

Анализ результатов реализации экспериментально-теоретического метода оптимизации лазерного раскроя панелей самолета из алюминиевых сплавов

*ПО «Харьковское государственное авиационное
производственное предприятие»*

Проанализированы результаты реализации экспериментально-теоретического метода оптимизации лазерного раскроя панелей самолета из алюминиевых сплавов. Обоснована допустимость распространения полученных результатов на весь класс алюминиевых сплавов в целях ориентации лазерного оборудования на начальные стадии его освоения в условиях серийного производства. Предложено использование коэффициента увеличения долговечности, представляющего собой отношение числа циклов до разрушения образца без отверстия-концентратора к этому числу циклов образца с отверстием-концентратором, вместо эффективного коэффициента концентрации напряжений. Теоретически установлены и экспериментально подтверждены соотношения этих коэффициентов с эффективным коэффициентом концентрации напряжений и между их значениями для образцов, полученных лазерной резкой и фрезерованием.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, лазерный раскрой, долговечность, концентрация напряжений.

Как уже отмечалось в работах [1 – 2], в настоящее время практически отсутствуют теоретические и экспериментальные исследования по влиянию параметров лазерного раскроя и их последствия на долговечность панелей из любых конструкционных материалов, в том числе и из алюминиевых сплавов.

Все известные автору работы [3 – 7] и др. посвящены исследованию эффективности лазерной резки по критерию максимальной производительности этого технологического процесса при минимальной его энергоемкости:

$$\begin{aligned} V &\rightarrow V_{max} \\ p &\rightarrow p_{min} \\ W &\rightarrow W_{min} \end{aligned} \quad \text{или} \quad K_{эф} = \frac{V}{pW} \rightarrow max. \quad (1)$$

При этом качество лазерной резки не носит строгой количественной оценки.

Тщательный анализ результатов экспериментальных исследований других авторов, полученных по упрощенному критерию максимальной производительности (не учитывающему строго энергоемкость процесса), позволил получить сводку зависимостей скорости лазерного раскроя от толщины разрезаемого листа алюминиевых сплавов (рис. 1) при весьма неполной информации о конкретных сплавах, мощности лазерного излучения W и давлении вспомогательного газа p .

Этот сводный график $V = f(\delta)$ следует квалифицировать как установленную область взаимозависимости параметров V и δ для всего класса алюминиевых сплавов при лазерном раскрое, в которой качество реза удовлетворяет потребителя без наложения на него специальных требований типа долговечности раскраиваемых панелей в конкретных условиях их эксплуатации.

На этот сводный график нанесена заштрихованная зона, охватывающая в сечениях $\delta = 1$ мм и $\delta = 3$ мм значения скоростей лазерного раскроя, соответ-

вующая оптимальным параметрам режимов, определенных по критерию максимальной долговечности, приведенных в нашей работе [9] (табл. 1).

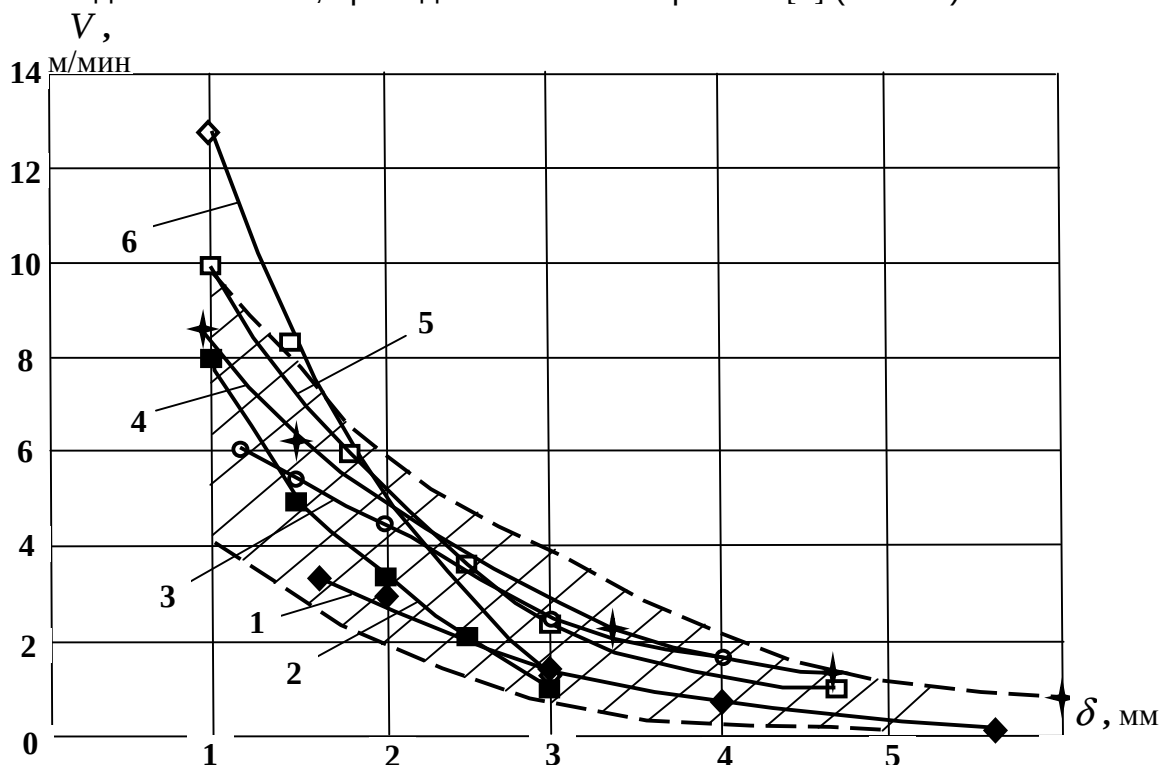


Рис. 1. Зависимость скорости лазерного раскроя от толщины разрезаемого листа из алюминиевого сплава и диапазон скоростей, обеспечивающих их максимальную относительную долговечность при малоцикловой усталости:

- ◆—◆— -1 – АМг-6 ($1,6 \leq \delta \leq 6$ мм; $1,2 \leq W \leq 1,5$ кВт; $0,5 \leq P \leq 0,8$ МПа) [6];
- -2 – АМг (CO_2 , N_2 ; $0,8 \leq P \leq 1,2$ МПа $W = 1,6$ кВт) [6];
- -3 – цветные металлы (N_2) [10];
- ★—★— -4 – алюминий [7];
- -5 – АМг (CO_2 , N_2 ; $0,8 \leq P \leq 1,2$ МПа $W = 2,75$ кВт) [6];
- ◇—◇— -6 – Д16 ($0,5 \leq W \leq 1,5$ кВт) [9]

Как видно из рис. 1, эта зона оптимальных параметров удовлетворительно вписывается в область реализованных рядом авторов взаимозависимостей параметров V и δ для всего класса алюминиевых сплавов. Это качественно свидетельствует о приемлемости в первом приближении полученных нами выше результатов для ориентации лазерного оборудования на оптимальные режимы в условиях серийного авиационного предприятия для раскроя высоконагруженных панелей крыла и фюзеляжа с последующей их корректировкой в процессе накопленного опыта для того или иного алюминиевого сплава из рассматриваемого класса. Еще меньше информации имеется по взаимозависимости мощности лазерного излучения W и толщины раскраиваемого листа из алюминиевого сплава при реализации лазерной технологии.

На рис. 2 приведены установленные нами интервалы зависимости $W = f(\delta)$, при которых реализуется лазерный раскрой. На рисунке нанесены значения мощности лазерного луча, обеспечивающей оптимальные параметры про-

цесса при критерии максимальной выносливости (табл. 1), а на рис. 3 – экспериментальные точки микронеровностей в зависимости от толщины листа алюминиевого сплава при критерии максимальной производительности и соответствующие табл. 1.

Таблица 1

Рациональные режимы лазерного излучения,
соответствующие оптимальным параметрам последствия лазерного раскроя
при максимальном уровне относительной малоцикловой усталости
для партий алюминиевых образцов

Параметры последствия лазерного раскроя	Оптимальные параметры режима лазерной резки		
	Относительная скорость лазерной резки $\bar{V}_{opt}$	Относительное давление вспомогательного газа $\bar{P}_{opt}$	Относительная (сред- няя) мощность лазер- ного излучения $\bar{W}_{opt}$
толщина образцов $\delta = 3\text{мм}$			
$\bar{N}_{u\max} = 0,798$ $\bar{H}_{M(20)3TB\ opt} = 2$ $\bar{t}_{3TB\ opt} = 0,133$ $\bar{Rz}_{opt} = 3,667 \cdot 10^{-3}$	1	0,45	0,64
толщина образцов $\delta = 1\text{мм}$			
$\bar{N}_{u\max} = 0,862$ $\bar{H}_{M(20)3TB\ opt} = 0,9$ $\bar{t}_{3TB\ opt} = 0,155$ $\bar{Rz}_{opt} = 0,015$	1	1	0,3

Как видно, необходимые значения давления вспомогательного газа при выполнении критерия максимальной долговечности обеспечивают в совокупности с другими параметрами последствия значительно более низкие уровни микронеровностей зоны реза, чем имеющие место при выполнении критерия максимальной производительности процесса.

На рис. 4 представлены статистические значения микротвердости в зоне термического влияния при лазерном раскрое алюминиевых сплавов при различных толщинах листа в случае критерия максимальной производительности процесса и точки, соответствующие оптимальным режимам по критерию максимальной долговечности (табл. 1). Как видно, точки хорошо коррелируют со среднестатистической прямой обработки экспериментальных данных

$$H_{\mu(20)3TB} = 500(0,333\delta + 1). \quad (2)$$

На рис. 5 представлены экспериментальные значения ширины зоны термического влияния при лазерном раскрое листов из алюминиевых сплавов различной толщины и их среднестатистическая обработка при критерии максимальной производительности процесса:

$$t_{3TB} = 0,038(2,74\delta + 1). \quad (3)$$

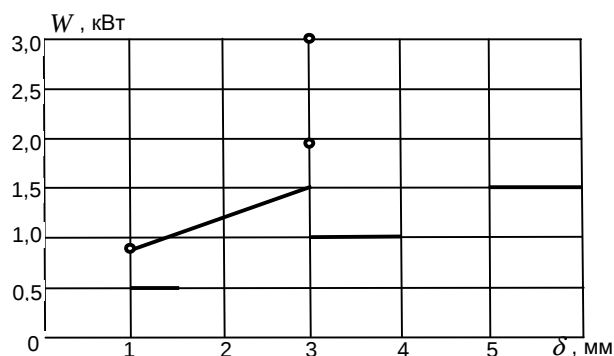


Рис. 2. Зависимость мощности лазерного луча, обеспечивающей раскрой алюминиевых сплавов толщиной δ :
 – экспериментально апробированные диапазоны $W = f(\delta)$;
 ○ – оптимальные значения W по режимам (табл. 1)

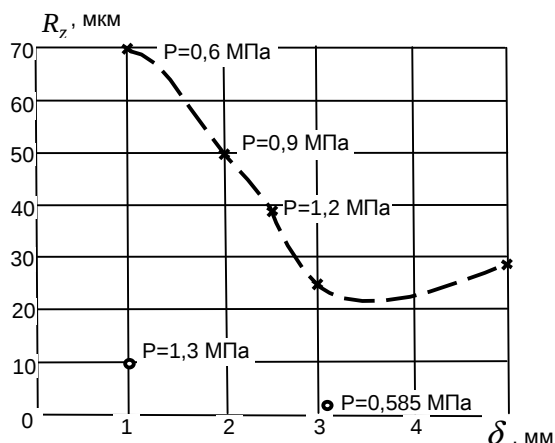


Рис. 3. Зависимость уровня микронеровностей при лазерном раскрое листовых алюминиевых сплавов от толщины листа:
 ○ – точки, соответствующие оптимальным режимам по критерию максимальной долговечности;
 × – экспериментальные точки по критерию максимальной производительности

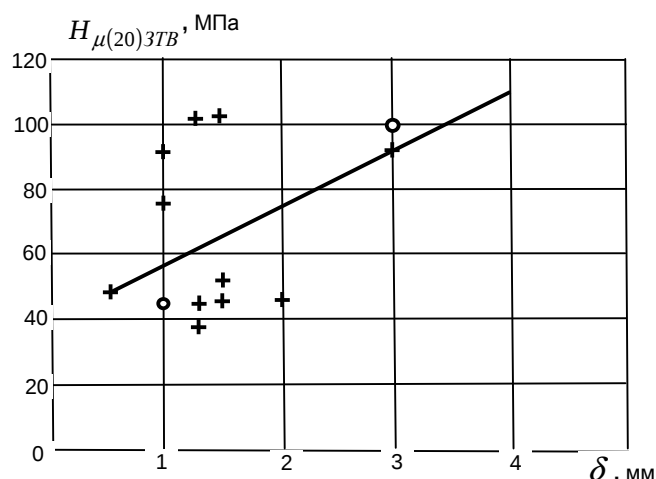


Рис. 4. Зависимость микротвердости в зоне термического влияния при оптимальном лазерном раскрое алюминиевых сплавов от толщины листа:
 + – экспериментальные точки, соответствующие критерию максимальной производительности лазерной резки;
 – среднестатистическая прямая $H_{\mu(20)3TB} = 500(0,333\delta + 1)$;
 ○ – точки, соответствующие оптимальным режимам по критерию максимальной долговечности (табл. 1)

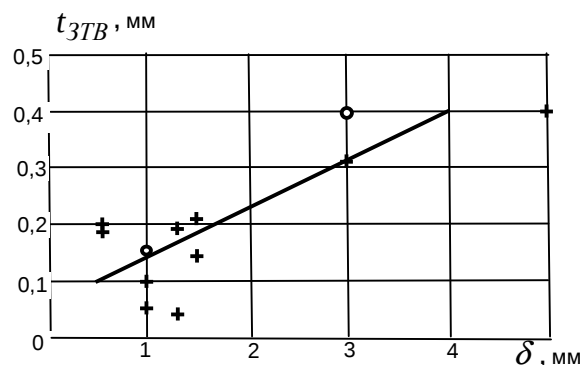


Рис. 5. Зависимость ширины зоны термического влияния при лазерном раскрое алюминиевых сплавов от толщины листа:
 – среднестатистическая прямая $t_{3TB} = 0,038(2,74\delta + 1)$;
 + – экспериментальные точки, соответствующие критерию максимальной производительности процесса;
 ○ – точки, соответствующие оптимальным режимам по критерию максимальной долговечности (табл.1)

Здесь же нанесены точки, соответствующие оптимальным режимам лазерного раскроя по критерию максимальной долговечности. Из рис. 5 следует удовлетворительная корреляция этих точек прямой (3).

Представляется необходимым подробнее остановиться на влиянии отверстия в центре всех испытанных партий образцов, являющегося концентратором напряжений. В теории усталости обоснованно принято использовать термин эффективный коэффициент концентрации напряжений $K_{эфф}$. Однако использование $K_{эфф}$ для анализа сравнительной долговечности алюминиевых сплавов носило бы несколько специфический в смысле неопределенности характер. Известно [11], что между пределом усталости алюминиевых сплавов и пределом статической прочности существует вполне определенная корреляция.

На рис. 6 показана зависимость сопротивления усталости гладких лабораторных образцов диаметром 8 – 12 мм при изгибе от предела прочности сплава. Эта зависимость построена на основании результатов исследований, проведенных авторами [11], и заимствованных ими из других литературных источников. Все испытания, результаты которых использованы для построения кривой, проводились на базе 10^7 циклов при частоте 2200 – 6000 циклов в минуту.

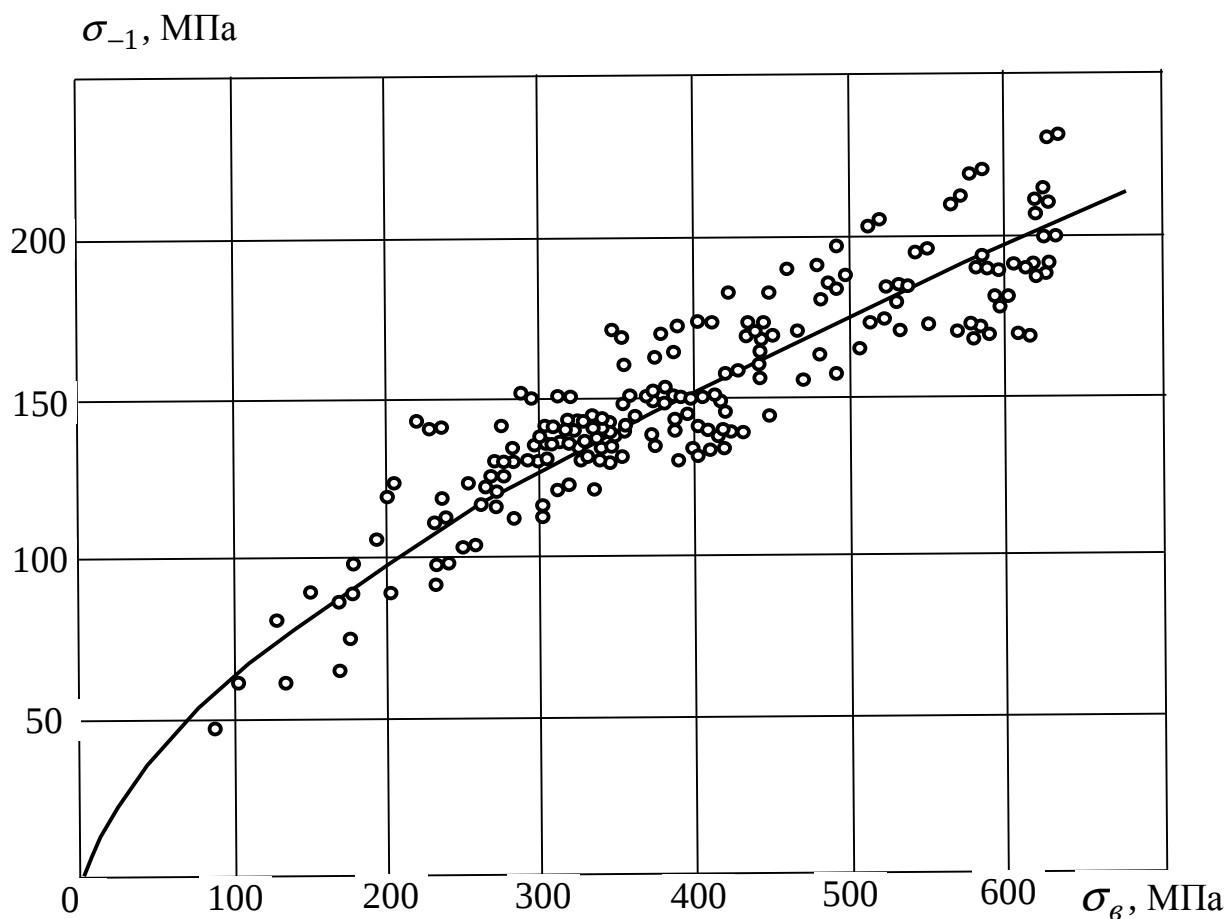


Рис. 6. Зависимость предела выносливости для базы 10^7 циклов от предела прочности алюминиевых сплавов

Как видно из рис. 6, предел выносливости образцов монотонно растет с увеличением статической прочности алюминиевых сплавов, достигая 200 МПа для сплавов с $\sigma_s = 580 \dots 620$ МПа.

В то же время при испытании образцов из различных алюминиевых сплавов, вырезанных лазерным лучом, изменения пределов статической прочности не выявлено [12]. Это связано, по-видимому, с тем, что влияние узкой зоны термического воздействия лазерного луча на статическую прочность не отражается, а проявляется только в процессе сопротивления усталости.

Поэтому концентрация напряжений на границе лазерного реза и отверстия в образце, выполненного в целях сокращения длительности испытаний (см. выше), происходит в некотором интегральном (скрытом) виде на уровне начальных этапов механизма усталостного разрушения [13].

В связи с этим для исследования влияния лазерной резки на выносливость панельных конструкций крыла и фюзеляжа представляется целесообразным использовать вместо $K_{эфф}$ другой коэффициент, у которого как будет показано ниже, существует корреляционная связь с эффективным коэффициентом концентрации напряжений.

Число циклов до разрушения образцов при лазерной резке с отверстием, вырезанных лазерным лучом, отнесенное к числу циклов до разрушения таких

образцов, полученных фрезерованием со сверленным отверстием $\bar{N}_u^0 = \frac{N_l^0}{N_\phi^0}$,

представляет собой их относительную долговечность.

Аналогично число циклов до разрушения образцов без отверстия при лазерной резке, отнесенное к числу циклов до разрушения образцов без отверстия, полученных фрезерованием, представляет собой относительную долговечность

этих образцов без отверстий $\bar{N}_u^\otimes = \frac{N_l^\otimes}{N_\phi^\otimes}$.

Отношение параметров

$$\frac{\bar{N}_u^0}{\bar{N}_u^\otimes} = \frac{N_l^0}{N_\phi^0} \frac{N_\phi^\otimes}{N_l^\otimes} = \frac{K_\phi^0}{K_l^0}, \quad (4)$$

где $K_\phi^0 = \frac{N_\phi^\otimes}{N_\phi^0}$, $K_l^0 = \frac{N_l^\otimes}{N_l^0}$ – коэффициенты увеличения долговечности соответ-

ственно фрезерованных образцов и их аналогов, полученных лазерным лучом, при числе циклов до разрушения, отнесенном к числу циклов до разрушения этих же образцов с отверстиями.

Из формулы (4) следует, что

$$\bar{N}_u^\otimes = \bar{N}_u^0 \frac{K_l^0}{K_\phi^0}. \quad (5)$$

Как показывают эксперименты, $K_{\text{л}}^0 > K_{\text{ф}}^0$ (см. ниже). Таким образом, относительная долговечность $\bar{N}_{\text{л}}^{\otimes}$ может достигать и даже превосходить величину $\bar{N}_{\text{л}}^0$, что свидетельствует о возможной в данных случаях более высокой эффективности лазерной резки алюминиевых панелей в сравнении с фрезерованием по критерию максимальной долговечности.

Покажем корреляционную связь между $K_{\text{эфф}}$ и коэффициентами увеличения долговечности $K_{\text{ф}}^0$ и $K_{\text{л}}^0$. Диаграммы Велера для фрезерованных и вырезанных лазерным лучом образцов с отверстиями и без отверстий имеют вид, показанный на рис. 7.

Для некоторого фиксированного уровня напряжений в образцах

$$K_{\text{эфф}}^{\text{ф}} = \frac{\sigma^{\otimes}}{\sigma^0} \text{ при } N_{\text{ф}}^{\otimes},$$

$$K_{\text{эфф}}^{\text{л}} = \frac{\sigma^{\otimes}}{\sigma^0} \text{ при } N_{\text{л}}^{\otimes}. \quad (6)$$

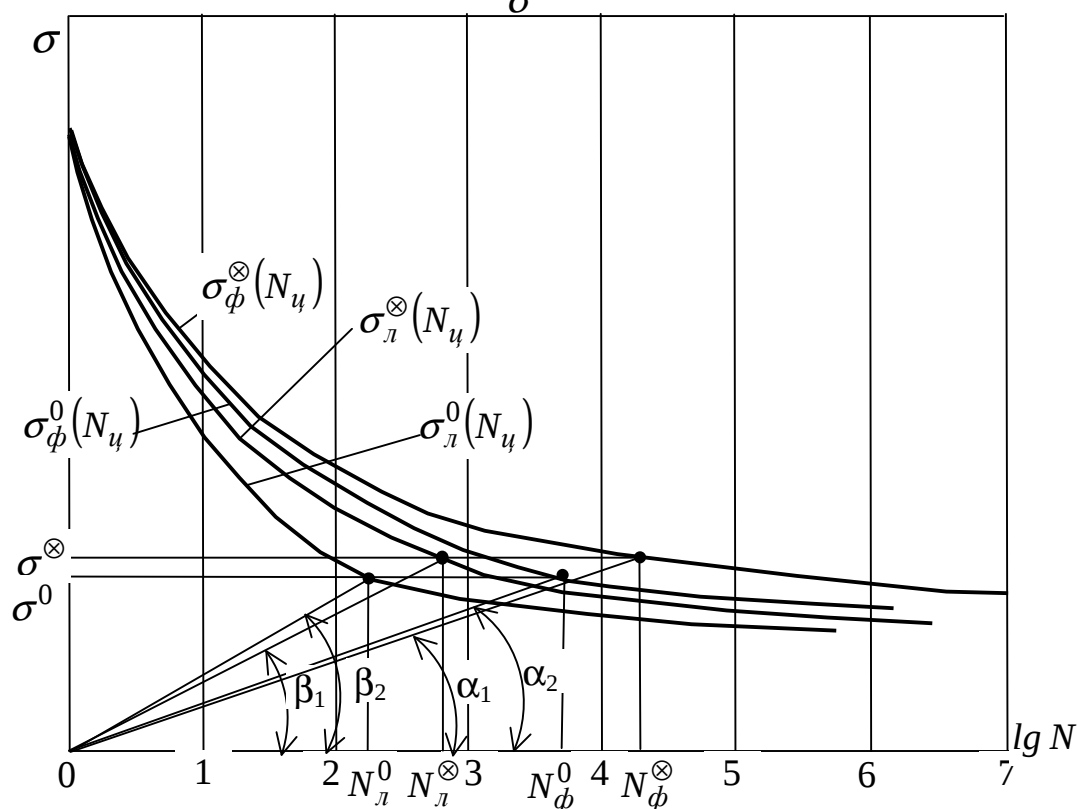


Рис. 7. Диаграммы Велера для фрезерованных и вырезанных лазерным лучом образцов с отверстиями (0) и без отверстий (⊗) :

$\sigma^0, \sigma^{\otimes}$ – фиксированный уровень напряжений в образцах с отверстием

и без отверстия соответственно; $N_{\text{ф}}^0, N_{\text{ф}}^{\otimes}, N_{\text{л}}^0, N_{\text{л}}^{\otimes}$ – число циклов

до разрушения при уровнях напряжения σ^0 и $\sigma^{\otimes}$ для фрезерованных и вырезанных лазерным лучом образцов с отверстием и без отверстия

Однако, как следует из работы [13] и соответственно рис. 7 $K_{\varepsilon\phi\phi}^{\phi} = K_{\varepsilon\phi\phi}^{\lambda} = K_{\varepsilon\phi\phi} = \text{const}$.

Числа циклов до разрушения $N_{\phi}^{\otimes}$ и N_{ϕ}^0 соответственно равны:

$$\begin{aligned} N_{\phi}^{\otimes} &= \sigma^{\otimes} \operatorname{tg} \alpha_1; \\ N_{\phi}^0 &= \sigma^0 \operatorname{tg} \alpha_2, \end{aligned} \quad (7)$$

откуда коэффициент долговечности

$$K_{\phi}^0 = \frac{N_{\phi}^{\otimes}}{N_{\phi}^0} = \frac{\sigma^{\otimes} \operatorname{tg} \alpha_1}{\sigma^0 \operatorname{tg} \alpha_2} = K_{\varepsilon\phi\phi} \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2}. \quad (8)$$

Из рис. 7 видно, что $\alpha_2 > \alpha_1$ и $\operatorname{tg} \alpha_2 > \operatorname{tg} \alpha_1$, следовательно, $K_{\phi}^0 < K_{\varepsilon\phi\phi}$.

Аналогично

$$K_{\lambda}^0 = \frac{N_{\lambda}^{\otimes}}{N_{\lambda}^0} = \frac{\sigma^{\otimes} \operatorname{tg} \beta_1}{\sigma^0 \operatorname{tg} \beta_2} = K_{\varepsilon\phi\phi} \frac{\operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \beta_2}. \quad (9)$$

При этом $\beta_2 > \beta_1$ и $\operatorname{tg} \beta_2 > \operatorname{tg} \beta_1$, следовательно $K_{\lambda}^0 < K_{\varepsilon\phi\phi}$.

Согласно физике процесса и из рис. 7 следует, что $\beta_2 > \alpha_2$, $\beta_1 > \alpha_1$, таким образом $\operatorname{tg} \beta_2 > \operatorname{tg} \alpha_2$ и $\operatorname{tg} \beta_1 > \operatorname{tg} \alpha_1$.

Тогда $\frac{\operatorname{tg} \beta_1}{\operatorname{tg} \beta_2} > \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2}$, следовательно $K_{\lambda}^0 > K_{\phi}^0$.

Для экспериментального подтверждения этого теоретически установленного факта, а также выявления количественного различия коэффициентов увеличения долговечности K_{λ}^0 и K_{ϕ}^0 , были изготовлены пять серий по пять образцов из алюминиевого сплава Д16АТ на оптимальных режимах фрезерования и установленных выше режимах лазерной резки ($V_{\text{opt}} = 3,5$ м/мин; $p_{\text{изб}} = 0,8$ МПа и $W_{\lambda} = 2,8$ кВт), и проведены их испытания на малоцикловую усталость. Как и основная серия образцов, описанных в работе [8], эти серии имеют размеры и конфигурацию, соответствующие ГОСТ 25.502-79 [14] и толщину $\delta = 3$ мм.

Серии образцов имели следующие особенности:

I серия – лазерная резка по контуру с отверстием, выполненным лазерным лучом;

II серия – лазерная резка по контуру без отверстия;

III серия – фрезерование по контуру с отверстием, выполненным лазерным лучом;

IV серия – фрезерование по контуру без отверстия;

V серия – фрезерование по контуру с отверстием, выполненным сверлением с разверткой.

Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Число циклов до разрушения серий образцов

Номер серии Номер образца	I	II	III	IV	V
1	25100	36700	20200	114800	228700
2	22500	41900	16400	264000	194100
3	23800	55200	24000	360000	230400
4	30100	79800	23100	375000	176200
5	32700	94900	14800	223000	332700
$N_{ц\text{ средн}}$	26800	55100	19400	268500	232240

Анализируя результаты испытаний первой и второй серий, определяем средний коэффициент увеличения долговечности образцов при лазерной обрезке

относительно этих образцов с отверстием $K_{л\text{ ср}}^0 = \frac{N_{л}^{\otimes}}{N_{л}^0} = \frac{55100}{26800} = 2,05$.

В силу большого разброса числа циклов до разрушения представляют интерес минимально возможное $K_{л\text{ min}}^0$ и максимально возможное $K_{л\text{ max}}^0$ значения этих коэффициентов:

$$K_{л\text{ min}}^0 = \frac{36700}{32700} = 1,12;$$

$$K_{л\text{ max}}^0 = \frac{91900}{22500} = 4,22.$$

Таким образом, интервал значений $K_{л}^0$ находится в пределах $1,12 \leq K_{л}^0 \leq 4,22$. Как видно, весь интервал лежит выше значения единицы.

Аналогично по результатам испытаний четвертой и пятой серий образцов находим среднее значение коэффициента увеличения долговечности образцов при фрезерной резке и сверлении отверстия:

$$K_{ф\text{ ср}}^0 = \frac{N_{ф}^{\otimes}}{N_{ф}^0} = \frac{268500}{232400} = 1,16;$$

$$K_{ф\text{ min}}^0 = \frac{114800}{332700} = 0,35;$$

$$K_{\phi_{max}}^0 = \frac{360000}{176200} = 2,04; 0,35 \leq K_{\phi}^0 \leq 2,04.$$

Из приведенного анализа следует, что и средний коэффициент увеличения долговечности при лазерной резке и его значения в случае фрезерования превосходят единицу, свидетельствуя о влиянии концентрации напряжений на малоцикловую усталость, причем это влияние в случае лазерной резки существенно сильнее (практически вдвое).

Это соотношение сохраняется и для всего диапазона возможного изменения в пределах проведенного эксперимента для образцов при лазерной резке, нарушаясь только для некоторых значений диапазона фрезерованных образцов.

Экспериментально подтвержден и факт большего значения коэффициента увеличения долговечности образцов при лазерной резке относительно фрезеро-

$$\text{ванных, действительно } \frac{K_{л\text{ ср}}^0}{K_{\phi\text{рез}}^0} = \frac{2,05}{1,16} = 1,77; \frac{K_{л\text{ min}}^0}{K_{\phi\text{ min}}^0} = 3,2; \frac{K_{л\text{ max}}^0}{K_{\phi\text{ max}}^0} = 2,07.$$

Выводы

1. Анализ результатов экспериментальных исследований других авторов, полученных по критерию максимальной производительности процесса, позволил установить область взаимозависимости скорости лазерного резания и толщины листа для всего класса алюминиевых сплавов, удовлетворительно согласующуюся с установленной нами областью оптимальных параметров по критерию максимальной долговечности раскраиваемых материалов.

Тем самым обоснована допустимость в первом приближении распространить полученные результаты на весь класс алюминиевых сплавов для ориентации лазерного оборудования в условиях начальных стадий освоения лазерной резки на серийном авиационном предприятии с последующей их корректировкой в процессе накопления опыта.

2. Для анализа влияния на относительную долговечность панелей из алюминиевых сплавов, вырезанных лазерным лучом, при котором отсутствует корреляция между пределом малоциклового усталости и статическим пределом их прочности, впервые предложено использовать вместо эффективного коэффициента концентрации напряжений коэффициент увеличения долговечности, устанавливающий отношение числа циклов до разрушения образца без отверстия-концентратора к этому числу циклов образца с отверстием-концентратором.

3. Теоретически установлены и экспериментально подтверждены соотношения этих коэффициентов с эффективными коэффициентами концентрации напряжений и между их значениями для образцов, полученных лазерным лучом и фрезерованием.

Список литературы

1. Гайдачук В.Е. 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 им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2(62). – Х., 2010. – С. 85 – 97.

2. Гайдачук В.Е. Экспериментально-теоретический метод оптимизации параметров процесса лазерной резки образцов материалов из алюминиевых сплавов по критерию максимальной долговечности / В.Е. Гайдачук, А.И. Костенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 48. – Х., 2010. – С. 53 – 61.

3. Григорьянц А.Г. Лазерная техника и технология / А.Г. Григорьянц, А.А. Соколов. – М.: Машиностроение, 1988. – 191 с.

4. Блинков В.В. Анализ моделей лазерной резки металлов в среде неактивного газа / В.В. Блинков // Тр. ин-та теор. Физики и прикладной механики СО РАН. – 1999. – Т. 7(24). – №2. – С. 133 – 150.

5. Powell J. CO₂-Laser cutting / J. Powell. – L.: Springer. London Ltd, 1998. – 248 p.

6. Панченко В.Я. Лазерные технологии обработки материалов, создаваемые в ИПЛИТ РАН / В.Я. Панченко, В.В. Васильцов, В. С. Голубев // Физика и технология лазерной обработки материалов: сб. тр. ИПЛИТ РАН, 2005. – С. 191 – 197.

7. Опыт эксплуатации лазерных и плазменных установок для резки на американских заводах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.plasma.mk.ua/a_exp.php – Загл. с экрана.

8. Костенко А.И. Экспериментальное исследование долговечности образцов из алюминиевых сплавов для панелей планера самолета, полученных лазерным раскроем / А.И. Костенко, В.Е. Гайдачук, И.П. Змиевской // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2(66). – Х., 2011. – С. 7 – 19.

9. Профессиональный портал «Сварка. Резка. Металлообработка» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autowelding.ru> – Загл. с экрана.

10. Оборудование и инструмент для металлообработки и металлургии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.varitec.com.ua/varitec_80 – Загл. с экрана.

11. Степанов М.Н. Усталость легких конструкционных сплавов / М.Н. Степанов, Е.В. Гиацинтов. – М.: Машиностроение, 1973. – 320 с.

12. Костенко А.И. Микроструктурный анализ зоны термического влияния после лазерной резки образцов листовых материалов и их механические характеристики / А.И. Костенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 46. – Х., 2010. – С. 114 – 127.

13. Прочность. Устойчивость. Колебания: в 3 т.; под ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. – Т.1. – 831с.

14. ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 34 с.

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

Поступила в редакцию 24.02.11

Аналіз результатів реалізації експериментально-теоретичного методу оптимізації лазерного розкрою панелей літака з алюмінієвих сплавів

Проаналізовано результати реалізації експериментально-теоретичного методу оптимізації лазерного розкрою панелей літака з алюмінієвих сплавів. Обґрунтовано допустимість поширення отриманих результатів на весь клас алюмінієвих сплавів з метою орієнтації лазерного устаткування на початковій стадії його освоєння в умовах серійного виробництва. Запропоновано використання коефіцієнта збільшення довговічності, що є відношенням числа циклів до руйнування зразка без отвору-концентратора до цього числа циклів зразка з отвором-концентратором, замість ефективного коефіцієнта концентрації напружень. Теоретично встановлено й експериментально підтверджено співвідношення цих коефіцієнтів з ефективним коефіцієнтом концентрації напружень і між їх значеннями для зразків, отриманих лазерним різанням і фрезеруванням.

Ключові слова: алюмінієві сплави, лазерне різання, довговічність, концентрація напружень.

Analysis of the Results of Aluminum Alloys Aircraft Panels Cutting Optimization Experimental-Theoretical Method's Implementation

Results of an implementation of aluminum alloys aircraft panels cutting optimization experimental-theoretical method are analysed. Possibility of propagation of the obtained results on the whole class of aluminum alloys with purpose of guidance of laser equipment at the early stages of its implementation in mass production is justified. Usage of increased durability factor, which is a ratio of the number of cycles to failure of a sample without a stress concentration hole to the number of cycles to failure of a similar sample but with a stress concentration hole, instead of effective stress concentration factor is suggested. Ratios of those factors for samples obtained with laser cutting and milling are theoretically established and experimentally proved.

Keywords: aluminum alloys, laser cutting, durability, stress concentration.