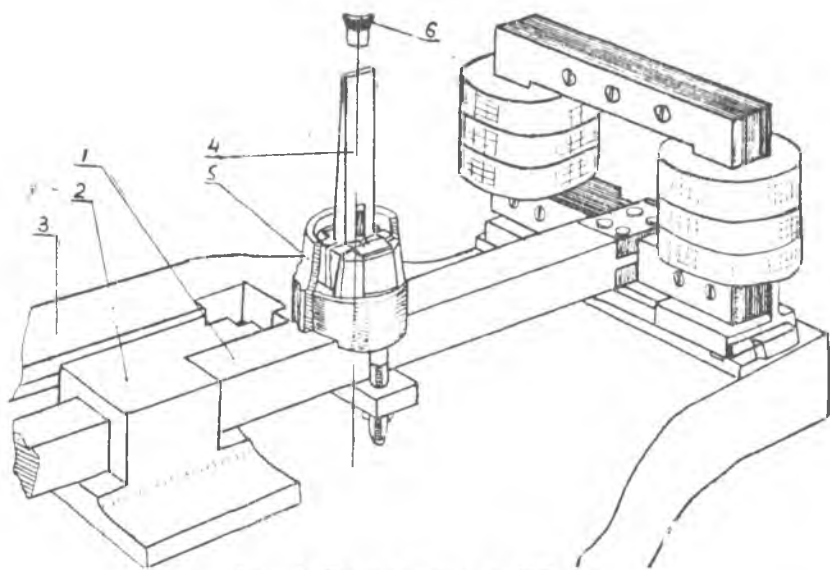


Б. А. ГРЯЗНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК НА ВЫСШИХ ФОРМАХ КОЛЕБАНИИ

Как показали работы, проведенные в отделе прочности Института металлокерамики и специальных сплавов АН УССР [1], при переходе от низших форм поперечных колебаний к высшим декремент затухания уменьшается. Учитывая это обстоятельство и еще то, что возмущающие силы в турбине, вызывающие колебание ее элементов, имеют весьма большую частоту, вполне реальной становится возможность поломок на высших формах колебания. Практика говорит, что такие поломки действительно имеют место.



Фиг. 1. Схема установки УЛ — 1.

В связи с этим в ИМСС АН УССР были предприняты усталостные испытания лопаток. Материал лопаток — сталь ЭИ-437Б.

Лопатки испытывались на установке резонансного типа УЛ-1 (фиг. 1), прообразом которой была аналогичная установка ЦКТИ.

Основной элемент установки — балка 1 (размеры $60 \times 60 \times 1750$), которая одним концом крепится зажимом 2 к массивной фундаментной плите 3, другим концом входит в поляризованную систему электромагнитов 4, питаемую мощным усилителем ТУ-5-3/6. Испытуемая лопатка 5 крепится зажимом 6 к балке 1.



Фиг. 2. Фотография испытанных лопаток.

- а). 240 гц (трещина развилась со стороны задней кромки); б) 240 гц (трещина развилась со стороны спинки); в — 560 гц; г). 1000 гц.

В отделе прочности ИМСС АН УССР разработана специальная электронная аппаратура для поддержания постоянства амплитуды циклического напряжения. Определение напряжения в лопатке во время работы установки производится путем замера микроскопом 7 амплитуды колебания конца лопатки и дальнейшего пересчета по данным предварительной тарировки. Усталостные испытания проводились при нормальной температуре на частотах 240, 560 и 1000 гц, где 240 гц — частота основного тона колебаний; 560 и 1000 гц — частоты обертонов совместных изгибно-крутильных колебаний.

На фиг. 2 приведена одна из фотографий испытанных лопаток с образовавшимися усталостными трещинами.

Была исследована зависимость между размахом колебания конца лопатки и напряжением в лопатке (в месте образования трещины). Как следует из фиг. 3, эта зависимость имеет линейный характер.

Картины напряженного состояния лопатки исследовались двумя способами.

Во-первых, при помощи наклеенных на лопатку проволочных датчиков. На фиг. 4 приведена схема наклейки датчиков на поверхности лопатки.

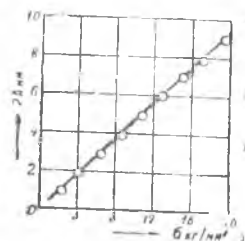
Во-вторых, при помощи лакового покрытия. Раствор канифоли в ацетоне (50% канифоли и 50% ацетона) наносился на поверхность пера лопатки и сушился вначале при 20°C (2—3 часа), а затем в сушильном шкафу при $\sim 130^{\circ}\text{C}$ (1—1,5 часа). На поверхности лопатки получалась бесцветная прозрачная пленка, которая растрескивалась при нагружении лопатки. Трещины имели направление, перпендикулярное направлению действия нормальных напряжений. На фиг. 1 приведена схема лопатки с направлениями трещин лакового слоя (тонкие линии на пере лопатки),

которые образовались при различных частотах испытаний. На этом же рисунке возле обозначенных датчиков приведены величины напряжений, замеренных проволочными датчиками; нанесены также узловые линии для частоты 560 гц. Тарировка производилась на четырех лопатках, причем проволочные датчики наклеивались в местах образования усталостных трещин при различных формах колебаний. Они приклеивались перпендикулярно направлению трещин лакового покрытия. Для проверки использовались два различных усилителя с несущими частотами 12 и 45 кгц.

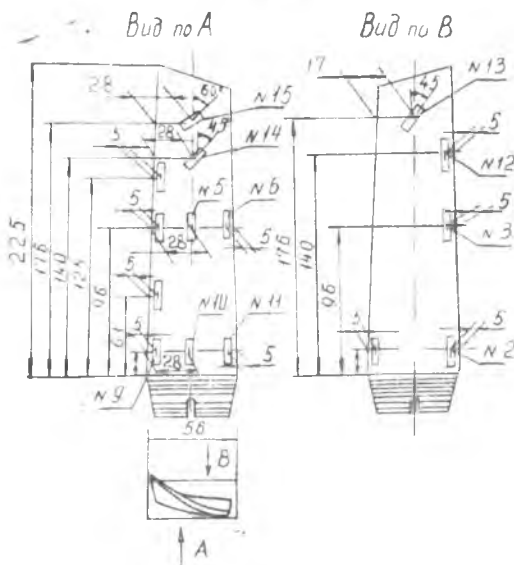
Разброс данных оказался небольшим. Данные тарировок ореднялись и использовались при вычислении напряжений, действующих в лопатках при испытаниях.

Данные усталостных экспериментов приведены на фиг. 6. Как следует из рассмотрения приведенных усталостных кривых, предел выносливости исследованных лопаток оказался примерно одинаковым ($\sim 24 \text{ кг/мм}^2$).

Следует отметить, что переход наклонных частей усталостных кривых в горизонтальные расположен в области 10 млн. циклов, поэтому усталостные эксперименты для испытанных лопаток проводились на базе 100 млн. циклов.



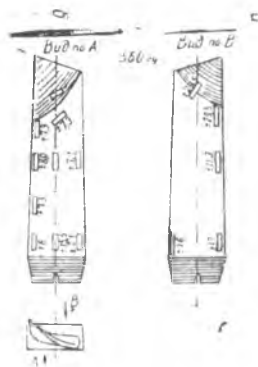
Фиг. 3. Зависимость между размахом колебания конца лопатки и напряжением у трещины.



Фиг. 4. Схема приклейки проволочных датчиков.

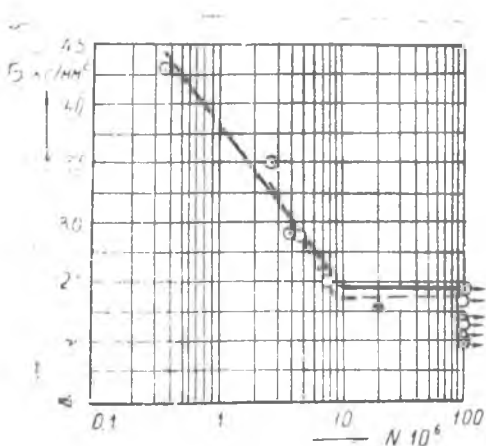
Усталостные трещины на частотах 240 и 560 гц развивались равновероятно как со стороны задней кромки, так и со стороны спинки лопатки.

При испытании на усталость на частоте 240 гц усталостные трещины развивались посередине лопатки; при испытании на частоте 1000 гц усталостные трещины развивались со стороны передней кромки лопатки.



Фиг. 5. Трещины лакового покрытия и величины замеренных напряжений.

- а) 240 гц. б) 560 гц;
в) 1000 гц.



Фиг. 6. Усталостные кривые для различных форм колебания.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Яковлев, Влияние формы колебаний на рассеяние энергии в материале, Труды научно-технического совещания по изучению рассеяния энергии при колебаниях упругих тел, Киев, 1958.