

Сведения о выполненных работах в 2023 году
по проекту «Разработка научно-технических основ аддитивного формования
сложнопрофильных структур из металлических, металлокерамических и
высокоэнергетических материалов экструзией термопластичных
многофазных композиций»,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 21-79-30006

Руководитель: Лернер Марат Израильевич, д-р техн. наук

Проект посвящен созданию более экономичной технологии аддитивного формования деталей, как альтернативе существующим технологиям. Для этого выбрана аддитивная технология, основанная на построении детали сложной формы из композиций, содержащих металлический порошок и полимерное связующее (зеленая деталь). Далее, полимерное связующее удаляется с использованием растворителя, а деталь (коричневая деталь) спекается в высокотемпературной вакуумной печи. Варьирование состава используемых нано- и микроразмерных частиц в композиции позволяют получать детали с заданными механическими, магнитными, электрическими и др. свойствами, которые трудно или невозможно достичь с помощью традиционных способов.

На третьем году выполнения проекта были продолжены работы по доработке металлополимерных композиций (фидстоков) на основе WC-Co, W-Cu для повышения свойств объемных деталей. Разработаны WC-содержащие композиции с минимальным содержанием остаточного углерода и добавками, подавляющими рост зерен WC и определены оптимальные параметры аддитивного формования деталей из модифицированных композиций. Также разработаны композиции WC-29НК, в которых порошок кобальта заменен на более дешевый кобальтсодержащий сплав 29НК, а из них методом аддитивного формования получены зеленые детали. Спеченные детали имели прочность на изгиб 113 МПа, модуль Юнга 198 ГПа, микротвердость по Виккерсу 1120 HV 0.5/10.

Изготовление зеленых деталей при аддитивном формовании происходит при последовательном наложении тонких слоев металлополимерной композиции. Соответственно, свойства спеченной детали могут зависеть от ориентации слоев при печати образца. Установлено, что физико-механические свойства образцов из псевдосплава W-Cu и твердого сплава WC-Co зависят от направления слоев при печати. Примечательно, что твердость псевдосплава W-Cu на 17 % выше, чем следует из теоретических оценок. Причину этого явления еще предстоит установить. Прочность образцов на изгиб зависит от направления нагрузки. При нормальном нагружении относительно слоев прочность выше, чем при нагружении параллельно наложенным слоям.

Псевдосплавы W-Cu широко применяются в электротехнике в качестве скользящих контактов, поэтому трибологические характеристики материала являются важной частью свойств изготовленных из него изделий. При движении тела трения

поперек слоев более высокий коэффициент трения (0.86) чем при движении тела трения вдоль слоев (0.79). Полученные данные близки к представленным в литературе. При движении вдоль слоев потеря массы практически отсутствует (0.1 %). При движении поперек слоев потеря массы составляет 2.2 %. Вероятно износ происходит вследствие отрыва микрочастичек образца из-за межслоевых дефектов.

Повышение эрозионной, износо- и радиационной стойкости композитов на основе W-Cu достигается за счет легирования псевдосплава такими металлами как Ni, Zn и Cr. Были установлены условия синтеза порошков WCuZn и WCuNiCr, состоящих из микро- и наночастиц. Из указанных порошков изготовлены фидстоки, напечатаны образцы деталей, определены параметры удаления полимерного связующего и спекания. Величина микротвердости полученных образцов WCuZn составляет порядка 317 ± 16 HV, а для состава WCuNiCr – 252 ± 17 HV. Эти значения согласуются с данными для композитов с составами, близкими к W50Cu50 ат. %, полученных методами порошковой металлургии.

Сплавы на основе Ti-Al обладают высокой прочностью и высокотемпературной пластичностью при малом удельном весе. Добавки W и Mo в сплавы TiAl обеспечивают более высокие коррозионные свойства материала. Сложность механической обработки данных сплавов может быть устранена за счет аддитивных методов изготовления деталей, в т.ч. экструзионной 3D-печати. В результате проведенных исследований установлены режимы электровзрывного синтеза порошков TiAl, Ti48Al48Mo4, Ti46Al46Mo8, Ti42Al43Mo15 и Ti48Al48W4, Ti46Al46W8, Ti42Al43W15. Из порошков TiAl, TiAlW, TiAlMo со связующими EK2065 и MC2162 были приготовлены фидстоки, из которых были напечатаны детали сложной формы. Исследования физико-механических свойств деталей показали, что добавление Mo и W позволяет увеличить твердость TiAl сплава в сравнении с базовым составом Ti50Al50. Величины модуля Юнга и микротвердости образцов TiAlMo и TiAlW согласуются с литературными данными для TiAl сплавов с добавками β стабилизаторов.

Определены параметры экструзионной 3D-печати, обеспечивающие получение детали из разработанных материалов с минимальной анизотропией физико-механических свойств.

Детали на основе Al-Cu представляют интерес для различных практических применений, например, такие материалы используются в качестве материалов электрических контактов, в том числе для соединения Al и Cu. Также алюминиево-медные сплавы применяются в конструкции самолетов, колес автомобилей, станков и др. Из синтезированных электровзрывным методом порошковых композиций Al-Cu и полимерного связующего марки MC2162 был получен высоконаполненный фидсток с содержанием дисперсной фазы 89 масс. %. Установлены оптимальные режимы аддитивной печати, растворного удаления полимерного связующего в ацетоне и спекания деталей. Изучены физико-механические свойства спеченных деталей. Из проведенных исследований следует, что разработанный фидсток пригоден для

аддитивного формования деталей из сплава Al-Cu по технологии FDM, обладающих высокой механической прочностью и низкой пористостью.

Определена оптимальная форма фидстоков для аддитивного формования деталей при экструзии металлополимерных композиций – гранулы.

Для аддитивного формования сложнопрофильных структур на основе нанотермитов Al+CuO, Al+Fe₂O₃, Al+MoO₃ были определены полимерные связующие – фторкаучук (LFC-1) и этилвинилацетат (EVA). Установлен метод введения дисперсных фаз в полимеры – механическая гомогенизация при 500 об/мин и времени от 1 до 2 мин. Наиболее высокая степень однородности распределения наночастиц термитов в полимере наблюдается при использовании в качестве капсулирующего агента триэтаноламинсалицилата (1 % от массы композиции), а в качестве связующего полимера – фторкаучука (10 % от массы композиции). Для разработанных композиций установлены такие характеристики как время инициации горения, скорость горения, чувствительность к удару и трению, энергия, при которой происходит воспламенение композиций на основе нанотермитов при воздействии электрического разряда. Показано, что в зависимости от области применения, варьирование состава связующего полимера и микрокапсулирующего покрытия наночастиц позволяет задавать время инициации и скорость горения нанотермита.

Для аддитивного формования сложнопрофильных структур из композиций выбраны составы, содержащие не более 25 % масс. связующего полимера LFC-1 (растворители - ацетон, бутилацетат, этилацетат) и 20 % масс. EVA (растворитель – толуол).

С публичной информацией о проекте можно ознакомиться по адресам:

https://vk.com/video-188687325_456239419

<https://www.youtube.com/watch?v=cxNw2AyezYM&t=1s>

<https://rscf.ru/news/interview/>

<https://www.youtube.com/watch?v=fJZIUzRNzcEg&t=444s>

https://vk.com/wall-214520833_1162

<https://news.tsu.ru/news/sozdannye-v-tgu-fidstoki-zamenyat-importnye-analogi/>

<https://news.tsu.ru/news/sozdannye-v-tgu-materialy-dlya-3d-pechati-vykhodyat-na-rynok/>

<https://www.youtube.com/watch?v=enasML0tnjY>