

параметрами  $s_1 - s_3$ ,  $V_0$ ,  $V_1$  и оптимальные параметры движущейся стенки, при которых достигается безотрывное обтекание. К числу параметров стенки относятся ее положение (начальная  $x_1$  и конечная  $x_2$  позиции) и ее скорость  $U_w$  движения. При оптимальных параметрах достигается минимум результирующего коэффициента сопротивления  $C_t$ , учитывающего сопротивление трения крылового профиля и энергетические затраты на работу устройства активного управления ПС.

**Схема решения задачи.** Поиск оптимальных параметров движущейся стенки сводится к решению задачи минимизации целевой функции  $f(x_1, x_2, U_w) = C_t + c$ , где  $c$  – функция штрафа, учитывающая безотрывность обтекания. При этом используются алгоритмы Флетчера – Ривса для многомерной и золотого сечения для одномерной минимизации.

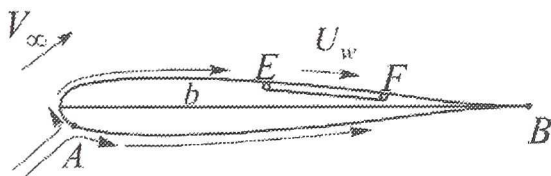


Рис. 2

При вычислении  $f$  необходимо решить ОКЗА для корректировки модификации распределения скорости и

определения новой формы получаемого крылового профиля. Решение проводится по методу, описанному в работе [1]. В качестве свободных параметров для удовлетворения условиям разрешимости выбраны  $s_1$ ,  $s_2$  и  $V_0$ . Аэродинамический расчет ПСоснован на решении уравнений турбулентного ПС по неявной схеме на равномерной прямоугольной сетке.

Предложенный метод решения задачи оптимизации крыловых профилей с устройствами активного управления ПС на примере движущейся стенки допускает использование других параметрических распределений скорости с большим или меньшим числом параметров, а также позволяет произвольно выбирать набор оптимизируемых и свободных параметров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.Б. Ильинский, Д.Ф. Абзалилов. Математические проблемы проектирования крыловых профилей: усложненные схемы течения; построение и оптимизация формы крыловых профилей. Казань: Казан. ун-т, 2011. 284 с.
2. Чжен П. Управление отрывом потока. М.: Мир, 1979. 552 с.
3. Д.Ф. Абзалилов. Минимизация коэффициента сопротивления крылового профиля методом оптимального управления // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. – 2005. – №6. – С.173 – 179.

УДК 620.22

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОВОЧНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-ZN-MG-CU РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ОСНОВНЫХ ЛЕГИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ, МИКРОДОБАВОК И ПРИМЕСЕЙ

© 2012 Р.О. Вахромов, В.В. Антипов, Е.А. Ткаченко

Федеральное государственное унитарное предприятие  
"Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов"  
Государственный научный центр российской федерации, Москва

NATURAL DEVELOPMENT OF FORMING STRUCTURE AND PROPERTIES OF FORGEABLE AL-ZN-MG-CU ALLOYS HAVING DIFFERENT CONTENT OF MAIN ALLOYING ELEMENTS, MICROADDITIVES AND IMPURITIES

Federal State Unitary Enterprise "All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials, State Scientific Center of Russian Federation, Moscow

Проведены комплексные исследования влияния содержания базовых легирующих элементов Zn, Mg, Cu, малых добавок Zr, Sc, Ag, примесей Fe+Si, на прочность, вязкость разрушения, усталостные характеристики, коррозионную стойкость и прокаливаемость, параметры микроструктуры (дисперсоиды, упрочняющие выделения, степень рекристаллизации, размер зерна) кованных полуфабрикатов из высокопрочных ковочных сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu.

Показано, что повышение прокаливемости кованных полуфабрикатов, зависящей от устойчивости алюминиевого твердого раствора основных легирующих компонентов, и оптимальное сочетание комплекса прочностных характеристик, вязкости разрушения и технологических свойств достигается при соотношении  $Zn/Mg \geq 4,1$  и пониженном содержании примесей Fe+Si ( $\leq 0,10\%$ ).

Установлено существенное положительное влияние добавки 0,1-0,2% масс. серебра на комплекс прочностных и коррозионных характеристик, вязкости разрушения и сопротивления усталости, а также характеристики свариваемости сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu ( $\sigma_{св. \text{соед.}} \geq 0,8 \sigma_{в \text{ осн. мет.}}$ ).

Структурные исследования подтвердили, что новые многоступенчатые режимы старения, обеспечивающие получение регламентированной структуры упрочняющих выделений, обеспечивают повышение прочностных свойств кованных полуфабрикатов из сплавов различных составов до 520-600 МПа и ресурсных характеристик в 1,5-2 раза при значениях вязкости разрушения  $K_{1C} \geq 40 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$ .

Представленные в докладе результаты позволяют рассчитывать, что высокопрочные ковочные сплавы в

ближайшие 15-20 лет сохранят ведущую позицию в силовых элементах планера перспективных самолетов.

The complex studies have been made to investigate the influence of the main alloying elements Zn, Mg, Cu, small additives Zr, Sc, Ag, impurities Fe and Si on the strength, fracture toughness, fatigue properties, corrosion resistance and hardenability, microstructure parameters (dispersoids, strengthening precipitates, recrystallization degree, grain size) of forged semiproducts manufactured from high strength forgeable alloys of Al-Zn-Mg-Cu system.

It was established that the increase in forged semiproducts hardenability which is dependent on stability of aluminum solid solution of the main alloying elements, and the optimum combination of strength properties, fracture toughness and technological properties, is reached with ratio  $Zn/Mg \geq 4,1$  and with decreased impurities content:  $Fe+Si (\leq 0,10\%)$ .

It was also established that the addition of 0,1-0,2 mas.% Ag positively influences the combination of strength properties, corrosion resistance, fracture toughness and fatigue properties, and also the weldability of Al-Zn-Mg-Cu alloys ( $\sigma_{weld} \geq 0,8 \sigma_{in \text{ basemetal}}$ ).

The structural investigations confirmed that the new multistep aging which ensures forming of the regulated structure of strengthening precipitates, can provide the increase in the strength of forged semiproducts made of different alloy compositions up to 520-600 MPa, and 1,5-2 times increase in service life (with  $K_{1C} \geq 40 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$ ).

The results of investigations described in this report, given the opportunity to expect that the high strength forgeable alloys will continue to play the leading role in manufacturing the loaded airframe components of perspective aircraft during the next 15-20 years.