

трудоемкой операцией и подходит не всем изделиям, особенно содержащим в структуре интерметаллиды. Модифицирование поверхностей СЛП изделий возможно за счет придания функциональных свойств методом электроискрового осаждения (ЭИО).

Целью работы является модификация поверхности никель-содержащих изделий, полученных по аддитивной технологии СЛП, методом ЭИО с использованием прекурсоров из доэвтектического алюминиевого сплава АК9.

Объектом исследования был сплав (Ni,Al,Cr,Co) [1] размером 7 мм × 9 мм × 7 мм, полученный по СЛП технологии. Осаждение покрытия проводили с помощью ЭИО [2] при использовании специально подготовленного прекурсора из сплава АК9 [3]. Прекурсор был закален из расплава, для гомогенизации химического состава при образовании пересыщенного твердого раствора и уменьшения размера и доли дендритов. Формирование поверхностного слоя осуществлялось в защитной атмосфере аргона путем многократного прохождения анода по поверхности токопроводящей подложки.

Данная работа демонстрирует, что ЭИО позволяет улучшать качество поверхности СЛП изделий. При электроискровой обработке быстрозакаленного прекурсора на основе Al-Si на дефектную поверхность СЛП изделий из никелевого сплава сформирован слой на основе 100% алюминиды никеля толщиной 10,0...13,5 мкм. Глубина заполнения поверхностных микротрещин достигает 34 мкм, далее расплав затвердевает, не успевая полностью заполнить микротрещины образцов. ЭИО доэвтектическим прекурсором приводит к уменьшению шероховатости поверхности ($R_a=3,41 \pm 0,13$ мкм). Поверхностный слой, содержащий фазу интерметаллида никеля, обладает повышенной твердостью и низким модулем упругости ($H=10,9 \pm 0,5$ ГПа, $E=188 \pm 9$ ГПа) по сравнению с базовой подложкой ($H=6,2 \pm 0,2$ ГПа, $E=164 \pm 21$ ГПа).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-90286.

1. Kaplanskii Y.Y., Levashov E.A., Loginov P.A., Zaitsev A.A., Sentyurina Z.A. *NiAl based alloy produced by HIP and SLM of pre-alloyed spherical powders. Evolution of the structure and mechanical behavior at high temperatures*. Materials Science and Engineering. 2018. 717. 48–59.
2. Aksenov L.B., Kudryashov A.E., Levashov E.A., Petrov V.M. *Use of electric spark alloying technology and promising nanostructured electrode materials for improving the life of punching equipment*. Metallurgist. 2010. 54. 7–8. 514–522.
3. GOST 1583-93 *Aluminium casting alloys. Specifications*. Izdatelstvo standartov. 2003. 24.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА НАДМОЛЕКУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА (ПММА)-МАТЕРИАЛА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

Мялкин И.В., Сафонов В.М., Смирнова Н.Н.

Выксунский филиал НИТУ «МИСиС», Выкса, Россия

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

i.v.myalkin@gmail.com

Одним из основных материалов для аддитивного производства является ПММА. Большое внимание при изучении различных процессов уделяется поиску взаимосвязей между энтальпией растворения и различными параметрами, характеризующими физико-химические свойства полимеров. Исследования зависимости энтальпии растворения полимеров от способа приготовления образца, молекулярной массы и химического строения цепи показали, что эта термодинамическая характеристика в достаточной мере чувствительна к изменениям химического строения и физической структуры полимера.

Впервые выявлено влияние надмолекулярной структуры образцов полиметилметакрилата, полученных при использовании в качестве передатчиков цепи дисиланов различного строения, а также степени конверсии ПММА на его энтальпию растворения в хлороформе. При одинаковом растворителе возможно получение разных значений энтальпии растворения образцов полимера с разной внутри- и надмолекулярной структурой с разной регулярностью строения его макромолекул, их степенью разветвленности, различием в укладке макромолекул, часто связанной с предисторией его получения [1]. При этом меняются и свойства полимера: плотность, температура стеклования и другие. Энтальпия растворения образцов ПММА начальной и глубокой конверсий одинакова в пределах ошибок измерений и не зависит от ММ в изученном интервале значений 24 000 – 584 000 [2]. Энтальпии растворения образцов ПММА заметно различаются в зависимости от вида передатчика цепи, используемого при синтезе ПММА. Например, при силокси-заместителе в молекуле дисилана (HMeSiO)_nMeSi-SiMe₂(OSiMe₂H) вызывают заметное уменьшение абсолютного значения энтальпии растворения образца полимера, полученного в его присутствии, по сравнению с образцами, модифицированными дисиланами с алкильными заместителями.

Исследования выявили появление микрогетерогенности систем, полимеризующихся в присутствии дисилана с объемными заместителями (HMeSiO)_nMeSi-SiMe₂(OSiMe₂H), что было экспериментально зафиксировано в виде помутнения блочных образцов. При этом оказалось, чем больше концентрация дисилана, тем выше мутность блока. Исследования методом атомно-силовой спектроскопии топологии поверхности пленок образцов такого полимера показали наличие в них микроструктур размером до 1 мкм, которые отсутствовали у немодифицированных образцов. По-видимому, концевые объемные силоксановые группы приводят к «сшивке» макромолекул полимера вследствие образования сильных водородных связей с

макромолекулами полимера. Исследование методом ЯМР образцов ПММА, полученных полимеризацией ММА в присутствии дисиланов с алкильными заместителями, показало уменьшение в них в среднем на 3% доли синдиотактических триад по сравнению с полимером, полученным без дисиланов [2,3]. Это приводит к увеличению подвижности сегментов цепи и ведет к разрыхленности структуры полимера.

1. Тагер А.А., Гурьянова Н.М. *Теплоты растворения и упаковка молекул полимеров в различных физических состояниях*. Журнал физической химии. 1958. .32. 9. 1958–1962.

2. Булгакова С.А., Семчиков Ю.Д., Кирьянов К.В., Грачева Т.А., Клычков К.С. *Физические аспекты влияния передатчиков цепи на свойства полиметилметакрилата*.

Журнал Высокомолекулярные соединения 2008.50.7.1223–1230

3. Мялкин И.В., Булгакова С.А., Кирьянов К.В., Смирнова Н.Н. *Влияние надмолекулярной структуры на энтропии растворения полиметилметакрилата в хлороформе при 298.15 К*. Журнал физической химии. 2015. 89. 1. 56–60.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДХОДОВ МЕХАНИКИ НАРАЩИВАЕМЫХ ТЕЛ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛИВАЕМЫХ МЕТОДАМИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Паршин Д.А.

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

parshin@ipmnet.ru

В процессах аддитивного производства твердые тела постепенно увеличиваются в размерах за счет добавления к их поверхности новых слоев материала, деформируясь в процессе своего формирования. Это основное отличие аддитивно изготавливаемых тел от тел, уже существующих в своем окончательном материальном составе до деформации, типичных для классической механики деформируемого твердого тела (МДТТ). У любого аддитивно формируемого тела как единого целого отсутствует конфигурация, свободная от напряжений, от которой следовало бы отсчитывать традиционные меры деформации. Это значит, что задачи прогнозирования прочности деталей, изготовленных аддитивными методами, составляют особый класс задач МДТТ и обладают целым рядом специфических особенностей. Механический анализ процессов аддитивного производства должен учитывать внешние нагрузки, действующие на формируемое тело, в том числе и на каждый элементарный слой дополнительно присоединяемого материала, одновременно с учетом геометрических, кинематических и силовых особенностей последовательного присоединения данных слоев к поверхности тела. Подобная цель в принципе не может быть достигнута в рамках классической МДТТ, даже при рассмотрении традиционных уравнений и граничных условий в расширяющейся со временем области пространства. Подходы к корректной постановке и решению задач механического моделирования аддитивных процессов успешно разрабатываются в настоящее время отечественной научной школой по механике наращиваемых тел, основанной выдающимся российским ученым механиком и математиком профессором А.В. Манжировым [1-3].

В настоящей работе показаны примеры применения этих подходов к исследованию процессов аддитивного изготовления изделий, обладающих упругими или вязкоупругими свойствами, в том числе изменяющимися со временем вследствие старения. Предлагаемые неклассические механические модели позволяют прогнозировать развитие технологических напряжений в изготавливаемом изделии в процессе аддитивного производства и по его окончании при различных условиях и режимах изготовления. Получаемые распределения принципиально отличаются от определяемых из решения классических задач МДТТ распределений напряжений в аналогичных по геометрии и свойствам гипотетических изделиях, испытавших деформирующие воздействия только после изготовления. Данный факт объясняется механическими особенностями собственно аддитивного процесса и приводит к наличию остаточных напряжений в готовом изделии после его освобождения от нагрузок и связей, сопровождавших процесс изготовления. В работе находятся и анализируются распределения этих напряжений.

Исследование выполнено по тематике госзадания АААА-А17-117021310381-8 и частично в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований № 17-01-00712-а, № 18-01-00920-а.

1. Манжиров А.В., Паршин Д.А. *Влияние режима возведения на напряженное состояние вязкоупругой арочной конструкции, возводимой с использованием аддитивной технологии под действием силы тяжести*. Изв. РАН. МТТ. 2015. 6. 69–91.

2. Паршин Д.А. *Аналитические решения задачи об аддитивном формировании неоднородного упругого шарового тела в произвольном нестационарном центральном поле сил*. Изв. РАН. МТТ. 2017. 5. 70–82.

3. Manzhirrov A.V., Parshin D.A. *Analytical solution of the mechanical problem on additive thickening of aging viscoelastic tapers under nonstationary longitudinal end forces*. Engng. Letters. 2018. 26. 2. 267–275.