

Механизм сращивания контактных поверхностей частиц при горячей деформации

Т.В. Гончарова

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В данном исследовании проводится анализ микроструктур горячедеформированных порошковых материалов, рассматривается физика процессов, какие физические изменения претерпели зерна порошка, что представляют собой монокристаллиты разных размеров и конфигурации, направления кристаллографических плоскостей к плоскости шлифа. Исследовано влияние крупности исходных частиц на структурообразование порошковых сплавов с учетом особенностей гомогенизации при спекании. Рассмотрен характер деформирования частиц пористых прессовок из стали двух видов шихты (крупного и мелкого железного порошка, с разной пористостью).

Ключевые слова: физика процессов, поверхности сращивания, количественные характеристики, горячедеформированные порошковые материалы, микроструктуры, монокристаллиты, структурообразование, крупность частиц, гомогенизация.

Как известно, физика – это наука о процессах в природе, а физический процесс – это последовательная смена состояний некоторого объекта. Учёные издавна наблюдают процессы, анализируют их и ставят эксперименты, чтобы выявить закономерности участвующих в этих процессах тел или частиц. В случае с динамическим горячим прессованием и поперечной горячей штамповкой, основанных на горячей обработке давлением пористых заготовок [1,2], физические процессы построены на схожем механизме структурообразования: уплотнении, деформации, сращивании на межчастичных контактных поверхностях. На формирование технологических характеристик порошков большое влияние оказывает такой параметр, как гранулометрический состав порошка, который относится к физическим свойствам. Важной научной задачей является исследование количественной оценки критериев сращивания горячедеформированных порошковых материалов и их взаимной корреляции [3,4]. Опытное определение количественной величины поверхностей сращивания основано на отличии границ этих поверхностей на шлифах образцов на разных стадиях

обработки [5]. Примером служат образцы порошкового пермаллоя 50Н (химический состав в табл. 1) после горячей штамповки и отжига (1100°C , 3ч) в среде диссоциированного аммиака. Порошок пермаллоя соответствует по гранулометрическому составу железному порошку классу крупности 315 (табл.2). Холодным прессованием (600 Мпа) формовались заготовки пористостью 20% для получения горячедеформированных кольцевых образцов ($d=35 \times 25$ мм, $h=5$ мм) и проведения магнитных измерений. Нагрев заготовок перед горячей штамповкой (1100°C , 7 мин) проводился в среде диссоциированного аммиака.

Таблица 1

Химический состав пермаллоя 50Н, мас.%

<i>Ni</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Fe</i>
49,0-50,5	0,15-0,30	0,3-0,6	0,2	0,03	0,02	0,02	остальное

Анализ микроструктур показывает, что зерна порошка после горячей штамповки не изменены. Монокристаллиты разных размеров с четкой морфологией ограниченной формы и направлением кристаллографических плоскостей. Содержание гранулометрических фракций порошка дает обособления структуры. В крупных частицах видны двойниковые фазы белыми плоскопараллельными включениями. Отжиг дает сфероидизацию мелких и крупных частиц, коагуляцию при поглощении мелких частиц крупными.

Таблица 2

Гранулометрический состав железного порошка

Способ изготовления порошка	Класс крупности	Выход фракции, %, при размере частиц, мм								
		0,600-0,450	0,450-0,315	0,315-0,250	0,250-0,200	0,200-0,160	0,160-0,100	0,100-0,071	0,071-0,044	< 0,045
Восстановленные	450	*	10-30		остальное		10-25	0-20		
	160	*	*	*	0-10		10-30	20-40	20-40	10-30
Распыленные	450	0-5	остальное				10-30			0-10
	315	*	0-10	5-20	остальное		30-55			0-15
	200	*	*	*	0-1,5	0,15	остальное			10-25

На рис. 1 (кривая 1) дана количественная зависимость $l_s = f(\bar{l})$ для порошка пермаллоя (фракции частиц $\bar{l} = 300, 200, 120$ и 65 мкм). Зависимость описывается аналитическим уравнением типа (1) ($k_s \approx 7,5$).

$$l_s = \frac{\sum l_u}{\sum S_u} = k_s^i \frac{\sum l_i}{\sum S_{ri}}, \quad (1)$$

где l_s – удельная длина границ сращивания, l_u – периметр границ сечения частицы, l_i – размер i -той частицы, k_s^i – коэффициент пропорциональности для определения l_s по величине l_i , S_u – поверхность одной частицы.

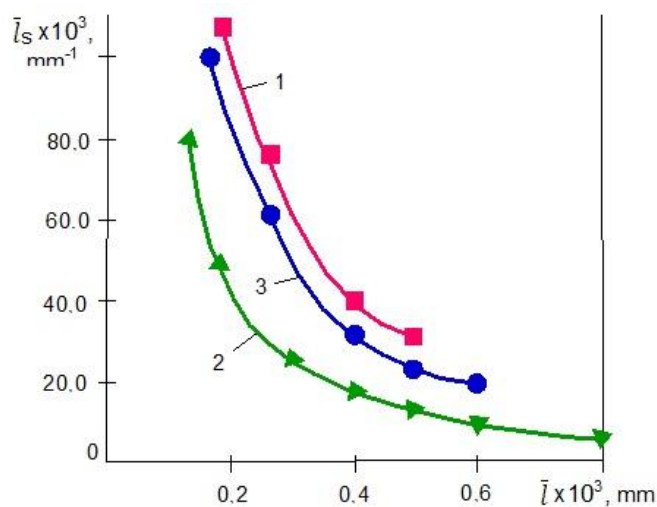


Рис. 1. - Зависимость $l_s = f(\bar{l})$ для порошков: 1 – пермаллоя; 2 – быстрорежущей стали Р6М5К5; 3 – шихты стали Г13п

Зависимость $l_s = f(\bar{l})$ получена при обработке фрактограмм изломов образцов из быстрорежущей стали Р6М5К5. Заготовки образцов получены электроразрядным спеканием [6-8] порошков фракций 1-8, а затем подвергались горячей штамповке на молоте. Значения работы уплотнения $290-310 \text{ МДж/м}^3$ обеспечивают беспористое состояние материала.

Фрактограммы изломов образцов из порошков фракций 1 и 2, а зависимость $l_s = f(\bar{l})$ – на рис.1 (кривая 2). Анализ показывает практически полное совпадение экспериментальных значений l_s с расчетными, полученными по формуле (1) ($k_s=4$).

Исследование влияния крупности исходных частиц на физику процессов и структурообразование порошковых сплавов проведено для стали Г13п. Расплавленный ферромарганец, протекая в микропоры, сокращая пути диффузии марганца, обеспечивает гомогенизацию сплава. Зависимость $l_s = f(\bar{l})$ на рис.1 (кривая 3) описывается формулой (1) ($k_s \approx 6,6$).

Для исследования характера деформирования [9, 10] материала частиц пористых прессовок из стали Г13п готовили образцы ($d = 20$ мм, масса 25 г) из двух видов шихты (крупного, мелкого железного порошка с пористостью 31 и 26%). После спекания наблюдался рост заготовок и увеличение пористости (36 и 30%). Спеченные заготовки после нагрева (1200°C , 5-7 мин) подвергали динамическому уплотнению. Величина приведенной работы выбиралась для различной пористости. В структуре образцов выделяются деформированные объемы материала за счет затекания поры. Это видно на структурах и согласуется с формулой (2), согласно которой размер пор возрастает с укрупнением частиц при одинаковой пористости прессовок.

$$V_p = V_u \frac{P}{1-P}, \quad (2)$$

где V_p – объем поры, V_u – объем частиц.

Структура практически беспористой горячедеформированной стали характеризуется полным охватом деформаций объемов всех частиц, что говорит об ее однородности, присущей обоим гранулометрическим составам исходного железного порошка. Приведенные исследования физики процессов при горячем деформировании подтверждают определяющее влияние технологических параметров на качество сращивания, формирование структуры и свойств порошковых материалов и могут быть использованы при дальнейшем изучении в целях получения современных материалов с улучшенными свойствами.

Литература

1. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. Физические основы пластической деформации. М. : "Металлургия", 1982. 584 с.
2. Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов: материалы XXIV Уральская школа металловедов-термистов (19-23 марта 2018 года, Магнитогорск) / под редакцией: Чукин М.В., Емелюшин А.Н. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. 235 с.
3. Егоров М.С. Повышение механических свойств горячедеформированных порошковых материалов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2004. №2. С.97-99.
4. Синельщиков В.В. Испытания на изгиб нагретых пористых порошковых образцов из железного порошка // Инженерный вестник Дона, 2016. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3536.
5. Гончарова Т.В. Факторы, определяющие качество горячедеформированных порошковых материалов, критерии его оценки и способы повышения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск: НГТУ. 1996. 18 с.
6. Дорофеев Ю.Г., Богданченко А.Н. Оптимизация плотности заготовок, получаемых электроразрядным спеканием из распыленных труднодеформируемых порошков. Порошковая металлургия, 1985, №2. С.57-61.
7. Sjöberg G., Mironov V., Fischmeister H.E. Die-Filling and Densification in Hot Extrusion Forging of Porous Preforms // Powder Metallurgy Int. 1977. Vol. 9, №4. pp.160-163.
8. Егоров М.С. Расчет активного центра на межчастичной поверхности сращивания // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2004. №2. С.100-102
9. Синельщиков В.В. Исследование пластических свойств пористых порошковых материалов в нагретом состоянии при испытаниях на

растяжение. // Инженерный вестник Дона, 2016. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3505.

10. Kolokolov E.I., Pirozhkov R.V., Tomilin S.A. Applicability of 110G13P type powder steel for production of consolidation details of high parameters power fittings // In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2014. Vol. 2. № 2. pp. 29-35.

References:

1. Polukhin P.I., Gorelik S.S., Vorontsov V.K. Fizicheskie osnovy` plasticheskoy deformacii [Physical foundations of plastic deformation]. M.: "Metallurgiya", 1982. 584 p.

2. Aktual`ny`e problemy` fizicheskogo metallovedeniya stalej i splavov [Current problems of physical metallurgy of steels and alloys]: materialy` XXIV Ural`skaya shkola metallovedov-termistov (19-23.03.2018, Magnitogorsk). Pod redakciej: Chukin M.V., Emelyushin A.N. Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorsk. gos. texn. un-ta im. G.I. Nosova, 2018. 235 p.

3. Egorov M.S. Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Tekhnicheskie nauki. 2004. №2. pp.97-99.

4. Sinelshchikov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3536.

5. Goncharova T.V. Faktory`, opredelyayushhie kachestvo goryachedeformirovanny`x poroshkovy`x materialov, kriterii ego ocenki i sposoby` povy`sheniya [Factors that determine the quality of hot-deformed powder materials, criteria for evaluating it and ways to improve it] (Avtoref. dis...kand. texn. nauk. Novocherkassk, NGTU.1996).

6. Dorofeev Y.G., Bogdanchenko A.N. Poroshkovaya metallurgiya. 1985. №2. pp. 57-61.

7. Sjöberg G., Mironov V., Fischmeister H.E. Powder Metallurgy Int, 1977. Vol. 9, №4, pp.160-163.



8. Egorov M.S. Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Tekhnicheskie nauki. 2004. №2. pp. 100-102.
9. Sinelshchikov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3505.
10. Kolokolov E.I., Pirozhkov R.V., Tomilin S.A. In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2014. Vol. 2. № 2. pp. 29-35.