

Никишов О.В., Круцило В.Г.

Самарский государственный технический университет

THERMOPLASTIC HARDENING OF LARGE PARTS*Nikishov O.V., Krutsilo V.G. The new automated installation for thermoplastic hardening was developed.*

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].

Для увеличения долговечности и работоспособности деталей, работающих в условиях повышенных температур и знакопеременных нагрузок, широкое применение нашел метод термопластического упрочнения (ТПУ) [2]. 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 термоупрочнённого поверхностного слоя. Данное напряжённо-деформированное состояние обеспечивает малую релаксацию наведённых сжимающих напряжений, и, следовательно, более длительное, чем при методах, основанных на поверхностно-пластическом деформировании (ППД), положительное воздействие их на сохранение высокого уровня усталостной долговечности в процессе эксплуатации детали.

В серийной технологии газотурбинные диски не подвергаются никакому упрочнению. Известно, что такого класса детали, подвергнутые термопластическому упрочнению (например лопатки из жаропрочных материалов), дают прирост усталостной прочности до 15..20%. 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.

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]. Нагрев детали осуществлялся 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, низкая производительность).

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.

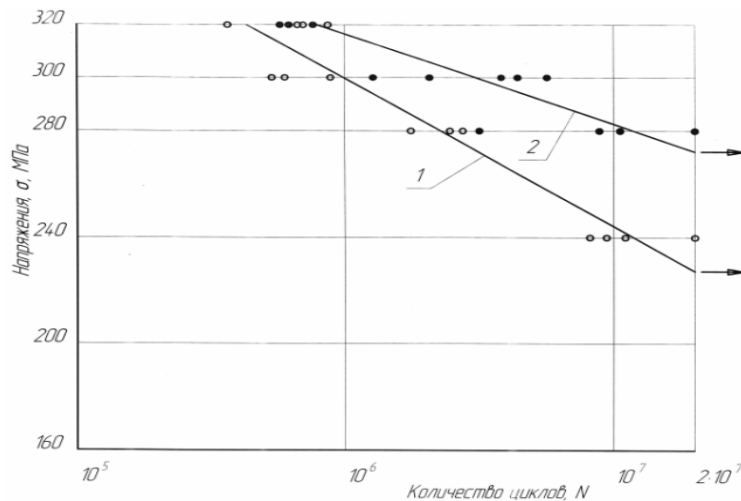


Рис.1. Усталостная прочность плоских образцов, обработанных по вариантам: 1—отжиг (исходный); 2—отжиг+ТПУ ($T=650+20^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{охл}}=480-500$ кПа, $J=13$ мин.)

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, уровень жидкости. Система нагрева выполнена в виде печи сопротивления и пирометра, контролирующего температуру нагрева диска. Нагрев диска в печи завершается командой от пирометра. Происходит поворот диска в положение для охлаждения. Система спрейерного охлаждения выполнена в виде спрейера, гидроаккумулятора, вертикального многоступенчатого насосного агрегата и ёмкости гидравлической (для слива жидкости), связанных системой трубопроводов, запорной арматуры и контролирующих датчиков уровня и температуры воды.

Преимущества данной установки - надёжность, безопасность и простота конструкции; дешевизна процесса упрочнения; полная автоматизация работы установки и всех сервисных устройств обеспечивается применением системы микропроцессорного управления (ПК); контроль над ведением процесса упрочнения и документирование полученных результатов.

Данная установка прошла межведомственные испытания успешно внедрена в производство, выдвинута на премию ГАЗ-ПРОМ.

В соответствии со стандартной методикой СНИЦ АПИД с доверительной вероятностью 0,95 проведены усталостные испытания 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. Для образцов, термоупрочнённых на оптимальном режиме, данная характеристика составляет $\sigma_{-1} = 273$ МПа, что на 19% больше, чем у неупрочнённых.

Библиографический список

1. Разработка, проектирование и внедрение в производство установки для ТПУ пазов дисков турбины ГТК-10-4: Отчёт о научно-исследовательской работе / Б.А. Кравченко, В.Г. Круцило, М.А. Вишняков, А.Н. Скачков, О.В. Никишов, Н.Б. Кротинов, В.П. Туманов. – Самара: СамГТУ, ИСАП, 2002.- 290с.
2. Пат. 2170272 РФ. Установка для термопластического упрочнения лопаток / Б.А. Кравченко, Н.И. Россеев, В.Г. Круцило [и др.] 10.07.2001.
3. Пат. 2219250 РФ. Установка для термопластического упрочнения крупногабаритных изделий / Б.А. Кравченко, О.А. Степаненко, С.Д. Медведев [и др.] 06.05.2003.