

## МОДЕЛИРОВАНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО БЛИСКА ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОГО КОЛЕСА ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ.

© 2011 Л. А. Магеррамова

ФГУП «Центральный Институт Авиационного моторостроения им. П. И. Баранова»

Проработана конструкция получаемого методом горячего изостатического прессования (ГИП) колеса центростремительной турбины с рабочими лопатками из жаропрочного никелевого монокристаллического сплава и диска из гранулируемого сплава. С помощью конечно-элементного комплекса программ ANSYS на двумерных моделях проведены оценочные расчёты вариантов конструкции центростремительного колеса турбины из разнородных материалов.

*Газотурбинные двигатели, центростремительная турбина, неразъёмные биметаллические рабочие колёса, горячее изостатическое прессование, прочность, долговечность.*

Методы порошковой металлургии успешно применяются для изготовления деталей сложной формы [1, 2]. Крыльчатка с валом ракеты-носителя «Энергия» (рис. 1) изготовлена из комбинации жаропрочного никелевого сплава ЭП741НП и хладостойкой конструкционной стали СН2А. Биметаллический диск КВД девятой ступени двигателя НК-92 изготовлен из комбинации дискового гранулируемого

сплава ЭП741НП и свариваемого гранулируемого сплава ЭИ698МП.

Металлургия гранул позволяет получить целый класс деталей с точностью литья по выплавляемым моделям и свойствами пластически деформированного материала. Крыльчатки (рис. 2) изготовлены целиком из гранулируемого никелевого сплава ЭП741НП. При этом механическая доработка таких конструкций практически не требуется.

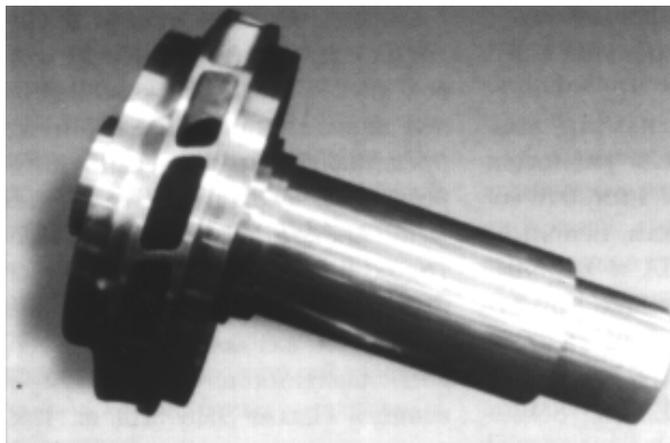


Рис. 1. Крыльчатка с валом из комбинации сплава ЭП741НП и стали СН2А

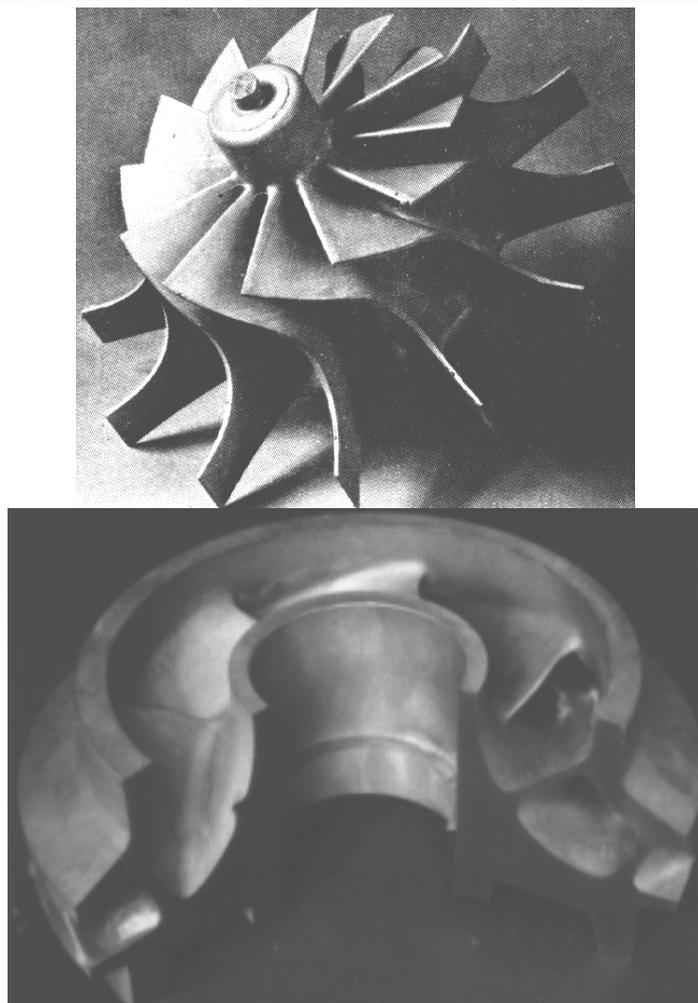


Рис. 2. Колесо центробежной турбины из гранулируемого сплава (вверху) и крыльчатка из гранулируемого никелевого сплава ЭП741НП

Повышение требований к параметрам работы центробежных турбин приводит к повышению температуры лопаток на входе в колесо и, следовательно, к необходимости использования для лопаток современных жаропрочных сплавов. Сделана попытка перенести идею биметаллических блисков осевой турбины к центробежной [3, 4].

Для исследования построена модель биметаллического колеса центробежной турбины с лопатками из жаропрочных сплавов и платформой из никелевого гранулируемого сплава ЭП741НП. В конструкции предусматривается заделка лопаток в «тело» диска с помощью «хвостовика», аналогичного лопаткам компрессоров.

С помощью конечно-элементного комплекса программ ANSYS на двумерных моделях проведены оценочные расчеты конструкции центробежного колеса турбины из различных вариантов разнородных материалов. При этом для лопаток используются сплавы: изготовленный методом направленной кристаллизации ЖС26ВСНК и монокристаллического литья ЖС32МОНО, а для платформы диска – гранулируемый сплав ЭП741НП.

Рассмотрены следующие варианты применяемых материалов для колеса:

- 1) лопатки и диск изготовлены методом литья целиком из сплава ВЖЛ12У;
- 2) лопатки и диск изготовлены методом литья целиком из сплава ЖС6У;

- 3) лопатки и диск изготовлены методом ГИП целиком из сплава ЭП741НП;
- 4) лопатки из сплава ЖС26ВНК соединены с диском из ЭП741НП методом ГИП;
- 5) лопатки из сплава ЖС32МОНО соединены с диском из ЭП741НП методом ГИП.

Тепловое состояние колеса принято одинаковым для всех вариантов применяемых сплавов (рис. 3). На входе в колесо температура лопаток достигает 970°C. В холодных зонах лабиринта температура ~500°C, в холодной зоне платформы диска – от 550 до 650°C.

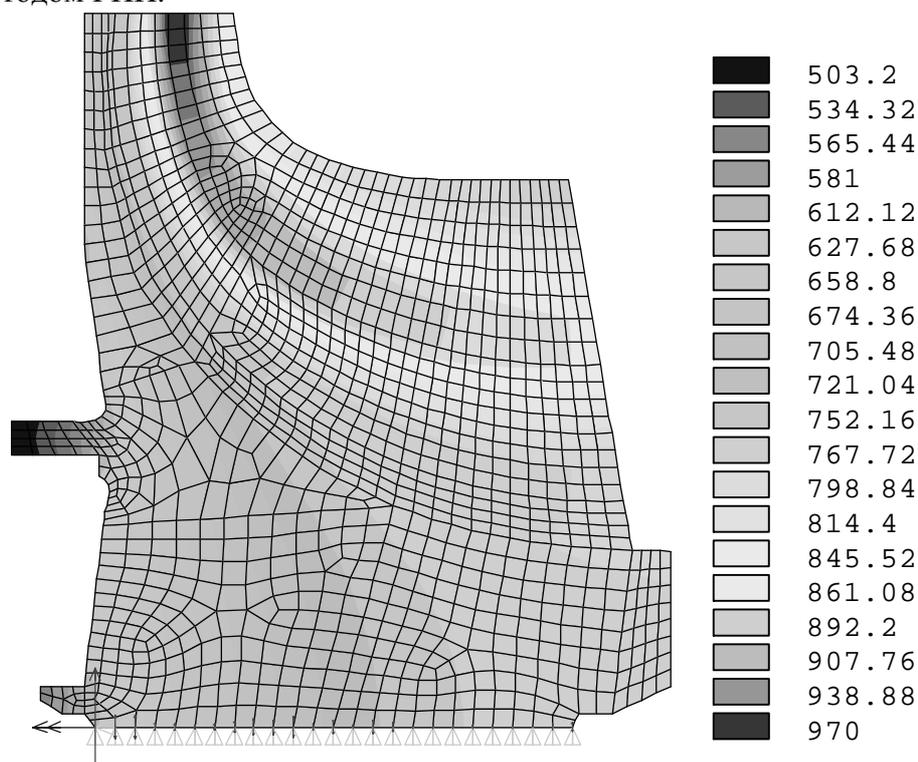


Рис. 3. Тепловое состояние колеса

Расчёты проводились для частоты вращения ротора 39000 об/мин и 45000 об/мин.

Вычисление запасов длительной статической прочности велось на продолжительности режимов 10 и 20 часов.

На рис. 4 – 8 показаны эквивалентные и радиальные напряжения для различных вариантов. На рис. 9 и 10 приведены сравнительные диаграммы коэффициентов запаса длительной статической прочности лопаточной и дисковой части колеса для рассмотренных вариантов применяемых сплавов, длительностей режимов и частот вращения ротора.

Максимальные напряжения в лопатках имеют место на тонкой кромке в зоне входа. В дисковой части максимальные

напряжения наблюдаются на галтели в зоне лабиринта.

Для рассматриваемых режимов использование цельнолитых колес из сплавов ВЖЛ12У, ЖС6У и целиком из гранулируемого сплава ЭП741НП недопустимо, т.к. полученные запасы длительной статической прочности в лопатках составляют  $K_m \sim 1$ .

Использование композиций ЖС26ВНК + ЭП741НП и ЖС32МОНО + ЭП741НП дают достаточный уровень запасов длительной статической прочности на 10 и 20 часов. Для режима с частотой вращения 39000 об/мин эти величины имеют значения соответственно 1,33 – 1,34 и 1,26 – 1,33. Для режима с частотой вращения 45000 об/мин – 1,18 – 1,25.

Наилучшей оказывается композиция ЖС32МОНО + ЭП741НП (рис. 10).

Что касается дисковой части колеса, применение комбинаций сплавов также повышает запас статической длительной

прочности до 1,57 и 2,10 в зависимости от длительности и частоты вращения (рис. 11), что указывает на повышение надёжности.

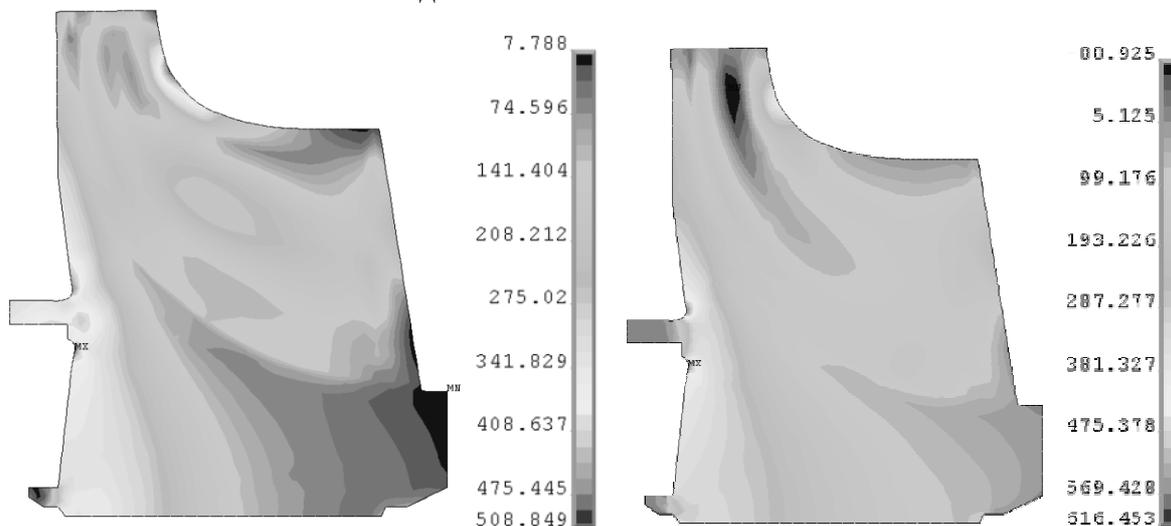


Рис. 4 Напряжения Мизеса, МПа (слева) и радиальные напряжения. Вариант материалов 1 (ВЖЛ12У / ВЖЛ12У)

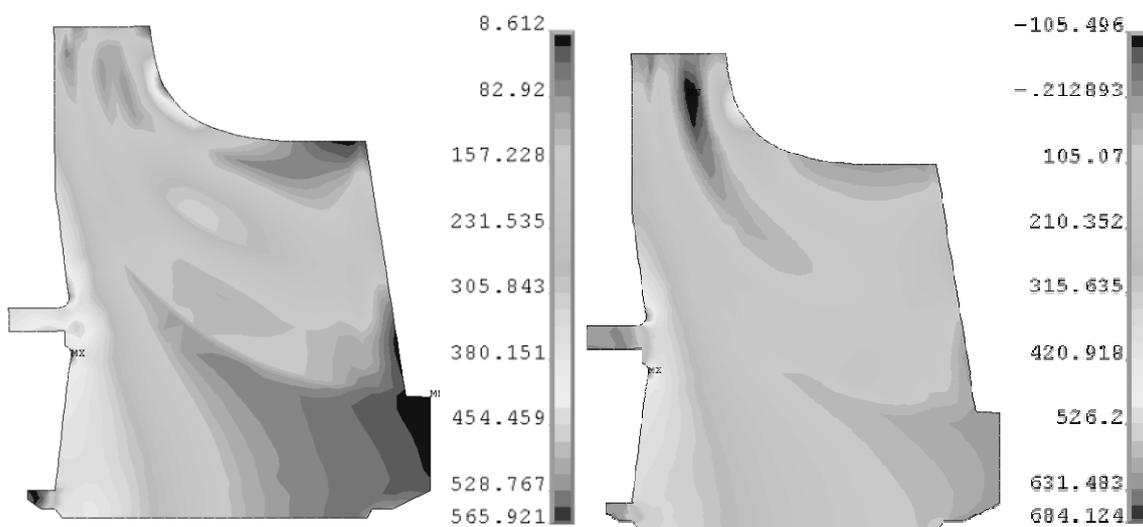


Рис. 5. Напряжения Мизеса, МПа (слева) и радиальные напряжения. Вариант материалов 2 (ЖС6У / ЖС6У)

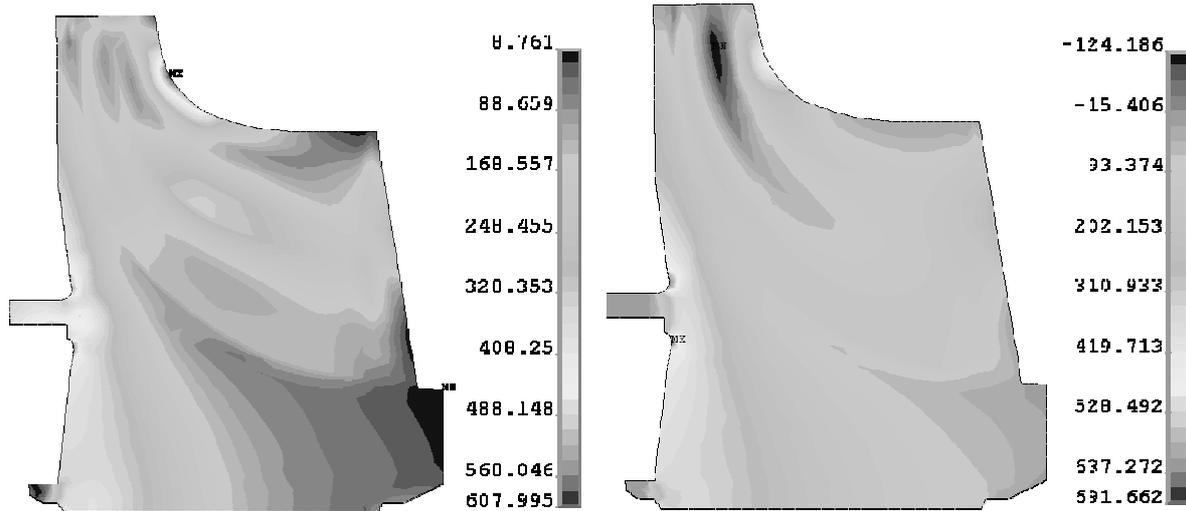


Рис. 6. Напряжения Мизеса, МПа (слева) и радиальные напряжения.  
Вариант материалов 3 (ЭП741НП / ЭП741НП)

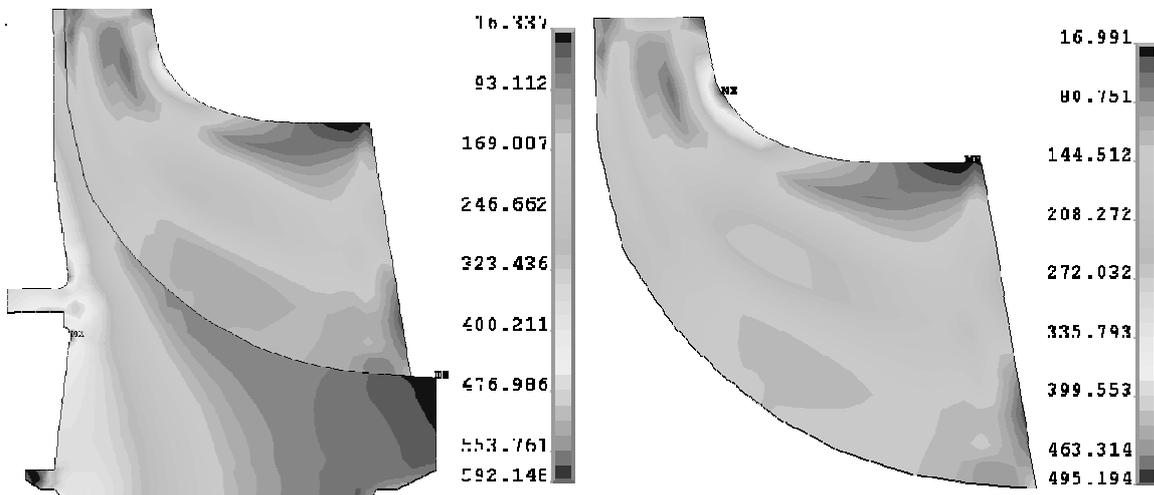


Рис. 7. Напряжения Мизеса (МПа) в колесе (слева) и лопатке.  
Вариант материалов 4 (ЭП741НП / ЖС26ВНК)

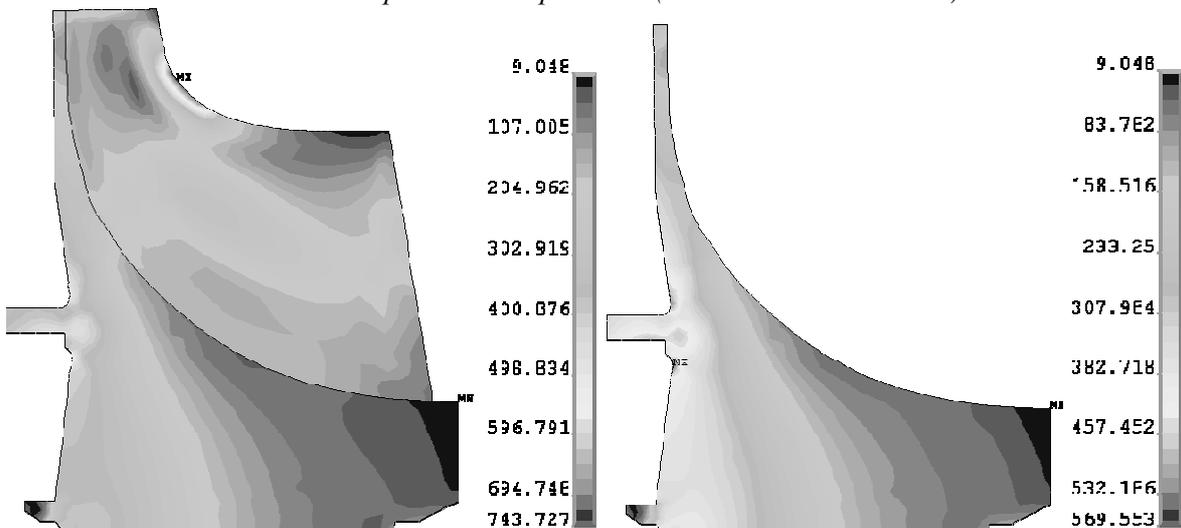


Рис. 8. Напряжения Мизеса (МПа) в колесе (слева) и дисковой части.  
Вариант материалов 5 (ЭП741НП / ЖС32МОНО)

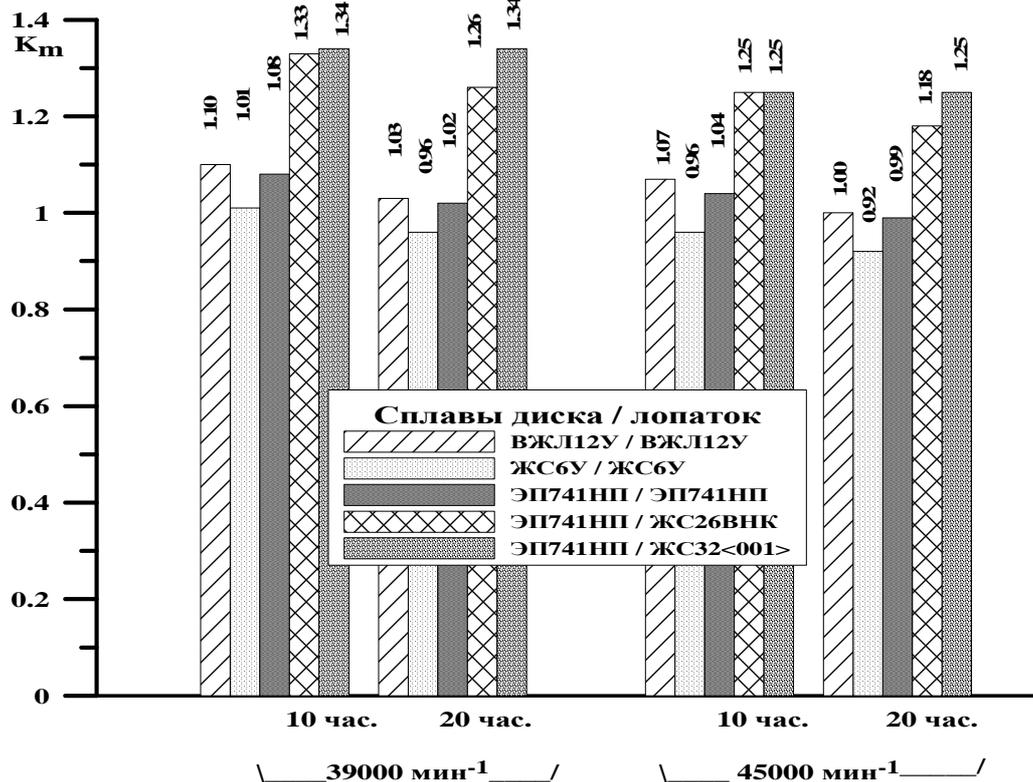


Рис. 9. Сравнительная диаграмма минимальных запасов длительной статической прочности лопаток для рассмотренных вариантов применяемых сплавов

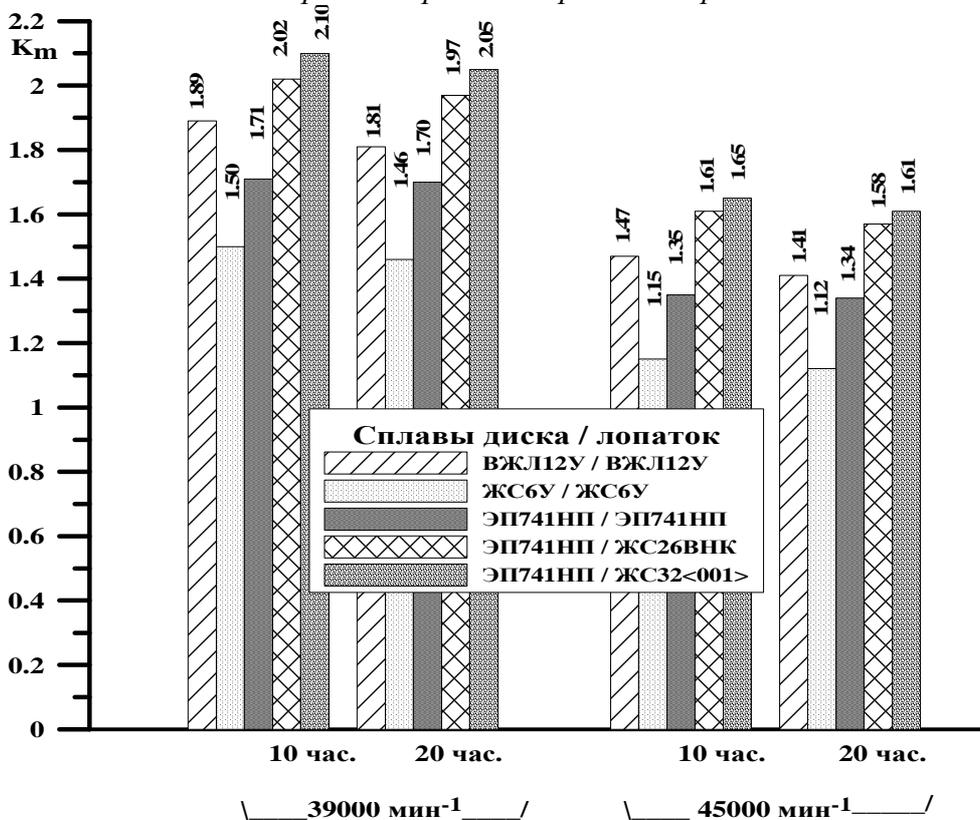


Рис. 10. Сравнительная диаграмма минимальных запасов длительной статической прочности дисковой части колеса для рассмотренных вариантов сплавов

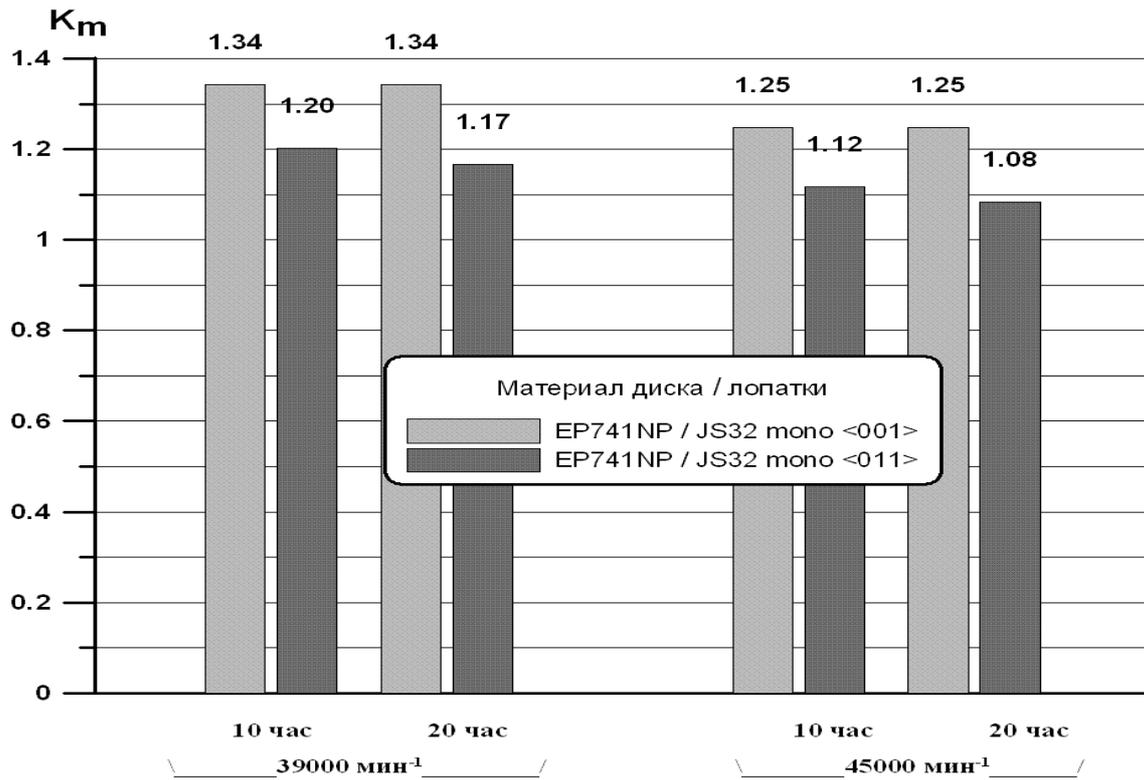


Рис. 11. Сравнительная диаграмма минимальных запасов длительной статической прочности лопаток для рассмотренных вариантов монокристаллического сплава

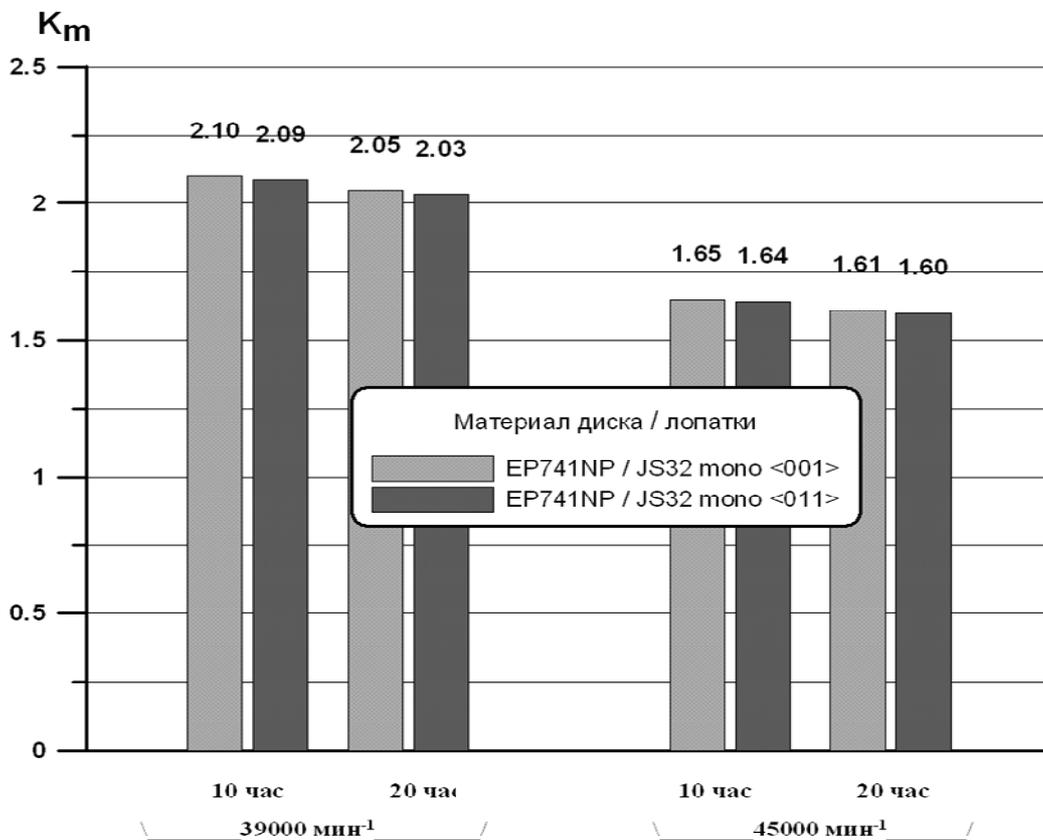


Рис. 12. Сравнительная диаграмма запасов длительной статической прочности дисковой части колеса для рассмотренных вариантов монокристаллического сплава

Худшим оказывается цельнолитое колесо из сплава ЖС6У, которое даёт самые низкие запасы длительной статической прочности.

Проведено исследование влияния кристаллографической ориентации сплава ЖС32 в лопатке. Исследование выполнено на двумерных моделях с помощью программного комплекса ANSYS, который позволяет ввести матрицу податливости или жёсткости монокристаллического материала и решать задачу в упругой постановке. Однако для двумерной модели можно решить задачу только для ориентаций монокристалла  $\langle 001 \rangle$  и  $\langle 011 \rangle$

вдоль радиальной координаты. Поэтому сравнение проведено для этих ориентаций. На рис. 11 – 13 показаны сравнительные диаграммы результатов таких расчётов при тех же условиях режимов. Видно, что ориентация  $\langle 011 \rangle$  даёт заниженные величины длительной статической прочности лопаток, подсчитанных по напряжениям Мизеса, примерно на 10% (рис. 11) и по радиальным напряжениям на 30% (рис. 13). Величины запасов прочности для дисковых частей практически не отличаются для обеих ориентаций (рис. 12).

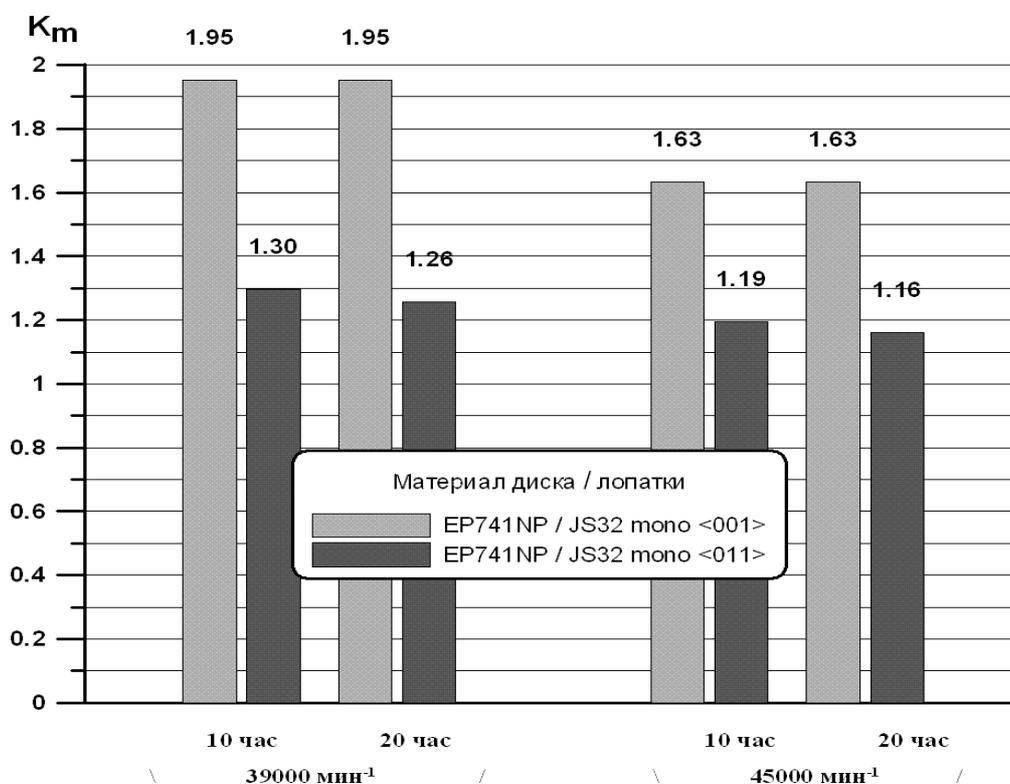


Рис. 13. Сравнительная диаграмма минимальных запасов длительной статической прочности лопаток, подсчитанных по радиальным напряжениям, для рассмотренных вариантов монокристаллического сплава

Исследования показали, что колёса из разнородных сплавов обладают существенными преимуществами. Составные колёса из композиций ЖС26ВНК + ЭП741НП и ЖС32МОНО + ЭП741НП обладают достаточным уровнем запасов длительной статической прочности для требуемых длительностей работы.

Проведённое исследование влияния

кристаллографической ориентации сплава ЖС32 в лопатке составного колеса центростремительной турбины позволило обнаружить, что кристаллографическая ориентация  $\langle 011 \rangle$  сплава вдоль радиальной оси даёт величины длительной статической прочности лопаток примерно на 10% ниже по сравнению с результатами для ориентации монокристалла  $\langle 001 \rangle$ .

Таким образом, применение биметаллических моноколёс может оказаться перспективным для использования их в конструкциях перспективных газовых турбин.

### Библиографический список

1. J.-P. Auger, G. Raisson, M. Pierronet. Design and Manufacture of Engineered Components by HIP. /Hot Isostatic Pressing-Theory and Applications. Proceedings of the Third International Conference. Elsevier Applied Science, 1992.

2. Самаров В. Н. Перспективы применения технологии горячего изостатического прессования к изготовлению “блиск” - колес турбин из комбинаций порошковых и литейных жаропрочных никелевых сплавов: [Текст] / В. Н. Самаров,

Е. П. Кратт, Л. А. Магеррамова, Т. П. Захарова // Науч.-техн. сб. ЦИАМ. Новые технологические процессы и надёжность ГТД. вып. 1. – 2000. – С. 74-99.

3. Magerramova L. A., Kratt E. P., Zakharova T. P., Yacinsky V. V. The structural and technological design feature of bimetallic blisks for high temperature gas turbine aviation engines: 2nd European conference for aerospace sciences (EUCASS). Brussels. 2007.

4. Magerramova L. A., Shorr B. F., Melnikova G. V., Zakharova T. P. Problems of dynamic characteristics and damping of bimetallic gas turbine blisks produced by HIP technology: Proceeding of international conference /HIP’05. Paris. 2005. С. 97.

## DESIGN OF BIMETALLIC IMPELLER FOR GAS TURBINE

© 2011 L. A. Magerramova

Central Institute of Aviation Motors

A bimetallic impeller structure obtained by HIP made out of powder and cast Ni-base super alloys was developed. The strength estimations were carried out by the ANSYS program with the help of 2D models.

*Gas turbine engines, high pressure turbine, bimetallic impeller wheels, hot isostatic pressing, strength, durability.*

### Сведения об авторах

**Магеррамова Любовь Александровна**, к.т.н., с.н.с., начальник сектора. ФГУП «Центральный Институт Авиационного моторостроения им. П.И.Баранова». Область научных интересов: исследования проблем прочности и надёжности рабочих колёс ГТД различного назначения. E-mail: [MAG@CIAM.ru](mailto:MAG@CIAM.ru).

**Magerramova Liubov Alexandrovna**, candidate of technical sciences, senior researcher, head of group, Central Institute of Aviation Motors, [MAG@CIAM.ru](mailto:MAG@CIAM.ru). Area of research: analysis of the problems of strength and reliability of impellers of gas turbine engines used for various purposes.