

отверждении в присутствии катализаторов, которые отражают изменение скорости отверждения в получаемых образцах. Достоинством данного метода являются его применимость к любым композиционным материалам, возможность получения информации о глубине превращения в технологическом цикле процесса отверждения, достоверность определения завершения процесса отверждения. Критерием, по которому процесс отверждения связующего считают законченным, является неизменность во времени диэлектрических характеристик отверждаемого материала. Достижение постоянных значений тангенса угла диэлектрических потерь характеризует глубинные стадии сшивки макромолекул в трехмерную структуру.

Анализ графиков изменения тангенса угла диэлектрических потерь показал, что процессы отверждения в слоях, с чистым связующим, протекают медленнее, чем в слоях с добавлением катализатора, введение которого смещает точку гелеобразования на зависимости в область меньших значений времени. Целью работы было подобрать такие концентрации катализаторов, при которых разница во времени начала гелеобразования (максимумов на кривой $\text{tg}\delta = f(t)$) первого и последнего отверждаемого слоя препрега будет минимальной, таким образом, пики на кривой $\text{tg}\delta = f(t)$ для первого и последнего отверждаемого слоя препрега должны совпасть по времени.

В образце с концентрацией 0,25% ДМБА в верхнем условном слое, пики, соответствующие температуре гелеобразования, 1-го и 5-го слоев совпали. Для УП-606-2 такой оптимальной концентрацией стало содержание 0,35 % катализатора. Для 2-метилимидазола одинаковая скорость отверждения в 1-ом и в 5-ом слое была установлена для концентрации 0,5 %. Это подтверждает, что введение диметилбензиламина, УП-606/2 и 2-

метилимида-зола позволяет, не нарушая технологического процесса, добиться одно-временного отверждения связующего по слоям ПКМ.

Анизотропия матрицы в процессе отверждения может быть оценена путем нахождения отношения прочностей при двустороннем испытании образцов на изгиб. При испытании на изгиб прочность стеклопластика определяется в основном свойствами матрицы, поэтому изменение прочности при изгибе позволяет оценить влияние температурного градиента на механические свойства матрицы.

Двухсторонние испытания образцов на статический изгиб по ГОСТ 4648-71 производили с приложением нагрузки с внутренней и наружной стороны по отношению к оснастке (с температурой T_1 и T_2 соответственно). Анизотропия прочности оценивалась как отношение значений прочностей на изгиб при разностороннем приложении нагрузки.

Результаты испытаний показали, что введение в верхний слой композита 0,25 % диметилбензиламина, 0,35 % УП-606/2 и 0,5 % 2-метилимидазола позволяет снизить анизотропию матрицы и, более того, повысить прочность композита на изгиб в целом. Оптимальная концентрация катализатора, при которой анизотропия прочности минимальна составляет 0,3-0,4%, что подтверждается экспериментальными данными.

На основании проведенных исследований установлено, что применение катализаторов позволяет контролировать процесс отверждения эпоксидной композиции ЭДТ-69Н, обеспечивая регулирование скоростей отверждения полимерного композиционного материала. Равномерное отверждение композиционного материала уменьшает негативное влияние температурного градиента при конвективном процессе обогрева в процессе автоклавного формования деталей из ПКМ.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НОВЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ДИСКОВ ТУРБИН ГТД

This work shows the influence of heat treatment regimes on structure and properties of wrought superalloys brands VZH175, EK151 and EP975 to gas turbine

Современные жаропрочные деформируемые сплавы для дисков ГТД имеют сложный химический и фазовый состав. Они относятся к классу дисперсионно-твердеющих сплавов, содержат более 14 легирующих элементов, которые образуют в матрице на основе никеля (γ -фазе) дисперсные выделения основной упрочняющей фазы γ' на базе интерметаллида $Ni_3(Al,Ti)$, а также частицы карбидов и боридов. Количество γ' -фазы в отдельных марках может достигать 60 %.

Термическая обработка таких материалов является не самостоятельной операцией, а частью сложного технологического цикла производства полуфабриката - штамповки диска турбины. Режимы термической обработки разрабатывают для каждого сплава с учетом его химического и фазового состава, состояния структуры после деформации, требований к физико-механическим свойствам и рабочей температуре.

В настоящей работе показано влияние режимов и технологии термической обработки на структуру и свойства новых жаропрочных деформируемых сплавов, разработанных ФГУП «ВИАМ».

Закалка выше или вблизи температуры полного растворения γ' фазы ($T_{пр\gamma'}$) проводится для получения крупно-зернистой микроструктуры 50...120 мкм. Такую термическую обработку применяют для всех серийных отечественных сплавов, в том числе и для наиболее жаропрочного ЭП975 с температурой работы до 975 °С и количеством γ' фазы более 55%. При

закалке этого материала из однофазной области с замедленным охлаждением до температуры ниже $T_{пр\gamma'}$ на 30...40 °С, формируются зерна 80...120 мкм с извилистыми границами, обеспечивающие по сравнению со стандартным режимом более высокую ударную вязкость и трещиностойкость. Внедрение такой термической обработки в серийное производство на ОАО «СМК» штамповок дисков турбины малоразмерных ГТД из сплава ЭП975 обеспечило более высокий и стабильный уровень свойств, снижение брака по жаропрочности на 25 %.

Для высокопрочных сплавов с рабочей температурой до 750 °С, к которым относится новый материал ВЖ175 и серийный ЭК151 были разработаны специальные режимы закалки и старения, обеспечивающие получение мелко-зернистой микро-структуры 15...20 мкм, с выделениями набора частиц упрочняющей γ' фазы от 0,3 мкм до 50 нм. В отличие от стандартной закалки, новый режим включает предварительный ступенчатый отжиг ниже $T_{пр\gamma'}$ и закалку из двухфазной области. В результате увеличивается равномерность распределения зерен и частиц γ' фазы. Такая структура позволяет повысить прочность, и циклические характеристики без снижения жаропрочности.

Режим термической обработки сплава ВЖ175 внедрен в промышленное производство крупногабаритных штамповок дисков, обеспечивает стабильность получения регламентированной структуры и свойств.

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ОТРАСЛИ В ОБЛАСТИ ДИНАМИКИ ПОЛЁТА САМОЛЁТА