

---

---

*В.И. Постнов, М.В. Постнова, И.А. Казаков, П.А. Абрамов*

## **ОСОБЕННОСТИ КОНТУРНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК МПКМ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

*В серийном производстве проведена обработка резанием по контуру и в отверстиях листов МПКМ всеми применяемыми способами. Выполнены металлографические исследования зон обработки ручными ножницами, ножовкой, напильником, фрезерованием, лазером, вырубкой, пробивкой в штампах. Изучены особенности этих видов обработки при изготовлении элементов конструкций и их сборке. Проведены сравнительные испытания образцов после резки на гильотине, фрезерованием и лазером. Установлено, что наилучшие результаты дает фрезерование с зачисткой острых кромок.*

**Ключевые слова:** *контурная обработка резанием.*

Металлополимерные композиционные материалы (МПКМ) представляют собой сочетание тонких металлических слоев и слоев высокопрочных полимерных композитов, соединенных между собой полимерной матрицей. Наибольшее распространение получили металлополимерные композиционные материалы типа АЛОР и СИАЛ, которые состоят из алюминиевого сплава Д16ч.-АТ и слоев органопластика или стеклопластика соответственно.

Для раскроя крупногабаритных листов МПКМ на заготовки используются следующие операции: фрезерование, распиловка ножовкой, резка на гильотине или рычажными ножницами и механическая зачистка напильником (рис. 1). При обработке этих материалов необходимо учитывать следующие явления:

- износ режущей части инструмента;
- расслаивание материала;
- нагрев материала в зоне резания.

Износ режущих частей инструмента приводит к ухудшению качества кромки реза, возникает повышенная шероховатость и разрыхление слоя композита в зоне обработки, что сказывается на свойствах материала в зоне реза.

Расслоение материала происходит, когда силы сдвига превышают максимальные значения для данного материала. При механической обработке действие поверхностных сил максимально, т. е. на выходе фрезы или сверла. Опасность такого дефекта увеличена, когда фреза или сверло становятся тупыми, и требуется большая сила подачи для фрезерования или сверления. Также при механической обработке недопустимы большие скорости подачи и резания, так как это приводит к расслоению и деформации края. Кроме того, в зоне реза происходит нагрев материала, а следовательно, изменение свойств полимерного слоя.

При обработке МПКМ в первую очередь разрушается полимерная матрица, а волокна наполнителя, обладающие значительной прочностью, остаются в свободном состоянии и не перерезаются режущими кромками инструмента, образуются вспучивания и разломачивание кромок отверстий, что значительно снижает качество обработки.

Особенно это сказывается при сверлении отверстий больших диаметров за один проход (рис. 2 и 3). На основании приведенных исследований и с учетом состояния поверхности отверстия наиболее целесообразными режимами резания при сверлении твердосплавными сверлами без охлаждения для диаметров 3–15 мм является скорость резания 20–30 м/мин и подача 0,05–0,2 мм/об

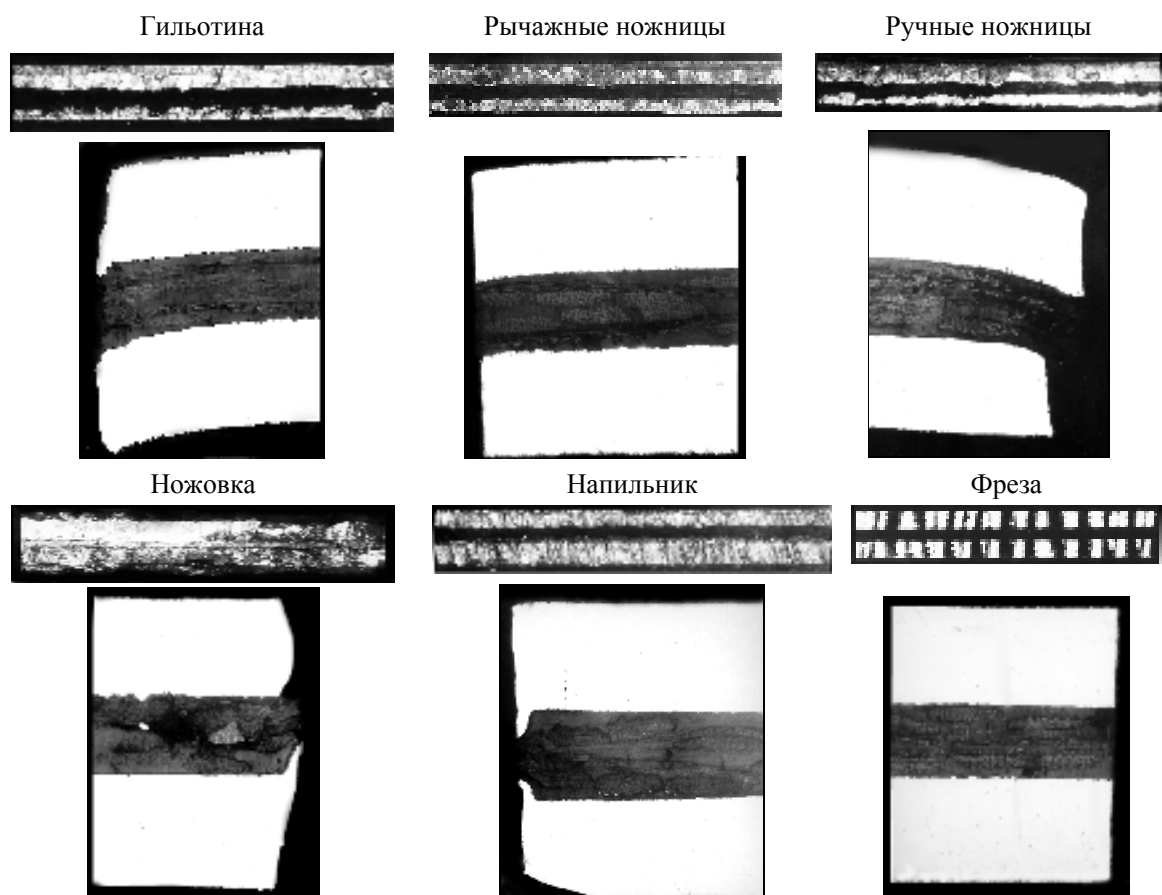


Рис. 1. Исследование кромок образцов из АЛОРа Д16/41 после механической обработки различным инструментом ( $\times 63$ )

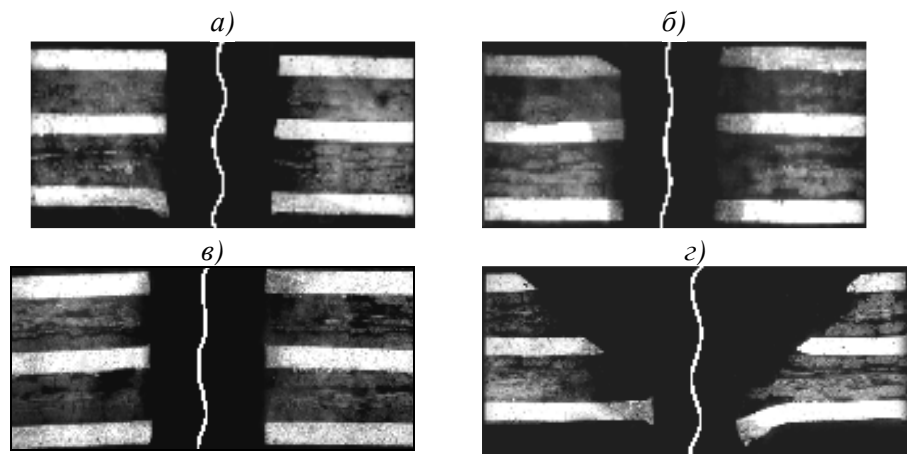


Рис. 2. Отверстия ( $\times 32$ ), полученные сверлением в материале СИАЛ 2-3/2:  
а-г – диаметром 3; 5; 6 и 10 мм соответственно

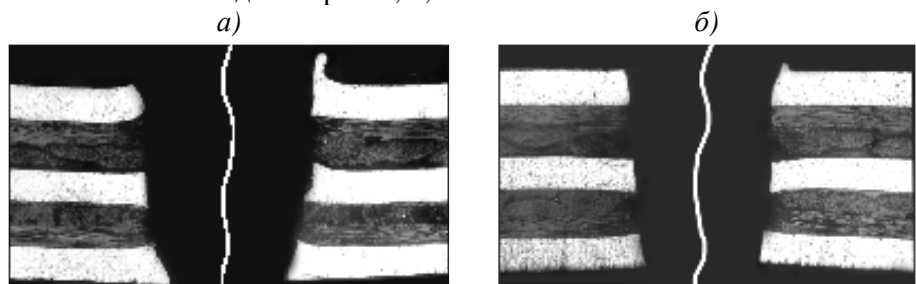


Рис. 3. Отверстия диаметром 10 (а) и 3 мм (б), полученные сверлением в материале СИАЛ 3-3/2 ( $\times 63$ )

В настоящее время широко используется лазерный луч, который можно рассматривать как новый вид универсального инструмента, позволяющего осуществлять резку и раскрой материалов и их перфорацию.

Сочетание в лазере высокой плотности энергии и «не изнашивающегося» резака создает предпосылки для обработки лазером практически любых материалов независимо от их твердости и термостойкости. В настоящее время перечень материалов, для которых подобраны режимы резки лазером, достаточно широк и включает в себя практически все конструкционные сплавы и большинство известных пластмасс и композиционных материалов.

Металлополимерные композиционные материалы с точки зрения лазерной обработки следует отнести к сложным материалам. К особенностям этих материалов относятся их конструкция, состоящая из чередующихся слоев материалов с различными теплофизическими свойствами. Базирующийся на тепловом разрушении материала, процесс лазерной резки указанных материалов требует различной по времени экспозиции лазерного излучения на каждом слое материала, а на практике – передозировку энергии на менее термостойких слоях и, как следствие, большие остаточные явления в них.

Кроме того, можно ожидать, что при резке лазером слоистых материалов определенное влияние на размеры дефектной зоны в них окажут слои материала с большей теплопроводностью. Так, при резке материала АЛОП Д16/41 таким слоем является алюминиевый лист, теплопроводность которого почти на порядок выше теплопроводности прилегающего слоя органического материала (клей ВК-41 и ткань СВМ).

Плотность мощности является важным технологическим параметром, во многом определяющим качество кромки реза и ширину реза. Минимальные размеры реза достигаются подбором условий фокусировки лазерного излучения относительно поверхности обрабатываемого материала. При малых толщинах бывает достаточно сфокусировать излучение на поверхность материала, при больших толщинах – на некотором углублении от поверхности. На рис. 4 приведена зависимость предельной скорости сквозного прорезания трехслойного АЛОП Д16/41 от положения фокальной плоскости относительно обрабатываемой поверхности.

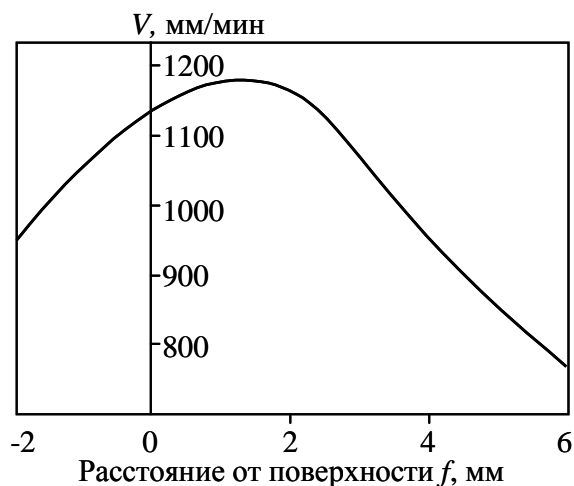


Рис. 4. Зависимость скорости резки трехслойного АЛОП Д16/41 от положения фокальной плоскости относительно поверхности материала (мощность лазера  $W=612$  Вт, давление продувочного газа  $P=0,05$  МПа)

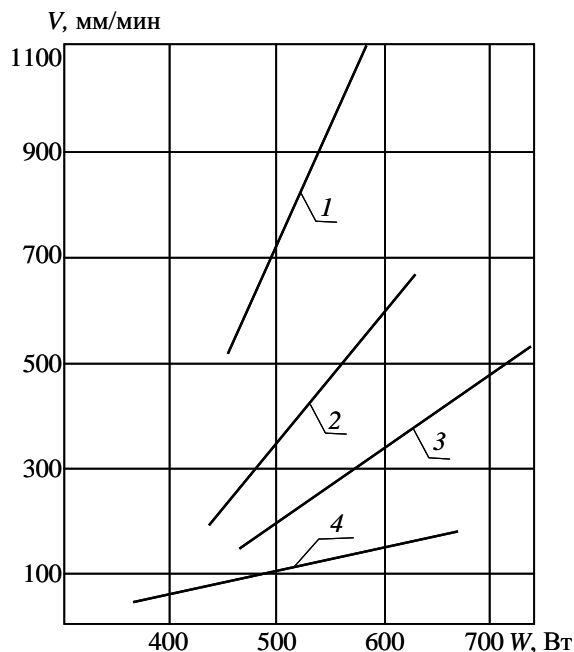


Рис. 5. Зависимость скорости резки материала АЛОП Д16/41 трехслойного (1, 2) и пятислойного (3, 4) от мощности лазерного излучения при давлении продувочного газа 0,1 (1, 3) и 0,2 МПа (2, 4). Расстояние между срезом дюзы и поверхностью материала 0,8 мм

Как видно на рисунке, максимальная скорость резки трехслойного АЛОР Д16/41 достигается для данного лазера при небольшом углублении фокальной плоскости в материал. Примерно при этих же условиях наблюдается и наименьшая ширина лазерного реза – правда, при выбранном давлении продувочного газа, равном 0,05 МПа, качество кромки реза было очень низким, зернистым. В отдельных местах реза наблюдалось сплавление капель металла с обеими кромками реза. Повышение давления продувочного газа до 0,16 МПа приводило к улучшению качества реза и к некоторому увеличению скорости реза. На рис. 5 приведены зависимости скорости резки АЛОРа Д16/41 от мощности лазера для двух значений давления продувочного газа. Режимы, отображенные кривыми 2 и 4 (см. рис. 5), приняты за оптимальные, так как лучшего качества реза достичь не удалось. Внешне рез выглядел шершавым, без обугливания.

Для определения характера остаточных явлений в материале и их размеров были изготовлены микрошлифы материала в плоскости, перпендикулярной лазерному резу. На рис. 6 приведена фотография шлифа образца трехслойного АЛОР Д16/41 с расшифровкой всех изменений в слоях материала, прилегающих к кромке реза. Аналогичная фотография шлифа пятислойного АЛОР Д16/41 приведена на рис. 7.

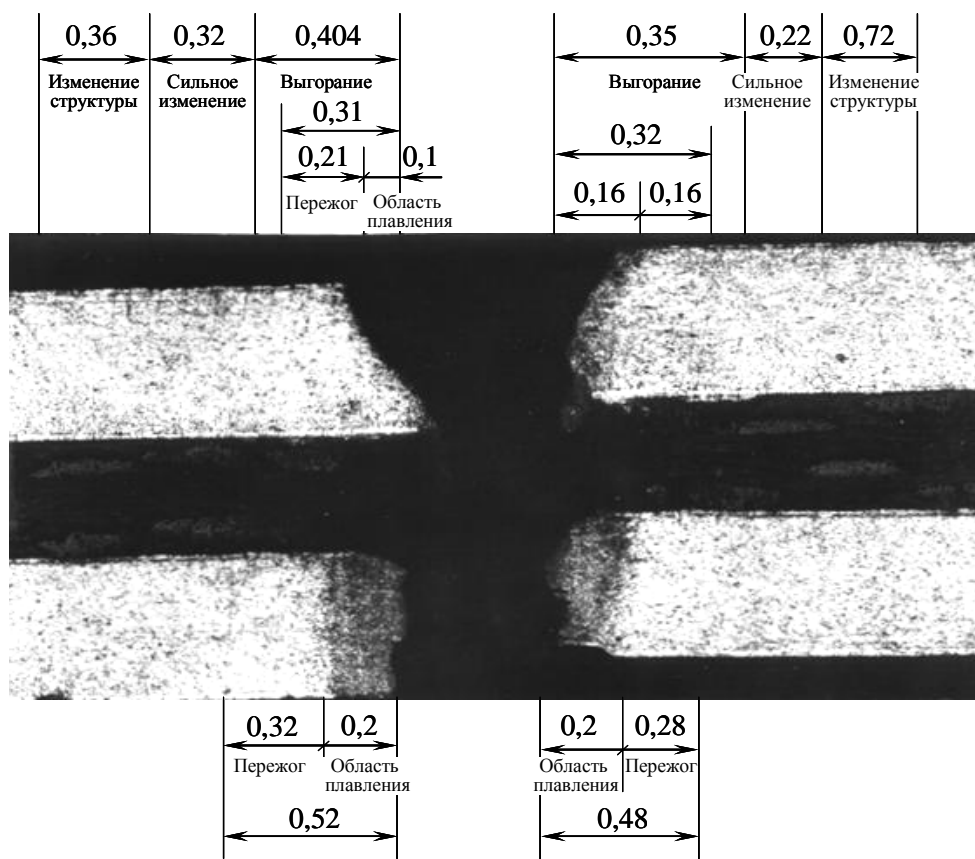


Рис. 6. Микрошлиф поперечного среза образца из трехслойного АЛОР Д16/41

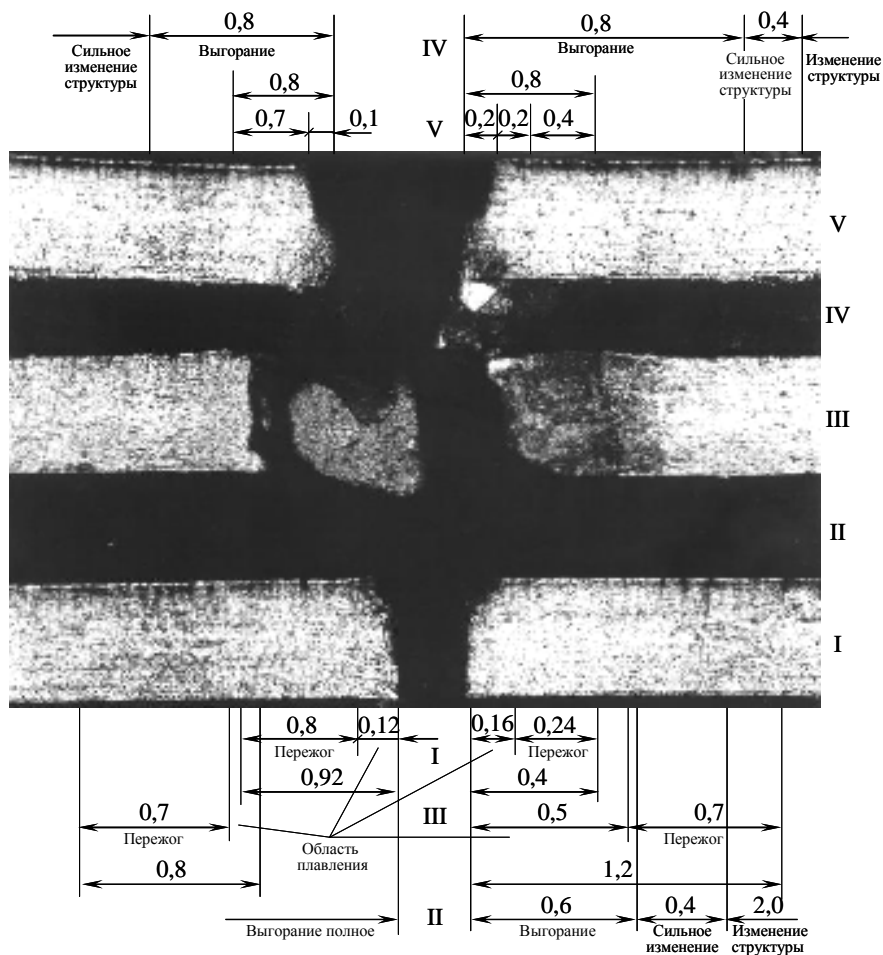


Рис. 7. Микрошлиф поперечного среза образца из пятислойного АЛОР Д16/41

Измерения показывают, что необратимые остаточные явления в слое металла незначительны по размерам (~0,3 мм). Структура зон термического воздействия здесь состоит из области плавления и области пережога металла. Более детальная фотография структуры металла, прилегающего к кромке реза, приведена на рис. 8.

Наибольшие по размерам и глубине необратимые изменения наблюдаются в клеевом слое. Здесь происходит выгорание материала у кромки реза, растрескивание клеевого слоя и его отслаивание от поверхности металла. На рис. 9 приведена фотография клеевого слоя из зоны термического воздействия (ЗТВ), на которой хорошо видны изменения, вызванные действием лазерного излучения.



Рис. 8. Микрошлиф (×200) алюминиевого листа в трехслойном АЛОР Д16/41 в прилегающей к кромке реза зоне



Рис. 9. Микрошлиф (×100) клеевого слоя в трехслойном АЛОР Д16/41 из зоны термического воздействия

Естественно ожидать, что после быстрого локального нагрева до плавления и последующего столь же быстрого охлаждения в материале кромки реза появятся зоны деструкции КМ и остаточных температурных напряжений. Для исследований влияния данных зон на свойства МПКМ были нарезаны лазером и гильотинными ножницами из одного листа трехслойного АЛОР Д16/41 образцы материала в виде пластинок 12×235 мм. По стандартным методикам определялись следующие характеристики материала: предел прочности на растяжение ( $\sigma_B$ ); динамический и статический модуль упругости ( $E_d$ ,  $E$ ); предел прочности при отрыве ( $\sigma_{отр}$ ) и ограниченный предел выносливости ( $\sigma_{-1}$ ) на базе  $N=10^6$  циклов.

Результаты испытаний приведены в таблице.

**Механические свойства материала АЛОР Д16/41 после механической обработки  
различным инструментом**

Вид обработки	Предел прочности $\sigma_B$ , МПа	Модуль упругости, ГПа		Прочность при отрыве $\sigma_{отр}$	Предел выносливости $\sigma_{-1}$
		динамический $E_d$	статический $E$		
Гильотинные ножницы	475	70,39	67,36	34,74	157
Лазерная резка	413	70,49	60,20	9,06	114

Характеристики образцов трехслойного АЛОР Д16/41, вырезанных лазером, ниже свойств образцов, вырезанных гильотинными ножницами, что свидетельствует о наличии больших остаточных напряжений в материале на кромке реза, наличии хрупких межкристаллитных разрушений в слое металла, ослаблении связи металла с полимерной матрицей и ее выгорании, а также о большой шероховатости поверхности реза.

Анализируя полученные данные, можно отметить следующее: МПКМ являются очень сложными для лазерной обработки материалами. Из-за заметного снижения характеристик материала после резки лазером, лазерную резку можно рекомендовать лишь в тех случаях, где невозможна или значительно затруднена обработка материала традиционными механическими методами, причем после резки лазером необходимо с помощью режущего инструмента механически удалять материал по кромке реза на глубину ЗТВ в материале 0,4–1,0 мм. Применение механообработки требует выполнения оптимальных режимов резки для всех операций.

*В.И. Постнов, О.Г. Сенаторова, Г.Ф. Железина,  
И.А. Казаков, П.А. Абрамов, В.А. Герасимов, М.В. Постнова*

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МПКМ АЛОР Д16/41 В НОСОВОЙ ЧАСТИ  
КРЫЛА САМОЛЕТА Ан-124-100**

*В работе выполнено обоснование применения МПКМ для носовой части крыла (НЧК) самолета Ан-124-100 в связи с частыми виброакустическими повреждениями обшивки и каркаса из алюминиевого сплава Д16ч.-АТВ. Изготовлены в серийном производстве 14 натуральных фрагментов трех вариантов носка НЧК и проведены их сравнительные ресурсные испытания в СибНИА. Установлено преимущество конструкции из МПКМ АЛОР: при акустических нагрузках – в 3 раза, при повторно-статическом и акустическом нагружении – в 20–27 раз. Снижение массы: 8,2%. Проверкой в летной эксплуатации с 1994 по 2000 гг. подтверждено повышение наработки панелей НЧК в >11 раз по сравнению с металлической конструкцией.*

**Ключевые слова:** АЛОР.

При интенсивной эксплуатации самолетов Ан-124-100 были выявлены десятки случаев преждевременного разрушения алюминиевых обшивок отсеков крыла, находящихся в зонах с высоким уровнем виброакустических нагрузок (до 156 дБ) и с дина-