальной относительной плотности. В нашем случае, как для порошка железа, так и для смеси порошков железа и порообразователя применяли одинаковое значение равное 0,423. Затем задавали коэффициент трения по закону Амонтона–Кулона. Согласно данным работы [7], в случае прессования порошка железа он принимался 0,2.

Было установлено, что применение порообразователей снижает напряжение выпрессовки примерно в 3 раза [8]. Поэтому при моделировании прессования смеси порошков железа и порообразователя значение коэффициента трения принимали 0,065. В табличной форме задавали кривые упрочнения основного материала порошка.

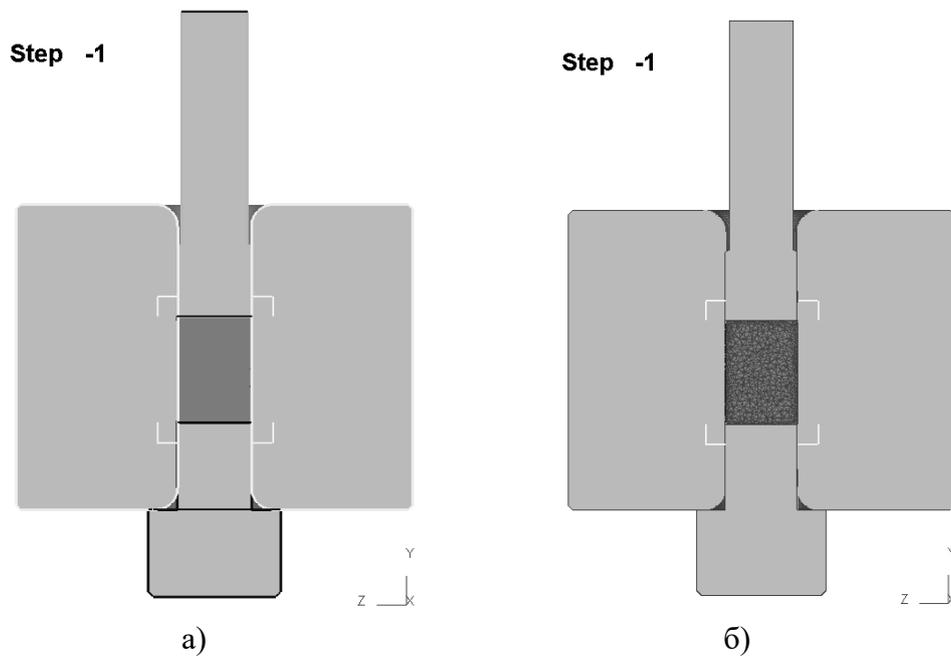


Рис. 1. Геометрическая (а) и конечно-элементная модель (б), используемые при анализе процесса одностороннего прессования порошка в закрытой матрице

Как отмечалось ранее, для моделирования процесса прессования порошковых материалов необходимо задавать кривую упрочнения материала основы порошка (например, кривую упрочнения железа). В программном комплексе DEFORM-3D для задания кривых упрочнения используется база данных для свойств деформируемых материалов, включающая данные для стандартных сталей, сплавов и цветных металлов. Однако кривая упрочнения материала основы порошкового тела может очень существенно отличаться от кривой упрочнения литого материала близкого химического состава. Это является следствием повышенной дефектности микроструктуры порошковых материалов: наличия границ между частицами, не полностью исчезающими при спекании, оксидными и другими включениями в частицах порошка, изменением химического состава вследствие взаимодействия с атмосферой и других факторов. Следует ожидать большей прочности и пониженной пластичности материала основы порошка по сравнению со свойствами соответствующего литого материала. Еще большая проблема возникает при задании кривой упрочнения для порошковых смесей, в частности, для смесей, содержащих базовый порошок и порошок порообразователя. В этом случае не существует аналогов литых материалов, и можно говорить только о некоторой виртуальной кривой упрочнения, которой, естественно, нет в базах данных конечно-элементных программ.

Для определения кривых упрочнения материала основы порошковых материалов нами была предложена следующая методика. С помощью некоторой мастер-кривой упрочнения в среде комплекса DEFORM-3D моделировалось прессование заданного порошка. Полученная расчетная кривая уплотнения (зависимость относительной плотности от давления прессования) сравнивалась с кривой уплотнения, определенной экспериментально. Затем мастер-кривая упрочнения модифицировалась таким образом, чтобы расхождения между расчетной и экспериментальной кривыми уплотнения было минимальным. Соответствующая кривая упрочнения определялась как кривая упрочнения материала основы порошка и использовалась в дальнейших расчетах.

На рис. 2 показаны кривые упрочнения для материала основы порошка железа и его смеси с порошком бикарбоната аммония. Для сравнения приведена мастер-кривая упрочнения для стали AISI-1010. Сравнение показывает, что материал основы порошка железа обладает значительно более высокой прочностью, чем сталь AISI-1010 [9].

ВЫВОДЫ

1. Конечно-элементный программный комплекс DEFORM-3D позволяет проводить моделирование прессования порошковых материалов без проведения сложных экспериментов по калибровке расчетной модели пористого материала.

2. Представлен экспериментально-аналитический метод для определения кривой упрочнения материала основы порошков при их прессовании. Метод основан на обратном моделировании кривой уплотнения порошка в матрице по методу конечных элементов. Показана кривая упрочнения материала основы порошка железа, а также виртуальная кривая упрочнения смеси порошка железа и порошка бикарбоната аммония состава 40/60 по объему. Кривая упрочнения материала основы порошка железа существенно отличается от кривой упрочнения малоуглеродистой стали близкого химического состава.

3. Конечно-элементное моделирование прессования с помощью полученных кривых показало, что добавление порообразователя к порошку железа приводит к гомогенизации распределения плотности по объему порошковой прессовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rahman M. M. *Finite element model of iron powder compaction at above room temperature* / M. M. Rahman, A. K. Ariffin // *AIP Conference Proceedings*. – 2014. – Vol. 1660. – <http://dx.doi.org/10.1063/1.4915799>.
2. *Numerical simulation and experimentation of warm metal powder compaction process* / M. M. Rahman, F. Tarlochan, R. Singh, A. K. Ariffin, S. S. M. Nor // *Key Engineering Materials*. – 2015. – Vols. 462–463. – P. 704–709.
3. *ABAQUS 6.9 Theory manual* / Dassault Systemes Simulia Corporation, Providence, Rhode Island : Dassault Systemes Simulia Corporation, Providence, 2009. – 1168 p.
4. Каплун А. Б. *ANSYS в руках инженера* / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
5. *QFORM 2D/3D. Программа моделирования объемной штамповки. Версия 4.3. Руководство пользователя. 3D моделирование / Кванторформ*. – М. : Кванторформ, 1991-2008. – 176 с.
6. *DEFORM-3D Version 6.1 : User's manual* / Scientific Forming Technologies Corporation. – Columbus, Ohio : Scientific Forming Technologies Corporation, 2008. – 416 с.
7. Mosbah P. *Experimental techniques for analysis of die pressing and ejection of metal powder* / P. Mosbah, D. Bouvard, E. Ouedraogo, P. Stutz // *Powder Metallurgy*. – 1997. – Vol. 40. – № 4. – P. 269–277.
8. Rudenko N. A. *Increase of parts quality from composite materials by using copper additive* / N. A. Rudenko // *14th International Conference RaDMI 2014 : Proceedings on CD-ROM*. – Topola, Serbia, 2014. – Vol. 1. – P. 284–289. ISBN 978-86-6075-047-3.
9. Руденко Н.А. *Моделирование процесса прессования порошковых изделий* / Н. А. Руденко // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. – Краматорск : ДГМА, 2016. – № 2 (43). – С. 46–50.

REFERENCES

1. Rahman M. M. *Finite element model of iron powder compaction at above room temperature* / M. M. Rahman, A. K. Ariffin // *AIP Conference Proceedings*. – 2014. – Vol. 1660. – <http://dx.doi.org/10.1063/1.4915799>.
2. *Numerical simulation and experimentation of warm metal powder compaction process* / M. M. Rahman, F. Tarlochan, R. Singh, A. K. Ariffin, S. S. M. Nor // *Key Engineering Materials*. – 2015. – Vols. 462–463. – P. 704–709.
3. *ABAQUS 6.9 Theory manual* / Dassault Systemes Simulia Corporation, Providence, Rhode Island : Dassault Systemes Simulia Corporation, Providence, 2009. – 1168 p.
4. Kaplun A. B. *ANSYS v rukah inzhenera* / A. B. Kaplun, E. M. Morozov, M. A. Olfer'eva. – M. : Editorial URSS, 2003. – 272 s.
5. *QFORM 2D/3D. Programma modelirovanija obemnoj shtampovki. Versija 4.3. Rukovodstvo pol'zovatelja. 3D modelirovanie / Kvantorform*. – M. : Kvantorform, 1991-2008. – 176 s.
6. *DEFORM-3D Version 6.1 : User's manual* / Scientific Forming Technologies Corporation. – Columbus, Ohio : Scientific Forming Technologies Corporation, 2008. – 416 с.
7. Mosbah P. *Experimental techniques for analysis of die pressing and ejection of metal powder* / P. Mosbah, D. Bouvard, E. Ouedraogo, P. Stutz // *Powder Metallurgy*. – 1997. – Vol. 40. – № 4. – P. 269–277.
8. Rudenko N. A. *Increase of parts quality from composite materials by using copper additive* / N. A. Rudenko // *14th International Conference RaDMI 2014 : Proceedings on CD-ROM*. – Topola, Serbia, 2014. – Vol. 1. – P. 284–289. ISBN 978-86-6075-047-3.
9. Rudenko N.A. *Modelirovanie processa pressovanija poroshkovih izdelij* / N. A. Rudenko // *Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov*. – Kramatorsk : DGMA, 2016. – № 2 (43). – S. 46–50.

Руденко Н. А. – канд. техн. наук, ст. преп. каф. МПФ ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: RudenkoNataliia@gmail.com

Статья поступила в редакцию 17.02.2017 г.