

## **Микроструктурный анализ зоны термического влияния после лазерной резки образцов листовых материалов и механические характеристики**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Приведены результаты микроструктурного анализа зоны термического влияния образцов тонколистовых материалов различной толщины из неупрочняемых алюминиевых сплавов АМцМ, АМцН, АМг2М, АМг6М, упрочняемых Д16АМ, 1163АМВ, АК-1чУТ1ВК, АК4-1АТ1, Д16АТ, а также сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т после их раскроя на установке LATINO 2040 производства фирмы PRIMA INDUSTRIA (Италия) с лазером на углекислом газе серии СР 4000 по оптимальным режимам. Исследована микротвердость этих материалов в зоне термического влияния в сравнении с замеренной на образцах, раскrojенных фрезерованием. Выявлены особенности и степень чувствительности различных материалов к нагреву при лазерной резке. Приведены также результаты испытаний образцов из данных листовых материалов, полученных лазерным раскrojом и фрезерованием на прочность при растяжении и дан их анализ.

**Ключевые слова:** алюминиевые сплавы, стали, лазерная резка, микроструктурный анализ, механические характеристики, микротвердость.

Снижение трудоемкости заготовительных работ в серийном самолетостроительном производстве играет важную роль в многогранной проблеме повышения его эффективности, а в конечном счете - и в себестоимости изготавливаемой продукции.

Составляющей заготовительных работ является резка листовых материалов. Объем этих работ по данным [1-3] достигает 12...15 % от их общего объема. Кроме того, от выбора технологии резки листовых материалов существенно зависят ресурсные эксплуатационные характеристики листовой детали, получаемой после резки, которая изменяет его структуру в результате силового (пластического) или термического воздействия, сопровождающего данную технологическую операцию.

В работе [4] показана эффективность лазерной резки листового материала по сравнению с другими видами обработки. Однако внедрение этой технологии в серийное производство требует проведения предварительного комплекса исследований влияния воздействия лазерного луча на физико-механические свойства материала, подвергаемого лазерной резке. На результаты исследований существенное влияние может оказать не только марка раскраиваемого материала, его толщина, но и тип лазера и установки лазерного раскроя, а также реализуемые на ней режимы резки.

В связи с этим все исследования лазерной резки различных листовых заготовок проводились на установке LATINO 2040 производства фирмы PRIMA INDUSTRIA (Италия). Именно такую установку предполагается использовать в серийном производстве для лазерного раскроя после проведения программы исследований эффективности данной технологии.

В табл. 1 приведены технические характеристики лазера на углекислом газе серии СР, используемого на установке LATINO 2040. В табл. 2 представлены технические характеристики коммуникаций для данного лазера.

На первом этапе были проведены исследования влияния лазерной резки на структуру и физико-механические свойства различных листовых материалов.

Для этого были выполнены следующие виды испытаний:

- микроструктурный анализ от начала реза до сердцевины;
- сравнительный анализ механических свойств материала образцов, вырезанных механическим способом и лазером;
- исследование сплава Д16АТ на коррозионную стойкость.

Таблица 1

#### Технические характеристики лазера на углекислом газе серии СР

Длина волны	10,6 микрометра		
Средняя мощность	200 ... 4000 Вт		
Пиковая мощность	до 10 кВт		
Средняя площадь обработки	< 2,5 (в норме от 2,2 до 2,4)		
Расходимость светового луча	1,5 микро радиана на половине величины угла		
Диаметр луча на выходе	14,5 мм, диаметр полного лазерного пучка - 19 мм		
Работа в импульсном режиме	Частота генерируемого излучения	0...2 кГц	
	Длительность импульса	> 250 мкс, разрешение до 70 мкс	
Стабильность лазерного пятна	± 150 микро радиан		
Условия работы	Температура окружающей среды	Максимальная	40° С
		Минимальная	10° С
	Относительная влажность		95 %, без конденсата
Диодный лазер (вспомогательное устройство)	Длина волны	635 нанометров	
	Мощность выходного сигнала	< 1 мВт	

#### Методика проведения испытаний

Исследования проводили на образцах, вырезанных на лазерной установке лазерной резки LATINO 2040 по оптимальным режимам. Исследовали листовые материалы из сплавов Д16АТ л. 1,2; 1,5; 2,0 и 3,0 мм; Д16ЧАТ л. 1,0; 1,2 мм; Д16АМ л. 0,6; 1,5 мм; 1163АМВ л. 1,2 мм; АК4-1АТ1 л. 1,0 мм; АК4-1ЧУТ1ВК л. 1,2 мм; АМг2М л. 1,2; 2,0 мм; АМг6БМ л. 1,5 мм; АМцМ л. 1,0; 2,0 мм; АМцН л. 1,2 мм; стальные листы из 12Х18Н10Т л. 0,8; 2,0 мм и 30ХГСА л. 1,0; 2,0 мм.

Образцы, вырезанные лазерной резкой, осматривали визуально с помощью лупы 7-кратного увеличения и прибором МБС-9 при х16.

Таблица 2

Технические характеристики коммуникаций для лазера  
на углекислом газе серии СР

Электрическая часть	СР4000	400 В ~ - 460 В ~, трехфазная система, 40 кВт		
	СР3500	400 В ~ - 460 В ~, трехфазная система, 36 кВт		
	СР3000	400 В ~ - 460 В ~, трехфазная система, 34 кВт		
Охлаждение	Интенсивность подачи охлаждающей жидкости	133 литра в минуту (35 галлонов в минуту)		
	Перепад (разность) давлений	1,5 бар		
	Температура на входе	от 18 до 20 ° С, ± 1 ° С		
	Максимальное давление на входе	4 бар		
	Номинальное давление на входе	3 бар		
	Требования к рабочим характеристикам фильтра	100 мкм		
	Жидкость	Смесь из дистиллированной воды (65 % от общего объема) и пропиленгликоля марки "Dowfrost HD" (35 % от общего объема)		
	Максимальная тепловая нагрузка	Для модификации СР4000 – 40 кВт	Для модификации СР3500 – 36 кВт	
Газ	Чистое вещество (без примесей)	$N_2$	99,998 %	
		$CO_2$	99,998 %	
		$He$	99,998 %	
	Менее чем 10 промилле (‰) водяного пара, углеводородов и кислорода			
	Смесь газов	$N_2$	28,8 %	
		$CO_2$	4,3 %	
		$He$	66,90 %	
	Потребление	от 20 до 70 литров в час, изменяемый параметр		
		$N_2$	от 5,8 до 20,2 литров в час	
		$CO_2$	от 0,9 до 3,0 литра в час	
$He$		от 13,4 до 46,8 литра в час		

Исследование микроструктуры алюминиевых сплавов выполнено по методике МК 266-31-83 на образцах размером 20×20 мм. Приготовление микрошлифов для предохранения от завалов краев проводили в струбцине с помещением между образцами медных прокладок. Образцы шлифовали механическим путем на шлифовальных станках модели ЗЕ881М на разных номерах бумаги, полировали – на аналогичном станке с помощью водного раствора окиси хрома  $Cr_2O_3$ . Для выявления микроструктуры использовали химическое и электрохимическое травление:

- алюминиевых сплавов – химическое травление в реактиве Келлера:  $HNO_3$  – 2,5 см<sup>3</sup>;  $HCl$  – 1,5 см<sup>3</sup>;  $HF$  – 1,0 см<sup>3</sup>; вода  $H_2O$  – 95 см<sup>3</sup>; – в течение 20...40 с;
- для сталей применяли химическое травление в 4%-м растворе  $HNO_3$  в этиловом спирте  $C_2H_5OH$  – 30 с; для стали 12X18H10T – электролитическое травление в 10%-м водном растворе щавелевой кислоты ( $C_2H_2O_4$ ) – до 1 минуты.

Качество микроструктуры оценивали на микроскопе МИМ-7 с фотокамерой НДСЕ-10А и компьютерной приставкой. Микротвердость в поверхностном слое и сердцевине определяли на приборе ПМТ-3 при нагрузке  $P=200$  Н – для алюминиевых сплавов и  $P=500$  Н – для стальных образцов согласно ГОСТ 9450-76.

Для оценки влияния лазерного раскроя на механические свойства материалов из цветных алюминиевых сплавов и черных конструкционных и нержавеющей сталей был проведен анализ механических свойств образцов, вырезанных механическим путем и лазером. Образцы вырезали из одной заготовки, одной плавки каждого сплава соответственно. На исследования поступали готовые стандартные образцы в виде лопаток, полученные лазерной резкой, и темплет 500×1200 мм, из которого вырезали аналогичные образцы методом фрезерования. Направление волокна проката – поперечное. Размеры образцов выбирали и механические испытания проводили согласно ГОСТ 11701-84 на испытательной машине Р-2. Исследование сплава Д16АТ лист 1,5 и 3,0 мм на коррозионную стойкость проводили по ГОСТ 9.021-74 в растворе №2.

#### Результаты исследований

При визуальном осмотре поверхности на всех исследуемых образцах на одной из кромок реза – (на входе луча лазерной резки), наблюдается грат в виде заусенца и оплавления («бульбочек») высотой:

- на образцах из стали 30ХГСА: л. 1,0...2,0 мм,  $h_{зayc} = 0,1...0,2$  мм;
- на образцах из стали 12X18H10T: л. 0,8...2,0 мм,  $h_{зayc} = 0,1$  мм;
- на образцах из сплава Д16АТ:  $h_{зayc} = 0,05...0,1$  мм на л. 1,2...1,5 мм;  $h_{зayc} = 0,05...0,5$  мм на л. 2,0...3,0 мм; Д16АМ и 1163АМВ  $h_{зayc} = 0,1$  мм;
- на образцах АК4-1ЧУТ1ВК: л. 1,2 мм; АК4-1АТ1 л. 1,0 мм; АМГ2М л. 1,2 мм; АМГ6М л. 1,5 мм; АМцМ2М: л. 1,0 и 2,0 мм; АМцН л. 1,2 мм –  $h_{зayc} = 0,1...0,2$  мм.

На образцах из сталей 30ХГСА, 12X18H10T поверхность металла в зоне лазерной резки имеет цвета побежалости от соломенно-желтого до коричневого, глубиной до 0,5 мм. Трещин и надрывов в исследуемых зонах не обнаружено.

Исследовать методом вихревых токов образцы из алюминиевых сплавов не представляется возможным из-за наличия на листах плакирующего слоя, а магнитным методом для конструкционной стали – из-за малого размера образцов.

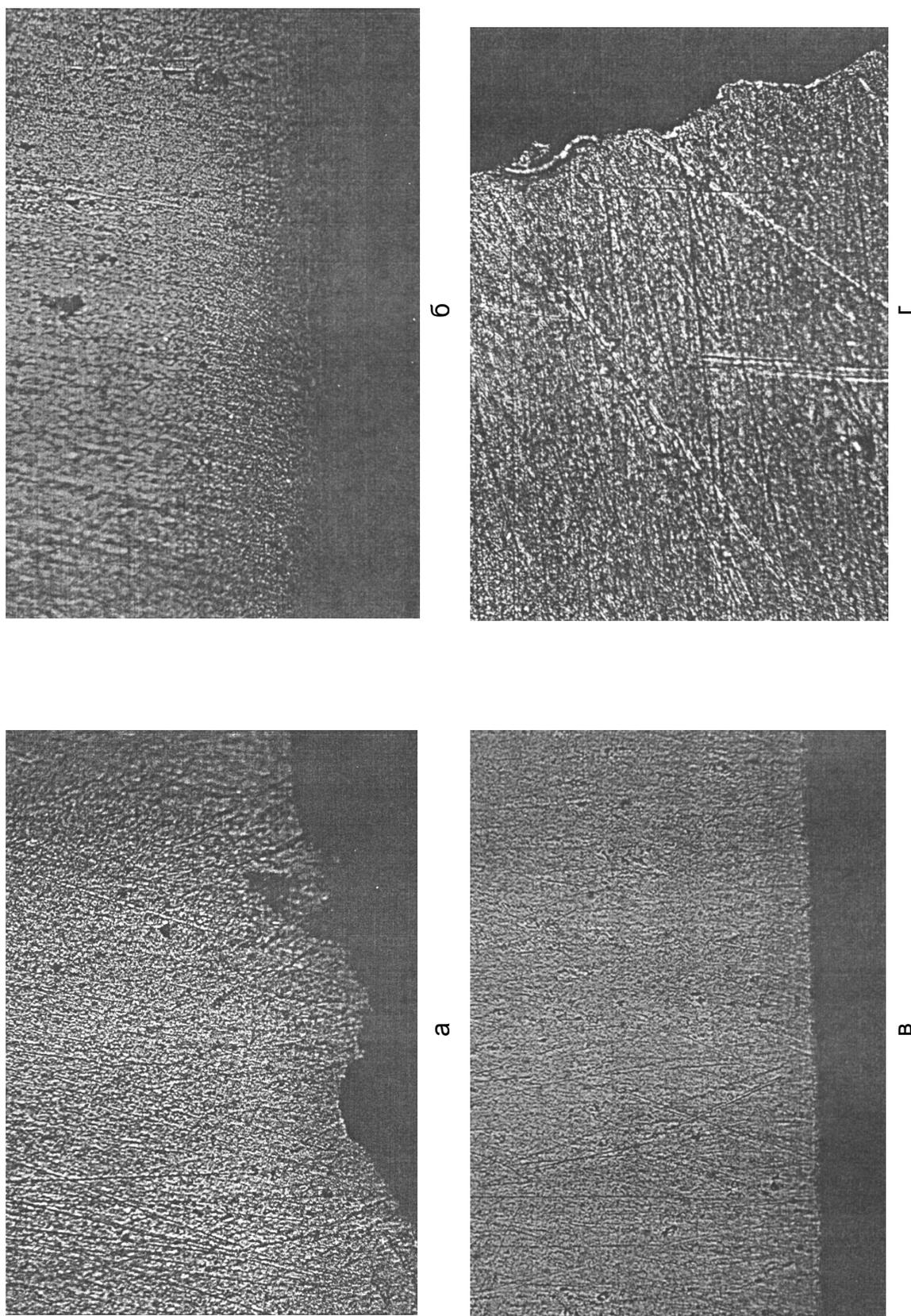


Рис. 1. Микроструктура в зоне лазерной резки образцов из алюминиевых неупрочняемых сплавов ( $\times 170$  раз):  
а - AMcH – край л. 1,0 мм; б - AMg2M л. 2,0 мм; в - AMg6BM – край л. 1,5 мм ; г - AMg6

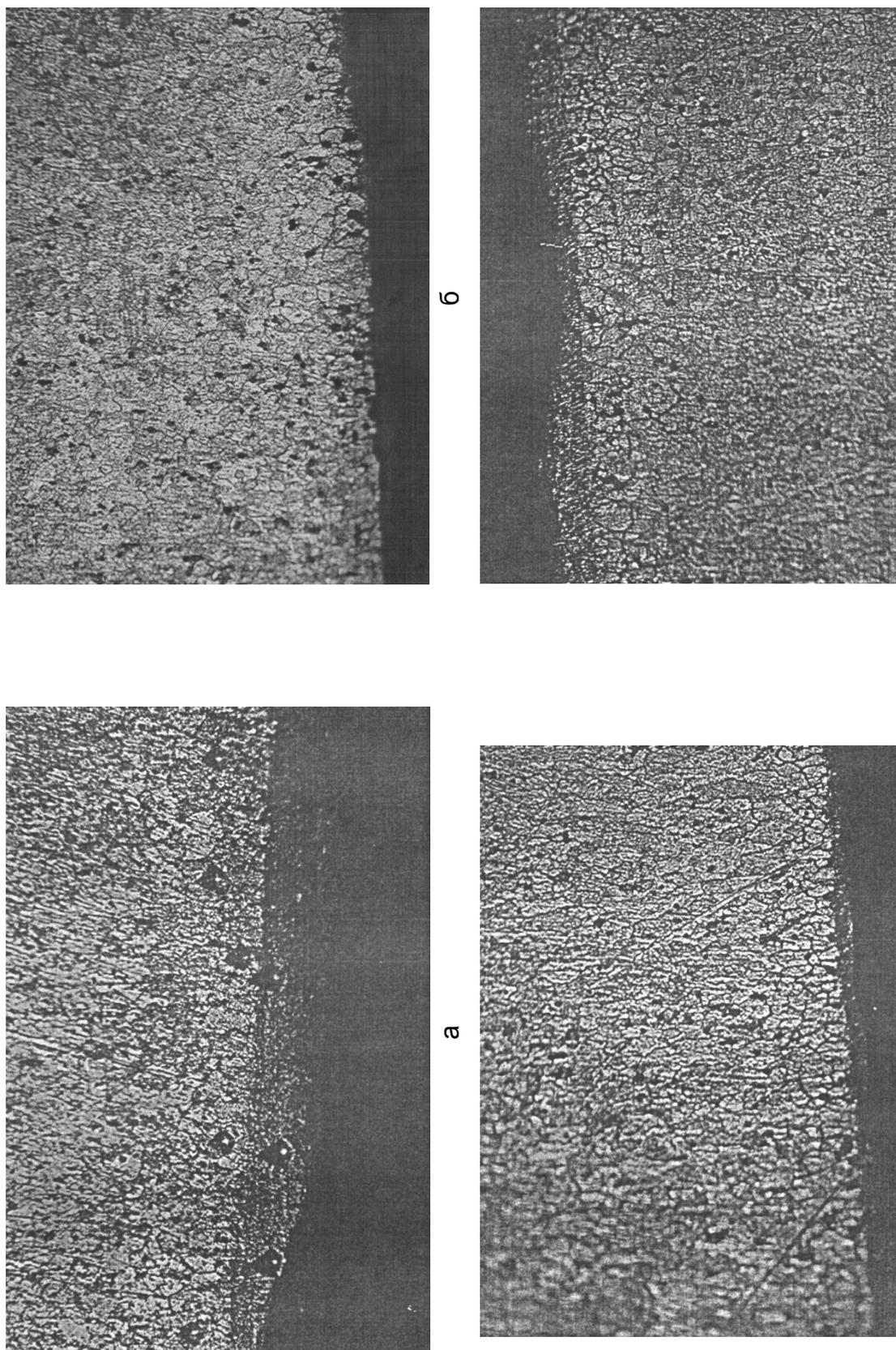


Рис. 2. Микроструктура в зоне лазерной резки образцов из термоупрочняемых алюминиевых сплавов ( $\times 170$  раз):  
а - АК4-1ЧУТ1ВК; б - Д16АТ л. 1,2 мм; в - Д16АТ л. 2,0 мм; г - Д16ЧТ л. 2,0 мм

Таблица 3

Сравнительные механические характеристики образцов листовых материалов из алюминиевых сплавов после лазерной обработки и фрезерования

Марка материала	Толщина листа, мм	Номер образца	Механические свойства					
			Лазерная резка			Фрезерование		
			$\sigma_{вр}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_{вр}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
АМЦМ	1,0	1	123		25,7	136		25,7
		2	123		25,3	136		32,3
		3	123		25,3	144		28,3
		4	123		24,0	145		27,0
		5	123		27,0	145		28,3
		6	123		27,3	145		28,3
	2,0	1	115		35,6	114		39,2
		2	115		31,2	115		39,0
		3	117		33,4	115		31,6
		4	115		30,6	114		37,8
		5	116		33,0	114		33,2
		6	114		33,2	113		32,6
АМг2М	1,2	1	193		21,5	208		27,5
		2	208		22,7	208		28,0
		3	210		21,2	206		22,7
		4	206		21,5	206		24,0
		5	212		24,0	204		23,7
		6	206		25,0	212		23,5
	2,0	1	194		18,2	193		21,6
		2	213		21,0	195		22,0
		3	197		20,4	195		22,6
		4	207		20,6	192		22,4
		5	207		19,6	195		23,6
		6	191		19,4	195		23,6
АМг6М	1,2	1	338	203	22,5	331	197	23,0
		2	338	202	23,3	331	199	25,0
		3	342	205	22,5	331	196	24,3
		4	338	204	22,5	332	199	24,8
		5	331	198	22,5	335	201	25,3
		6	338	204	22,5	338	203	26,5
Д16АТ	1,2	1	418	318	16,5	423	322	19,7
		2	418	317	16,0	415	315	20,5
		3	419	328	16,0	415	310	20,2
		4	418	327	15,2	419	312	19,5
		5	418	316	16,0	423	329	19,7
		6	419	319	16,2	417	314	19,5
	1,5	1	435	323	15,2	439	328	20,2
		2	428	325	18,0	432	325	19,5
		3	428	324	17,7	436	328	18,7
		4	428	323	18,0	439	329	20,2
		5	428	322	18,5	436	327	19,2
		6	432	327	18,2	446	330	19,5

Микроанализом установлено, что микроструктура алюминиевых неупрочняемых сплавов АМцМ, АМцН, АМг2М, АМг6М, упрочняемых Д16АМ, 1163АМВ равномерна, соответствует отожженному состоянию. Изменений в зоне лазерной резки ни по микроструктуре, ни по микротвердости не обнаружено (рис.1, табл. 3), местами в зоне лазерной резки наблюдается более темная полоса глубиной до 0,1 мм. В термоупрочняемых сплавах АК4-1чУТ1ВК, АК4-1АТ1 и Д16АТ микроструктура сердцевинки соответствует закаленному состоянию сплавов и представляет собой  $\alpha$ -твердый раствор с различного рода упрочняющими фазами  $CuAl_2$ ,  $Al_2CuMg$ ,  $Mg_2Si$ . В области лазерной резки наблюдаются две зоны (рис. 2):

- зона с темной полосой;
- зона с измененной структурой.

«Темно-травящаяся полоса» представляет собой локальный темно-травящийся слой глубиной от 14 до 70 мкм. По мере удаления от края лазерной резки в результате меньшего влияния тепла на лист наблюдается зона со сходной с сердцевинкой структурой, но с более крупными зернами и утолщенными границами, ориентированными от края к сердцевине в сторону уменьшения их толщины. Общая глубина измененной зоны – от 35 до 390 мкм (табл. 4).

Характер микроструктуры в зоне лазерной резки стали 30ХГСА свидетельствует о том, что в результате нагрева произошла перекристаллизация исходной структуры в нормализованном состоянии (сердцевина – феррито-перлитная смесь) на однородную сорбитообразную мелкодисперсную структуру мартенсита. Глубина этой зоны – 35...84 мкм. По мере увеличения глубины зоны термического влияния наблюдается неоднородность в структуре: мартенсит + феррито-перлитная смесь, ферритной сетки не обнаружено (рис. 3, а, б).

Изменения микроструктуры стали 30ХГСА хорошо согласуются с изменением микротвердости (табл. 4). Видно, что микротвердость сердцевинки  $H_{\mu(50)} = 2,09...2,43$  ГПа, в зоне темно-травящейся полосы с мартенситной структурой она равна 3,43...4,76 ГПа.

В стали 12Х18Н10Т ни в микроструктуре, ни в микротвердости в зоне лазерной резки существенных изменений не наблюдается. Местами на л. 2,0 мм обнаружена деформация – вытянутость зерна от зоны резки к сердцевине на глубину до 0,24 мм (рис. 3, в, г).

Анализ результатов механических испытаний образцов на растяжение показал (табл. 4), что прочностные характеристики и пластичность алюминиевых сплавов и нержавеющей стали как после механической резки, так и после лазерной резки удовлетворительны и отвечают требованиям нормативной документации (НД) на поставку.

Сравнивая характеристики показателей прочности и пластичности образцов после разных видов резки, следует отметить, что при практически одинаковом значении прочности, значения пластичности при лазерной резке снижаются в среднем на 2...4 % по сравнению с той же характеристикой пластичности после механической резки.

Таблица 4

Ширина зоны с измененной структурой (ЗТВ) и ее микротвердость в образцах из алюминиевых сплавов и стали после лазерной резки

Номер образца	Марка материала	Толщина листа, мм	Ширина зоны с измененной структурой, мм	Микротвердость $H_{\mu(20)}$	
				ЗТВ	Сердцевина
19	Д16АМ	0,6	0,0483	508	508
20			0,1854	508	508
21				548	548
22				548	594
23			0,075	473	508
41	Д16ЧАТВ	1,0	0,0225	928	1028
42			0,042	766	1028
43			0,0132	928	928
44			0,068	841	766
45				928	1028
46			841	928	
31		1,2	0,126	1144	1028
32			0,148	1028	1284
33			0,117	928	1028
34			0,108	1144	1448
35	0,115		1028	1284	
36	0,077		841	1028	
6	Д16АМ	1,5	0,015	473	473
7			0,0528	442	412
8				473	442
9			0,09	548	442
10			0,035	386	386
11			0,105	412	412
12			0,165	362	386
1	Д16АТ	1,5	0,098	1144	1028
2			0,12	1144	1028
3				701	766
4			0,205	1028	1284
5			0,09	644	548
6			0,114	473	473
1		3	0,39	701	701
2			0,27	928	701
3			0,22	701	701
4			0,39	701	766
5			0,24	701	701
6			0,225	701	701

Окончание табл. 4

Номер образца	Марка материала	Толщина листа, мм	Ширина зоны с измененной структурой, мм	Микротвердость $H_{\mu(20)}$		
				ЗТВ	Сердцевина	
1	1163АМВ	1,2		232	256	
2				232	232	
2	Ак4-1УТ1	1,0	0,0925	766	766	
3			0,0775	701	928	
4			0,042	766	1028	
5			0,018	766	928	
25	АМцН	1,2	0,2	386	386	
26				362	386	
27				362	386	
28				320	362	
29				362	362	
30				386	386	
1	АмцМ	2,0		442	362	
2				442	412	
3				442	412	
5				442	320	
1	АМг2М	1,2		442	320	
3				442	320	
4				0,042	286	286
1	АМг6М	1,5		0,014	473	508
3				0,014	473	473
4				0,014	473	594
				Микротвердость $H_{\mu(50)}$		
3	12Х18Н10Т	2,0	0,035	548	701	
4				766	766	
5		0,8	0,028	766	594	
1	30ХГСА	1,0	0,084	2360	4370	
2			0,066	2360	4020	
3			0,077	2090	3860	
4			0,070	2210	4190	
5			0,075	2280	4190	
6			0,077	2210	4020	
7		0,077	2280	4190		
2		2,0	0,035	2220	4190	
3			0,035	2220	4560	
4			0,049	2150	4760	
5			0,084	2150	4760	
6			0,084	2280	4190	
6	0,084		2280	4190		

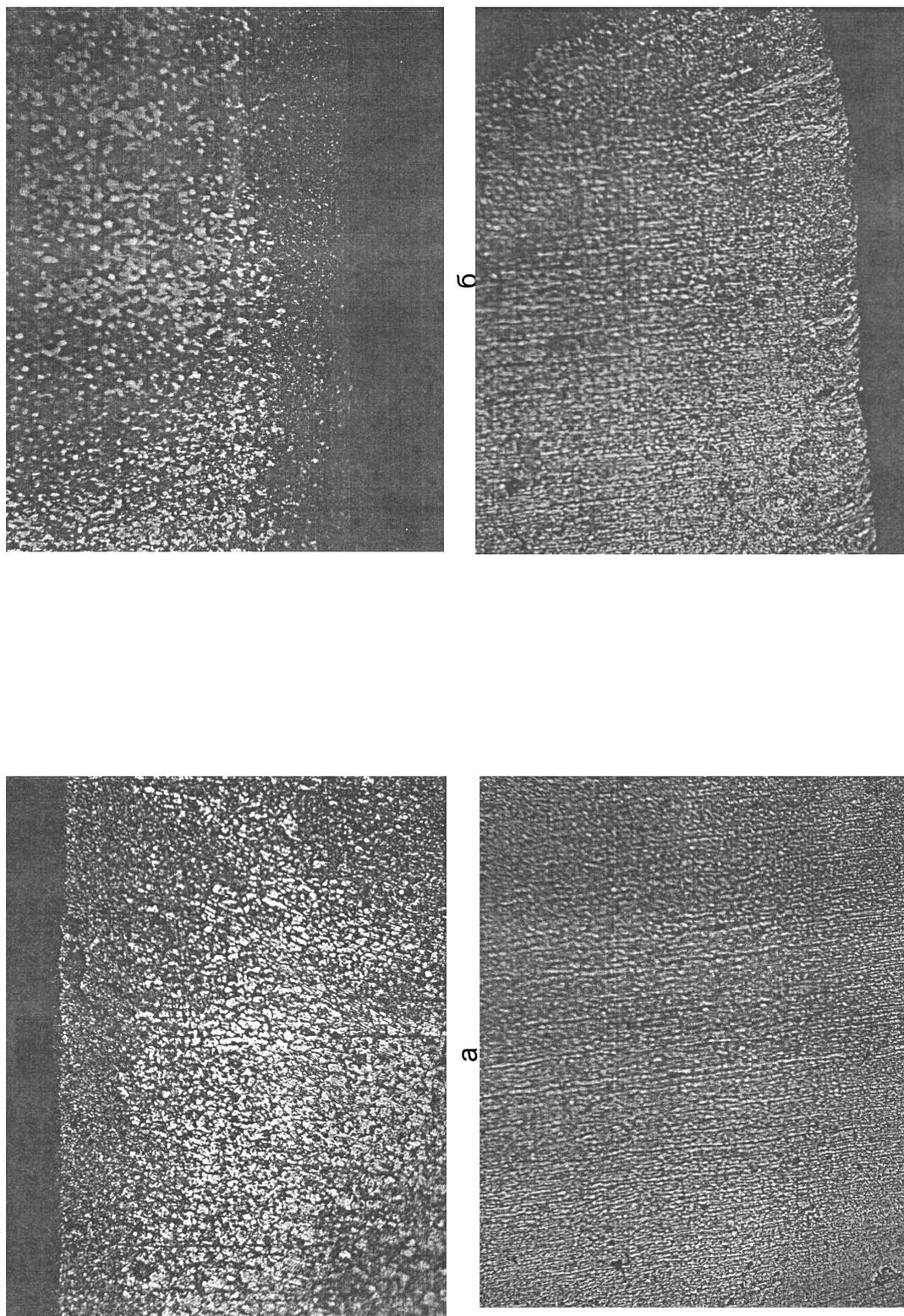


Рис. 3. Микроструктура в зоне лазерной резки образцов из стали 30XГСА (а, б) и 12X18Н10Т (в, г) ( $\times 170$  раз):  
а - 30XГСА л. 1,0 мм; б - 30XГСА; в - 12X18Н10Т, сердцевина; г - 12X18Н10Т

На прочность нормализованной стали 30ХГСА способ подготовки образцов практически не влияет ( $\sigma_{\epsilon} = 580...590$  МПа л. 2,0 мм,  $\sigma_{\epsilon} = 630...660$  МПа л. 1,0 мм), зато изготовление образцов с помощью лазерной резки приводит к значительному снижению (на 8...10%) пластичности по сравнению с механической. Так, относительное удлинение листа толщиной 2,0 мм находится на нижнем пределе ( $\delta = 16,0...16,6$  %), а на листе толщиной 1,0 мм  $\delta = 10...13$  %, что не отвечает требованиям ГОСТ 11268-76 ( $\sigma_{\epsilon} = 500...750$  МПа,  $\delta$  не менее 16,0 %).

При исследовании сплава Д16АТ л. 1,2; 1,5; 2,0; 3,0 мм на коррозионную стойкость установлено, что на листах толщиной 1,2 мм межкристаллитной коррозии (МКК) не обнаружено, на листе 1,5 мм имеется МКК на глубину до 56 мкм; на листе 2,0 – 245 мкм; на листе 3,0 – до 189 мкм (рис. 4).

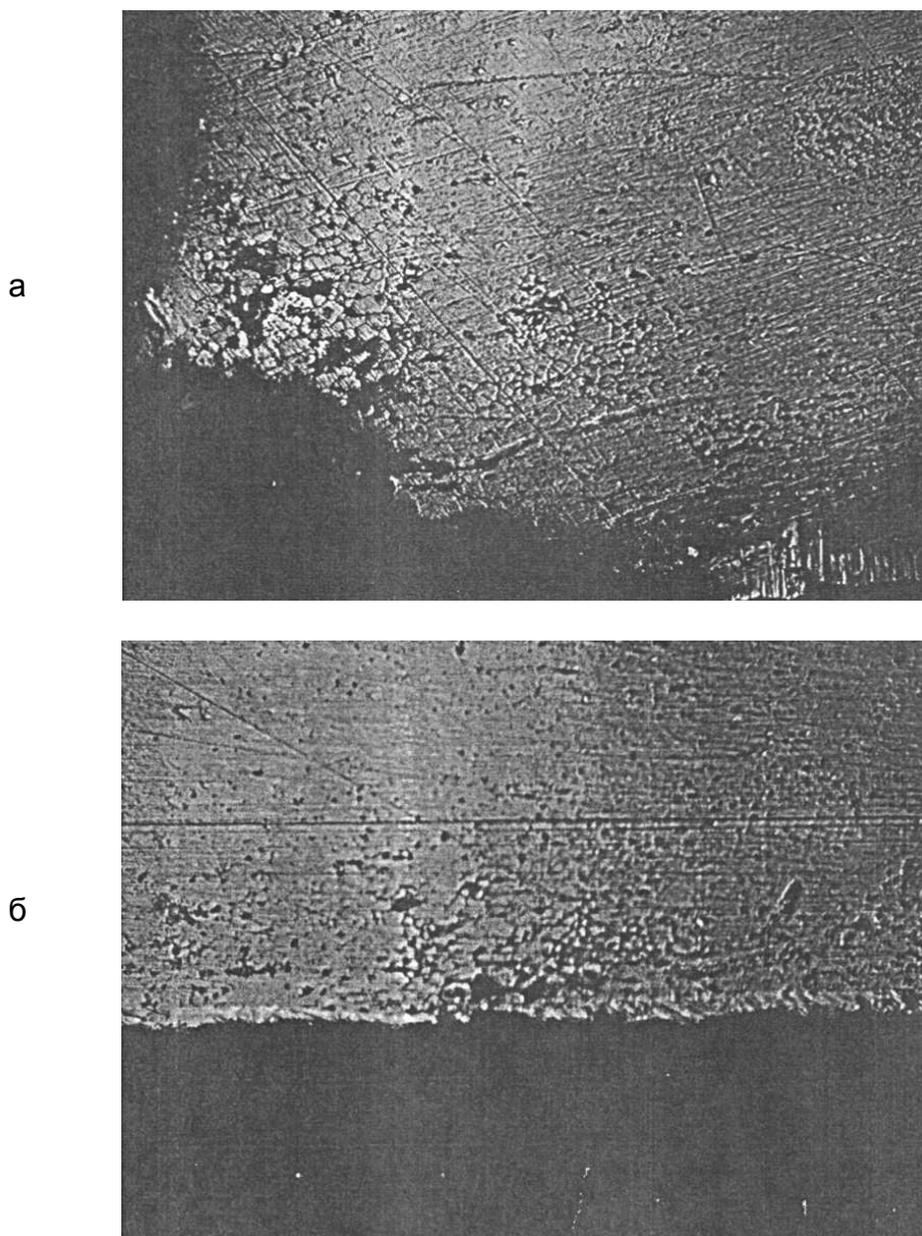


Рис. 4. Область межкристаллитной коррозии на образцах из алюминиевого сплава Д16АТ в зоне лазерной резки на листах толщиной 2 мм (а) и 3 мм (б) ( $\times 170$  раз)

## Выводы

1. При раскрое лазерным лучом всех исследуемых материалов на поверхности, в зоне реза со стороны выхода луча образуются заусенцы высотой до 0,2 м.

2. Микроструктура и микротвердость алюминиевых неупрочняемых сплавов АМг, АМц и упрочняемых Д16АМ, 1163АМВ в отожженном состоянии в поверхностных слоях после лазерной резки изменений не претерпевают.

3. Термоупрочняемые алюминиевые сплавы Д16АТ, Д16ЧАТ, АК4-1ЧУТ1ВК, АК4-1АТ чувствительны к нагреву при лазерной резке по микроструктуре, общая глубина измененной зоны составляет 0,39 мм.

4. В нержавеющей стали 12Х18Н10Т в зоне лазерной резки ни в микроструктуре, ни по микротвердости существенных изменений, видимых в оптическом микроскопе, не наблюдается.

5. Наиболее чувствительна к нагреву поверхностных слоев при лазерной резке как по микроструктуре, так и по микротвердости сталь 30ХГСА из-за превращений из нормализованного в термоупрочненное (закаленное) состояние.

6. Прочность всех испытываемых материалов удовлетворительна и не зависит от способа резки образцов, пластичность всех алюминиевых сплавов и нержавеющей стали после лазерной резки снижается на 2...4 %, что отвечает требованиям нормативной документации на поставку. При лазерной резке стали 30ХГСА происходит значительный (на 8...13 %) спад пластичности, что не соответствует требованиям нормативной документации на поставку ( $\delta \geq 16 \%$ ).

7. При лазерной резке сплава Д16АТ на поверхности листов толщиной 1,5; 2,0; 3,0 мм выявляется межкристаллитная коррозия на глубину до 245 мкм, отсутствующая на листах толщиной 1,2 мм.

## Список литературы

1. Горбунов М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов. / М.Н. Горбунов. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
2. Громова В.Н. Изготовление деталей из листов и профилей при сперийном производстве. / В.Н. Громова, В.И. Завьялова, В.К. Коробов. – М.: Оборонгиз, 1960. – 340 с.
3. Groshikov A.I. Заготовительно-штамповочные работы в самолетостроении. / А.И. Грошиков, В.А. Малофеев. – М.: Машиностроение, 1970. – 440 с.
4. Gaidachuk V.E. Анализ эффективности технологии лазерной обрезки листовых деталей из алюминиевых сплавов в авиационном производстве. / В.Е. Гайдачук, А.И. Костенко // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та. – Вып. 61(3).

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. В.Е. Гайдачук, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 25.05.10.

## **Мікроструктурний аналіз зони термічного впливу після лазерного різання зразків листових матеріалів і механічні характеристики**

Наведено результати мікроструктурного аналізу зони термічного впливу зразків тонколистових матеріалів різної товщини з незміцнюваних алюмінієвих сплавів АМцМ, АМцН, АМг2М, АМг6М, зміцнюваних Д16АМ, 1163АМВ, АК;-1чУТ1ВК, АК4-1АТ1, Д16АТ, а також сталей 30ХГСА і 12Х18Н10Т після їх розкрою на установці LATINO 2040 виробництва фірми PRIMA INDUSTRIA (Італія) з лазером на вуглекислому газі серії СР 4000 по оптимальних режимах.

Досліджено мікротвердість цих матеріалів в зоні термічного впливу порівняно із заміряною на зразках, розкромлених фрезеруванням. Виявлено особливості і ступінь чутливості різних матеріалів до нагріву при лазерному різанні.

Наведено також результати випробувань зразків з даних листових матеріалів, отриманих лазерним розкромом і фрезеруванням на міцність при розтягуванні і дано їх аналіз.

**Ключові слова:** алюмінієві сплави, сталі, лазерне різання, мікроструктурний аналіз, механічні характеристики, мікротвердість.

## **Microstructure analysis of thermal affected zone after sheet material samples laser cutting and mechanical characteristics**

The results of microstructure analysis of thermal affected zone of sheet material samples of different thickness made of unconsolidated aluminum alloys АМцМ, АМцН, АМг2М, АМг6М, consolidated aluminum alloys Д16АМ, 1163АМВ, АК-1чУТ1ВК, АК4-1АТ1, Д16АТ and steels 30ХГСА, 12Х18Н10Т after cutting with carbon dioxide laser on LATINO 2040 cutting machine (made by PRIMA INDUSTRIA, Italy) are given.

The microhardness in the thermal affected zone of this samples is compared with one of mill cut samples. The characters and degree of sensitivity to heat of different materials are obtained.

The results the strength tests of laser and mill cut samples and their analysis are given.

**Keywords:** aluminum alloys, steels, laser cutting, microstructure analysis, mechanical characteristics, microhardness.