

недостатки. Сущность способа заключается в следующем: на имеющихся стандартных установках для упрочнения вместо инденторов одного размера используется смесь из микрошариков и шариков. Конкретные размеры составляющих и другие технологические факторы зависят от обрабатываемых материалов. На рисунке 3 показана эпюра остаточных напряжений после упрочнения смесью шариков и микрошариков. Из рисунка видно, что на поверхности существуют более высокие остаточные напряжения, чем при упрочнении шариками, большая мощность и глубина залегания остаточных напряжений (Рис.3).

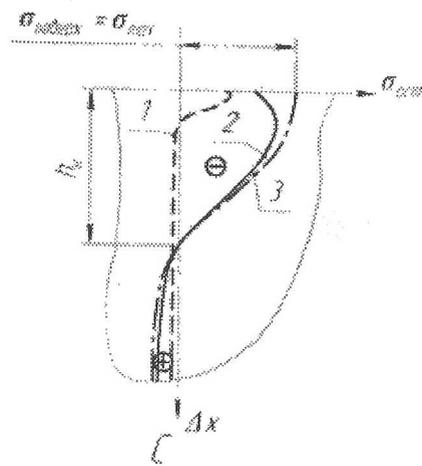


Рисунок 3

С целью усиления эффекта упрочнения камеры для упрочнения деталей могут быть оборудованы подогревом и устройством для вакуумирования. Нагрев деталей до температур, при которых не происходит структурно-фазовых превращений позволяет повысить пластические свойства обрабатываемых деталей. Вакуумирование необходимо в тех случаях, когда нагрев детали может сопровождать окислением поверхности, например, при упрочнении титановых сплавов.

УДК 621.892

## ПРОБЛЕМЫ УПРОЧНЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ГТД

© 2012 В.Г. Круцило, О.В. Никишов

Самарский государственный технический университет, Самара

### PROBLEMS OF HARDENING OF LARGE PARTS OF GTE

© 2012 V.G. Krutsilo, O.V. Nikishov SamGTU, Samara

This article is about the features of thermoplastic hardening of large parts GTE Durability, turbine disks, fatigue crack, thermoplastic hardening, automated installation, a fatigue test

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

Детали газотурбинных двигателей (ГТД), такие например, как, лопатки, диски, дефлекторы и др., работают в условиях повышенных температурных и силовых знакопеременных нагрузок. Это предъявляет высокие требования к качеству

проектирования и изготовления. В настоящее время практически исчерпаны возможности повышения качественных показателей деталей ГТД методами конструкторского

совершенствования их геометрии, совершенствованием процесса производства, получен максимальный эффект от использования современных материалов и покрытий.

На сегодняшний день достаточно остро стоит задача повышения эксплуатационных требований к деталям ГТД, повышения их долговечности и усталостной прочности.

Для увеличения прочностных характеристик поверхностных слоев деталей ГТД существует большое многообразие упрочняющих технологий. В частности, широкое распространение получили методы поверхностного пластического упрочнения, обработки лазером и др., дающие гарантированное повышение качества.

В число положительно зарекомендовавших себя методов при производстве и восстановительном ремонте крупногабаритных деталей входит и термопластическое упрочнение (ТПУ).

Данный метод позволяет наводить в поверхностном слое деталей 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.

Независимо от метода, как правило, возникает технологическая проблема при упрочнении крупногабаритных деталей. Особенно в том случае, когда при восстановительном ремонте, исходя из технологических и экономических соображений, желательно исключить процесс разборки. При этом практически невозможно создать установку, в которой можно было бы поместить деталь или узел

целиком и при этом обеспечить необходимый равномерный уровень параметров упрочнения по всему объёму. Например, во время ремонта желательно было бы упрочнять диск ГТД в сборе с валом, а такой узел длиной около 6 метров и массой около 6 тонн.

Выход из этой ситуации обычно находят в использовании локального упрочнения. При локальном упрочнении детали происходит воздействие на её ограниченную часть, в которой есть участки гарантированного повышения уровня качества и переходные участки (между упрочненной и неупрочненной зоной). При локальном упрочнении следующий упрочняемый участок включает в себя переходную зону, т.е. происходит её повторное упрочнение. В результате процесс упрочнения является более сложным для достижения требуемого уровня качества по всему объёму детали. Эти проблемы требуют как теоретической проработки, так и практической реализации.

Теоретическая составляющая заключается в том, что необходимо рассмотреть и учесть влияние технологических факторов повторного процесса упрочнения в переходной зоне на параметры качества поверхностного слоя, в частности на остаточные напряжения сжатия и деформационное упрочнение.

Практическая проблема заключается в создании установок с минимумом возникновения переходных зон упрочнения, автоматизированных установок с четким контролем технологических параметров процесса упрочнения, компактных, возможно накладных установок, обеспечивающих такой цикл обработки, который гарантирует перекрытие всех зон детали. Такие установки должны быть высокого технологического уровня.

В серийной технологии газотурбинные диски не подвергаются никакому упрочнению. Известно, что такого класса детали, подвергнутые ТПУ (например лопатки из жаропрочных материалов), дают прирост усталостной прочности до 15..20%. Поэтому целесообразно проводить упрочняющую обработку ТПУ всех турбинных дисков.

Это даст возможность отдалить момент появления микротрещин и увеличить срок службы газоперекачивающего агрегата (ГПА).

Метод ТПУ лег в основу создания установок термопластического упрочнения дисков турбин газоперекачивающего агрегата ГТК-10-4.

Была спроектирована и совместно с ООО «Самаратрансгаз» изготовлена автоматизированная установка для термопластического упрочнения пазов турбинных дисков с использованием электронагрева.

Установка имеет две основные системы: систему нагрева и систему спрейерного охлаждения. Система нагрева выполнена в виде печи сопротивления. Нагрев диска в печи осуществляется локально, по секторам из 13 зубьев, из которых 9 находятся в оптимальной зоне упрочнения, а 4 по два с каждой стороны в переходной зоне. Завершается нагрев командой от пирометра. Происходит автоматический поворот диска в положение для охлаждения. Далее происходит обратный поворот диска в положение для упрочнения следующего сектора из 13 зубьев, в который входят и 2 зуба из переходной зоны.

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 и успешно внедрена в производство.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко, Б.А. Термопластическое упрочнение – резерв повышения прочности и надежности деталей машин: монография [Текст]/ Б.А. Кравченко, В.Г. Круцило, Г.Н. Гутман. – Самара: СамГТУ, 2000. – 216 с.
2. Повышение долговечности газотурбинных дисков [текст]/ О.В. Никишов, В.Г. Круцило. – Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева.– Самара: СГАУ, 2011. – 317-323 с.

## РАСЧЕТ СТЕПЕНИ ДВУХКОНТУРНОСТИ ТРДД.

© 2012 Кузнецов В.И.

Омский государственный технический университет, Омск

It is shown that the bypass ratio turbojet engine (turbojet) depends on the change of thermodynamic parameters of the air at a height of fan blades. When calculating the degree of bypass of the modern method, it is constant regardless of fan speed and is determined only by the ratio of air space for the first and second circuits. Accounting for non-uniformity of the flow of air on the fan blade height to determine changes in bypass ratio turbofan engines with throttling.

Параметры воздуха на входе в первый и второй контуры двухконтурного турбореактивного двигателя (ТРДД) считаются одинаковыми при малой степени двухконтурности ( $m \leq 1,5$ ). Равенство полных давлений и температур воздуха на входе в первый и второй контуры приводит к тому, что степень двухконтурности ТРДД остается постоянной на всех режимах его

работы. Расход воздуха через первый и второй контуры [1]:

$$G_{a1} = m F_{ax1} \frac{P_{ax}^* q(\lambda_{ax})}{\sqrt{T_{ax}^*}}. (1)$$

$$G_{a2} = m F_{ax2} \frac{P_{ax}^* q(\lambda_{ax})}{\sqrt{T_{ax}^*}}. (2)$$

Степень двухконтурности: