

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА

SIMULATION OF THE DEFORMATION PROCESS POWDER MATERIAL

А.Б. Найзабеков, В.А. Андреященко

Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау, Казахстан,

Vi-ta.z@mail.ru

Abstract

In work simulation of the powder material of Al-Si-Fe system is executed in software complex DEFORM 3D. Initial porosity is given 50% from density of the compact material. It is studied stress-strain condition of the porous specimen. Computer simulation are discovered dependencies of density of material from amount of the cycles ECAP. The experimental way are confirmed data, got by computer simulation.

Разработка новых материалов, обладающих высокими физико-механическими характеристиками является весьма актуально задачей. Все больший интерес ученых привлекают композиционные материалы на основе Al-Si-Fe [1, 2, 3]. Основными способами получения сплава является: плавка и повторная переплавка чистых компонентов в заданном соотношении и последующий метод распыления и осаждения на охлаждаемую подложку, с последующей формовкой и длительным отжигом, либо размол в шаровой мельнице, так же с последующими операциями формовки и отжига. Так же встречается получение литых образцов, но с проведением длительного отжига при фиксированной температуре.

Фазовый состав и кристаллография фаз, сформированных при различных температурах в системе Al-Si-Fe являются хорошо изученными [1, 2, 4, 5, 6], но информация о проявляемых свойствах сплава в широком диапазоне составов пока носит обрывочный характер. Особое внимание уделяется порошковой металлургии при исследовании сплава: измельчение, предварительная формовка, спекание. Содержание кремния и железа в сплаве оказывает определяющее влияние на свойства, проявляемые сплавом [7-9]. Для повышения механических характеристик литых и компактированных порошков, полученных из осажденного сплава авторы работы [10] используют горячую экструзию.

Однако практически отсутствует информация о компьютерном моделировании экструзии и/или прессования порошковых материалов. Таким образом, актуально проведение исследований по выявлению особенностей деформирования порошковых материалов.

Цель работы: изучение особенностей деформирования порошковых материалов методом равноканального углового прессования (РКУП).

Известно, что РКУП широко используется не только для создания наноструктурных, но и компактирования порошковых материалов. Для оценки возможности получения компактного композиционного материала на основе Al-Si-Fe решено использовать возможности программного комплекса DEFORM 3D. С этой целью создана модель заготовки и оснастки. Для создания порошкового материала во вкладке «свойства» задана начальная пористость заготовки. В связи с тем, что заготовка перед РКУП будет подвергнута предварительному компактированию для придания заготовке размеров, соответствующих размерам канала матрицы и исключения рассыпания заготовки, начальная пористость задана 50% от плотности компактного материала. Материал задан сплавом, имеющим в своем составе Al, Si и Fe. Расчет проведен при комнатной температуре. Влияние РКУП на поведение пористого материала оценивалось по следующим показателям: гидростатическое давление, интенсивность напряжений, интенсивность деформации, плотность и величина объема заготовки (рис.1).

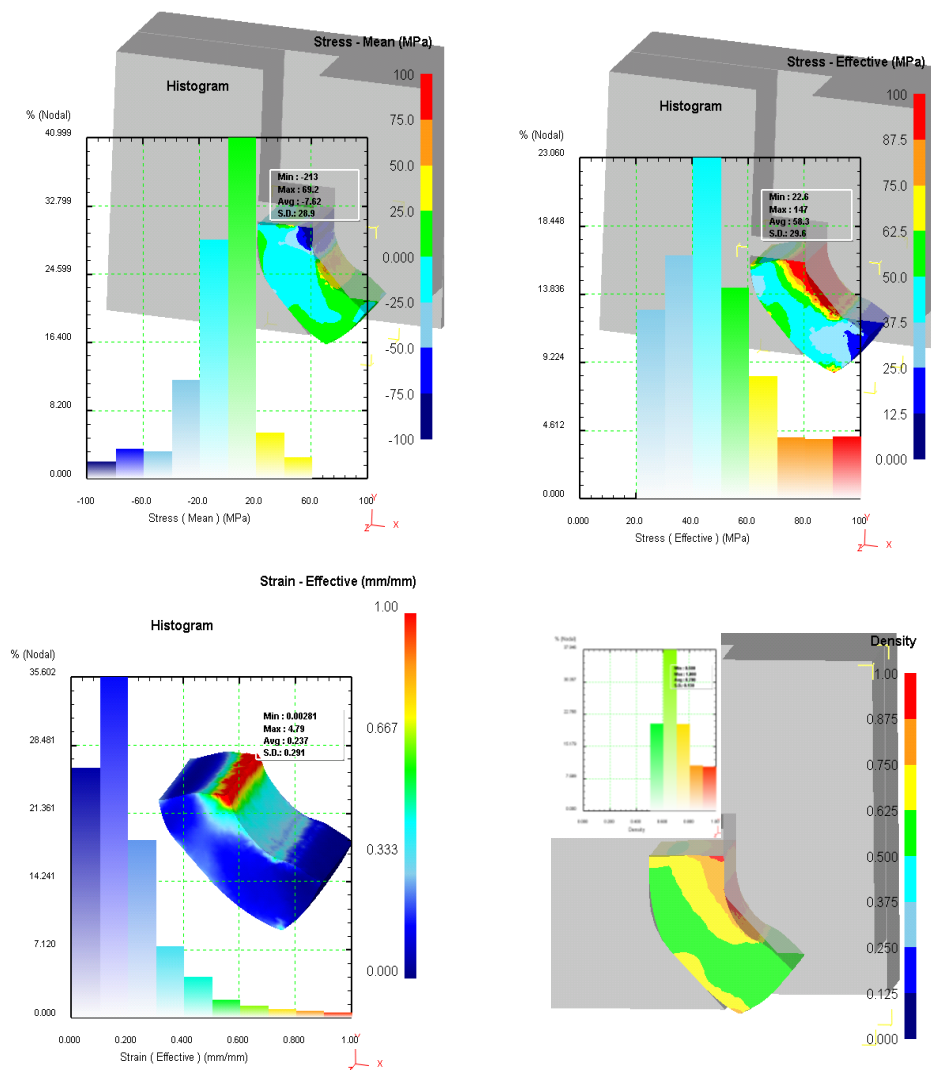


Рис. 1 – Напряженно-деформированное состояние пористой заготовки при РКУП

Анализ результатов моделирования показал, что поведение пористого материала при деформировании отличается от деформирования компактного материала. Области заготовки, имеющие наибольшие значения напряжений расположены у внутреннего радиуса инструмента. При деформировании превалирует сжимающее гидростатическое давление. Среднее значение гидростатического давления составляет минус 7,62 МПа \pm 28,9. Среднее значение интенсивности напряжений по объему заготовки составляет 58,9 МПа \pm 29,6. Средняя по объему заготовки интенсивность деформации составляет 0,237, плотность 0,7, что на 40% превышает исходное значение плотности. Нормальный закон распределения значений, приведенных на гистограммах, позволяет использовать полученный результат без исключения ошибок. Увеличение плотности заготовки сопровождается снижением ее объема с 11300 куб. мм до 8600. Такое уменьшение объема не позволяет проводить многоцикловое

РКУП в одном инструменте. Дальнейшее моделирование деформирования проводили в инструменте с уменьшенным каналом на соответствующую величину. Проведенные исследования показали, что в результате РКУП достижение плотности, равной 90-100% происходит после 3 циклов РКУП.

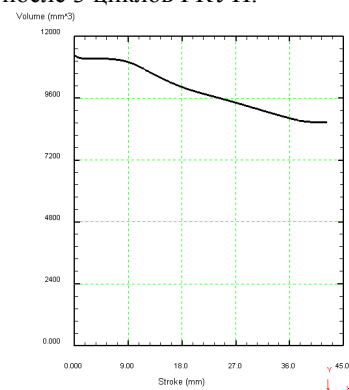
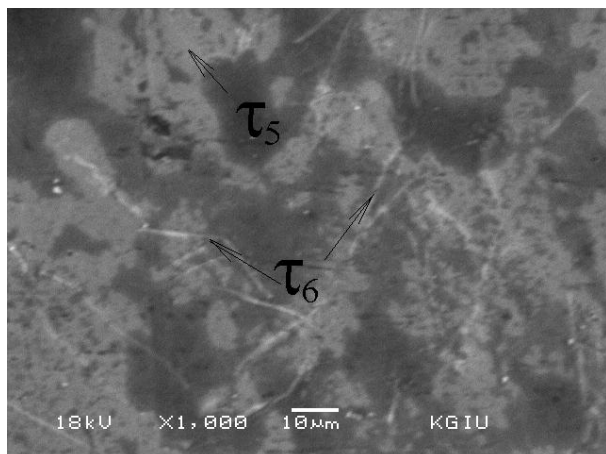


Рис.2 – Объем заготовки при РКУП

После проведения компьютерного моделирования перешли к экспериментальной оценке предложенного процесса. В качестве исходного материала использованы технически чистые Al и Si, а также сталь марки 08кп. Все исходные материалы были измельчены в виброистирателе, затем отсеяны с получением порошка фракции 0,3-0,5 мм. Исходные порошки смешивались из соотношения 59% Al-9% Si-32% Fe. Порошок алюминия и кремния равномерно перемешивается уже на стадии смешивания. Частицы железа окружены частицами алюминия, при этом частицы железа в смеси находятся примерно на одинаковом расстоянии друг от друга. Такое расположение говорит о том, что при нагреве будет происходить взаимное перемещение атомов железа и алюминия с образованием интерметаллидного соединения по границам раздела частиц железа и алюминия. Кремний равномерно распределен по всему объему исходного порошка. После смешивания порошок был скомпактирован в брикет с размерами, соответствующими размерам канала инструмента. Для активации процессов взаимодействия компонентов материала, решено использовать нагрев брикетов перед деформированием до 630-650°C. Высокотемпературное деформирование позволяет не только ускорить фазовые переходы, но и обеспечит формирование фазы τ_5 . После нагрева и выдержки образцы подвергали многоциклового РКУП. Температура нагрева выбрана таким образом, чтобы с учетом охлаждения в момент деформации исключить образование и рост фазы τ_6 . Время выдержки выбрано с учетом протекания фазовых



превращений и скорости выравнивания температуры по сечению образца. Полного подавления фазовой трансформации добиться не удастся, и в структуре присутствуют пруткообразные составляющие фазы τ_6 (рисунок 3).

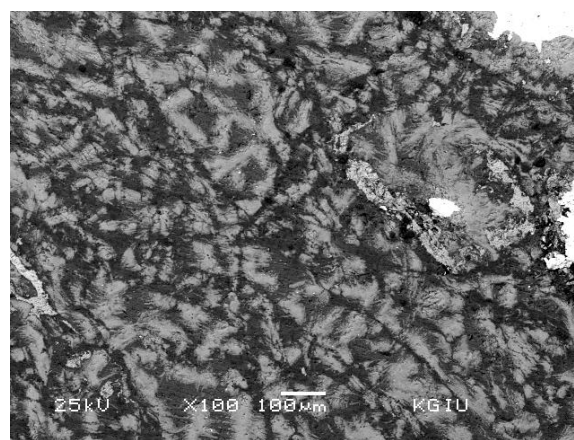
Рис. 3 – Изображение сплава (СЭМ) после отжига при 650°C, с выдержкой 90 мин. в воде

На основании полученных результатов выявлено, что процесс структурообразования

непосредственно зависит от режимов предварительного нагрева и выдержки до деформирования. Уже на стадии выдержки наблюдается формирование компактного материала с относительно равномерным распределением структурных составляющих по объему образца.

Наиболее рациональным способом подготовки материала к РКУП, обеспечивающим формирование компактного материала способом к последующей пластической деформации является нагрев предварительно скомпактированного порошка до 650°C и выдержка в течение 90 минут с ускоренным охлаждением.

После выбора наиболее рационального режима обработки, образцы подверглись РКУП. Микроструктура после 3 циклов РКУП представлена на рис.4. Фазы, образованные в



результате нагрева и выдержки при РКУП измельчаются и поворачиваются, равномерно заполняя весь объем заготовки.

Рис. 4 – Изображение образца (СЭМ), полученного по новой технологии

Выводы: Полученные результаты моделирования позволили добиться получения субультрамелкозернистого/наноструктурного материала. Компьютерным моделированием выявлены зависимости плотности получаемого материала от количества циклов РКУП. Экспериментальным путем подтверждены данные, полученные при компьютерном моделировании.

Список литературы

1. Intermetallic compound formation in Fe–Al–Si ternary system: Part I S.P. Gupta. Materials Characterization 49 (2003) 269– 291.
2. Intermetallic compound formation in Fe–Al–Si ternary system: Part II S.P. Gupta. Materials Characterization 49 (2003) 293– 311.
3. Production and annealing of nanocrystalline Fe–Si and Fe–Si–Al alloy powders B. Zuo, N. Saraswati, T. Sritharan, H.H. Hng Materials Science and Engineering A 371 (2004) 210–216.
4. Enthalpy of formation of Al–Fe–Si alloys (t_5 , t_{10} , t_1 , t_9) Y. Li, P. Ochin, A. Quivy, P. Telolahy

, B. Legendre Journal of Alloys and Compounds 298 (2000) 198–202.

5. Phase equilibria and structural investigations in the system Al-Fe-Si Martin C.J. Marker, Barbara Skolyszewska-Kühberger, Herta S. Effenberger, ClemensSchmetterer, Klaus W. Richter Intermetallics 19 (2011) 1919-1929.

6. A thermodynamic description of the AlFeSi system over the whole composition and temperature ranges via a hybrid approach of CALPHAD and key experiments Yong Du, Julius Clemens Schuster, Zi-Kui Liu, Rongxiang Hu, Philip Nash, Weihua Sun, Weiwei Zhang, Jiong Wang, Lijun Zhang, Chengying Tang, Zhijun Zhu, Shuhong Liu, YifangOuyang, Wenqing Zhang, NataliyaKrendelsbergerIntermetallics 16 (2008) 554-570.

7. Oxidation resistance of SHS Fe-Al-Si alloys at 800°C in air Pavel Novak, MichalaZelinkova, Jan Serak, AlenaMichalcova, Michal Novak, DaliborVojtechIntermetallics 19 (2011) 1306-1312.

8. Intermediary phases formation in Fe–Al–Si alloys during reactive sintering Pavel Novak, VitezslavKnotek, Milena Voderova, JiriKubasek, Jan Serak, AlenaMichalcova, DaliborVojtech Journal of Alloys and Compounds 497 (2010) 90–94.

9. Solidificationbehaviour, microstructure and mechanical properties of high Fe-containing Al–Si–V alloys, K.L. Sahoo, B.N. Pathak Journal of materials processing technology 209 (2009) 798–804.

10. Microstructural modifications induced during spray deposition of Al–Si–Fe alloys and their mechanical properties V.C. Srivastava, R.K. Mandal, S.N. Ojha, K. Venkateswarlu Materials Science and Engineering A 471 (2007) 38–49.

11. Naizabekov A.B.,Andreyachshenko V.A.The Technology of Equal Angle Backpressure Extrusion for Deformation Iron and Aluminium Alloys//3rd International Conference Nanocon, Czech Republic Brno, 2011, c – 246-252

12. Naizabekov A.B.,Andreyachshenko V.A., Jiri Kliber, RadimKocich The influence equal chanell angular pressure to the microstructure and phase composition of the alloy based on aluminum// International scientific conference “New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering Czestochowa 2012, 438-441

13. Naizabekov A.B.,Andreyachshenko V.A., Jiri Kliber Forming of microstructure of the Al-Si-Fe-Mn system alloy by equal channel angular pressing with backpressure//21th International Conference on metallurgy and materials METAL, Brno, Czech Republic, 2012, p. 391-395

14. Найзабеков А.Б., Андреященко В.А.Исследование влияния внешних факторов при угловом прессовании// Технология машиностроения, Москва, Россия, №5, 2012, с. 18-21

15. Naizabekov A.B.,Andreyachshenko V.A.,RadimKocichStudy of deformation behavior, structure and mechanical properties of the AlSiMnFe alloy during ECAP-PBP// Micron, 44 (2013), p. 210-217.

16. Найзабеков А.Б., Андреященко В.А., JiriKliber, RadimKocich Исследование процесса равноканального углового прессования алюминиевых сплавов// Труды 6-й Международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина», Екатеринбург, Российская Федерация, 2012, с. 706-709

17. LenkaKuncicka, RadimKocich, АндреященкоВ.А., Drapala J. FEM simulation and comparison of the ECAP and ECAP-PBP influence on Material’s deformation behavior//22th International Conference on metallurgy and materials METAL, Brno, Czech Republic, 2013, p. 50

18. Naizabekov A.B.,Andreyachshenko V.A.Evaluation of possible mechanical property improvement for alloy of the Al-Fe-Si-Mn system by equal-channel angular pressing// Metallurgist, V. 57, Nos. 1-2, May, 2013, p. 159-163.