

зависит от шага по времени. Если шаг по времени подобран неверно, то при переходе струи через интерфейс, соединяющий вращающуюся и не вращающуюся части модели, её импульс теряется, и направление её движения меняется (рис. 3).

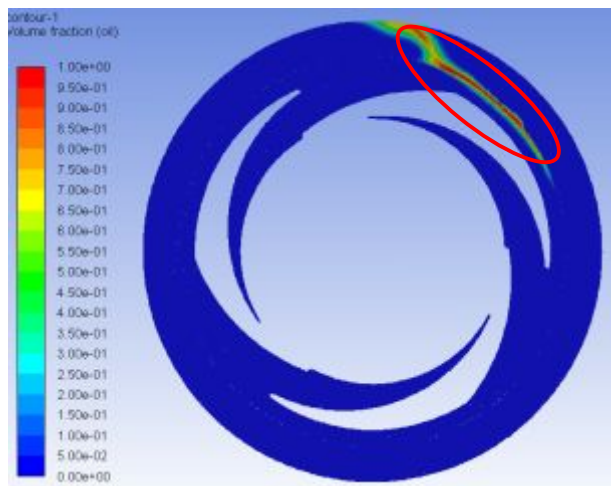


Рис. 3. Размытие струи по интерфейсу

Также следует отметить эффект, при котором масло, при попадании в полость центростремительных канавок, центробежными силами отбрасывается в общую по-

лость. Это происходит по причине того, что каналы, подающие масло к внутренней обойме подшипника, спроектированы некорректно. Следовательно, для гарантированного попадания масла во внутреннюю обойму подшипника, наряду с проектированием центростремительных канавок, необходимо проектирование каналов подачи масла к внутренней обойме подшипника.

Направлениями дальнейшего исследования стоит отметить определение количества канавок, позволяющих подавать максимальное количество масла на подшипник, а также исследование формы каналов, подводящих масло к внутренней обойме подшипника.

#### Библиографический список

1. Испытание подвода масла к подшипниковому узлу газотурбинного двигателя через маслозахватное кольцо [Текст] / А. А. Боев, А. Г. Петрухин, А. А. Михайлов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета, 2015. – Том 14, №3, Ч. 2. – С. 460 – 464.

УДК 539.3

## ВЛИЯНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИСТОВ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ АЛЮМОСТЕКЛОПЛАСТИКОВ

©2018 Я.А. Ерисов, И.Н. Петров

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### THE INFLUENCE OF CRYSTALLOGRAPHIC TEXTURE OF ALUMINUM SHEETS ON THE FRACTURE TOUGHNESS OF GLARE

Erisov Ya.A., Petrov I.N. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*In this paper, the influence of the structure crystallography of aluminum sheets on the crack resistance of metal-polymer composite materials is investigated on the basis of the developed mathematical model. The calculations of the crack resistance of three-layer GLARE have shown the possibility of increasing the resistance to crack opening by using in their composition aluminum sheets with effective structure crystallography and its coordination with the reinforcement direction of the adhesive prepreg with glass fiber. The most favorable ideal crystallographic orientations of aluminum alloys and the direction of fibers laying are determined, which ensure an increase in the fracture toughness of GLAREs by more than 15%.*

Постоянное повышение требований к ресурсу, надёжности летательных аппаратов и, в особенности, трещиностойкости обу-

славливает необходимость разработки нового поколения материалов – композиционных. Среди них отдельное место занимают гиб-

ридные слоистые металл-полимерные композиционные материалы – алюмокомпозиты (СИАЛ, за рубежом – GLARE). В качестве материала металлической основы используют высокопрочные алюминиевые сплавы [1-2].

Улучшения механических и эксплуатационных характеристик алюмокомпозитов, в частности, повышения трещиностойкости и усталостной прочности, можно добиться за счёт использования в производстве СИАЛов алюминиевых листов с эффективной кристаллографической ориентацией структуры [3].

Разработана математическая модель расчёта коэффициента интенсивности напряжений при вершине трещины длиной  $2a$  в бесконечной пластине трёхслойного СИАЛа, которая находится под действием растягивающего напряжения  $\sigma_{lam}$ , вызванного приложенными в бесконечности силами:

$$K_I = \frac{E_{al}^\alpha}{(1-V_{gl})E_{al} + V_{gl}E_{gl}} \sigma_{lam} \sqrt{\pi a},$$

$$\frac{1}{E_{al}^\alpha} = S'_{1111} -$$

$$-4S'_{2323} (A' - 1) \left[ \Delta_1 \cos^4 \alpha + \Delta_2 \sin^4 \alpha + \right.$$

$$\left. + 3 \left( \Delta_3 - \Delta_1 - \Delta_2 + \frac{1}{3} \right) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \right],$$

где  $E_{gl}$  и  $V_{gl}$  – модуль упругости и объёмная доля стеклопластика соответственно;  $E_{al}^\alpha$  – модуль упругости алюминиевого листа, под углом  $\alpha$  к направлению прокатки;  $S'_{pqrs}$  – модуль податливости кристаллической решётки алюминиевого сплава;  $\Delta_i$  – факторы кристаллографической ориентации структуры;  $A'$  – параметр анизотропии кристаллической решётки.

Используя разработанную модель, рассмотрено влияние типичных для алюминиевых сплавов кристаллографических ориентировок (деформационного типа: медь  $\{112\}\langle 111 \rangle$ , латунь  $\{110\}\langle 112 \rangle$ , S  $\{123\}\langle 634 \rangle$ , «куб на ребре»  $\{100\}\langle 011 \rangle$ ; рекристаллизационного типа: кубическая  $\{100\}\langle 001 \rangle$  и Госсса  $\{110\}\langle 001 \rangle$ ) на трещиностойкость трёхслойного СИАЛа с одина-

правленным армированием слоёв клевого препрега ( $0^\circ/0^\circ$ ).

Установлено, что для случая, когда направление армирования стекловолокном клевого препрега совпадает с направлением прокатки алюминиевых листов, ориентировки деформационного типа обеспечивают более низкую трещиностойкость по сравнению с изотропным случаем, а ориентировки рекристаллизационного типа более высокую.

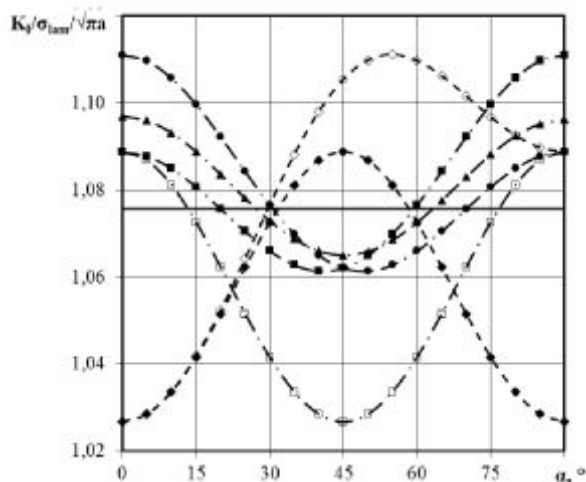


Рис.1. Зависимость коэффициента интенсивности напряжений от кристаллографии структуры алюминиевых листов и направления армирования стекловолокном относительно направления прокатки

Однако, с изменением направления армирования картина кардинально меняется. Так при укладке стекловолокон под углом  $45^\circ$  к направлению прокатки, трещиностойкость СИАЛа, текстура металлических слоёв которого представлена ориентировкам деформационного типа, выше, чем у СИАЛов с металлическими слоями, состоящими из ориентировок рекристаллизационного типа.

Для рассматриваемых ориентировок выбран оптимальный угол между направлением армирования и направлением прокатки, при котором трещиностойкость будет максимальна: медь  $\{112\}\langle 111 \rangle$  -  $49^\circ 5' 58''$ ; латунь  $\{110\}\langle 112 \rangle$  -  $40^\circ 54' 2''$ ; S  $\{123\}\langle 634 \rangle$  -  $45^\circ 10' 37''$ ; куб на ребре  $\{100\}\langle 011 \rangle$  -  $45^\circ$ ; кубическая  $\{100\}\langle 001 \rangle$  -  $0^\circ/90^\circ$ ; Госсса  $\{110\}\langle 001 \rangle$  -  $0^\circ$ .

Таким образом, при проектировании и производстве алюмокомпозитов необходимо учитывать кристаллографию структуры металлических слоёв и согласовывать

направление армирования слоёв клеевого препрега стекловолокном с направлением прокатки алюминиевых листов, что при прочих равных условиях позволит повысить трещиностойкость СИАЛов более чем на 15%. Кроме того, при разработке термомеханических режимов производства листов из алюминиевых сплавов необходимо назначать согласованные режимы прокатки и промежуточной термической обработки (отжига), так как только сочетание различных идеальных кристаллографических ориентировок деформационного и рекристаллизационного типов может обеспечить максимальное повышение трещиностойкости СИАЛов.

Работа подготовлена в рамках Стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (СП-4169.2018.1).

УДК 621.438

## РАСЧЁТ ПОТЕРЬ В ЛОПАТОЧНОМ ВЕНЦЕ ТУРБИНЫ ИЗ-ЗА УГЛА АТАКИ

©2018 Б.И. Мамаев, Е.Ю. Марчуков, А.В. Стародумов

ОКБ имени А. Люльки, г. Москва

### TURBINE BLADE ROW INCIDENCE LOSS CALCULATION

Mamaev B.I., Marchukov Y., Starodumov A. (Lyulka EDB, Moscow, Russian Federation)

*The wide range of well-known semiempirical and empirical correlations on turbine cascade incidence losses was analyzed. The main flow and geometrical parameters that effected the incidence losses were found. It was offered parametrical complexes based on these parameters to obtain reliable and universal methods for the profile incidence losses estimation.*

При эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) и наземных газотурбинных установок (ГТУ) режимы работы турбин меняются в широких пределах, причём возможно длительное время функционирования турбины на переменных режимах, отличных от расчётных. Определение характеристик турбин и зависимостей параметров, определяющих её работу (КПД, пропускная способность и др.), необходимо для анализа самих турбин, согласования узлов в работе и для их доводки в процессе эксплуатации.

Расчёт характеристик связан с определением потерь энергии в лопаточных венцах

### Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. № 6.
2. Rioja R., Liu J. The Evolution Of Al-Li Base Products For Aerospace And Space Applications // Metallurgical And Materials Transactions A. 2012. Vol. 43A. P. 3325-3337.
3. Grechnikov F.V., Antipov V.V., Erisov Y.A., Grechnikova A.F. A manufacturability improvement of glass-fiber reinforced aluminum laminate by forming an effective crystallographic texture in V95 alloy sheets // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2015. Vol. 56. № 1. P. 39-4

турбины. Точность этого определения решающим образом влияет на пригодность характеристик к использованию на практике.

Одними из потерь энергии, которые дополнительно возникают на переменных режимах, являются потери из-за угла атаки на входе в решётку  $\Delta\beta_1 = \beta_{1k} - \beta_1$ . Они могут быть значительными в зависимости от величины угла  $\Delta\beta_1$  и особенностей решётки.

Угол атаки изменяет обтекание решётки в области входной кромки профиля, а течение в выходной части не изменяется при изменении угла атаки в заданной решётке и при изменении конструктивного угла входа  $\beta_{1k}$  в проектируемой решётке. Наиболее не-