

ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ НА ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ПОРОШКОВОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ СП70

Еремеева Ж.В., Нгуен Ныы Дам, Скориков Р.А., Коновалова А.И.

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
ПАО "Туполев", г. Москва*

Ключевые слова: наноразмерные добавки, железный порошок, прессование, спекание, искусственный специальный малозольный графит

Аннотация. Исследовано влияние наноразмерных волокон марки "Таунит", фуллеренов, наночастиц Al_2O_3 и Si_3N_4 на процессы формирования структуры и свойства порошковых сталей при спекании. Установлено, что введение наноразмерных легирующих добавок существенно ускоряет процесс спекания, гомогенизацию материала, улучшает весь комплекс механических свойств, по сравнению с шихтой содержащей искусственный малозольный графит (ГИСМ).

INFLUENCE OF NANOPARTICLES ON THE TENSILE STRENGTH OF SP80 SINTERED STEEL POWDERS

Eremeeva J.V., Nguen Nyy Dam, Skorikov R.A., Konovalova A.I.

National research technological University "MISIS", "Tupolev", Moscow

Keyword: nanosized additives, iron powder, pressing, sintering, synthetic special low-ash graphite

Abstract. The influence of "Taunit"-grade nanofibers, fullerenes, nanopowders of alumina and silicon nitride on the structure formation during the sintering of steel powder and properties of sintered specimens. The introduction of nanoscale alloying additives activates the sintering considerably and provides a more homogeneous structure and higher mechanical properties as compared to the steels containing synthetic low-ash graphite.

Наноразмерными легирующие добавки к порошковым сталям привлекают к себе все большее внимание исследователей во всем мире [1]. В настоящей работе показано влияние наноразмерных добавок на процессы формирования структуры и свойств порошковых сталей на стадии спекания.

Технологический процесс изготовления порошковых образцов состоит из следующих основных операций: приготовление и смешивание компонентов шихты, статическое холодное прессование (СХП) осуществлялось на гидравлических прессах 2ПГ-125, П-250 в лабораторных пресс-формах, изготовленных из стали У8 при давлении прессования 600-1000 МПа. В состав порошковой шихты входили следующие компоненты: порошок железный марки ПЖР 2.200.28, графит специальный искусственный малозольный (ГИСМ) ТУ 48-20-54-84, а также вводились различные наноразмерные добавки. В качестве наноразмерных добавок использовались: нановолокна марки "Таунит", фуллерены, наночастицы Al_2O_3 и Si_3N_4 . Углеродные нановолокна марки «Таунит» представляет собой одномерные наномасштабные нитевидные образования поликристаллического графита в виде сыпучего порошка черного цвета и имеют структуру спутанных пучков многостенных трубок. Нанопорошок Al_2O_3 имеет насыпная плотность от 0,6 до 1,7 г/см³. Содержит в основном фазу $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Частицы имеют сферическую форму. Удельная поверхность, измеренная методом БЭТ 35–40 м²/г. Средний размер частиц составляет 30-50 нм. Температура плавления 2000°C. Порошок пожаро- и взрывобезопасен.

Нанопорошок нитрида кремния имел удельную поверхность 42000-43000 м²/кг, соответствующий размеру частиц 50-55 нм.

Пористость холоднопрессованных заготовок составляла 8-35 %. Призматические образцы имели размеры основания 9,5х54,3 мм. Гомогенизирующее спекание проводили в муфельных печах с силитовыми нагревателями в защитно-восстановительной среде осушенного диссоциированного аммиака с температурой точки росы (т.т.р.) - 20–30°C. Холоднопрессованные заготовки с исходной пористостью 8-35 % спекали в засыпке Al₂O₃. Режим спекания: температура – 900-1200 °C, время выдержки от 5-120 мин.

Во всех случаях наибольшая усадка достигается при использовании шихты с наночастицами Al₂O₃ или Si₃N₄, а наименьшая при использовании нановолокон "Таунит" и фуллеренов, что необходимо связывать с усвояемостью углерода в процессе спекания и прохождения восстановительных процессов. Уменьшение интенсивности усадки с течением времени можно объяснить, как и обычно при спекании, приближением системы к равновесному состоянию. Увеличение количества образующегося цементита тормозит усадку, поэтому она оказывается наименьшей для шихты с наночастицами Al₂O₃ или Si₃N₄ и монотонно снижалась с увеличением содержания всех использованных видов углерода в шихте. В связи с тем, что часть графита теряется на стадии смешивания, его необходимо вводить на 0,2–0,3 % больше расчетного значения.

Испытания на растяжение с целью определения основных механических свойств проводили в соответствии с ГОСТ 1497-84 на электрогидравлической разрывной машине HUS-2010Z системы MFL в автоматическом режиме с помощью персонального компьютера IBM PX при скорости нагружения 2,5мм/мин – для определения $\sigma_{0,2}$ и 10 мм/мин – для определения σ . Для этого из порошковых заготовок изготавливали стандартные образцы с отношением длины рабочей части к её диаметру l/d=5.

Исследование химической неоднородности железоуглеродистых порошковых материалов проводили методом спектроскопии Оже-электронов на электронном спектрометре «ЭСКАЛАБ-МК-2» английской фирмы «Вакуум-Дженерейтос». Влияние вида наночастиц на временное сопротивление разрыву после спекания исследовали при варьировании температуры (850–1200°C, 1 ч.) и длительности (5–120 мин., 1100°C) процесса. Для сравнения использовали шихту с искусственным специальным малозольным графитом без введения нанодобавок. В случае использования ГИСМ и всех исследуемых нанодобавок при температуре 1000°C была получена структура однородного мелкозернистого перлита. При 1100°C еще более интенсифицируется восстановление оксидов и растворение углерода, что благоприятно сказывается на формировании структуры. Дальнейшее повышение температуры до 1200°C также приводит к получению равномерной структуры, однако с точки зрения обеспечения

удовлетворительных свойств достаточен нагрев до 1100°C. Увеличение содержания нанодобавок всех видов до 0,5% приводит к увеличению прочности.

Увеличение продолжительности спекания при 1100°C приводило к возрастанию σ_b причем его темп уменьшался с увеличением количества введенных нанодобавок в шихте из-за увеличения количества диффундирующих атомов углерода и активации процесса спекания. Увеличение содержания нановолокон "Таунит" и фуллеренов и следовательно их активности обусловило повышенное значение σ_b при всех значениях t .

Полученные результаты подтверждены многочисленными исследованиями микроструктуры образцов и характером распределения в них углерода. В частности изучено влияние характеристик структуры образующегося при спекании аустенита на конечную структуру материала и его свойства. Зародыши аустенита возникают в местах сегрегации углерода на границах зерен и в наиболее дефектных зонах. Число таких зародышей и скорость их роста определяют, в конечном счете, размеры зерен аустенита и продуктов его распада.

При наличии наночастиц в шихте в процессе спекания возникает большее число зародышей аустенита, очагов растворения углерода и более мелкозернистый аустенит. Многочисленность границ зерен аустенита приводит к возникновению перлитных колоний, которые мешают росту друг друга, а в случае медленного охлаждения происходит изотермическая выдержка и сфероидизация перлита. Кроме того, при введении Al_2O_3 и Si_3N_4 не были зафиксированы избыточные фазы феррита и цементита, структура получалась равномерной даже при более низких температурах спекания, чем в случае использования шихты только с ГИСМ.

Список литературы

1. Kostikov V.I.; Agureev L.E.; Ereemeeva Zh.V. Development of nanoparticle-reinforced alumocomposites for rocket-space engineering // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2015. – Vol. 56. – Issue 3. – P. 325-328.

Сведения об авторах:

Еремеева Жанна Владимировна – д.т.н., профессор, НИТУ "МИСиС", г.Москва;

Нгуен Ныы Дам – аспирант НИТУ "МИСиС", г.Москва;

Скориков Роман Александрович – к.т.н., начальник сектора механических испытаний и технологических исследований ПАО "Туполев", г. Москва;

Коновалова Анастасия Игоревна – к.э.н., ПАО "Туполев", г. Москва.