

УДК 621.77.4:621.762.4

ПОЛУЧЕНИЕ НЕРАЗЪЕМНОГО СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ЖИДКОФАЗНОГО СПЕКАНИЯ

Артёмов Фёдор Евгеньевич⁽¹⁾, Бондаренко Александр Константинович⁽²⁾,
Жанзаков Павел Кабдукалиевич⁽³⁾

Инженер-технолог⁽¹⁾, Инженер-технолог⁽²⁾, Инженер-технолог Зк⁽³⁾

Отдел обработки металлов давлением

*Научно-исследовательский институт технологии и организации
производства двигателей*

Научный руководитель: И.А.Бурлаков,

доктор технических наук, начальник отдела обработки металлов давлением

Неразъёмное соединение – соединение деталей и узлов, разборка которого невозможна без повреждения деталей. Неразъёмные соединения используют для получения деталей сложной формы и геометрии. К неразъёмным соединениям относят сварные, паяные, заклепочные, клеевые и др. соединения. В настоящее время наиболее остро стоит проблема получения неразъёмного соединения заготовок из гранульных (порошковых) материалов.

Порошковая металлургия занимает видное место в современном научно-техническом прогрессе благодаря целому ряду важных достоинств технико-экономического характера. Она позволяет не только значительно экономить металл и снижать себестоимость продукции, но и создавать сложные композиционные материалы с уникальным сочетанием свойств.

Вместе с тем нельзя не отметить, что далеко не все проблемы технологического характера в порошковой металлургии можно считать решёнными. Некоторые виды изделий, изготовленные этим методом, оказываются недостаточно прочными, что является едва ли не главным препятствием для расширения влияния этого производства.

Устранение или уменьшение пористости и улучшение физико-механических свойств изделий должно способствовать расширению номенклатуры изделий, изготавливаемых методом порошковой металлургии. В связи с этим исследование процессов и возможностей получения неразъёмных соединений, определяющих конечный уровень свойств изделий, в настоящее время является актуальной задачей.

Характеристика материала ЭП741НП

В настоящее время в России существует несколько жаропрочных никелевых сплавов, которые иногда именуются «гранульными». Это

ЭП741НП, ЭП741П, ЭП975, ЭП962, ВЖ136. Наиболее распространен сплав ЭП741НП, из которого изготавливаются диски газотурбинных двигателей (ГТД), химический состав которого приведен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав порошкового жаропрочного сплава ЭП741НП

Основные элементы, % масс.									
Ni	C	Cr	Co	Mo	Al	Ti	W	Nb	Hf
основа	0,066	8,0-10,0	15,0-16,5	3,5-4,2	4,85-5,25	1,6-2,0	5,2-5,9	2,4-2,8	0,1-0,4
Примеси, не более, % масс									
Zr	Mg	B	Ge	Si	Mn	Fe	S	P	
0,015	0,05	0,015	0,01	0,5	0,5	0,5	0,009	0.015	

Как правило, данный сплав производится с гранулометрическим составом 50 ... 160 мкм [1]. На рисунке 1 показан фрагмент поверхности гранулы, закристаллизованной со скоростью охлаждения $9 \cdot 10^6$ К°/сек., а на рисунке 2 – общий вид гранул.

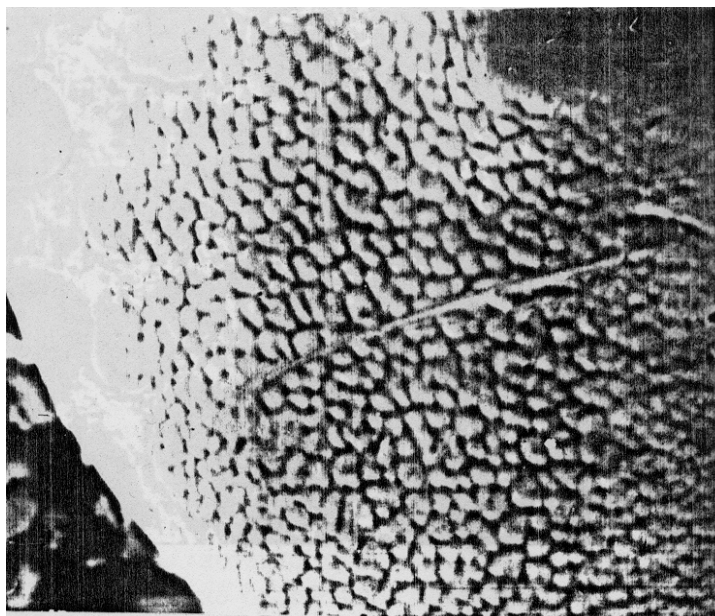


Рис.1 Фрагмент поверхности гранулы ЭП741НП (х 6000мкм)

Дифференциально-термический анализ показал, что у всех сплавов существует температурный диапазон появления в них жидкой фазы, состав которой для сплава ЭП741НП отвечает сплаву упрочняющей γ' фазы. Появление жидкой фазы на гранулах показано на рисунке 3.

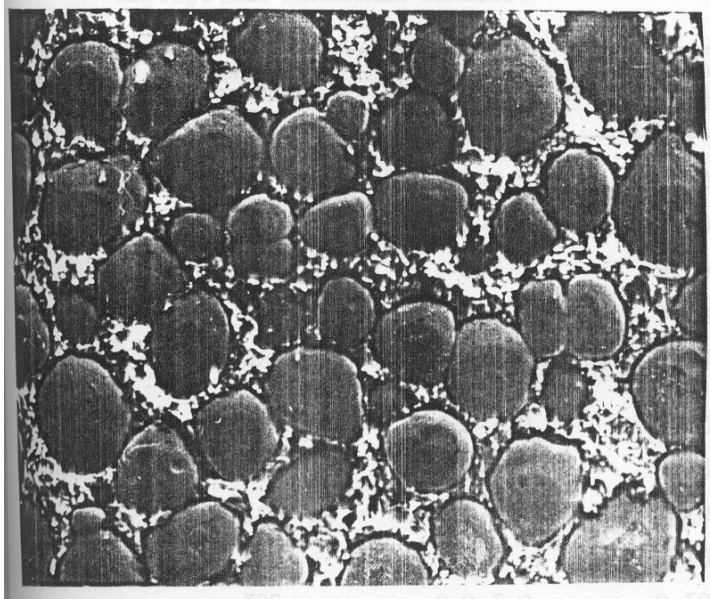


Рис.2 Общий вид гранул ЭП741НП (x 150мкм)

Помещенные в керамическую или металлическую форму гранулы при достижении температуры $T_s + T_p$, где T_s - температура солидуса сплава, а T_p - температура перегрева, компактируются. Если засыпка гранул подверглась горячему изостатическому прессованию (ГИП), то во время появления жидкой фазы происходит изменения структуры, а жидкая фаза появляется не только в объеме изделия, но и на его поверхности.



Рис.3 Закристаллизованная жидкая фаза на грануле сплава ЭП741НП (x 500мкм)

При соприкосновении двух поверхностей (двух деталей) жидкая фаза согласно общей теории спекания порошковых систем перемещается в зону контакта. После охлаждения жидкая фаза кристаллизуется, детали охлаждаются. Специальная термообработка меняет структуру соединяющего шва, приближая его химический состав к γ - твердому раствору.

Сущность и технические задачи жидкофазного спекания. Виды жидкофазного спекания

Спекание – это термически активируемый, самопроизвольный или инициируемый внешним воздействием переход системы контактирующих твердых тел или пористой среды в термодинамически более равномерное состояние путем уменьшения площади свободной поверхности [1].

В тоже время представления о спекании, как о процессе стремления системы с развитой свободной поверхностью к термодинамическому равновесию не являются исчерпывающими. Они должны быть дополнены понятием спекания как целенаправленного структурообразующего процесса в технологии получения поликристаллических материалов из порошков.

Процесс спекания порошковых материалов подразделяют на следующие стадии:

- образование связей между частицами;
- рост контактов (“шеек”)
- закрытие сквозной пористости;
- сфероидизация пор;
- усадка за счет уменьшения объема пор;
- коалесценция пор.

Следует отметить, что все вышеперечисленные стадии не проходят строго последовательно одна после другой. Жидкофазное спекание один из основных процессов в порошковой металлургии. Как технологическая операция, спекание имеет вполне однозначное и четкое значение – придание телам определенной структуры и соответствующих механических, физических и физико-химических свойств.

Термодинамическим условием самопроизвольного жидкофазного спекания многокомпонентных систем является стремление системы к равновесию. При жидкофазном спекании благодаря большей подвижности системы более наглядно выглядит проявление действия основных движущих сил объемного уплотнения – сил капиллярного стягивания, более активно протекают процессы перегруппировки элементов структуры и локализации уплотнения. Интенсивно протекают процессы гетеродиффузии, растворения и осаждения, что приводит к ускорению сплавообразования и объемного уплотнения [2].

Экспериментальная часть

Разработка теории и практики использования жидкой фазы в технологиях, связанных с гранулами жаропрочных сплавов, позволили начать поисковые исследования в области получения соединений из этих материалов. Было выяснено, что для этой цели необходимо тщательно готовить поверхности соединений (шлифовка, конструирование профиля, обезжиривание). Простая накладка образцов из контрольных колец сплава ЭП741НП без создания даже минимального напряжения в области контакта

не дает возможности получения непрерывного шва, однако метод перспективен.

В ходе исследовательской работы изучалась возможность получения неразъемного соединения несколькими методами, такими как:

а) Получение неразъемного соединения с помощью метода жидкофазного спекания в вакуумной печи.

Для этого эксперимента были изготовлены 2 образца прямоугольного сечения из сплава ЭП741НП. Поверхности образцов были отшлифованы на наждачном круге, после чего “обезжирены” спиртом. Для лучшего примыкания одной поверхности к другой образцы между собой были скручены нихромовой проволокой. После чего соединенные проволокой образцы были помещены в вакуумную печь. Глубина вакуума в печи составляет до 10^{-4} мм. рт.ст. Температура нагрева $1230...1300^{\circ}\text{C}$. Время выдержки образцов в печи до 20 минут.

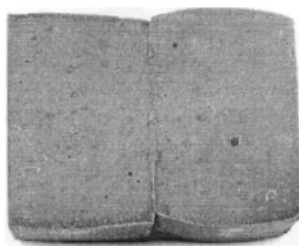


Рис.1 Образец после жидкофазного спекания

На отдельных участках образцов наблюдается соединение с диффузией материала. В материале в месте соединения образцов имеются отдельные поры размером $10...30$ мкм. В середине соединения образцов выявлены окисные включения. Микроструктура материала сварных соединений образцов без оплавлений границ.

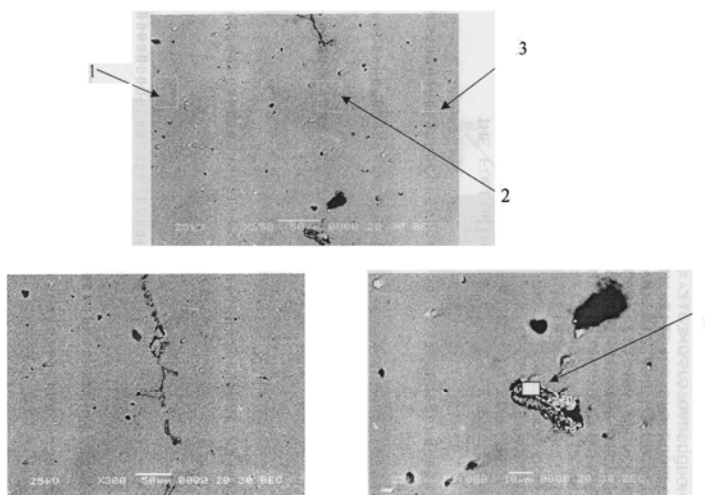


Рис. 2 Микроструктура образца после жидкофазного спекания($\times 350$ мкм)
1-основной металл образца 1,2-сварной шов между образцами,3-основной металл образца 2, 4-середина сварного шва между образцами.

б) Получение неразъемного соединения с помощью метода жидкофазного спекания в вакуумной печи соединением двух образцов через никелевую прокладку из сплава ЭП435.

Для этого эксперимента были изготовлены 2 образца прямоугольного сечения из сплава ЭП741НП. Поверхности образцов были отшлифованы на наждачном круге, после чего “обезжирены” изопропиловым спиртом. Для лучшего соединения поверхностей между образцами была помещена прокладка из никелевой фольги ЭП435. Образцы между собой были скручены нихромовой проволокой. После чего соединенные проволокой образцы были помещены в вакуумную печь. Глубина вакуума в печи составляет до 10^{-4} мм. рт.ст. Температура нагрева 1280...1330°C. Время выдержки образцов в печи до 20 минут.

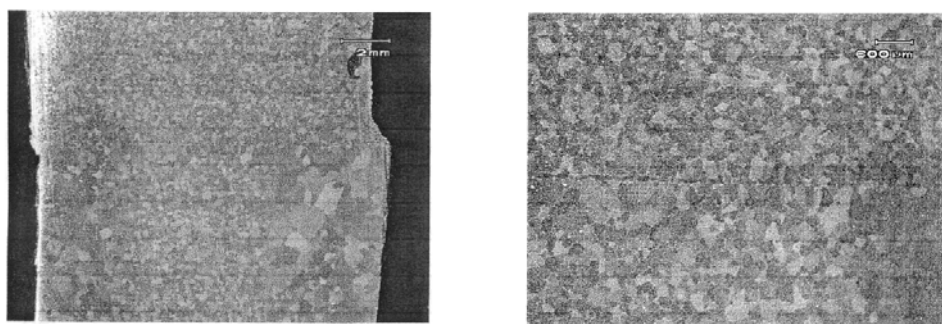


Рис. 3 Макро и микроструктура образца после жидкофазного спекания. (x2мм, x600мкм)

Исследованием макро и микроструктуры было установлено, что на соединенных образцах произошло полное соединение и диффузия материала прокладки и основного металла. С увеличением температуры отмечается рост зерна сплава ЭП741НП. Рентгеноспектральным анализом было установлено, что химический состав фаз в зоне соединения и в основном материале выравнился практически до одинакового значения. Плотность материала при нагреве увеличилась.

После исследования макро и микроструктуры из соединенных образцов были изготовлены образцы для испытания на удар. В результате испытания предел прочности на изгиб составил 201,7кг.

в) Получение неразъемного соединения с помощью метода жидкофазного спекания в вакуумной печи электронным лучом.

Для этого эксперимента были изготовлены 2 образца прямоугольного сечения из сплава ЭП741НП. Поверхности образцов были отшлифованы на наждачном круге, после чего “обезжирены” спиртом. Образцы между собой были скручены нихромовой проволокой. После чего соединенные проволокой образцы были помещены в вакуумную печь. Глубина вакуума в печи составляет до 10^{-4} мм.рт.ст. Температура нагрева -1230...1280°C. Время выдержки образцов в печи 5 минут. Контроль температуры осуществлялся с помощью термовизора. Так как точность измерения температуры термовизора составляет $\pm 10^\circ\text{C}$, для более точного измерения температуры

термовизор был откалиброван с помощью термопары. Калибровка термовизора осуществлялась с помощью опытного образца, в котором высверливалось отверстие глубиной 1,5 мм для вставки термопары. Для фиксации термопары в образце применялся термоцемент марки Ф50. После чего образец нагревается и происходит калибровка тепловизора.

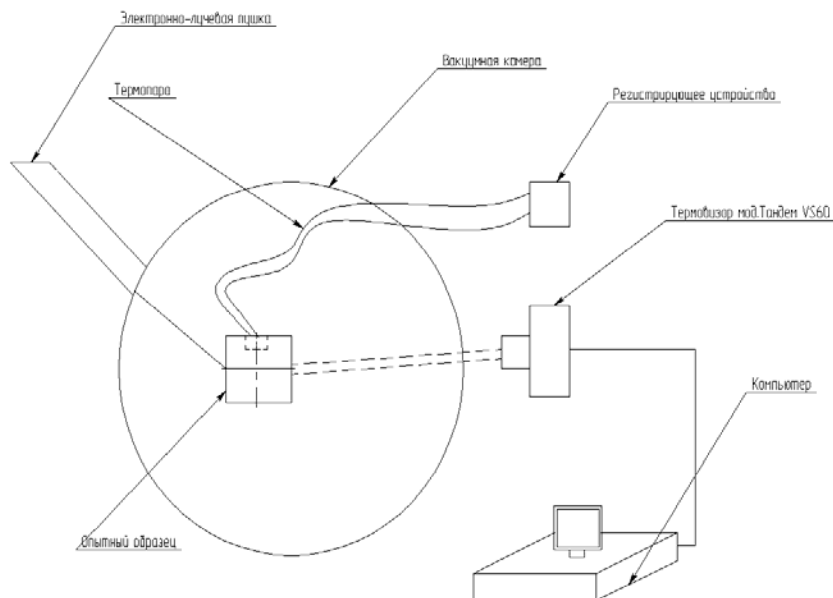


Рис.4 Схема калибровки термовизора с помощью термопары

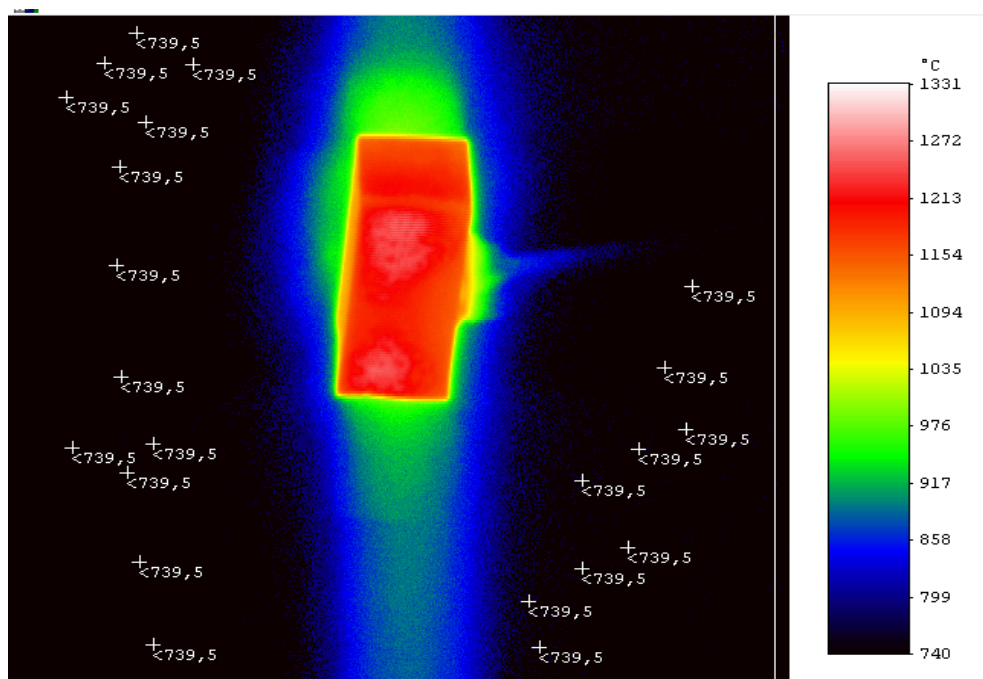


Рис.5 Калибровка термовизора с помощью термопары

При нагреве опытного образца получена кривая зависимости температуры от времени нагрева (рис. 6), необходимая для последующих экспериментов по жидкофазному спеканию образцов.

**Кривая зависимости времени нагрева образцов
из сплава ЭП741НП от времени**

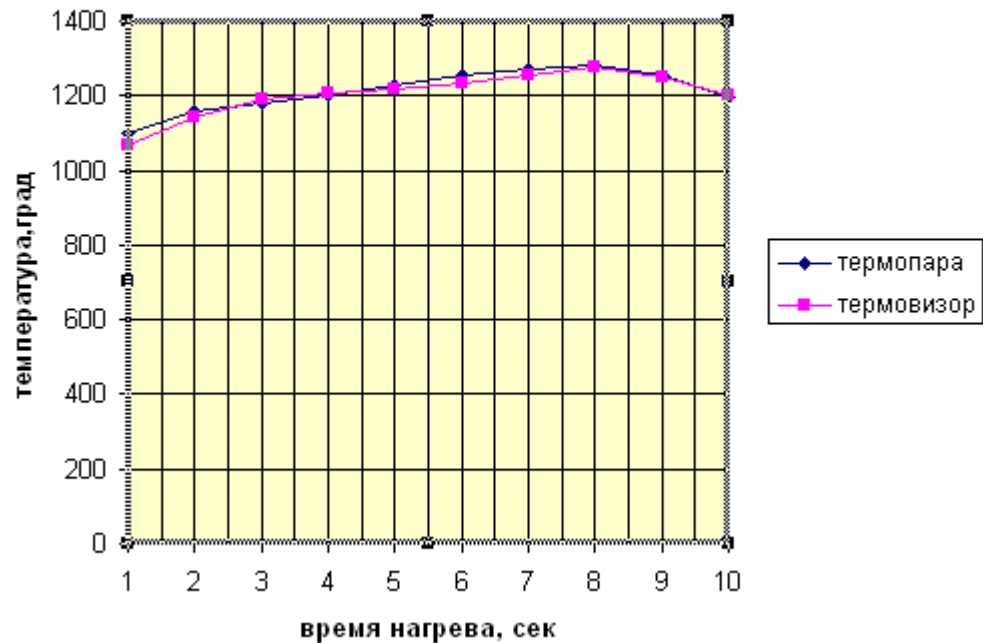


Рис.6 Кривая зависимости времени нагрева образцов из сплава ЭП741НП от времени.



Рис.7 Образец после жидкофазного спекания электронным лучом в вакууме

В настоящее время ведется работа по исследованию макро- и микроструктуры соединения образцов после жидкофазного спекания электронным лучом в вакууме.

Выводы

1. Выполненные исследования по созданию неразъемных соединений из заготовок из сплава ЭП741НП методом жидкофазного спекания на основе исследования механических свойств показали перспективность данного метода.

2. Особое внимание необходимо обратить на разработку и применение устройства для локального нагрева места неразъемного соединения деталей.

3. После жидкофазного спекания свойства образцов улучшаются. Выше временное сопротивление разрыву, улучшаются показатели пластичности.

4. Длительная прочность некоторых образцов без разрушения достигает 899 часов.

5. В исследуемых образцах в зоне соединения деформация при испытаниях на разрыв идет по механизму, который реализуется в высокопластичных сплошных металлах, то есть перед разрушением в них образуются поры

6. Исследования показали, что спекание возможно с применением нагрева в вакууме как в печи, так и электронным лучом.

Литература

1. *Белов А.Ф.* Металлургия гранул. Сб. статей, вып.3 ВИЛС, 1986. –30с
2. *Антонов В.В.* Спекание многокомпонентных систем с образованием жидкой фазы. Доклад. –1989,–с 4-7.