

**РОЗПОДІЛ ВІДНОСНИХ НАПРУЖЕНЬ ПРИ
КОЛИВАННЯХ РОБОЧОГО КОЛЕСА ГАЗОТУРБІННОГО
ДВИГУНА З МОНОКРИСТАЛІЧНИМИ
НЕОХОЛОДЖУВАНИМИ ЛОПАТКАМИ**

Марина Чугай

Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України,
chugay.marina@gmail.com

Підвищення ефективності сучасних газотурбінних двигунів (ГТД) пов'язане з ростом максимальної температури газу. Тому, як для першого ступеня газової турбіни, так і для наступних використовуються монокристалічні жароміцні сплави, що володіють високими жароміцними властивостями [1, 2]. Напружено-деформований стан таких лопаток як при статичних навантаженнях, так і, особливо, при коливаннях істотно залежить від кристалографічної орієнтації матеріалу. Вибір кристалографічної орієнтації матеріалу пов'язаний з урахуванням ряду факторів, що залежать від геометрії лопатки, температурних полів, впливу відцентрових сил і форм коливань лопаток.

Метою роботи є розробка методики та аналіз впливу орієнтації кристалографічних осей і типу бандажних зв'язків на спектр власних частот, форм і розподіл відносних напружень в бандажованому робочому колесі газової турбіни з неохолоджуваними монокристалічними лопатками з двома варіантами кристалографічних осей (КГО) уздовж осі z [001] і [111].

Розглядається неохолоджувана лопатка ГТД з монокристалічного нікелевого жароміцного сплаву. Проведено чисельний аналіз впливу полікристалічного та монокристалічного матеріалу лопаток з КГО [001] і [111] на власні частоти, форми коливань та розподіл відносних напружень. Ці два напрямки орієнтації кристалографічних осей більше властиві лопаткам з монокристалічного матеріалу, в тому числі, і неохолоджуваним.

Об'єктом дослідження є бандажоване робоче колесо газової турбіни, що має 80 монокристалічних охолоджуваних лопаток. Вінець лопаток має розрізний бандажний зв'язок із цільнофрезерованих полиць, які мають попередній натяг і можуть здійснювати взаємні переміщення при коливаннях.

Тривимірною скінченно-елементною моделлю робочого колеса побудована на основі моделей лопаток і диска. Вона враховує особливості геометричної <http://www.iapmm.lviv.ua/chyt2016>

Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2016», 25–27 травня 2016 р., Львів

форми всіх елементів об'єкта, властивості матеріалу лопаток і диска, вплив обертання та температурних полів, а також особливості контакту полок. Важливою особливістю побудови цієї моделі є розбиття на сектори (періоди симетрії) не за допомогою радіальних площин, а за допомогою криволінійних поверхонь, що враховують кут установки лопатки та заведення її замку в паз, а також умови взаємного переміщення.

Вплив матеріалу лопаток на власні частоти системи залежить від виду бандажного зв'язку. Перехід від полікристалічного матеріалу до монокристалічного для робочого колеса із суцільним зв'язком призводить до підвищення власних частот.

Для даного робочого колеса найбільші відносні напруження спостерігаються в більшості випадків на вхідній крайці лопаток поблизу кореневого перетину для нижчих форм та периферійної частини лопаток для вищих форм. При орієнтації КГО лопаток [001] форми коливань лопаток стають переважно крутильними, а найбільші відносні напруження спостерігаються як на вхідних, так і вихідних крайках лопаток. При орієнтації [111] форми коливань лопаток ближчі до згинальної.

КГО лопаток [111] забезпечує більш високі власні частоти робочого колеса, порівняно з орієнтацією [001]. Вибір основної КГО матеріалу лопаток слід проводити з урахуванням усіх чинників для конструкції, що розробляється.

1. *Ножницкий Ю. А., Голубовский Е. Р.* Монокристаллические рабочие лопатки высокотемпературных турбин перспективных ГТД // *Авиационно-космическая техника и технология.* – 2006. – № 9 (35). – С. 117–123.
2. *Шалин Р. Е., Светлов И. Л., Качанов Е. Б. и др.* Монокристаллы никелевых жаропрочных сплавов. – М.: Машиностроение, 1997. – 336 с.

THE RELATIVE DISTRIBUTION OF STRESSES IN THE VIBRATIONS OF THE SINGLE-CRYSTAL TURBINE BLADES UNCOOLED

The analysis of influence of orientation of crystallography axes and type of bracer connections is in-process conducted on the spectrum of natural frequencies, forms and distributing of relative tensions. The three-dimensional eventual-element model of rotor wheel, taking into account the geometrical form of object, type of bracer connections and orientation of crystallography axes, is developed. The numerical analysis of influence of poly-crystal and single-crystal material of turbine blades is conducted with the orientation of crystallography axes [001] and [111] on natural frequencies, forms of vibrations and distributing of relative stresses of rotor wheel with continuous and cut bracer connections.