

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ ДИСКОВ

© 2011 О. В. Никишов, В. Г. Круцило

Самарский государственный технический университет

Разработана новая автоматизированная установка для термопластического упрочнения газотурбинных дисков.

Долговечность, турбинные диски, усталостная трещина, термопластическое упрочнение, автоматизированная установка, испытания на усталость.

Значительная часть парка газоперекачивающих агрегатов (ГПА) имеет значительную наработку и эксплуатируется в режиме полной нагрузки. На сегодняшний день достаточно остро стоит задача повышения долговечности и усталостной прочности пазов турбинных дисков как одного из важнейших рабочих органов газотурбинного комплекса (ГТК).

Набор данных статистики свидетельствует о том, что наиболее массовым дефектом дисков турбины газоперекачивающих установок является усталостная трещина на верхней впадине выступа зуба. Наиболее интенсивный рост трещин начинается через 50...60 тыс. часов эксплуатации. На практике более 90% всех поломок высоконагруженных и ответственных деталей ГТД носят усталостный характер [1,4].

Для увеличения долговечности и работоспособности деталей, работающих в условиях повышенных температур и знакопеременных нагрузок, широкое применение нашел метод термопластического упрочнения (ТПУ).

Данный метод позволяет наводить благоприятные с точки зрения усталостной прочности остаточные напряжения сжатия. Отличительной особенностью метода ТПУ является минимальная величина остаточных деформаций (0,5...1%) и связанная с этим энергетическая стабильность термоупрочненного поверхностного слоя. Данное напряженно-деформированное состояние обеспечивает малую релаксацию наведенных сжимающих напряжений и, следовательно, более длительное, чем при методах, основанных на поверхностно-пластическом де-

формировании (ППД), положительное воздействие их на сохранение высокого уровня усталостной долговечности в процессе эксплуатации детали.

Этот метод защищен патентами 2143011 от 20.12.99 (РФ), №2171857 от 13.11.2000, №2170272 от 26.02.2000 и наиболее приемлем для деталей типа турбинных дисков [2]. Он заключается в прогреве детали до определенной температуры (температуры начала термопластических деформаций, но ниже температуры фазо-структурных превращений) и ускоренном (водяным душем) её охлаждении. Образующийся в результате этого температурный перепад в тонком поверхностном слое обеспечивает создание термопластических напряжений, превышающих по величине предел текучести упрочняемого материала. После окончательного охлаждения всей детали в ее поверхностном слое формируются сжимающие остаточные напряжения.

В настоящее время в процессе эксплуатации дисков после 60...80 тыс. часов на торце некоторых «ёлочных» пазов со стороны входа газового потока появляются микротрещины. Дальнейшая эксплуатация таких дисков приводит к быстрому разрастанию этих трещин вдоль верхней выкружки выступа диска. Поэтому целесообразно провести упрочняющую обработку ТПУ всех турбинных дисков, находящихся в эксплуатации 35...40 тыс. часов. Это даст возможность отдалить момент появления микротрещин и увеличить срок службы ГПА на 30...50%.

Метод ТПУ лег в основу создания установок термопластического упрочнения

дисков турбин газоперекачивающего агрегата ГТК-10-4.

Одной из первых была сконструирована и изготовлена опытно-промышленная установка для термопластического упрочнения элементов крупногабаритных деталей газотурбинных двигателей [3,5]. Основными элементами установки являются: газовая горелка и спрейер; мобильный комплекс с ресивером для воздуха и аккумулятор с водой; набор контрольно-регулирующей аппаратуры, а также система газовоздушных и водяных трубопроводов. Нагрев детали осуществляется газовой горелкой, затем осуществлялось ускоренное охлаждение нагретого выступа из спрейера. В поверхностном слое формировались сжимающие остаточные напряжения. Данная установка была внедрена в производство, но получила ограниченное распространение в связи с выявленными недостатками (нестабильность процесса нагрева, сложность в настройке и управлении, повышенные требования безопасности, вредные производственные факторы; невозможность автоматизации работы установки).

С целью устранения недостатков установки с газовым нагревом была спроектирована и совместно с ООО «Самаратрансгаз» изготовлена автоматизированная установка для термопластического упрочнения пазов турбинных дисков с использованием электронагрева. На рис. 1,2 представлен общий вид установки.

Установка имеет две основные системы: систему нагрева и систему спрейерного охлаждения. Контролируемыми параметрами являются: давление воды, температура нагрева упрочняемой детали, время охлаждения, температура охлаждающей жидкости.

Работа установки осуществляется в следующем порядке.

Производится настройка приборов и устройств. Осуществляется проверка работы установки в ручном режиме управления. Далее производится термопластическое упрочнение. В гидробаке 4 в автоматическом режиме поддерживается необходимый уровень воды. Гидравлический аккумулятор 2 системы спрейерного охлаждения наполняется

водой с помощью вертикального многоступенчатого насоса 14, создается давление 8 атм. Нагрев диска и последующее охлаждение осуществляется методически. В печи 3 одновременно находятся 9 упрочняемых зубьев диска. Интервал нагрева завершается командой на поворот диска, при разрешающем сигнале от пирометра 21 (температура нагрева диска $650 \pm 20^\circ\text{C}$). По 9 зубьев одновременно выходят в положение для охлаждения. Время поворота определяется экспериментально и составляет примерно 5 секунд. По сигналу от бесконтактного датчика 19 осуществляется торможение двигателя 20 и фиксация ротора в заданном положении с помощью специального тормоза. От попадания воды и пара печь защищена механической заслонкой 22. После фиксации ротора в заданном положении происходит команда на включение охлаждения нагретого сектора. При этом открывается электромагнитный затвор 11 и вода под давлением из гидроаккумулятора 2 поступает в спрейер 1. Происходит охлаждение. Эта процедура занимает 3..5 секунд. На этом цикл «нагрев-поворот-охлаждение» завершен. Далее осуществляется поворот ротора в обратную сторону для возврата в зону нагрева неупрочненных зубьев и цикл работы «нагрев-поворот-охлаждение» повторяется. Полная автоматизация работы установки и всех сервисных устройств обеспечивается применением системы микропроцессорного управления.

Преимущества данной установки:

- надежность, безопасность и простота конструкции;
- дешевизна процесса упрочнения;
- автоматизация работы установки с использованием микропроцессорного управления (ПК);
- контроль над ведением процесса упрочнения и документирование полученных результатов.

Данная установка прошла межведомственные испытания, успешно внедрена в производство, выдвинута на премию ГАЗПРОМ.

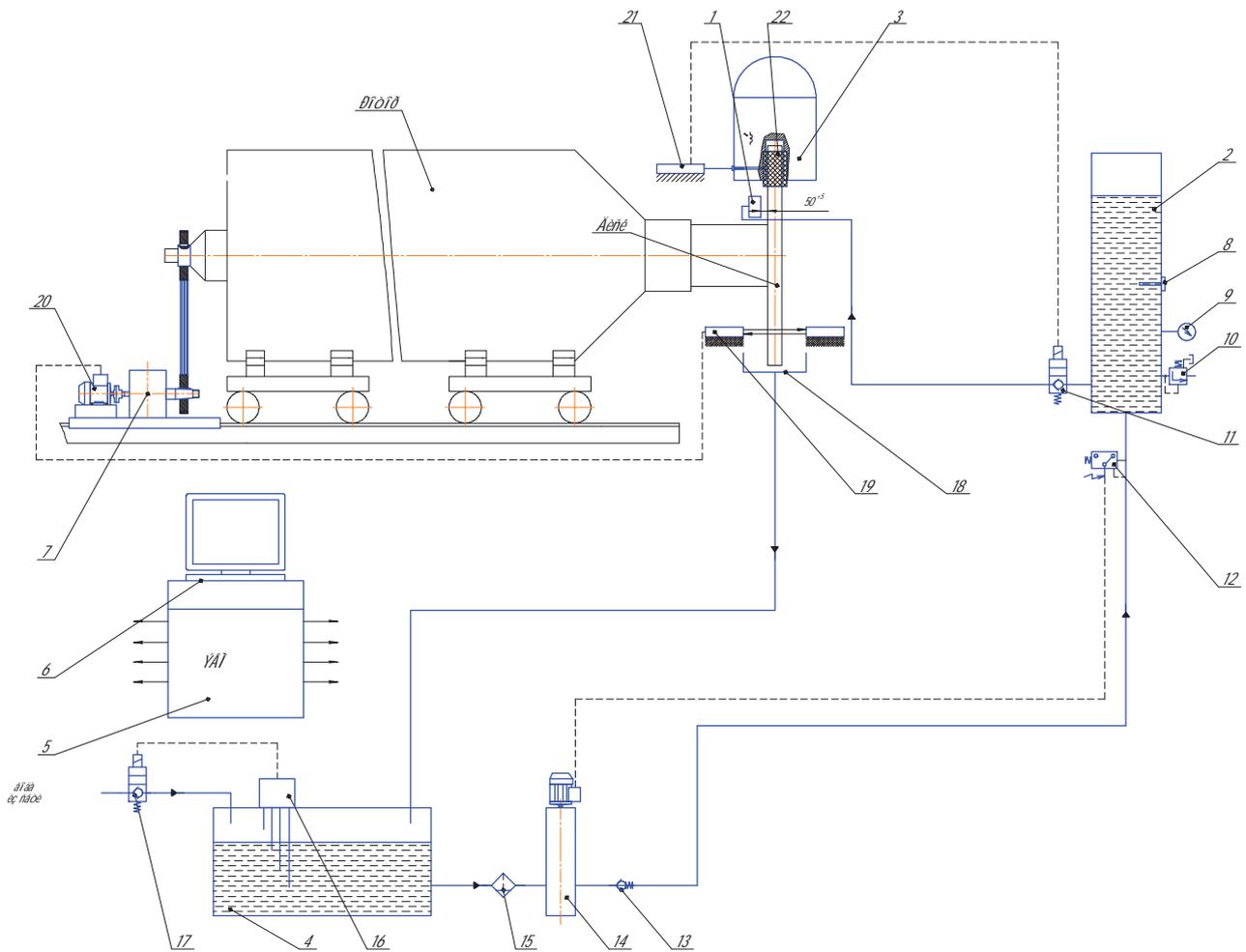


Рис. 1. Функциональная схема установки:

1-спрейер; 2-гидроаккумулятор; 3-печь; 4-емкость гидравлическая; 5-шкаф управления; 6-компьютер; 7-редуктор; 8- датчик температуры воды; 9-манометр; 10-клапан избыточного давления; 11, 17-клапан соленоидный; 12-датчик давления; 13-клапан обратный; 14-насосный агрегат; 15-фильтр сетчатый; 16 – сигнализатор уровня жидкости; 18-кожух; 19-датчик бесконтактный; 20-электродвигатель; 21-пирометр; 22-заслонка

В серийной технологии газотурбинные диски не подвергаются никакому упрочнению. Известно, что такого класса детали, подвергнутые упрочнению методами поверхностно-пластического деформирования (например лопатки из жаропрочных материалов), дают некоторый прирост усталостной прочности и, соответственно, долговечности. Однако результаты, полученные при термопластическом упрочнении лопаток, показали, что прирост усталостной прочности гораздо выше и составляет 15..20%. По-

этому был выбран способ упрочнения, который более эффективен для жаропрочных материалов.

На рис. 3 представлены результаты усталостных испытаний 1-го и 2-го вариантов образцов. Они показывают, что предел выносливости плоских образцов на базе $N=2 \cdot 10^7$ циклов, изготовленных из диска 1 ступени турбины ГТК-10-4, после отжига составил $\sigma_{-1}=230$ МПа.



Рис. 2. Установка ТПУ-Э

Для образцов, термоупрочненных на оптимальном режиме, данная характеристика составляет $\sigma_{-1}=273$ МПа, что на 19% больше, чем у неупрочненных образцов. Необходимо отметить, что с увеличением базы испытания относительный прирост предела

выносливости растет, то есть наблюдается эффект «самоупрочнения». Кроме того, малая степень релаксации остаточных напряжений, созданных при ТПУ, также способствует большому времени до момента зарождения усталостной микротрещины.

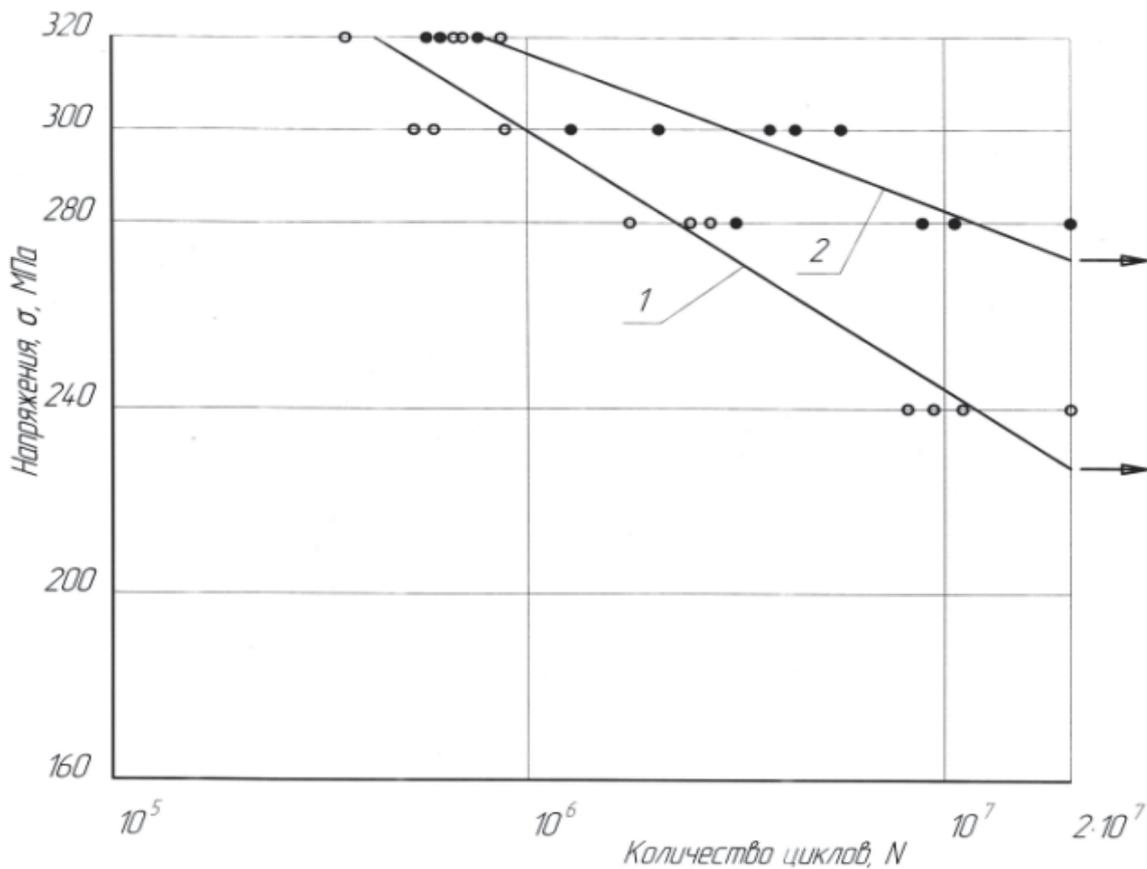


Рис. 3. Усталостная прочность плоских образцов, обработанных по вариантам: 1—отжиг (исходный); 2—отжиг+ТПУ ($T=650+20^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{охл}}=480-500$ кПа, $\theta=13$ мин)

Усталостные испытания проведены в соответствии со стандартной методикой СНИЦ АПИД с доверительной вероятностью 0,95.

За время эксплуатации установок ТПУ дисков ООО «Газпром трансгаз Самара» совместно с ДОО «Центрэнергогаз» филиал «Самарский» была выполнена обработка по технологии ТПУ 22 дисков ТВД ГТК-10-4. Эффективность обработки методом ТПУ подтверждается представленной наработкой и отсутствием рекламаций от эксплуатации.

В дальнейшем предполагается создание новой установки для ТПУ дисков с использованием индукционного нагрева, что позволит резко увеличить производительность труда без потерь качества ТПУ.

Библиографический список

1. Разработка, проектирование и внедрение в производство установки для ТПУ пазов дисков турбины ГТК-10-4 [Текст]: отчёт о научно-исследовательской работе / Б.А. Кравченко, В.Г. Круцило, М.А. Вишняков [и др.] — Самара: СамГТУ, ИСАП, 2002.—290с.

2. Пат. РФ, МПК. Установка для термопластического упрочнения лопаток [Текст] / Кравченко Б.А., Россеев Н.И., Круцило В.Г. [и др.]; №2170272; 10.07.2001.

3. Пат. РФ, МПК. Установка для термопластического упрочнения крупногабаритных изделий [Текст] / Кравченко Б.А., Степаненко О.А., Медведев С.Д. [и др.]; №2219250; 06.05.2003.

4. Кравченко, Б.А., Термопластическое упрочнение — резерв повышения прочности и надежности деталей машин [Текст]: монография / Б.А. Кравченко, В.Г. Круцило, Г.Н. Гутман. — Самара: СамГТУ, 2000. — 216 с.

5. Вишняков, М.А. Повышение эксплуатационных характеристик тяжело нагруженных деталей ГТД [Текст] М.А. Вишняков // Дис. ... д-ра техн. наук — Самара: Сам. гос. техн. ун-т, - 2005. — 380 с.

6. Кузнецов, Н.Д. Эквивалентные испытания газотурбинных двигателей [Текст] / Н.Д. Кузнецов, В.И. Цейтлин. — М.: Машиностроение, 1976. — 216 с.

INCREASE DURABILITY OF GAS TURBINE DISKS

© 2011 O. V. Nikishov, V. G. Krutsilo

Samara State Technical University

The new automated installation for thermoplastic hardening was developed.

Durability, turbine disks, fatigue crack, thermoplastic hardening, automated installation, a fatigue test.

Информация об авторах

Никишов Олег Викторович, старший преподаватель кафедры «Инструментальные системы и сервис автомобилей» Самарского государственного технического университета. Тел.: (846) 333-34-53. E-mail: rusdemon@mail.ru. Область научных интересов: технология упрочнения деталей газотурбинных двигателей.

Круцило Виталий Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальные системы и сервис автомобилей» Самарского государственного технического университета. Тел.: (846)333-34-53. E-mail: isap@samgtu.ru. Область научных интересов: технология машиностроения.

Nikishov Oleg Viktorovich, a senior lecturer in "instrumentation systems and service vehicles" of Samara State Technical University. Phone: (846) 333-34-53. E-mail: rusdemon@mail.ru. Area of Research: the technology of hardening of parts of gas turbine engines.

Krutsilo Vitaliy Grigorievich, Candidate of Technical Sciences, Docent department of instrumental systems and service vehicles of Samara State Technical University. Phone: (846) 333-34-53. E-mail: isap@samgtu.ru. Area of Research: engineering technology.