

операторов и элементов технологической системы являются булевыми векторами в пространстве  $F$ .

На основании установленных взаимосвязей гибкой модульной автоматической сборки получены типовые схемы структур гибких модульных сборочных систем, которые могут быть представлены комплексным оргграфом.

Выявленные закономерности развития структур дают возможность осуществлять целенаправленный переход от исходных требований, предъявляемых к позициям сборки, к оптимальной структуре гибких модульных сборочных систем, модульным технологиям с различными компоновками переналаживаемого модульного сборочного оборудования и оснастки.

УДК 629.73-03

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОТЕКСТУРОВАННЫХ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Гречников Ф.В., Михеев В.А., Кузина А.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Необходимость разработки новых материалов и развитие комплексных подходов в технологии получения листовых полуфабрикатов с заданным составом текстур и физико-механических свойств возникла в связи с широким применением в авиации анизотропных материалов на основе алюминия, магния, кремния, титана и бериллия. Однако эффективность использования анизотропных материалов по ряду нерешенных проблем была и остается весьма низкой. Прежде всего, это касается алюминиевых сплавов, являющихся основой для производства авиационной и ракетно-космической техники. Благодаря своим уникальным свойствам, а именно легкости и высокой удельной прочности они незаменимы при изготовлении силового набора и обшивок планера самолета, обечаек, обтекателей, баков и силовых деталей корпусов ракет-носителей.

Проведенные ранее многочисленные исследования показали, что особенность строения листовых алюминиевых полуфабрикатов приводит к необходимости увеличения толщины исходной листовой заготовки для компенсации чрезмерного утонения в опасном сечении при формообразовании листовых деталей. В результате этого алюминиевые листовые материалы обладают низкими технологическими свойствами, что препятствуют широкому использованию подобных сплавов в авиационной промышленности.

Это связано с тем, что в составе текстур листового материала либо преобладают неблагоприятные кристаллографические ориентировки, способствующие преимущественному развитию деформации по толщине листа, либо такая текстура менее благоприятна для тех или иных штамповочных процессов. Это является причиной высокого брака и больших технологических отходов. Кроме того к технологическим проблемам можно добавить эксплуатационные проблемы. Из-за неблагоприятной текстуры и анизотропии свойств листового материала ухудшаются прочностные характеристики изделий, изготовленные принудительно из листовых заготовок завышенной толщины.

Поэтому разработка высокотекстурированных листовых материалов авиационного назначения, обеспечит условия получения алюминиевых изделий, обладающих универсальным комплексом технологических и эксплуатационных характеристик, а также фазово-переходной памятью структурных превращений. Программа исследований включает процессы многоциклового прокатки, литья и кристаллизацию из расплава алюминиевых

сплавов. Предварительное получение литых образцов с предельной растворимостью легирующих элементов в твердом растворе на основе алюминия с концентрацией выше их равновесной растворимости позволит повысить технологические возможности литого материала к пластическому деформированию, видоизменению структуры и текстуры листового материала.

В настоящее время разработка листовых материалов авиационного назначения с заданным составом текстур и физико-механических свойств является перспективным направлением в области создания новых авиационных материалов. Разрабатываемые теоретические положения являются инвариантными к видам конструкционных материалов и могут быть использованы для создания технологий получения высокотекстурированных листов из латуни, бронзы, титановых сплавов и сталей. Результаты исследований могут быть востребованы в первую очередь в авиационной промышленности.

УДК 621.983.001

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБТЯЖКИ ОБОЛОЧКИ  
ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ С МИНИМАЛЬНОЙ РАЗНОТОЛЩИННОСТЬЮ  
И ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ В УСЛОВИЯХ ОРТОГОНАЛЬНОЙ  
АНИЗОТРОПИИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА**

Михеев В.А., Гречникова А.Ф., Кузина А.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва  
(национальный исследовательский университет), г. Самара

Обводообразующие обшивки, а именно оболочки двойной кривизны, получают способом обтяжки, основанным на растяжении листового материала с его утонением по толщине. Ограничивающими факторами являются неравномерное растяжение из-за влияния сил трения и недопустимая локализация деформации заготовки вследствие разнотолщинности листового проката в поперечном направлении. Кроме этого наибольшее утонение листового материала наблюдается при обтяжке именно алюминиевых листовых полуфабрикатов, что обусловлено особенностями их внутреннего кристаллического строения или анизотропией свойств, способствующей преимущественному развитию деформации по толщине. Как известно, величина и характер анизотропии деформационных характеристик определяется как кристаллическими свойствами самого материала, так и наличием в поликристаллическом материале преимущественных кристаллографических ориентировок или составом текстур. Для современных материалов управление текстурообразованием становится все более важным, т.к. оно позволяет создавать эффективную анизотропию свойств, приближая характеристики высокотекстурированного материала к композиционным материалам, но сохраняя при этом их высокую технологичность.

Однако для создания эффективной анизотропии свойств листового материала необходимо выяснить, какие сочетания показателей анизотропии отвечают требованиям совершенствования формообразования обтяжкой оболочек двойной кривизны. Прежде всего, это касается более сложных пространственных форм оболочек двойной кривизны двояковыпуклой и выпукло-вогнутой форм. Кроме того для современного ЛА повысились требования к точности выполнения их аэродинамических обводов. Тенденции увеличения габаритов и снижения массы ЛА требуют применения крупногабаритных, но тонколистовых элементов обводообразующих обшивок малой жесткости, что существенно усложняет решение вопросов точности, связанных с геометрической увязкой элементов конструкции