

УДК 629.735.33.02.002:621.785

Т.П. НАБОКИНА, А.В. ГАЙДАЧУК, А.М. ГРУШЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

СКОРОСТЬ РЕЗКИ РАЗУПРОЧНЕНИЕМ СВЕРХЗВУКОВЫМИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ ГАЗОВЫМИ СТРУЯМИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Рассмотрено влияние основных геометрических и режимных параметров жидкостных ракетных двигателей малых тяг на скорость резки материалов на основе алюминиевых сплавов сверхзвуковыми высокотемпературными газовыми струями (СВГС) продуктов сгорания. Приведены результаты зависимости скорости резки разупрочнением материалов на основе алюминиевых сплавов в виде эмпирической зависимости толщины разрезаемого материала, геометрических, энергетических параметров газоструйного генератора, характерного времени реализации элементарного процесса резки разупрочнением «пробоя» и выполнена оценка полученных результатов.

Ключевые слова: высокотемпературные струи продуктов сгорания, разупрочнение, пробой, разрушение металла, утилизация авиационной техники.

Введение

На базе ракетных двигателей малой тяги, которые генерируют сверхзвуковые высокотемпературные потоки, в последнее время создан ряд устройств, позволяющих использовать энергию струи продуктов сгорания в различных технологических процессах, в том числе и для фрагментации материалов термогазодинамическим методом. Исследование и эксплуатация подобных устройств учеными Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева и другими исследователями подтверждает востребованность использования такой технологии [1]. Резка материалов сверхзвуковыми высокотемпературными газовыми струями продуктов сгорания является одним из потенциально возможных методов утилизационной фрагментации планеров самолетов, в конструкциях которых использованы материалы на основе алюминиевых сплавов с толщинами, находящимися в диапазоне $b = (1,5 \dots 6) 10^{-3}$ м.

Авторами была установлена и доказана возможность перфорирования («пробоя») элементов конструкций самолетов с помощью СВГС без доведения материала в зоне действия струи до температуры плавления [2]. Это стало основой создания нового метода утилизационной фрагментации летательных аппаратов (ЛА) – резки разупрочнением. Эффективность и перспективность нового метода обусловила необходимость проведения дополнительных теоретических и экспериментальных ис-

следований для определения его основных технологических параметров на основе ранее полученных эмпирических зависимостей для элементарной составляющей этого процесса – «пробоя».

1. Формулирование проблемы

Исследование закономерностей резки материалов плавлением трансзвуковыми струями продуктов сгорания на основании результатов экспериментального изучения ее элементарной составляющей – «прожига» [3], позволили исследователям Самарского государственного аэрокосмического университета им. С. П. Королева предложить эмпирическую зависимость для определения линейной скорости резки материалов данным методом

$$V_p = \frac{(b + d_{кр})}{\tau_{пр}}, \left[\frac{м}{с} \right], \quad (1)$$

где b – толщина разрезаемого материала, м;

$d_{кр}$ – минимальный (критический) диаметр сверхзвукового сечения сопла, м;

$\tau_{пр}$ – время реализации элементарного процесса резки «прожига» материала, с.

Зависимость имеет очевидную физическую обусловленность при рассмотрении геометрических и энергетических аспектов формирования зоны реза и поэтому универсальна и может быть применена и для случая термогазодинамической резки разупрочнением.

По аналогии с самарскими учеными, для определения скорости резки материалов разупрочнением СВГС, авторами была предложена зависимость

$$V_{pp} = \frac{(b + d_{кр})}{\tau_{проб}} K_{pp}, \left[\frac{м}{с} \right], \quad (2)$$

где $\tau_{проб}$ – время реализации элементарного процесса резки «пробоя» материала, м;

K_{pp} – эмпирический коэффициент, учитывающий особенности резки разупрочнением.

Для определения коэффициента K_{pp} и, таким образом, получения обобщенной зависимости V_{pp} от значений b , $d_{кр}$, $\tau_{проб}$, необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований с целью определения влияния параметров термогазоструйного резака на линейную скорость разупрочнения.

Получение эмпирической зависимости (2) в конечном виде позволит установить экономическую целесообразность применения резки разупрочнением для утилизации объектов аэрокосмической техники (АКТ).

2. Решение проблемы

При исследовании процессов разделительной резки обшивок ЛА из алюминиевых сплавов сверхзвуковыми высокотемпературными струями, в диапазоне толщин $b = (1,5 \dots 6) 10^{-3}$ м, была получена зависимость времени «пробоя» от размерного термогазодинамического параметра $\dot{m}_T \cdot P_K$ (рис. 1), где \dot{m}_T и P_K – основные характеристики газогенератора: массовый расход продуктов сгорания $\frac{кг}{с}$ и давление в камере сгорания Pa соответственно [1].

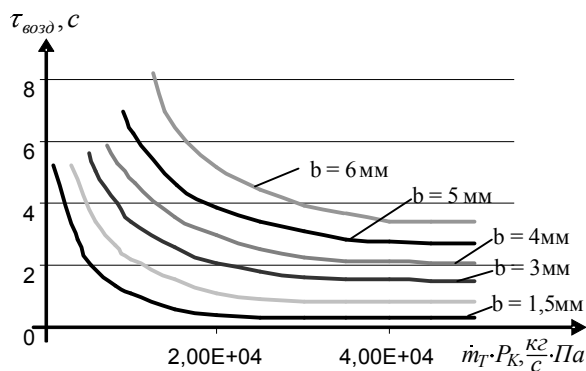


Рис. 1. Зависимость времени воздействия СВГС на материал до возникновения «пробоя» от термогазодинамического параметра для толщин $b = (1,5 - 6)$ мм

Очевидно, что одинаковое время «пробоя» может быть получено термогазоструйными резаками с различными комбинациями значений \dot{m}_T и P_K , при

постоянном произведении $\dot{m}_T \cdot P_K$. В соответствии с соотношением (2), варьирование параметрами \dot{m}_T и P_K , в рамках $\dot{m}_T \cdot P_K = const$, оказывает влияние на величину скорости резки V_{pp} (сказывается изменение $d_{кр}$). Следовательно можно сделать вывод о том, что скорость резки зависит не только от значений b , $d_{кр}$ и $\tau_{пр}$, но и от величины давления в камере сгорания P_K .

В связи с этим, зависимость (2) принимает вид

$$V_{pp} = \frac{(b + d_{кр})}{\tau_{проб}} K_{pp}(P_K; b), \left[\frac{м}{с} \right], \quad (3)$$

а дополнительные экспериментальные исследования, фактически, сводятся к получению зависимости K_{pp} от P_K и b .

Алгоритм экспериментальных исследований заключался в следующем: экспериментально определялась скорость резки для материалов толщиной b с помощью резаков с различными значениями $d_{кр}$; при этом режим работы резака для данного значения b выбирался из зоны гарантированного «пробоя», таким образом, обеспечивалась реализация резки разупрочнением (параметры \dot{m}_T и P_K в этом случае известны, рис. 1).

На рис. 2 представлены результаты таких экспериментальных исследований после их статистической обработки. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при резке разупрочнением скорость V_{pp} в исследуемом диапазоне толщин существенно зависит от давления в камере сгорания резака.

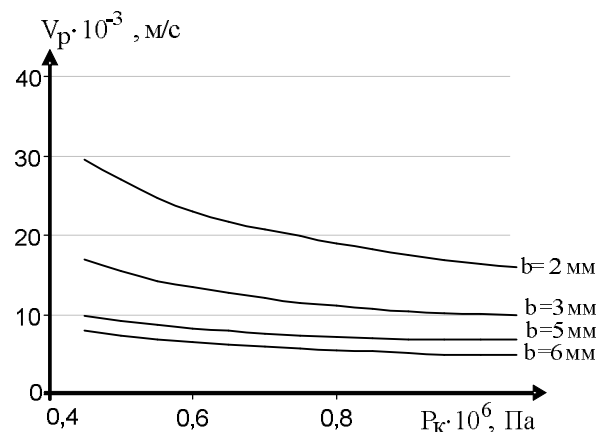


Рис. 2. Зависимость скорости резки материала разупрочнением от давления в камере сгорания

Обработка приведенных экспериментальных зависимостей с помощью соотношения (2) и с учетом известных для каждой точки экспериментальных кривых расчетных значений $d_{кр}$ и $\tau_{проб}$ (рис. 1)

позволяет получить зависимость $K_{pp} = f(P_K; b)$, которая приведена на рис. 3.

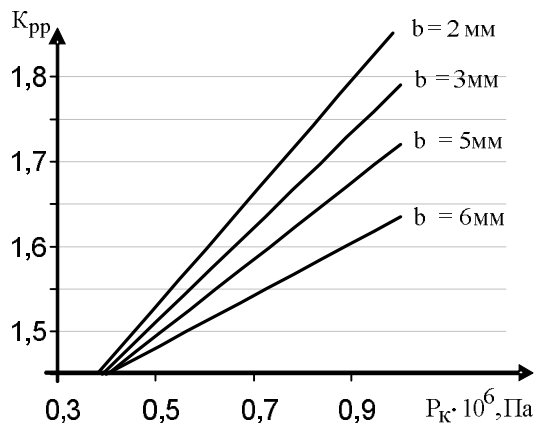


Рис. 3. Зависимость коэффициента K_{pp} от давления в камере сгорания и от толщины материала

Линейная зависимость K_{pp} от значений b и P_K после соответствующих преобразований примет вид

$$K_{pp} = 1,008 \cdot b^{-0,511} \cdot P_K + 1,232. \quad (3)$$

Тогда выражение (2) преобразуется соответственно в следующее:

$$V_{pp} = \frac{(b + d_{кр})}{\tau_{проб}} (1,008 \cdot b^{-0,511} \cdot P_K + 1,232), \quad \left[\frac{м}{с} \right]. \quad (4)$$

Полученная зависимость справедлива при реализации резки разупрочнением в диапазоне толщин материалов на основе алюминиевых сплавов $b = (1,5 \dots 6) \cdot 10^{-3}$ м и давлений $P_K = (0,3 \dots 1,3)$ МПа.

Значение параметра $\tau_{проб}$ определяется с помощью номограмм, которые получены по результатам экспериментальных исследований (рис. 4).

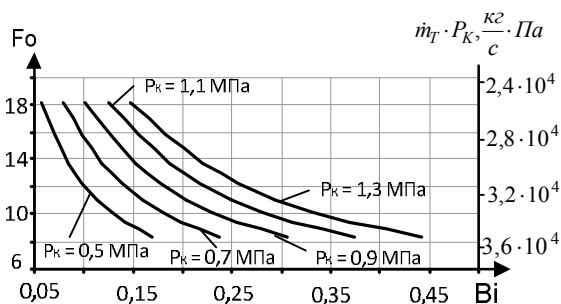


Рис. 4. Номограммы, характеризующие зону реализации явления «пробоя»: Fo – критерий Фурье; Vi – критерий Био; $\dot{m}_T \cdot P_K$ термогазодинамический параметр термогазоструйного резака [4]

Критерий Vi определяется по эмпирической зависимости

$$Vi = 0,566 \cdot 10^{-4} P_K \cdot b. \quad (5)$$

По номограммам (рис. 4) определяется значение критерия Fo . Время «пробоя» вычисляется по формуле

$$\tau_{проб} = \frac{Fo \cdot b^2}{8,16 \cdot 10^{-5}}, \text{ с.} \quad (6)$$

Проанализируем выражение (3).

Первое слагаемое, очевидно, характеризует влияние силового (динамического) воздействия струи, так как зависит от величины давления в камере сгорания термогазоструйной установки.

Второе слагаемое постоянно для всего диапазона исследуемых параметров и характеризует, по всей видимости, влияние волновой структуры сверхзвуковой высокотемпературной газовой струи продуктов сгорания на материал. Подобно генератору Гартмана [5], когда СВГС продуктов сгорания, действующая на преграду, за счет волновой структуры вызывает в преграде звуковые колебания большой интенсивности. При этом в зоне контакта преграды со струей происходит дополнительный разогрев материала. Это увеличивает скорость разупрочнения материала в зоне контакта со струей и, следовательно, увеличивает скорость фрагментации материала. Не исключена также интенсификация процесса резки за счет усталостной составляющей при разрушении металлов из-за периодически-волнового воздействия СВГС в зоне реза.

Заключение

Экспериментальное изучение скорости резания разупрочнением сверхзвуковыми высокотемпературными газовыми струями продуктов сгорания проводилось для материалов на основе алюминиевых сплавов. Толщина образцов выбиралась из диапазона $b = (1,5 - 6)$ мм. Соотношение толщины обрабатываемого материала и термогазодинамического параметра термогазоструйного резака $\dot{m}_T \cdot P_K$ соответствовали диапазону гарантированной реализации перфорации материала «пробоем», коэффициент избытка окислителя принят 1,2.

Обработка экспериментальных результатов позволила сделать следующие выводы.

1. Определена эмпирическая зависимость для вычисления скорости резки разупрочнением СВГС продуктов сгорания материалов на основе алюминиевых сплавов в диапазоне толщин

$$b = (1,5 \dots 6) \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

2. Определено влияние давления в камере сгорания на скорость разупрочнения материала. Выделен постоянный коэффициент, характеризующий влияние волновой структуры струи на процесс разупрочнения.

Литература

1. Первышин, А.Н. Генератор сверхзвуковой струи для резки материалов на топливе кислород и пропан. Методические указания [Текст] / А.Н. Первышин. – СГАУ, Самара, 1998. – 21 с.

2. Набокина, Т.П. Исследование процессов разделительной резки металлов сверхзвуковыми высокотемпературными струями [Текст] / Т.П. Набокина // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. - № 5 (21). – С. 12 – 16.

3. Тепловой механизм разрушения преграды трансзвуковой струей продуктов сгорания ракет-

ных топлив [Текст] / В.Г. Заботин, А.И. Косенко, А.И. Осипов, А.Н. Первышин // *ИФЖ*. – 1983. – Т. 44, №5. – С. 755 – 760.

4. Набокина, Т.П. Влияние режимных параметров ЖРД МТ на процессы разупрочнения алюминиевых сплавов в зоне воздействия сверхзвуковой газовой струи [Текст] / Т.П. Набокина, А.В. Гайдачук, А.М. Грушенко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 7 (43). – С. 78–80.

5. Hartman, J. One new method for the generation of Sound Waves [Text] / J. Hartman, B. Troll // *Physical Review*. – Dec. 1922. – Vol. 20. – P. 719.

Поступила в редакцию 3.05.2013, рассмотрена на редколлегии 12.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры С.С. Добротворский, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.

ШВИДКІСТЬ РІЗКИ ЗНЕМІЦНЮВАННЯМ НАДЗВУКОВИМИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИМИ ГАЗОВИМИ СТРУМИНАМИ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Т.П. Набокіна, О.В. Гайдачук, О.М. Грушенко

Розглянуто вплив основних геометричних і режимних параметрів рідинних ракетних двигунів малих тяг на швидкість різання матеріалів на основі алюмінієвих сплавів надзвуковими високотемпературними газовими струминами (НВГС) продуктів згоряння. Наведено результати залежності швидкості різання знеміцнюванням матеріалів на основі алюмінієвих сплавів у вигляді емпіричної залежності товщини матеріалу, що розрізається, геометричних, енергетичних параметрів газоструминного генератора, характерного часу реалізації елементарного процесу різання знеміцнюванням «пробою» та виконана оцінка отриманих результатів.

Ключові слова: високотемпературні струмини продуктів згоряння, знеміцнювання, пробій, руйнування металу, утилізація авіаційної техніки.

SPEED OF THE UNHARDERING CUTTING BY SUPERSONIC HIGH-TEMPERATURE STREAMS OF THE MATERIALS BASED ON ALUMINUM ALLOYS

T.P. Nabokina, O.V. Gaydachuk, O.M. Grushenko

Consider the influence of the main geometrical and operational parameters of liquid-propellant rocket engine with small rods to speed of the cutting of materials based on aluminum alloys by the supersonic high-temperature gas streams (SHTGS) of the combustion products. Shows the results of dependence of the unhardering cutting speed of the materials based on aluminum alloys in the form of an empirical dependence of the thickness of the cutting material, geometry, energy parameters of a gas-jet generator, the characteristic time of the elementary process of unhardering cutting " damage " and the estimate of the results.

Key words: high-temperature jet of combustion products, unhardering, damage, destruction of the metal, disposal of aircraft.

Набокіна Татяна Петровна – інженер 1 кат. кафедри ракетно-космічних двигателів і енергетических установок летательних апаратів Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: tnabokina@ukr.net.

Гайдачук Александр Витальевич – д-р техн. наук, проф., проректор по науковій роботі, зав. каф. ракетно-космічних двигателів і енергетических установок летательних апаратів Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: a.gaydachuk@khai.edu.

Грушенко Александр Михайлович – канд. техн. наук, доцент кафедри ракетно-космічних двигателів і енергетических установок летательних апаратів Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, e-mail: aagrushenko@mail.ru.