

УДК 629.73.004.82:532.525.6

**Т.П. НАБОКИНА, А.В. ГАЙДАЧУК, А.М. ГРУШЕНКО***Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина***ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЖРД МТ НА ПРОЦЕСС  
РАЗУПРОЧНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОВОЙ СТРУИ**

Рассмотрено влияние режимных параметров жидкостных ракетных двигателей малых тяг на процесс разупрочнения алюминиевых сплавов, находящихся в зоне воздействия сверхзвуковых высокотемпературных газовых струй продуктов сгорания. Рассмотрены экономические аспекты применения метода разделительной резки. Приведены некоторые результаты теоретических и экспериментальных исследований.

**разупрочнение, внутрикамерные параметры, топливные компоненты, расходный комплекс, прожиг, пробой, разрушение металла**

**Введение**

Утилизация списанных летательных аппаратов (ЛА) с характерной архитектурой планера и преимущественно применяемыми в конструкциях материалами на основе алюминиевых сплавов с характерными толщинами  $b = (2 \dots 8) 10^{-3}$  м стимулировала исследования по рациональному выбору комплекса технологических методов разделительной резки [1 – 3]. В процессе этих исследований была эмпирически установлена, а затем и теоретически доказана возможность разделительной резки элементов конструкции ЛА с помощью сверхзвуковых высокотемпературных газовых струй, без доведения металла в зоне реза до состояния плавления [4]. Новый метод разделительной резки был реализован при утилизации списанных ракетноносцев Ту-95МС в г. Узин. Несмотря на очевидную перспективность метода с точки зрения минимизации энергозатрат [5], только детальные комплексные исследования новой технологии позволяют максимально эффективно реализовать ее преимущества.

**Формулирование проблемы.** Реализация технологии разделительной резки с использованием эффекта теплового разупрочнения фрагментируемой конструкции предполагает решение следующих проблем:

- определение рационального соотношения тепловой мощности режущей струи и толщины разрезаемого материала;
- определение оптимального способа реализации тепловой мощности газогенератора и струи;
- нахождение границ применимости нового метода.

Ответы на большинство поставленных вопросов были получены в результате комплексного решения следующих взаимосвязанных задач:

- влияния внутрикамерных параметров газогенератора на энергию режущих струй;
- зависимости процессов распространения тепла, а значит, и процессов разупрочнения металла от тепловой мощности струй, их характерных размеров и толщин обрабатываемых материалов;
- влияния динамического напора сверхзвуковых струй, полученных при определенных внутрикамерных и расходных параметрах газогенератора, на процесс потери прочности разупрочненной преграды определенной толщины;
- анализа экономических показателей нового метода разделительной резки.

Ниже приведены основные результаты, полученные в процессе экспериментально-теоретических исследований.

### Решение проблемы

**Генерация сверхзвуковых режущих струй.** В качестве газогенератора (ГГ) использован жидкостный ракетный двигатель малых тяг (ЖРД МТ) на экологически чистой топливной паре – сжатый воздух и углеводородное горючее (керосин). Регенеративное охлаждение камеры сгорания обусловило необходимость работы ГГ в диапазоне коэффициента окислителя  $\alpha_{ок} \approx 1,15 \dots 1,2$ . Известно, что основным параметром камер сгорания подобного типа является теоретический расходный комплекс  $\beta_T$ , который для данного топлива и  $\alpha_{ок}$  – величина практически постоянная [6]. Расходный комплекс  $\beta_T$  наилучшим образом характеризует взаимосвязь режимных и размерных параметров камеры сгорания ЖРД МТ. Действительно, всегда можно определить теоретический массовый расход продуктов сгорания через сопло ГГ площадью  $f_{кр}$ , если известно давление в камере сгорания газогенератора  $P_k$ :

$$\dot{m}_\Sigma = \frac{P_k \cdot f_{кр}}{\beta_T}, \quad (1)$$

где  $\dot{m}_\Sigma$  – массовый расход продуктов сгорания,  $\frac{кг}{с}$ ;

$P_k$  – давление в камере сгорания, Па;

$f_{кр}$  – площадь критического сечения сопла,  $м^2$ ;

$\beta_T = 1184 \frac{М}{с}$  для  $\alpha_{ок} = 1,2$ .

Расход продуктов сгорания  $\dot{m}_\Sigma$  может быть представлен как сумма расходов горючего и окислителя:

$$\dot{m}_\Sigma = \dot{m}_{ок} + \dot{m}_Г, \quad (2)$$

где  $\dot{m}_{ок}$  – расход окислителя,  $\frac{кг}{с}$ ;

$\dot{m}_Г$  – расход горючего,  $\frac{кг}{с}$ .

Величина  $\dot{m}_{ок}$  определяет стоимость энергозатрат на сжатие воздуха до давления  $P_k$ , а величина

$\dot{m}_Г$  непосредственно связана со стоимостью керосина. Таким образом, величина  $\dot{m}_\Sigma$  определяет экономику процессов разделительной резки разупрочнением сверхзвуковой струей, полученной при значениях внутрикамерного давления  $P_k$  и величинах критического сечения сопла  $f_{кр}$ .

**Подобие процессов разделительной резки материалов разупрочнением.** Совместный анализ процессов теплообмена сверхзвуковых струй с преградами, процессов потери прочности материала и динамического воздействия струй на преграду позволил существенно минимизировать экспериментальные исследования и, в конечном итоге, получить принципиально важный результат, суть которого состоит в следующем: материалы на основе алюминиевых сплавов определенной толщины  $b$  могут быть разрушены за одно и то же время сверхзвуковыми струями, полученными с помощью газогенератора с различным внутрикамерным давлением  $P_k$  и различными значениями  $f_{кр}$ , но при этом, произведение  $\dot{m}_\Sigma \cdot P_k$  будет оставаться примерно постоянным. Под процессом разрушения преграды понимается процесс прожига при ортогональном натекании на нее струи.

Обобщение многочисленных экспериментальных результатов прожига листовых материалов из Д16Т различной толщины в координатах время прожига  $\tau$  и произведения  $\dot{m}_\Sigma \cdot P_k$ , позволяет установить диапазон рациональных значений технологического параметра  $\dot{m}_\Sigma \cdot P_k$  (рис. 1) при прожиге материала с толщинами, характерными для конструкции планера списанной авиационной техники (область II). Значения  $\dot{m}_\Sigma \cdot P_k$  выше указанного диапазона соответствуют необоснованно большим временам прожигания, т.е. к вырождению метода резки разупрочнением (область I). Область III характеризует избыточность значений технологического параметра – прожиг материалов с толщинами  $b = (2 \dots 8) 10^{-3}$  м происходит

примерно за одно и то же время, при этом дальнейшее увеличение  $\dot{m}_\Sigma \cdot P_K$  не приводит к существенному уменьшению  $\tau$ .

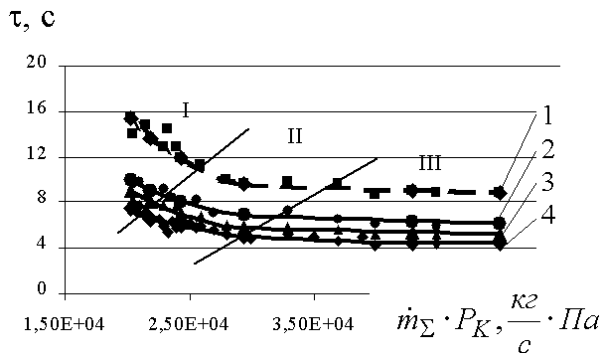


Рис. 1. Зависимость времени прожига от технологического параметра  $\dot{m}_\Sigma \cdot P_K$ :

$$1 - b = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}; 2 - b = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \\ 3 - b = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}; 4 - b = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Полученные экспериментальные результаты хорошо коррелируют с теоретическими зависимостями  $\tau = f(\dot{m}_\Sigma \cdot P_K)$ , полученными методом численного моделирования, что позволяет прогнозировать возможности метода резки разупрочнением в области больших толщин материалов и больших значений  $\dot{m}_\Sigma \cdot P_K$ .

### Заключение

В результате экспериментально-теоретических исследований установлена область применимости разделительной резки разупрочнением листовых материалов из сплава Д16Т с характерными толщинами  $(2 \dots 8) \cdot 10^{-3}$  м, для которых необходимо использовать термогазоструйные резаки с расходными и внутрикамерными параметрами, соответствующими значениям  $\dot{m}_\Sigma \cdot P_K = (2,1 \dots 3,75) \cdot 10^4 \frac{\text{кг}^2}{\text{с}} \cdot \text{Па}$ .

Экономическая эффективность метода разделительной резки разупрочнением, при прочих равных условиях, определяется затратами горючего и затратами на сжатие воздуха, которые, в свою очередь,

существенно зависят от способа работы газогенератора – при малых значениях  $\dot{m}_\Sigma$  и высоких давлениях в камере сгорания  $P_K$ , или при низких  $P_K$ , но существенных по величине  $\dot{m}_\Sigma$ .

### Литература

1. Жданов Ю.А., Сухов В.В. Научно-техническое обеспечение комплексной утилизации авиационных и морских средств поражения (АСП и МСП) // Технологические системы. – К: УкрНИИАТ. – 1999. – Вып. 2. – С. 72-74.
2. Кривов Г.А., Матвиенко В.А., Афанасьева Л.Ф. Мировая авиация на рубеже XX – XXI столетий. Промышленность, рынки. – К.: 2003. – 296 с.
3. Набокина Т.П. Анализ технологий утилизационной фрагментации планеров воздушных судов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 2 (18). – С. 22-27.
4. Набокина Т.П. Исследование процессов разделительной резки металлов сверхзвуковыми высокотемпературными струями // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 5 (21). – С. 12-16.
5. Набокина Т.П. Технологические аспекты применения ЖРД МТ для утилизационной фрагментации аэрокосмической техники // IX Міжнар. молодіжна науково-практична конференція “Людина і Космос”: Збірник тез. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 123.
6. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания. / Под ред В.П. Глушко: в 6-ти т. – К., 1973. – Т. 3. – 624 с.

Поступила в редакцию 31.05.2007

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. А.В. Бастеев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.