

ВЛИЯНИЕ КРИВЫХ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ, ПОЛУЧЕННЫХ ДЛЯ ОБРАЗЦОВ С НАДРЕЗАМИ, НА РЕСУРС ЛОПАТОК ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Цирухин Н.А., Романова О.В., Разяпов И.З.

АО «Силловые машины», г. Санкт-Петербург, tsirukhin_na@power-m.ru

Ключевые слова: малоцикловая усталость, образцы с надрезами, лопатки турбины.

Кривые малоцикловой усталости (МЦУ), используемые при определении ресурса для рабочих лопаток (РЛ) газовой турбины, как правило, базируются на испытаниях гладких образцов. Предлагаемая методика позволяет учесть для оценки мест с концентраторами напряжений кривые МЦУ, полученные для образцов с надрезами и, тем самым, снизить консервативность при оценке ресурса, например, перфорационных отверстий охлаждения РЛ турбины.

В статье [1] был представлен относительный градиент напряжений χ^* в локации с максимальными напряжениями (см. рис. 1а).

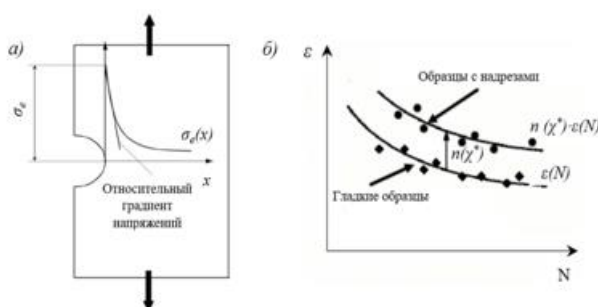


Рисунок 1 – а) распределение упругих напряжений и относительный градиент напряжений в области концентратора образца с надрезом при растяжении;
б) отличие кривых МЦУ для гладких образцов и образцов с надрезами

Относительный градиент напряжений χ^* вычисляется в соответствии с формулой (1):

$$\chi^* = \left[\frac{1}{\sigma_e} \frac{d\sigma_e(x)}{dx} \right]_{x=0}, \quad (1)$$

где σ_e – значение максимальных напряжений в концентраторе, $\sigma_e(x)$ – распределение напряжений по пути от концентратора. Таким образом, полученное значение χ^* является мерой того, как быстро упругие напряжения снижаются при удалении от концентратора.

Кривые МЦУ с надрезами (см. рис. 1б) получают при испытании образцов с шейками или отверстиями, соответствующие разным относительным градиентам напряжений. При сравнении кривых МЦУ, полученных для гладких образцов и образцов с надрезами в случае одинаковой температуры испытаний, может быть вычислен коэффициент пересчёта $n(\chi^*)$.

При разработке новой газовой турбины ГТЭ-65.1 в области перфорационных отверстий рабочих лопаток турбины был получен низкий ресурс по МЦУ на основе данных по гладким образцам (см. рис. 2).

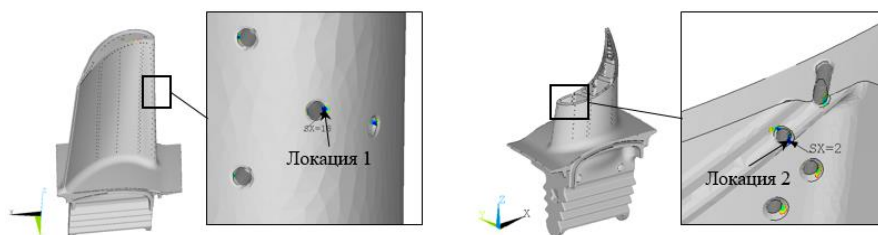


Рисунок 2 – Выбранные локации с низким ресурсом по МЦУ в области перфорационных отверстий РЛ

В статье [2] приводится зависимость коэффициента пересчёта $n(\chi^*)$ от относительного градиента напряжений χ^* , полученная для жаропрочного материала Rene80 (см. рис. 3).

Для выбранных характерных локаций (см. рис. 2) был применён подход по пересчёту кривых МЦУ на образцы с надрезами в соответствии с графиком зависимости на рис. 3.

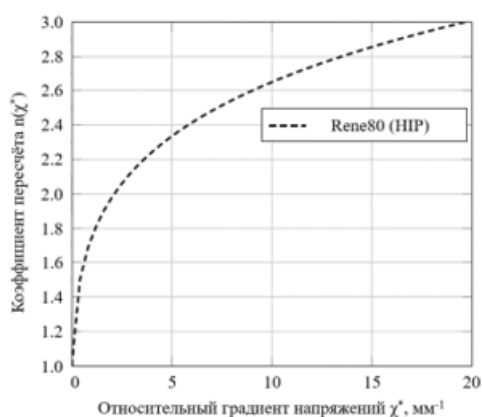


Рисунок 3 – График зависимости коэффициента пересчёта $n(\chi^*)$ от градиента напряжений χ^* для материала Rene80 (HIP)

Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Ресурс по МЦУ для РЛ турбины в случае гладких образцов и образцов с надрезами

Локация	χ^* , мм ⁻¹	$n(\chi^*)$	Ресурс по МЦУ для гладких образцов, циклы	Ресурс по МЦУ для образцов с надрезами, циклы
1	5.37	2.38	360	21276
2	5.96	2.40	40	1262

В соответствии с проведенными исследованиями для верификации результата было принято решение провести испытания образцов с надрезами для материала лопаток в интересующем диапазоне температур.

Список литературы

1. Siebel E, Stieler M. Ungleichformige Spannungsverteilung bei schwingender Beanspruchung. VDI-Z 1955; 97; PP. 121-126.
2. Combined Notch and Size Effect Modeling in a Local Probabilistic Approach for LCF / L. Mäde, S. Schmitz, H. Gottschalk and T. Beck: Computational Materials Science. Vol. 142. 1 February 2018. PP. 377-388.

Сведения об авторах

Цирухин Николай Александрович, начальник группы прочности ротора. Область научных интересов: динамика и прочность газотурбинных двигателей.

Романова Ольга Викторовна, начальник отдела расчётов. Область научных интересов: динамика и прочность газотурбинных двигателей.

Разяпов Ирек Заитович, ведущий инженер-конструктор. Область научных интересов: динамика и прочность газотурбинных двигателей.

NOTCHED SPECIMENTS CORRECTION FOR LOW CYCLE FATIGUE CURVES AT DETERMINING TURBINE BLADES DESIGN LIFE

Tsirukhin N.A., Romanova O.V., Razyapov I.Z.

Power Machines JSC, Saint Petersburg, Russia, tsirukhin_na@power-m.ru

Keywords: low cycle fatigue, notched specimens, turbine blades.

Applied notched support factor for low cycle fatigue (LCF) curves based on smooth specimens in case of nickel-based superalloy. Compared LCF design life of chosen turbine blades cooling air holes for smooth specimens and notched specimens regarding proposed methodology.