

Показатели плотности поверхности межчастичного сращивания при спекании порошковых тел

Т.В. Гончарова

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В данной статье предлагается к рассмотрению экспериментальное определение показателей плотности поверхности межчастичного сращивания при спекании горячедеформированных порошковых материалов. При исследовании проводится анализ физики процессов формирования микроструктур поверхностей сращивания на различных стадиях получения порошковых материалов. Рассмотрены особенности протекания деформационных процессов при формировании материалов горячей обработкой давлением и исследованы физические изменения, которые претерпевают зерна порошка. Прослежен характер границ поверхностей сращивания на исследуемых объектах, а также процесс залечивания пор при уплотнении формовок на основе стали из двух видов шихты на основе крупного и мелкого железного порошка с разной пористостью.

Ключевые слова: физика процессов, количественные характеристики, площадь поверхности сращивания, удельная поверхность сращивания, горячедеформированные порошковые заготовки, структурообразование, микроструктуры, поверхностная деформация, залечивание пор, крупность частиц.

Динамическое горячее прессование и горячая поперечная штамповка пористых заготовок влияют на важные физические процессы получения материалов [1,2]. Изучение факторов, влияющих на формирование структуры и свойств порошковых материалов, полученных горячей обработкой путем давления пористых заготовок, является важным и перспективным научным исследованием.

Ранее, при изучении различных аспектов межчастичного сращивания, на разных этапах формирования горячедеформированных порошковых материалов использовали лишь качественные показатели в расчетах. На новом этапе таких изысканий должны применяться количественные критерии, определяющие плотность сращиваемых поверхностей в объеме и сечении обрабатываемого материала. Все это обусловило проведение дополнительных научных исследований и расчетов [3,4].

Одним из таких количественных критериев, которые определяют плотность сращиваемых поверхностей, может быть удельная поверхность сращивания, поскольку связана с количеством поверхностных дефектов. Ее можно определить, как отношение величины суммарной поверхности сращивания к объему

обрабатываемых частиц. Для беспористых материалов эта величина S_v соизмерима с суммарной поверхностью частиц $\sum S_u$, для пористых из последней исключается величина суммарной поверхности пор $\sum S_p$ в данном объеме $\sum S_u$:

$$\sum S_u = S_v \sum V_u + \sum S_p . \quad (1)$$

Аналитическое выражение определения удельной поверхности сращивания можно получить, приняв все частицы одного размера и сферической формы, на различных этапах обработки их форма только искажается, существенного изменения величины поверхности не происходит, а объем остается постоянным. Тогда:

$$S_v = \frac{\sum S_u}{\sum V_u} = \frac{n_u \frac{4\pi r_u^2}{8}}{n_u \frac{4}{3}\pi r_u^3} = 3r_u^{-1} = 6d_u^{-1} , \quad (2)$$

где S_u и V_u – поверхность и объем одной частицы; $\sum V_u$ – суммарный объем n_u обрабатываемых частиц в объеме материала; r_u и d_u – радиус и диаметр частиц.

Физическое изменение исходной формы частиц, искажение при обработке и использование частиц разных размеров, то есть переход к реальной порошковой системе со среднестатистическим размером частиц \bar{l} , не изменяя характера зависимости (2), приведет лишь к изменению коэффициента. В общем случае:

$$S_v = k_v \bar{l}^{-1} , \quad (3)$$

где k_v – коэффициент пропорциональности для определения S_v .

В логарифмических координатах зависимости спрямляются:

$$\ln S_v = \ln k_v - \ln d_u . \quad (4)$$

Уменьшение S_v с увеличением размера частиц должно приводить к уменьшению суммарного количества поверхностных дефектов на частицах и положительно влиять на свойства материала, обеспечивая применение более дешевых крупнозернистых порошков, когда уплотнение идет за счет внешнего давления [5-7].

Еще одним показателем плотности поверхностей сращивания может быть удельная длина границ сращивания (l_s), измеряемая в сечении шлифа, на

поверхности фрактограммы. Для беспористых материалов она равна отношению суммарного периметра границ сечения частиц плоскостью шлифа, или их проекций на поверхность фрактограммы (границ срачивания $\Sigma l_s = \Sigma l_u$) к площади этого сечения, для пористых – из этой длины необходимо исключить величину суммарной длины сечений поверхностей пор Σl_p в сечении:

$$\Sigma l_s = \Sigma l_u - \Sigma l_p. \quad (5)$$

При допущениях, принятых в процессе получения аналитического выражения для определения S_v , можно получить зависимость для расчета l_s при частицах сферической формы (6), где d_i – диаметр i -той частицы.

$$l_s = 4 \frac{\Sigma d_i}{\Sigma d_i^2}, \quad (6)$$

В общем виде для частиц произвольной формы оно может быть записано выражением (7), где k'_s – коэффициент пропорциональности для определения l_s по величине l_i (l_i – размер i -той частицы).

$$l_s = 4 \frac{\Sigma l_u}{\Sigma S_u} = k'_s \frac{\Sigma l_i}{\Sigma S_{ri}}, \quad (7)$$

Переходя к среднестатистическим размерам частиц \bar{d} (6), \bar{l} (7), считая, что площади частиц произвольной и сферической формы одинаковы, а увеличение периметра первых компенсируется увеличением значения соответствующего коэффициента, получим:

$$l_s = k_s \frac{n_u \bar{l}}{n_u \bar{l}^2} = k_s \bar{l}^{-1} \approx k_s \bar{d}. \quad (8)$$

Соотношение между коэффициентами k_v и k_s определяется для порошковых материалов на основе частиц сферической формы. Из зависимостей (2) и (6) $k_v = \frac{3}{8} k_s$. С порошками других конфигураций это соотношение определяется экспериментально.

Сопоставляя выражения для определения S_v и l_s , отмечаем, что они имеют одинаковую размерность (m^{-1}), как и для плотности дислокации. Их численные значения чаще не совпадают, и достоверными следует считать те, что лучше коррелируют с зависимостями свойств от гранулометрического состава [8].

Схемы (рис. 1) процесса формирования поверхностей сращивания на различных стадиях получения порошковых материалов из шихты на основе мелкого и крупного порошка говорят, что при крупном порошке возрастают единичные значения размеров микро- и субмикропор, поверхностей межчастичного контакта, межзеренного сращивания.

Этапы получения горячедеформированных порошковых материалов	Вид порошка	
	Мелкий	Крупный
1. Насыпное состояние		
2. Холодное прессование		
3. Спекание		
4. Горячая обработка давлением		
5. Горячая обработка давлением или термообработка		

Рис.1. – Схемы, иллюстрирующие формирование поверхностей сращивания на различных стадиях получения горячедеформированных порошковых материалов: 1 – микропора; 2 – точечный контакт в насыпанном порошке; 3 – физический межчастичный контакт; 4 – субмикропора; 5 – внутризеренное сращивание; 6 – межзеренное сращивание; 7 – бывшая граница сращивания; 8 – граница мигрировавшей поверхности сращивания.

Размеры и форма пор зависят от гранулометрического состава порошка и с увеличением размеров частиц, уменьшением диапазона их варьирования, поры укрупняются, эта связь находится из выражения определения пористости (9), где V_p – объем поры, ΣV_p – суммарный объем пор формовки, где частицы занимают объем ΣV_u .

$$P = \frac{\Sigma V_p}{\Sigma V_u + \Sigma V_p}, \quad (9)$$

Приняв количество частиц и пор (n_w, n_p) формовки одинаковым, получим:

$$V_p = V_u \frac{P}{1-P} \quad (10)$$

Погрешности уменьшаются при приобретении частицами сферической формы и одинаковых размеров [9,10]. Анализируя формулу (10), заключаем, что объем единичной поры определяется размерами частиц и уменьшается при снижении пористости, что определяет особенности протекания физики деформации, степень однородности, соотношение площадей поверхности сращивания на разных стадиях. Схемы описания физического процесса залечивания пор при уплотнении формовок с порошками различной крупности приведены на рис.2. Они указывают на участие в залечивании крупных пор большего объема частиц, чем при мелких. При смешанном – пора заполняется мелкими частицами без существенной структурной деформации.

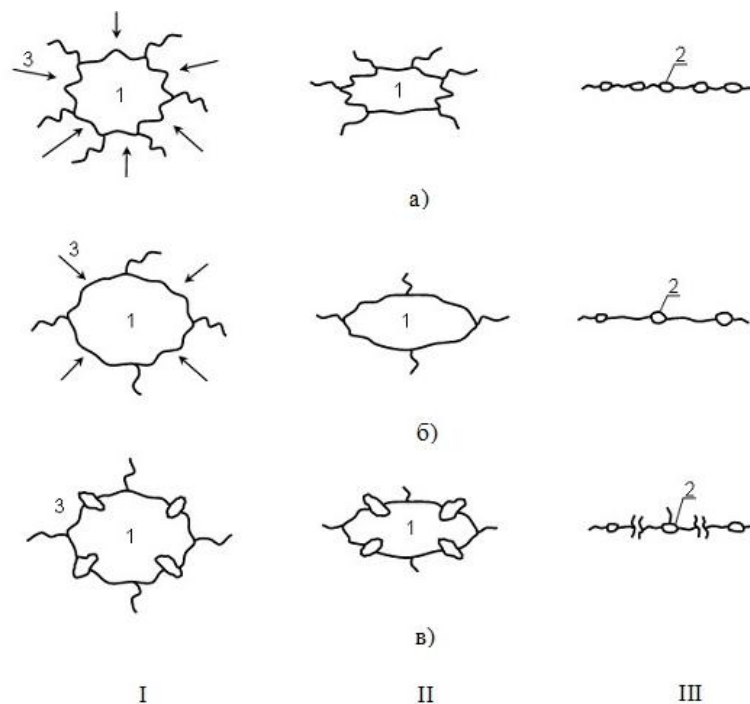


Рис.2. – Схемы, иллюстрирующие процесс залечивания пор при уплотнении формовок на основе мелкого (а), крупного (б) и смешанного порошка (в). 1 – микропора; 2 – субмикропора; 3 – частица; состояние формовки после: I – холодного прессования; II – спекания; III – горячей допрессовки.

Проведенные исследования доказывают наличие основополагающего влияния технологических факторов на физические процессы сращивания, формирование

определенной микроструктуры и свойств горячедеформированных порошковых материалов. В данной работе для определения количественных характеристик поверхностей сращивания, при расчетах использованы аналитические выражения.

В ходе экспериментов выявлено, что изменение исходной формы частиц, использование частиц неодинаковых размеров приведет лишь к изменению численного коэффициента. Уменьшение удельной поверхности сращивания с увеличением размера частиц положительно сказывается на свойствах материала, обеспечивая возможность применения более дешевых крупнозернистых порошков при производстве.

Установлено, что при использовании крупнозернистого порошка на всех стадиях возрастают единичные значения размеров микро- и субмикропор, поверхностей межчастичного контакта, меж- и внутризеренного сращивания.

В результате проведенных исследований на спеченных порошковых заготовках доказано, что размеры и форма пор зависят от гранулометрического состава порошка, с увеличением размеров частиц и уменьшением диапазона их варьирования поры укрупняются. С увеличением размера частиц в зонах, прилежащих к порам, степень деформации материала возрастает и сращивание активизируется. По удалению от поры, условия для его протекания ухудшаются, что можно компенсировать предварительным спеканием, обеспечивая сращивание на удаленных от пор поверхностях.

Литература

1. 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.
2. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. Физические основы пластической деформации. М.: "Металлургия", 1982. 584 с.

3. Дорофеев В.Ю., Логинов В.Т., Гончарова Т.В. Количественная оценка критериев срачивания порошковых материалов и возможности их взаимной корреляции. Применение новых материалов в машиностроении. Новочеркасск: НГТУ, 1997. С. 38-42.
4. 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.
5. 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.
6. Егоров М.С. Повышение механических свойств горячедеформированных порошковых материалов // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2004. №2. С.97-99.
7. 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.
8. 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.
9. Егоров М.С. Расчет активного центра на межчастичной поверхности срачивания //Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2004. №2. С.100-102
10. 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.

References:

1. 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.
-

2. Polukhin P.I., Gorelik S.S., Vorontsov V.K. Fizicheskie osnovy` plasticheskoy deformacii [Physical foundations of plastic deformation]. M.: "Metallurgiya", 1982. 584 p.
3. Dorofeev V.Y., Loginov V.T., Goncharova T.V. Kolichestvennaya ocenka kriteriev srashchivaniya poroshkovykh materialov i vozmozhnosti ih vzaimnoj korrelyacii. Primenenie novykh materialov v mashinostroenii. [A quantitative assessment of the criteria for the fusion of powder materials and the possibility of their mutual correlation, the Use of new materials in mechanical engineering]. Novochoerkassk: NGTU. 1997. pp. 38-42.
4. Sjöberg G., Mironov V., Fischmeister H.E. Powder Metallurgy Int, 1977. Vol. 9, №4, pp.160-163.
5. Sinelshchikov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3536.
6. Egorov M.S. Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Tekhnicheskie nauki, 2004. №2. pp.97-99.
7. Kolokolov E.I., Pirozhkov R.V., Tomilin S.A. In the World of Scientific Discoveries, Series B. 2014. Vol. 2. № 2. pp. 29-35.
8. Goncharova T.V. Faktory`, opredelyayushhie kachestvo goryachedeformirovanny`x poroshkovy`x materialov, kriterii ego ocenki i sposoby` povы`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., Novochoerkassk, NGTU.1996).
9. Egorov M.S. Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Tekhnicheskie nauki, pp.100-102.
10. Sinelshchikov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3505.