

Е. А. Касимова¹, Е. В. Лим¹, А. Е. Коняхин¹, Д. С. Шарапкин²

¹Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва

²Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (Государственный научный центр Российской Федерации), г. Москва
faculty1@mail.ru

Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук *Т. Г. Ягудин*

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМООБРАБОТКИ ПОРОШКОВЫХ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

В работе изучаются проблемы применения порошковых быстрорежущих сталей различного способа получения. В частности, рассматриваются особенности термообработки, вызванные способом производства и формой частиц порошковой стали.

Ключевые слова: термообработка, порошковая сталь, распыленные порошки, быстрорежущая сталь, спекание порошков.

E. A. Kasymova, E. V. Lim, A. E. Konyakhin, D. S. Sharapkin

PECULIARITIES OF THERMAL PROCESSING OF POWDER HIGH-SPEED STEELS

The paper studies the problems of the use of powder high-speed steels of a different production method. In particular, the peculiarities of heat treatment caused by the production method and the shape of the powder steel particles are considered.

Keywords: heat treatment, powder steel, pulverized powders, high-speed steel, sintering powders.

В настоящее время в материаловедении большое внимание уделяется разработке новых конструкционных и инструментальных материалов с особыми свойствами. К одним из таких направлений относится разработка инструментальных материалов с повышенной износо- и термостойкостью на основе сплавов железа. Первенство в этом направлении держат быстрорежущие стали, которые представляют собой высоколегированные инструментальные стали, содержащие легирующие добавки хрома, вольфрама, молибдена, ванадия кобальта. Быстрорежущие стали отличаются высоким сопротивлением воздействию механических и термических нагрузок и используются для изготовления высокопроизводительного инструмента и конструкционных изделий в случае, когда требуется высокая износостойкость и твердость при повышенной температуре.

Одной из главных задач при изготовлении инструмента из быстрорежущей стали является обеспечение равномерного распределения упрочняющей карбидной фазы. Уменьшения карбидной неоднородности можно достигнуть путем распыления расплава быстрорежущей стали и получения порошка с последующим его компактированием. Порошки, полученные распылением, характеризуются высокодисперсной ячеисто-дендритной структурой и отсутствием зональной ликвации вследствие высоких скоростей кристаллизации [1, 2]. С другой стороны, имеются данные о некотором ухудшении режущих и механических свойств быстрорежущих сталей, полученных методами порошковой металлургии в целом и способом сверхсолидусного спекания, в частности, обусловленном склонностью материала к укрупнению микроструктуры при высоких температурах спекания. В связи с этим задачей данного раздела является изучение рекомендаций различных авторов по выбору исходных порошков со структурой и физико-механическими характеристиками, обеспечивающими стабильность свойств в компактном состоянии. В качестве основного параметра варьирования в ряде работ отечественных и зарубежных авторов [2, 5], посвященных исследованию свойств и поведения при спекании воднораспыленных порошков быстрорежущих сталей, принимался гранулометрический состав. В частности, при спекании ($T = 1249\text{ }^{\circ}\text{C}$) мелкой (37–44 мкм) и крупной (55–74 мкм) фракций порошка стали М2 установлено [3, 4], что высокоплотное состояние может быть получено только в первом случае. Для крупной фракции частиц уничтожения остаточных пор в образце не удалось добиться даже путем увеличения длительности изотермической выдержки ($T = 1249$) или повышения температуры спекания. Поэтому авторы рекомендуют для получения материала с высокой плотностью и удовлетворительной микроструктурой использовать исходные порошки, содержащие достаточное количество мелкой фракции с размером частиц менее 45 мкм. Наряду с исследованиями, выполненными с использованием воднораспыленных порошков [6, 7] быстрорежущих сталей, очевидна актуальность работы, посвященной изучению поведения при спекании порошков тех же марок сталей, полученных газовым распылением. Исследование процесса спекания порошков быстрорежущей стали марок Р12МЗК5Ф2, 10Р6М5 и Р12МФ5, проведенное в работе, позволило установить характер зависимостей относительной объемной усадки от дисперсности частиц, аналогичный полученным в ранее рассмотренных работах на воднораспыленных порошках. Закономерности изменения относительной плотности спеченных в свободном состоянии сталей в зависимости от температуры спекания (1175–1250 $^{\circ}\text{C}$) для порошков с размером частиц от 0,5 до 0,8 мм показаны на рис. 1. Следует отметить, что при температуре спекания 1250 $^{\circ}\text{C}$ влияние размера частиц на усадку не наблюдается для порошков всех перечисленных марок стали. Подобное поведение порошковых систем авторы предположительно

связывают с различным содержанием углерода и кислорода в разных фракциях.

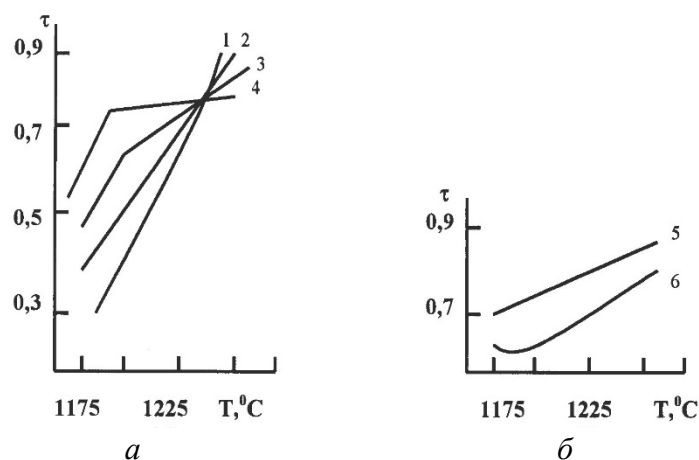


Рис. 1. Температурная зависимость относительной плотности спеченных быстрорежущих сталей: *а* – P12M3K5Ф2: $d = 0,4\text{--}0,5$ мм (1); $0,25\text{--}0,315$ (2); $0,16\text{--}1,20$ (3); $0,063\text{--}0,1$ (4); *б* – 10P6M5 $0,08\text{--}0,1$ (5) и P12MФ5 $0,05\text{--}0,8$ (6) мм

Сопоставление данных о спекаемости газо- и воднораспыленных порошков выполнено в работе [3] на примере быстрорежущей стали марки SKH10 с 4-мя фракциями частиц (18 и 33 мкм - для сферических; 14 и 29 мкм – для несферических порошков).

На основании прошлых работ [3], проведено исследование процессов спекания двух партий порошков быстрорежущей стали, полученных водным и газовым распылением и имеющих соответственно неправильную и округлую форм частиц. График (рис. 2), отражающий зависимость линейной усадки от температуры спекания, иллюстрирует поведение при спекании порошков со сферической и неправильной формой частиц. В первом случае имеет место крутой наклон прямолинейной зависимости, отражающий резкое увеличение значений усадки с ростом температуры. Во втором случае с увеличением температуры происходит постепенное изменение усадки.

При наблюдении изменения относительной плотности спеченного тела с температурой спекания отмечены следующие тенденции в поведении порошков. Температура начала уплотнения понижалась с увеличением разветвленности формы и повышалась при сфероидизации порошков. Разница в указанной температуре для порошков обоих типов составила около 200 К. Тем не менее окончательное уплотнение достигается как для несферических, так и для сферических порошков в области одних и тех же температур (1250–1300 °C).

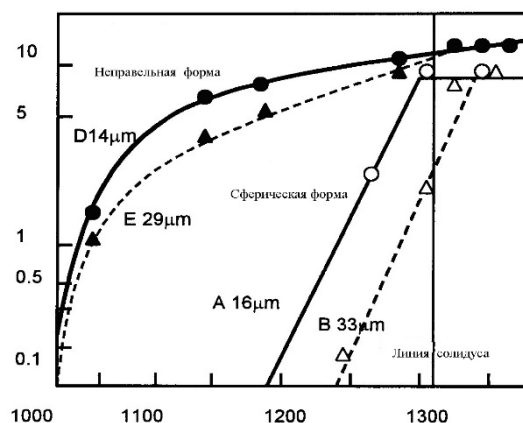


Рис. 2. Зависимость линейной усадки от температуры спекания для порошков с различными размером и формой частиц

Исходя из результатов эксперимента, графически отображенных на рис. 3, можно отметить, что при использовании частиц с размером менее 20 мкм полное уплотнение (более 95 %) может быть достигнуто почти без образования жидкой фазы ($T_{\text{солидус}} = 1528 \text{ K}$) как для сферических, так и для несферических порошков (1240 и 1225 °С соответственно).

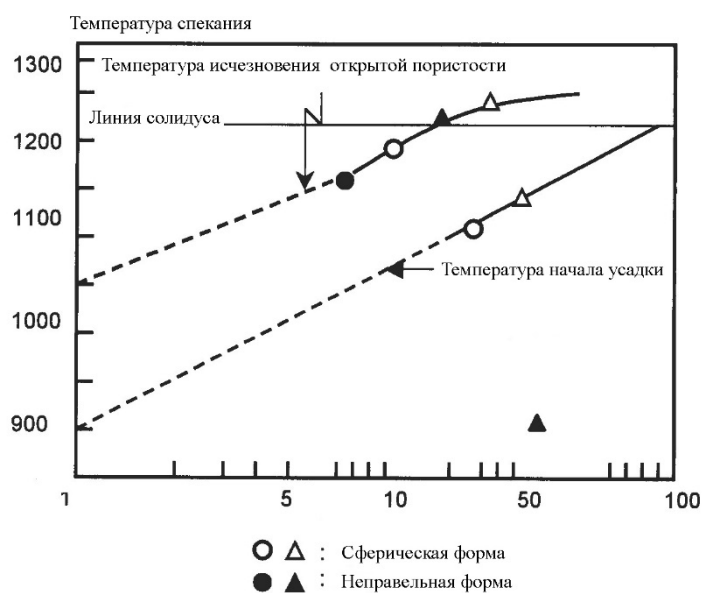


Рис. 3. Влияние параметров формы и размеров частиц на температуру начала и окончания спекания быстрорежущей стали

Окончательное спекание газо- и воднораспыленных частиц с размером более 20 мкм предполагает незначительный перегрев и заканчивается в области температур, несколько превышающих температуру солидуса рассматриваемой быстрорежущей стали (1260 и 1270 °С, соответственно). Кроме того, экспериментально показано, что на начальной стадии спекания

воднораспыленные порошки с разветвленной формой частиц, по сравнению с газораспыленными порошками, имеющими округлую форму частиц, ведут себя более активно, однако температура окончательного спекания (температура исчезновения открытой пористости) не зависит от формы и определяется только размером исходных порошков. Таким образом, анализ исследований позволяет сделать следующее заключение о влиянии размера и формы частиц на уплотнение распыленных порошков быстрорежущих сталей:

1. Для получения материала с качественной структурой из порошка быстрорежущей стали любой марки температура и длительность спекания должны выдерживаться с высокой точностью. При этом обеспечивается присутствие в спекаемой системе жидкой фазы в объеме от 5 до 17 % .

2. Воднораспыленные порошки, в силу высокой развитости поверхности, легко образуют межчастичные связи, обеспечивая высокий уровень начальной прочности, и могут успешно применяться в технологиях, основанных на прессовании порошков в жестких пресс-формах с последующим спеканием в вакууме. Газораспыленные порошки с гладкой поверхностью частиц почти не поддаются обработке давлением, однако за счет высокой плотности упаковки требуемый уровень свойств, может быть, достигнут посредством спекания свободно насыпанных частиц. При этом выбор температуры окончательного спекания не зависит от формы, а определяется только размером исходных частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шляпин С. Д. Жидкофазное спекание порошков сплавов / С. Д. Шляпин, В. А. Васильев. Москва : МАТИ, 1989. 84 с.
2. Либенсон Г. А. Оборудование цехов порошковой металлургии / Г. А. Либенсон, В. С. Панов. Москва : Металлургия, 1983. 264 с.
3. Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. Москва: Металлургия, 1986. 541 с.
4. Progress in liquid phase sintering / W. J. Huppmann [et al.] // *Powd.Met.Int.* 1979. V. II. № 2. P. 50–51.
5. Чернышева Т. А. Особенности разрушения быстрорежущих сталей Р6М5 и 10Р6М5-МП при сверхпластическом деформировании / Т. А. Чернышева, А. Е. Гвоздев, А. С. Базык // *Порошковая металлургия.* 1987. № 7. С. 69–75.
6. Wahling R. Manufacture and applications of sintered high-speed steel preforms / R. Wahling, V. Amhold // *MPR: Metal Powder Rept.* 1988. V. 43. № 3. P. 188, 190–192.
7. Maulik P. Effects of carbon, cobalt and powder annealing on sintering characteristics of BM2 type high speed steel / P. Maulik, W.J.C. Price // *Powder Met.* 1987. V. 30. № 3. P. 165–174.