

УДК 621.791.927.5

Я. Ю. ТКАЧЕНКО, аспирант, ДГМА, Краматорск

А. М. ЛАПТЕВ., докт. техн. наук, проф., ДГМА, Краматорск

ВИДЫ И ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С НАГРЕВОМ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Технология спекание пульсирующим электрическим током принадлежит к классу методов спекания, которые используют пульсирующий постоянный ток для усиления спекания. Технологические преимущества, такие как короткая продолжительность обработки, использование высокой нормы нагрева, являются основными преимуществами технологии спекания, таким образом, минимизируется рост зерна, который часто ведет к улучшению механических, физических или оптических свойств, и устранение необходимости спекания примесей. Поэтому многие компании, такие как FCT Systeme GmbH и SPS SYSTEX INC. уделяют большое внимание производству нового оборудования для технологии спекания электрическим током.

Ключевые слова: порошок, нагрев, электрический ток, горячее прессование, спекание пульсирующим электрическим током.

С ростом технического прогресса постоянно повышаются требования к различным конструкционным элементам, и обычные металлические компоненты вынуждены работать на пределе своих возможностей. Именно поэтому встал вопрос об усовершенствовании имеющихся и создании новых технологий и оборудования для получения улучшенных металлических и керамических материалов с уникальными свойствами. В последнее десятилетие проводятся интенсивные исследования в области новой технологии горячего прессования порошковых материалов с применением высокоскоростного нагрева пульсирующим электрическим током [1].

Поддерживаемое электромагнитным полем спекание SPS / FAST (Spark plasma sintering / The field assisted sintering technique) представляет собой развивающуюся технологию для изготовления металлов, керамики и композитов из порошка. Представленная технология основана на модифицированном методе горячего прессования, при котором подача электрического осуществляется в соответствии со схемой представленной на рис. 1. Импульсы электрического тока вместо внешнего нагревателя пропускаются напрямую через специально разработанный источник электрического тока, который обеспечивает контроль формы, частоты и величины подачи импульсов тока, а также элементы пресс-формы и уплотняемый материал [2]. Одновременно с нагревом осуществляется процесс прессования. Данная схема прессования обеспечивает однородный и быстрый нагрев, по сравнению с традиционным нагревом при горячем прессовании. Считается, что такая применение тока способствует образованию плазмы между его частицами, тем самым ускоряя процесс спекания [3].

При данном методе спекания инструмент или деталь нагревается за счёт проходящего через них тока, так что продолжительность цикла может составлять несколько минут. Подача коротких импульсов постоянного тока вызывает у многих материалов дополнительное повышение активности спекания вследствие процессов, проходящих в точках соприкосновения частиц порошка (Джоулевый нагрев, образование плазмы, электромиграция и т.д.), что позволяет работать с более низкими температурами и/или усилиями прессования, чем при традиционном горячем прессовании или спекании.

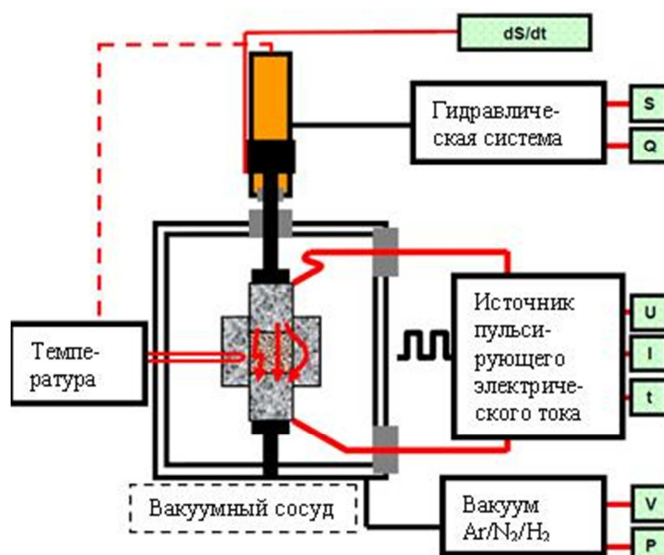


Рис. 1 – Принцип метода SPS / FAST

Одной из основных проблем горячего прессования с нагревом пульсирующим электрическим током является неравномерность распределения температуры и сложность ее контроля внутри порошковой заготовки. Как следствие неоднородность температурного поля влияет на неравномерность уплотнения порошка и неоднородность свойств, что в ряде случаев не позволяет получить качественные изделия [4]. Исходя из этого, актуальными вопросами для дальнейших исследований остаются усовершенствование представленной технологии, а также разработка подходящего для данного процесса оборудования.

Целью работы является обобщенный анализ оборудования для горячего прессования порошковых материалов с нагревом пульсирующим электрическим током.

Передовыми производителями оборудования для горячего прессования с прямым нагревом пульсирующим электрическим током являются компании Thermal Technology (США), FCT Systeme GmbH (Германия) и SPS SYSTEX INC. (Япония). Рассмотрим более подробно каждую из компаний.

Компания Thermal Technology представляет революционную высокоскоростную технологию уплотнения порошка, известную как искровое плазменное спекание (SPS). В компании разработано два типа стандартных систем для процесса искрового плазменного спекания: Модель 10-3 с усилием 10 т. и источником питания 3000 А. (рис. 2, а), Модель 25-10 с усилием 25 т. и источником питания 10000 А. (рис. 2, б).

Также Thermal Technology занимается разработкой специализированных систем следующих типоразмеров:

- Оборудование с усилием 50, 100, 150 или 250 т.;
- Оборудование с источником питания 20000, 40000 или 60000 А.

Представленные системы изготавливаются для узких областей применения в массовом производстве. Все они оснащены компьютерами с специально разработанными программами, которые позволяют задать необходимые параметры процесса.

Компания FCT Systeme GmbH (Германия) занимается разработкой нового поколения вакуумных горячих прессов (табл. 1), использующих современную технологию SPS / FAST, гарантирующих эффективное и надежное использование преимуществ названной технологии.



Рис. 2 – Установки компании Thermal Technology: а) Модель 10-3 и б) Модель 25-10

Таблица 1. – Технические характеристики оборудования компании FCT Systeme GmbH (Германия)

Модель	Размер матрицы	Размер образца	Макс. усилие, кН	Макс. напряжение, В	Макс. ток, кА	Потребляемая мощность, кВт	Вид установки
HP D 5	Ø 60 x 180	Ø 30	50	7,2	5,5	45	стационарная
HP D 25	Ø 200 x 300	Ø 80	250	8,0	8,0	78	
HP D 125	Ø 350 x 300	Ø 150	1250	8,0	24,0	212	
HP D 250	Ø 400 x 450	Ø 300	2500	8,0	48,0	408	
ННР D 25	Ø 200 x 200	Ø 80	250		100 кВт*	115	гибридная
ННР D 400	Ø 500 x 300	Ø 400	4000		1000 кВт*	1200	

* – максимальная мощность нагревательных устройств гибридной установки.

Результатом использования разработанных машин являются возможность производства разнообразных материалов с уникальными свойствами, например: изготовление наноматериалов спеканием без характерного роста зерна, FGM („Functionally Graded Materials“ – функционально классифицированные материалы); композиционных материалов; твердых сплавов; алюминиевых и медных сплавов, а также интерметаллические соединения; структурной и функциональной керамики.

В качестве пример рассмотрим установку HP D/250C (рис. 3), которая оснащена гидравлической системой с полностью цифровым управлением и точным регулированием скорости/усилия через оптический датчик хода. Вакуумный резервуар с двойными стенками и водяным охлаждением позволяет создавать любую атмосферу для спекания (как статичную, так и подвижную) с регулируемым давлением газа. Свободно программируемые импульсы постоянного тока, выдаваемые блоком питания, позволяют гибко адаптироваться к любым поставленным задачам. Температура спекания может достигать 2400°C и контролируется пятью термоэлементами и дополнительно двумя пирометрами. Концепция установки не содержит ограничений в отношении входных параметров процесса, т.е. для каждой задачи может быть найдено специальное решение.

В некоторых установках используется, так называемый, гибридный нагрев, в котором осуществляется комбинация технологии FAST/SPS и одной или нескольких дополнительных нагревательных систем, которые воздействуют на системы прессформ снаружи. Термические градиенты установки FAST/SPS, направленные обычно

изнутри наружу, компенсируются посредством направленных в противоположную сторону градиентов дополнительной нагревательной системы. Как следствие наблюдается уменьшение разницы температур в детали.



Рис. 3. – Установка HP D/250C компании FCT Systeme GmbH (Германия)



Рис. 4 – 250 тонная гибридная установка FAST/SPS, оборудованная двумя промышленными роботами

Мощность промышленных установок FAST/SPS зависит также от максимально возможной скорости нагрева, сведенного к минимуму времени выдержки, возможности быстрого охлаждения детали. FCT Systeme GmbH разработаны установки с использованием дополнительной охлаждающей камеры, отделенной от собственно агломерационной камеры газовакуумплотным шлюзом и оборудованной особенно быстро охлаждаемыми штампами. Таким образом, процесс охлаждения по времени отделяется от процесса нагрева и спекания, прессования, что обеспечивает удвоенную производственную мощность таких полунепрерывных систем. Также с целью автоматизации производства используются роботы (рис. 4) и манипуляторы.

Компания Systemx Inc. (Япония) выпускает оборудование серии DR. SINTER (The DR. SINTER Spark Plasma Sintering Systems), в состав которого входят модели, предназначенные для научных исследований, для обучения и использования в производстве. Оборудование для производства оснащено различными устройствами безопасности, которые обеспечивают высокий уровень надежности. Оборудование, оснащенное автоматическим роботом и компьютером, позволяет проводить полностью и полу автоматизированную обработку материалов. Автоматическая линия предусматривает полную автоматизацию процесса от загрузки порошка, его нагрева, охлаждения и до получения готовой продукции в штампе. Отличие установок от рассмотренных выше, заключается в том, что ток поступает к заготовке не сразу через пуансон, а через некоторое количество подкладных колец, установленных на него. Классификация выпускаемой продукции и технологические особенности представлены в табл. 2, и на рис. 5 соответственно.

Таблица 2. – Технические характеристики оборудования компании SPS Systex Inc. (Япония)

Модель	Максимальное усилие, кН	Максимальная температура, °С	Ход, мм	Максимальный ток, кА	Габариты, мм	Вес, т
SPS-511S	50	2000	150	1,0	900x1050x1575	0,8
SPS-515S				1,5		
SPS-1020	100	1300*	150	2,0	1350x1615x1800	2,2
SPS-1030				3,0		
SPS-1050				5,0		
SPS-1080				8,0		
SPS-2040	200		150	4,0	1350x1615x1800	2,2
SPS-2050				5,0		
SPS-2080				8,0		
SPS-3.20МК-II	200	1300*	250	4,0	900x1050x2368	2,2
SPS-3.20МК-IV				8,0		
SPS-5.40МК-IV	500		300	8,0	1200x1350x2670	6,0
SPS-5.40МК-VI			350	15,0	2200x1400x2900	8,0
SPS-7.40МК-V	1000		300	10,0	1350x1300x2670	6,5
SPS-9.40МК-VII	3000		350	20,0	1650x1640x3500	15,0

* Температура может быть увеличена до 1700°С и 2700°С

** Температура может быть увеличена до 2700°С



Серия компактных машин для лабораторных исследований (Dr. Sinter Lab™): SPS-511S/515S



Серия стандартных машин для исследований: SPS-1020/1030/1050/1080 и



Серия стандартных машин для исследований и производства: SPS-3.20/5.40/7.40/9.20



Серия роботизированных машин для производства (Dr. Sinter™ Robo): SPS-9.40

Серия машин с контролируемой атмосферой для исследования новых материалов: SPS-5.11ET



Рис. 5 – Машины компании SPS Systex Inc. (Япония) для горячего прессования с нагревом пульсирующим током

Вывод. Использование технологии горячего прессования порошковых материалов с нагревом пульсирующим электрическим током позволяет сократить продолжительность обработки, минимизировать рост зерна, получить новые материалы с уникальными свойствами и существенно улучшить механические и физические свойства известных материалов. Таким образом, на данный момент одной из актуальных тем по всему миру является разработка способов и оборудования для горячего прессования порошковых материалов с нагревом пульсирующим электрическим током.

Список литературы: 1. *Zuhair A. Munirw, Dat V. Quach, Manshi Ohyanagi.* Electric Current Activation of Sintering: A Review of the Pulsed Electric Current Sintering Process – Journal of the American Ceramic Society, 2011, vol. 94, P. 1–19. 2. *Grasso S., SakkaY., Maizza G.* Electric current activated/assisted sintering (ECAS): a review of patents 1906–2008. – Science and Technology of Advanced Materials, 2009, vol. 10, p. 1–24. 3. *Kessel H.U.* Sintered materials on the way to production by means of modern SPS technologies. – Beichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft, 2009, vol. 86, N 10, p.145-152. 4. *Zavaliangos A., Zhang J., Krammer M., Groza J.R.* Temperature evolution during field activated sintering. – Materials Science and Engineering A, 2004, vol. 379, p. 218-228.

Надійшла до редколегії 18.10.2012.

УДК 621.791.927.5

Виды и особенности оборудования для горячего прессования порошковых материалов с нагревом пульсирующим электрическим током / Ткаченко Я. Ю., Лаптев А. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012.– №46)952. – С. 102-107. – Бібліограф.: 4 назв.

Технологія спікання пульсуючим електричним струмом належить до класу методів спікання, котрі використовують постійний пульсуючий струм для підвищення спікання. Технологічні переваги, такі як коротка тривалість обробки, використання високих норм нагрівання, є основними перевагами технології спікання, таким чином, мінімізується ріст зерна, що часто веде до поліпшення механічних, фізичних або оптичних властивостей, і усунення необхідності спікання домішок. Тому багато компаній, такі як FCT Systeme Gmb та SPS SYSTEX INC. приділяють велику увагу виробництву нового обладнання для технології спікання електричним струмом.

Ключові слова: порошок, нагрів, електричний струм, *гаряче пресування*, спікання пульсуючим електричним струмом.

The pulsed electric current sintering belongs to a class of sintering techniques that employ a pulsed direct current (DC) to intensify sintering. Some general advantages of field assisted sintering are technological advantages such as short processing time, the use of high heating rates thereby minimising grain growth, which often leads to improved mechanical, physical or optical properties, and elimination of the need of sintering aids. Therefore, many companies, such as FCT Systeme GmbH and SPS SYSTEX INC., pay much attention to product of new equipment for the PECS technologies.

Keywords: powder, heating, electric current, hot pressing, pulsed electric current sintering.

УДК 621.7.044

О. В. ТРОЦКО, канд. техн. наук, доц., КрНУ им. М. Остроградского, Кременчуг

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

В работе приведены исследования потери устойчивости пластического деформирования при плоском напряженном состоянии. Установлено, что при определенных видах нагружения разрушение происходит раньше, чем потеря устойчивости. Приведены зависимости между интенсивностью деформаций и показателем схемы напряженного состояния. Определены граничные значения показателя схемы напряженного состояния, исключающие потерю устойчивости.

© О. В.Троцко, 2012