

РЕМОНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ДИСКОВ ТУРБИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ

© 2002 Б. А. Кравченко, М. А. Вишняков

Самарский государственный технический университет

В статье предлагается ремонтная технология восстановления дисков турбин, отработавших свой ресурс. Установлена важная роль термического упрочнения в повышении усталостных характеристик замкового соединения лопатки и диска турбины.

Исследования и практический опыт свидетельствуют о том, что большинство деталей газоперекачивающих агрегатов в процессе эксплуатации подвержены воздействию циклически изменяющихся нагрузок. В связи с этим большая часть повреждений связана с возникновением и развитием усталостных трещин, которые создают в дальнейшем предпосылки для хрупкого разрушения [1, 2, 3]. Известно, что для наибольшего использования прочности материала необходимо создать такое его состояние, которое обеспечивало бы максимальную задержку дислокаций и минимальный их выход на поверхность [4, 5]. При деформировании способы задержки дислокаций можно разделить на две группы:

- создание внешних дислокационных барьеров (упрочненные поверхностные слои, окисные пленки, покрытия и др.);

- создание внутренних дислокационных барьеров (границы зерен, двойники, границы раздела фаз и др.).

Диски турбины газоперекачивающих агрегатов являются одними из наиболее нагруженных деталей. Соединение рабочих лопаток с диском «елочного» паза - весьма напряженное и ответственное место в конструкции газовой турбины. Соединение передает на диск все нагрузки, действующие на лопатку. Наиболее существенными среди них являются центробежные и газодинамические силы, которые вызывают напряжения смятия, среза и изгиба. Практика длительной эксплуатации газотурбинных установок типа ГТК-10 показала, что наиболее слабым элементом «елочного» паза является его верхняя

впадина. Трещина, как результат потери прочности материала, появляется всегда на торце «елочного» паза со стороны входа газового потока и распространяется вдоль впадины.

На практике не всегда имеется возможность замены дефектного диска на новый. Поэтому одной из основных причин, вызывающих необходимость создания ремонтной технологии, является экономическая. Соответствующие расчеты показывают, что стоимость затрат на ремонт диска значительно меньше стоимости нового диска. В этой связи создание ремонтной технологии является важной технико-экономической задачей.

Технология ремонта пазов диска турбины представляет собой совокупность операций, предназначенных устранить механическим путем имеющиеся после 60-80 тыс. часов работы усталостные трещины в верхней впадине выступа, а также восстановить усталостную прочность всего диска.

В настоящее время в производстве делается попытка ликвидации трещины с помощью ее заварки. Такая технология ремонта имеет два серьезных недостатка: сварка, во-первых, создает в области нагрева поле достаточно больших по величине остаточных напряжений растяжения, удалить которые полностью практически невозможно, а, во-вторых, в процессе нагрева происходят негативные структурные и фазовые превращения, уменьшающие механические характеристики материала диска. Указанные явления отрицательно сказываются на долговечности работы всего ремонтного диска.

С целью устранения этих недостатков на заключительной стадии ремонтной техно-

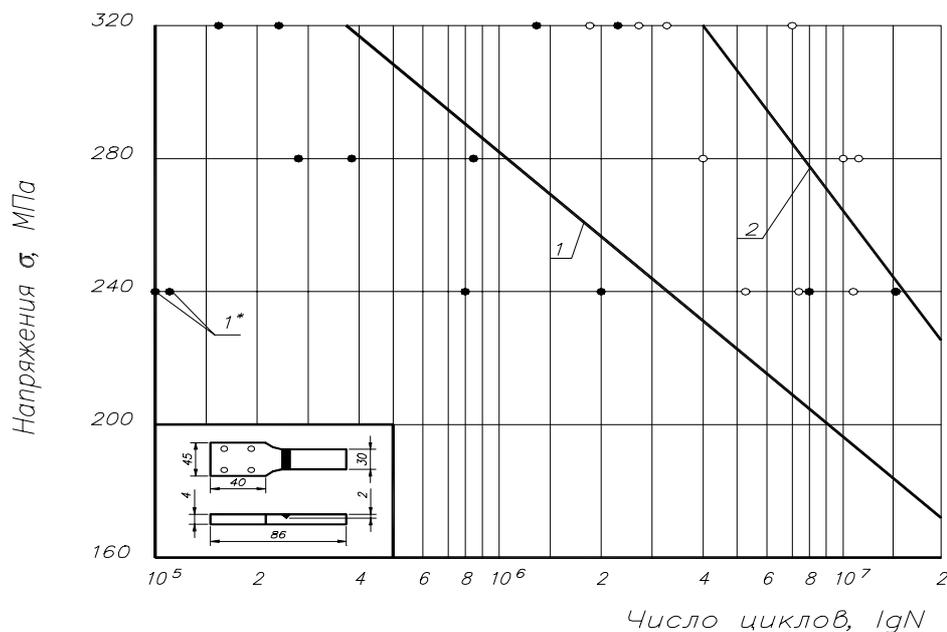


Рис. 1. Усталостная прочность плоских образцов, обработанных по вариантам 1, 1* и 2

логии необходимо предусмотреть применение одного из технологических методов упрочняющей обработки, а именно, термопластического упрочнения (ТПУ). Использование данного метода позволит подавить наведенные при сварке негативные растягивающие напряжения, восстановить первоначальную равновесную структуру материала и создать новое напряженно-деформированное состояние, благоприятное с точки зрения работоспособности диска.

В результате термопластического упрочнения, когда в поверхностном слое детали сформируются остаточные напряжения сжатия, создастся силовая ситуация, при которой затруднится свободный выход дислокаций на поверхность. При этом, чем больше глубина пластической деформации, тем на большем расстоянии от поверхности начнут они тормозиться, и, следовательно, возрастет время до появления и распространения возможной усталостной трещины.

С целью выявления причин разрушения, а следовательно, условий проведения испытаний образцов были проведены исследования фрагмента замковой части диска. Анализ проводился по участку раскрытой трещины длиной 8 мм, прилегающему к тор-

цовой поверхности элемента. Установлено, что поверхность излома сглаженная, без следов пластической деформации. Фронт распространения трещины имеет эллиптическую форму, что характерно для усталостного разрушения. Очаг разрушения расположен во впадине первого зуба замковой части диска вблизи входного торца. Микроисследования, проведенные на микроскопе «Neophot 22», показали, что разрушение распространяется по телу первичного аустенитного зерна, что также подтверждает усталостный характер разрушения.

В этой связи для определения эффективности применения процесса термопластического упрочнения с целью предотвращения и устранения названного выше дефекта были проведены усталостные испытания на двух партиях образцов, специально обработанных по следующим вариантам:

- 1 - отжиг (после механической обработки) + испытание для получения усталостной трещины (трещина) + заварка трещины (заварка) + отжиг;
- 2 - отжиг + трещина + заварка + отжиг + ТПУ.

Нагрев при отжиге осуществлялся до температуры 700°C , выдержке при указанной температуре в течение 4 часов и охлаж-

дении с печью. Образцы после отжига были подвергнуты усталостным нагрузкам для получения соответствующих трещин. Продолжительность воздействия нагрузок выбиралась из условия получения трещины по глубине, равной половине толщины образца. После этого место образования трещины разделялось таким образом, чтобы полностью устранить ее следы. Затем производилась заварка полученной впадины с последующей слесарной зачисткой выступающих частей сварного шва (рис. 1). Для снятия сварочных остаточных напряжений образцы обеих партий после сварки подвергались отжигу. Вторая партия образцов была термоупрочнена на режиме: $700^{\circ}C$, $P = 480 - 500 \text{ кПа}$, $\tau = 13 \text{ мин}$. Учитывая, что нагрев и охлаждение при термопластическом упрочнении осуществляются со стороны входного торца выступа паза, важным обстоятельством является равномерный прогрев паза диска на необходимую глубину при соответствующей эффективности охлаждения. Для соблюдения этого условия были определены и обеспечены соответствующие расстояния от торцов горелки и спрейера до детали. С целью воспроизведения реальных условий термоупрочнения пазов диска турбины была выбрана схема ТПУ, обеспечивающая одностороннее охлаждение при упрочнении усталостных образцов.

Испытания проходили при колебании образца по основному тону при частоте $f = 900 - 1000 \text{ Гц}$. На рис. 1 показаны изменения предела ограниченной выносливости образцов, обработанных по первому и второму вариантам. Из графиков видно, что выносливость образцов, подвергнутых термоупрочнению после сварки, составляет $\sigma_{-1,2,10^7} = 226 \text{ МПа}$, что на 29,4% больше, чем у неупрочненных образцов ($\sigma_{-1,2,10^7} = 174 \text{ МПа}$). Основной причиной этого увеличения выносливости можно считать наведение остаточных напряжений сжатия, которые не только устраняют растягивающие остаточные напряжения, образовавшиеся после сварки, но и создают соответствующее поле благоприятных напряжений.

В состав ремонтной технологии среди прочих входят следующие операции:

- удаление механическим путем той части выступа, в котором имеется трещина;
- заварка выбранной части выступа;
- слесарная доработка паза.

С целью выявления влияния тщательности удаления на выступе паза трещины, появившейся в процессе эксплуатации, среди образцов первой партии (отжиг + трещина + заварка) были изготовлены такие, в которых оставались следы указанной трещины (вариант 1*). Усталостные испытания позволили выявить следующую закономерность. Образцы, в которых заваренная эксплуатационная трещина не была до конца выбрана механическим путем, показали значительно более низкую долговечность по сравнению с теми образцами, где следов такой трещины не осталось. Таким образом, процесс заварки выбранной в результате механической обработки части выступа паза играет также существенную роль в восстановлении целостности выступа и продлении работоспособности диска в целом.

Таким образом, рекомендуемая технология ремонта пазов и восстановления работоспособности диска турбины состоит в следующем:

- удаление части выступа с трещиной (выборка металла),
- заварка выборки металла,
- слесарная доработка паза с целью восстановления замкового соединения диска и лопатки соответствующей ступени,
- местный отжиг заваренной части выступа с целью снятия сварочных напряжений,
- термопластическое упрочнение паза диска.

Список литературы

1. Биргер И. А. Стержни, пластинки, оболочки. М.: Физматлит, 1992. 392 с.
2. Кузнецов Н. Д., Цейтлин В. И. Эквивалентные испытания газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1976. 216 с.
3. Термопрочность деталей машин / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, И. В. Демьянушко и др.; Под ред. И. А. Биргера и Б. Ф. Шорра. М.: Машиностроение, 1975. 455 с.

4. Иванова В. С. Прочность металлов при циклических нагрузках. М.: Наука, 1967. 247 с.
- риалов и деталей газотурбинных двигателей /И. А. Биргер, Б. Ф. Балашов, Р. А. Дульнев и др.; Под ред. И. А. Биргера и Б. Ф. Балашова. М.: Машиностроение, 1981. 222 с.
5. Конструкционная прочность мате-

FATIGUE STRENGTH RECONDITIONING TECHNOLOGY FOR TURBINE DISKS BY HEAT-PLASTIC TREATMENT HARDENING

© 2002 B. A. Kravchenko, M. A. Vishniakov

Samara State Technical University

A reconditioning technology for turbine disks with a depleted service life is considered in the article. The important role of heat-treatment hardening is defined in improving the fatigue characteristics of a blade footing and turbine disk.