

## РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ

Павленко Д.В.

*Запорожский национальный технический университет*

*Запорожье, Украина*

В современных экономических условиях развитие таких наукоемких и технологичных отраслей промышленности как приборо-, агрегато-, авиа- и ракетостроение, а также машино-электромашиностроение и ряда других, невозможно без применения новых материалов и технологий. С одной стороны высокотехнологичные отрасли промышленности нуждаются в новых материалах, обладающих улучшенными характеристиками. С другой стороны новые материалы должны отличаться низкой себестоимостью получения, что позволит снизить себестоимость производства изготавливаемых из них изделий. Наряду с развитием новых low-cost материалов, получаемых путем замены дорогих легирующих элементов более дешевыми аналогами [1], не менее важным аспектом является снижение стоимости их получения [2]. Одним из перспективных путей развития данного направления является использование технологий, основанных на методах порошковой металлургии. Хорошо известно, что порошковая металлургия позволяет получать заготовки деталей машин с высоким коэффициентом использования материала, а также заготовки, химический состав которых трудно, а иногда и не возможно, получить путем традиционной технологии переплава – из псевдосплавов. Следует отметить, что получение псевдосплавов, обладающих уникальным сочетанием потребительских свойств, является необходимым в различных отраслях промышленности. Несмотря на то, что псевдосплавы уступают большинству армированных композитов по прочности, они обладают рядом других ценных характеристик (демпфирующей способностью, износостойкостью, способностью к само смазыванию при трении, теплостойкостью, дугостойкостью, магнитной проницаемостью, биосовместимостью и др.), которые определяют их широкое применение. Немаловажным достоинством технологий порошковой металлургии для приборостроения является также возможность мелкосерийного производства заготовок оригинальных по химическому составу и, как следствие, свойствами.

Однако, несмотря на неоспоримые преимущества, а также достаточно хорошо развитую теорию и практику порошковой металлургии, применение деталей синтезированных из порошков в конструкции ответственных и нагруженных элементах машин весьма ограничено. Это

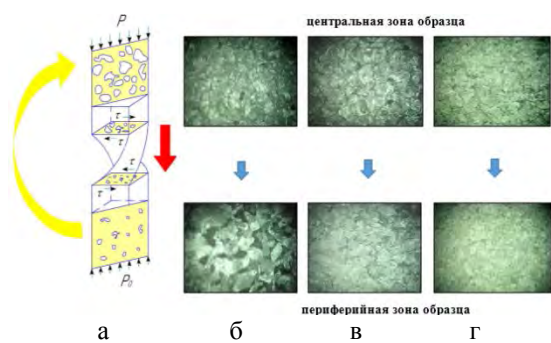
связано с основными известными их недостатками - остаточной пористостью, неомогенностью химического состава и, как следствие, невысоким уровнем прочности и пластичности.

Перспективной ресурсосберегающей технологией получения новых материалов является технология, сочетающая в себе методы порошковой металлургии и интенсивной пластической деформации (ИПД). Разработанная технология включает в себя такие технологические операции как приготовление порошковой смеси заданного химического состава, компактирование заготовок путем холодного прессования, консолидацию частиц порошков путем вакуумного спекания, ИПД заготовок методом винтовой экструзии и дальнейшую термическую обработку, обработку давлением и резанием с целью формообразования основных поверхностей детали. При этом, в отличие от традиционного назначения технологий порошковой металлургии направленных на снижение стоимости деталей за счет высокого коэффициента использования материала заготовки и, как следствие, сведения к минимуму необходимости механической обработки, разработанная технология направлена на получение компактных полуфабрикатов сложнолегированных сплавов по уровню свойств не уступающих деформированным полуфабрикатам получаемых путем переплава и последующей деформационной обработки. Исключение необходимости переплава (для титановых сплавов многостадийного вакуумного переплава) и синтез путем твердофазного спекания позволяет с одной стороны получать псевдосплавы, а с другой стороны значительно снизить себестоимость получаемых полуфабрикатов.

Основные задачи, которые были решены при разработке новой технологии связаны с оптимизацией режимных параметров на всех этапах технологического процесса. Так, на этапе подготовки порошковой смеси, учитывая различные свойства и фракционный состав порошков легирующих элементов, разработан способ их введения, оптимизирован фракционный состав, а также режимы смешивания. Установлено, что на данном этапе часть легирующих элементов рационально вводить в виде порошков отдельных металлов, а часть – в виде порошков комплексной лигатуры. На этапе холодного прессования и спекания основными задачами являлись режимные параметры процессов при ко-

торых с одной стороны обеспечивается достаточная прочность и однородность заготовок, а с другой – низкие затраты энергетических ресурсов. Увеличение давления прессования, например, способствует повышению прочности прессовок, но одновременно приводит и к интенсификации процессов износа технологической оснастки. Увеличение времени и температуры спекания способствует протеканию процессов диффузии и гомогенизации химического состава, однако сопровождается ростом зерен и затрат энергетических ресурсов.

На этапе ИПД, являющимся ключевым в разработанной технологии, были оптимизированы как режимные параметры процесса (температура заготовки, ее геометрия, степень и скорость деформации и др.), так и выбран наиболее рациональный способ деформации. Учитывая, что основной задачей ИПД является многократная деформация заготовки без ее формоизменения и разрушения, установлено, что для спеченных заготовок наиболее рациональным является применение метода винтовой экструзии [3]. Особенностью винтовой экструзии являются возможность высокой степени деформации заготовки в одном цикле. При этом, за счет приложения к переднему торцу заготовки противодействия, в процессе обработки в очаге деформирования обеспечивается высокий уровень гидростатического компонента тензора напряжений, что позволяет обрабатывать малопластичные материалы без разрушения (рис. 1).



$P$  – давление прессования;  $P_0$  – противодействие;  $\tau$  – касательные напряжения.

Рисунок 1 – Схема уплотнения спеченных заготовок винтовой экструзией (а) и макроструктура спеченных заготовок после одного (б) двух (в) и трех (г) циклов деформации винтовой экструзией

Основными задачами, которые были решены на этапе ИПД спеченных заготовок являлись уплотнение (устранение пористости и других макродефектов), формирование субмикроструктурной структуры материала и гомогени-

зация химического состава во всем объеме заготовки. Первые две из них решаются путем накопления в заготовке больших деформаций, что обеспечивается многоциклового обработкой. Установлено, что рациональным является 5 циклов деформации. Гомогенизация обеспечивается за счет возникновения в поперечном сечении деформируемой заготовки множественных вихрей способствующих протеканию процессов массопереноса и перемешивания [4].

Исследования полуфабрикатов сложнолегированных титановых сплавов типа ВТ3-1, ВТ6 и ВТ8 полученных по разработанной технологии показали, что она позволяет получать компактные полуфабрикаты обладающие субмикроструктурной структурой, обеспечивающей хорошо известный эффект повышения комплекса свойств материала [5]. При этом себестоимость полуфабрикатов в 2...2,2 раза ниже по сравнению с деформированными полуфабрикатами титановых сплавов получаемых по традиционной технологической схеме переplava [6].

Таким образом разработанная ресурсосберегающая технология позволяет получать полуфабрикаты сложнолегированных сплавов различного состава для широкого круга отраслей промышленности с высоким уровнем свойств при относительной низкой себестоимости.

1. Рябцев А.Д. Получение титана повышенной прочности путем легирования кислородом в процессе камерного электрошлакового переplava / А.Д. Рябцев, С.И. Давыдов, А.А. Троянский и др. // Электрошлаковая технология, – 2007 – №3. – С. 3-6.
2. Ивасишин О.М., Шпак А.П., Д.Г. Саввакин Экономичная технология получения титановых деталей методом порошковой металлургии // Титан. – 2006. – №1. – С. 31-39.
3. Бейгельзимер Я.Е., Варюхин В.Н., Орлов Д.В. и др. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации Донецк: Фирма ТЕАН, 2003 – 87 с.
4. Pavlenko D.V., Beygelzimer Y. E Vortices in Noncompact Blanks During Twist Extrusion // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2016. – February. – P. 1-8.
5. Pavlenko D.V, Ovchinnikov A. V. Effect of Deformation by the Method of Screw Extrusion on the Structure and Properties of VT1-0 Alloy in Different States // Materials Science. – 2015 – Vol. 51, Issue 1 – P. 52-60.
6. Павленко Д.В. Альтернативные схемы технологического процесса получения полуфабрикатов для лопаток ГТД методами порошковой металлургии // Технологические системы. – 2014 – №4 – С. 51-57.