

Выбор легирующих элементов для улучшения обрабатываемости резанием порошковых конструкционных сталей

В.Г. Шишка¹, А.В. Скориков², И.В. Иванова¹, Н.В. Шишка²

¹Акционерное общество «Особое конструкторско-технологическое бюро «Орион»

²Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова

Аннотация: Рассмотрена горячая штамповка заготовок с порами (ГШПЗ). Горячештампованные стали конструкционного назначения имеют более низкие показатели обрабатываемости резанием, чем аналогичные литые и горячекатанные стали. В статье производится анализ легирующих элементов, улучшающих обрабатываемость резанием горячештампованных сталей. Рассматривается изменение физико-механических свойств под их влиянием.

Ключевые слова: порошковая металлургия, горячая штамповка пористых заготовок, ГШПЗ, обрабатываемость резанием, легирующие элементы.

Порошковая сталь конструкционного назначения, предназначенная для изготовления тяжело нагруженных деталей машин, должна обладать высокой прочностью, твердостью, пластичностью и ударной вязкостью. По этим показателям она не должна уступать литым и горячекатаным сталям аналогичного химического состава, а по обрабатываемости резанием превосходить их.

В работах [1-4] указывалось на то, что путем направленного легирования различными химическими элементами и их соединениями можно по-разному воздействовать на структуру материала. Какой же из рассмотренных путей в наибольшей степени может обеспечить требуемый комплекс свойств порошковых сталей?

Улучшение обрабатываемости за счет создания в материале халькогенидных включений неизбежно приводит к снижению прочности и пластичности, что делает неприемлемым использование элементов группы серы в качестве лигатуры.

Не применяемые для литых материалов, но часто употребляемые для повышения обрабатываемости резанием спеченных порошковых сталей

дисульфид молибдена и сульфид марганца, значительно ухудшают физико-механические свойства. Процесс их введения сопровождается диффузией серы с образованием сульфида железа, что является предпосылкой к неизбежному разупрочнению.

Введение свинца значительно улучшает обрабатываемость как литых, так и порошковых материалов, практически без ухудшения прочности и пластичности. Однако процесс получения свинецсодержащих сталей методами ГШПЗ сопровождается выбросом в атмосферу токсичных оксидов, что вынуждает отказаться от легирования этим элементом.

Использование азота также не представляется возможным, так как для порошковых материалов высока вероятность образования твердых нитридных включений, увеличивающих абразивный износ инструмента при обработке резанием.

Наиболее приемлемым химическим элементом для получения порошковых сталей улучшенной обрабатываемости является дешевый, широко распространенный и экологически чистый кальций, оказывающий положительное влияние не только на обрабатываемость резанием, а также на показатели прочности и пластичности. Специфика порошковой металлургии порождает проблему, какие химические соединения оптимально будет использовать для введения этого элемента в состав шихты? Исходный железный порошок содержит большое количество кремния, поэтому силикакальций введенный в шихту не улучшает обрабатываемость резанием. Необходимо рассмотреть вопрос о влиянии различных кальцийсодержащих лигатур на специфические процессы структурообразования сталей, получаемых из металлических порошков.

Для этого обратимся к опыту разработки спеченных пористых порошковых материалов. С целью облегчения процесса резания известно введение 0,1-1,2 % фторида кальция, что не вызывает ухудшение свойств

материала. Доказано, что при спекании CaF_2 не происходит разложения и диффундирования в железную матрицу.

У штампованных порошковых материалов антифрикционного назначения на основе железа с введением CaF_2 в интервале 10-50 % (по массе) [5] снижаются физико-механические характеристики, но, как влияют добавки CaF_2 на изменение свойств материала, в том числе и на улучшение обрабатываемости резанием, не изучалось.

Введение кальция в специальную сталь позволяет заполнить поры оксидом кальция [6], благодаря чему повышается стойкость инструмента, причем оптимальное содержание Ca (% (по массе)) зависит от пористости (П): при $\text{П} < 3\%$ $\text{Ca}=0,001-0,013$; при $\text{П} = 3-20\%$ $\text{Ca}=0,002-0,040$; а при $\text{П} < 20\%$ $\text{Ca}=0,01-0,10$. Разработанные японскими учеными специальные стали улучшенной обрабатываемости резанием, содержат кальций в пределах % (по массе) 0,003-1 [7].

Если вводить кальций в виде карбоната (CaCO_3), то повышается прочность специальных сталей [8], т.к. очищаются границы частиц и зерен железной матрицы от сегрегаций вредных примесей и улучшаются связи между ними, но пластичность и обрабатываемость этих сталей резанием в этой статье не изучались.

Различные исследования показывают, что кальций влияет на процесс структурообразования порошковых сталей. При этом на поверхностях раздела снижается уровень граничной энергии, и как следствие уменьшается склонность зерна к росту. Кальций благоприятствует оттеснению атомов гетерофобных элементов в тело зерна и образованию гомогенной структуры. Вытесняются преимущественно титан, азот и марганец, а такие элементы как сера и кислород остаются на границах зерен.

Особо следует выделить работу, посвященную исследованию влияния кальция на обрабатываемость резанием горячештампованной порошковой

стали [7]. Авторы публикации утверждают, что оптимальное его содержание составляет $8,9 \cdot 10^{-5}$ % (по массе).

Можно сделать вывод, что кальций как легирующий элемент для порошковых материалов на основе железа, позволяет, не только улучшить обрабатываемость, но и улучшить сращивание частиц порошка при спекании, уменьшить сегрегацию включений на границах зерен и частиц, получить гомогенную структуру, в следствие чего возрастает прочность и пластичность. Однако, пока точно неизвестно, какие пропорции и какие химические соединения лучше использовать для введения кальция в горячештампованные порошковые стали, так как из обзора публикаций по этой проблеме нельзя сделать однозначных выводов.

Кроме легирования кальцием порошковых материалов на основе железа, представляется перспективным использование фосфора, как легирующего элемента. Обзор работ по этой тематике показывает улучшение обрабатываемости как литых, так и порошковых сталей [10-13]. В порошковой металлургии при легировании фосфором образуется жидкая фаза во время спекания. Интенсифицируются процессы гомогенизации состава материала, усадки размеров заготовки, происходит сфероидизация пор. И как следствие повышается прочность и пластичность сталей [14], но ряд авторов сомневается в последнем утверждении [15].

Известно введение фосфора в порошковую сталь частицами феррофосфора, при жидкофазном спекании на их месте появляются крупные сферические поры. Оптимальным для спеченных материалов является введение фосфора 0,4 % (по массе). Однако для обеспечения высокой ударной вязкости рекомендуется 0,3 % (по массе) [13].

В одной из немногочисленных работ [16] говорится об исследованиях влияния фосфора на горячештампованный материал из железного порошка. Повышения фосфора в материале до 0,4 % (по массе) приводит к увеличению

прочности и значительно понижает пластичность, хотя последнее не характерно для материалов, полученных методом прессования-спекания.

Из вышесказанного следует, что фосфор, наряду с кальцием, можно использовать в качестве легирующего элемента порошковых сталей, получаемых методом ГШПЗ. Он улучшает гомогенизацию компонентов материала, увеличивает показатели прочности, ударной вязкости и обрабатываемости резанием. Между тем необходимо подчеркнуть нерешенность некоторых проблем, связанных с введением фосфора в порошковые стали, получаемые методом горячей штамповки порошковых заготовок. В частности, противоречива информация об изменении пластических свойств порошковых сталей под влиянием фосфора. Не ясно, какое соединение лучше использовать для введения фосфора, потому что применение лигатуры феррофосфора не приемлемо для низкопористых материалов, т.к. повышает диффузионную пористость.

После анализа информации о легировании кальцием и фосфором можно сделать предположение, что введение этих легирующих элементов в комплексе в горячештампованные порошковые стали даст значительное улучшение обрабатываемости резанием, а также заметное улучшение физико-механических свойств материалов. Это может быть достигнуто в том случае, если будут найдены оптимальные для технологических процессов ГШПЗ химические соединения кальция и фосфора.

Литература

1. Шишка В.Г., Иванова И.В., Шишка Н.В. Порошковые конструкционные стали и обрабатываемость резанием // Инженерный вестник Дона, 2017, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4323/.
2. Шишка В.Г., Бережной Ю.М., Шишка Н.В. Пути возможного улучшения обрабатываемости высокоплотных порошковых сталей //



Инженерный вестник Дона, 2017, №3 URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4324/.

3. Danninger H., Garmendia J.M., Ratzl R. Sinter Brazing of Ferrous Parts with Disappearing Joint // Proceedings of PM2010 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition. Florence. 2010. Vol.2. pp. 385-392.

4. Schatt W., Wieters K. Powder Metallurgy: Processing and Materials. EPM, 1997. 492 p.

5. Мусаэлов Г.М. Структура и свойства горячепрессованных порошковых композиционных материалов, содержащих твердую смазку. Новочеркасск: НПИ, 1987. 16 с.

6. Заявка 58 - 6962, МКИ С 38/14, С22 С 33/02. Порошковая автоматная сталь. /Като Тэцуе и др. (Япония). - № 58 - 104215; Заявл. 02.07.81 г.; Опубл. 14.01.83 г.

7. Заявка ЮА61 С22 С 33/02. Спеченная сталь с хорошей обрабатываемостью. /Ито Тэцуро (Япония). - № 54 - 29176; Заявл. 28.04.74 г.; Опубл. 28.04.74 г.

8. Шидловская С.И. Микролегирование порошковых материалов на основе железа щелочными и щелочно-земельными металлами // Порошковая металлургия. - Минск: Вышэйш. шк., 1990. - Вып. 2. С. 65-69.

9. Хисада Т. Влияние кальция на обрабатываемость резанием порошковой стали типа 4600, полученной штамповкой спеченных заготовок / Тацу то Хаганэ. 1982. Т. 68. № 12. С.1506.

10. Mohamed Farghalli A, Xun Yuwei // Mater.Sci.Eng.A.2003.Vol.354,№ 1-2. p.133.

11. Горячева З.В. Спеченные материалы, их свойства и применение. М.: Металлургия, 1979. 72 с.

12. Мучник С.В. Фосфорсодержащие спеченные сплавы // Порошковая металлургия. 1984. № 12.С.20 - 27.

13. Mohamed F.A., Chauhan M. //Metall. Mater. Trans.A. 2006. Vol. 37A. P.355.

14. Заявка 59 - 85802, МКИ В22 Г 310, С22 С 33/02. Способ спекания материала на основе железа, содержащего фосфор. /Хитати фумацу якин (Япония) - № 57 - 195378; Заявл. 09.11.82 г.; Оpubл. 17.05.84 г.

15. Артамонов А.Я. Влияние условий обработки на физико-механическое состояние металлокерамических материалов. Киев: Наук. думка, 1965. 263 с.

16. Дорофеев Ю.Г., Мариненко Л.Г., Устименко В.И. Конструкционные порошковые материалы и изделия. М.: Металлургия, 1986. 496 с.

References

1. Shishka V.G, Ivanova I.V., Shishka N.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2017. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4323/.

2. Shishka V.G, Berezhnoj Y.M., Shishka N.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2017. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4324/.

3. Danninger H., Garmendia J.M., Ratzi R. Proceedings of PM2010 Powder Metallurgy World Congress & Exhibition. Florence. 2010. Vol.2. pp.385-392.

4. Schatt W., Wieters K. Powder Metallurgy: Processing and Materials. EPM, 1997. 492 p.

5. Musaehlov G.M. Struktura i svojstva goryachepressovanyh poroshkovyh kompozicionnyh materialov, soderzhashchih tverduyu smazku [Structure and properties of hot-pressed powder composite materials containing solid lubricant]. Novochoerkassk: NPI, 1987. 16 p.

6. Zajavka 58 - 6962, МКИ S 38/14, S22 S 33/02. Poroshkovaja avtomatnaja stal'. Kato Tjecuei dr. (Jap). № 58. 104215; Zajavl.02.07.81 g.; Opubl.14.01.83g.

7. Zajavka I0A61 C22 C 33/02. Spechennaya stal' s horoshej obrabatyvaemost'yu. Ito Tehcuro (Jap). - № 54 - 29176; Zajavl. 28.04.74.; Opubl. 28.04.74.

8. Shidlovskaja S.I. Poroshkovaja metallurgija. [Powder Metallurgy]. Minsk: Vyshnejsh. shk., 1990. Vyp.2 pp. 65-69.
9. Hisada T. Tacu to Haganeh.1982. T. 68. № 12. C.1506.
10. Mohamed Farghalli A, Xun Yuwei. Mater. Sci. Eng. A. 2003. Vol.354, № 1.2. p.133.
11. Goryacheva Z.V. Spechennye materialy, ih svojstva i primenenie [Sintered materials, their properties and applications]. M.: Metallurgija, 1979. 72 p.
12. Muchnik S.V. Poroshkovaya metallurgiya. 1984. № 12. p.p.20 - 27.
13. Mohamed F.A., Chauhan M. Metall. Mater. Trans.A. 2006. Vol. 37A. P.355.
14. Zajavka 59 – 85802, MKI B22 Г 310, C22 C 33/02. Sposob spekaniya materiala na osnove zheleza, soderzhashchego fosfor. [Method of sintering a material based on iron containing phosphorus]. Hitati fumacu yakin (Jap). № 57 - 195378; Zajavl. 09.11.82.; Opubl. 17.05.84.
15. Artamonov A.YA. Vliyanie uslovij obrabotki na fiziko-mekhanicheskoe sostoyanie metallokeramicheskikh materialov [The influence of machining conditions on the physicomachanical condition of sintered materials]. Kiev: Nauk. dumka, 1965. 263p.
16. Dorofeev Ju.G., Marinenko L.G., Ustimenko V.I. Konstrukcionnye poroshkovye materialy i izdelija [Structural powder materials and products]. M.: Metallurgija, 1986. 496 p.