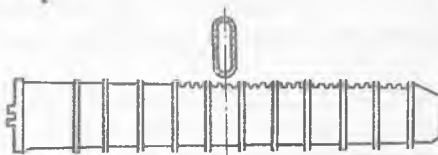


И.Г.Барсуков, В.А.Серебренников,
Г.К.Шидловский

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДЕФЛЕКТОРОВ
РАБОЧИХ ЛОПАТОК I СТУПЕНИ ТУРБИНЫ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Дефлектор рабочей лопатки I-й ступени турбины изготавливается из прутка жаропрочного никелевого сплава ЭИ598ВД \varnothing 22 мм и представляет собой тонкостенную (0,3-1,1 мм) полую деталь (рис.1). Изготовление дефлекторов связано со сложностью механической и термической обработок, холодной штамповки, монтажа дефлекторов в лопатках.



Р и с. 1. Дефлектор рабочей лопатки I ступени турбины

В процессе изготовления, кондуктации и стендовыми испытаниями на дефлекторах иногда появлялись трещины.

Так как в местах разрушения примерно трехкратные запасы прочности, то предполагаемыми причинами дефектов считаются следующие:

- а) зарождение трещин в процессе изготовления дефлекторов, в первую очередь, при холодной штамповке;
- б) возникновение трещин от острых кромок и микронадрывов в зоне отверстий;
- в) повреждение поверхностного слоя в процессе термических операций.

Наряду с конструкционным усилением дефлектора (незначительное увеличение толщины стенки, укорачивание дефлектора), основными в работах по доводке были выбраны технологические методы.

На первом этапе доводки перед каждой операцией холодной штамповки деталей проводилась термическая обработка, обеспечивающая получение минимального поверхностного слоя.

Для выполнения первого условия необходим нагрев γ - фазы до температуры полного растворения в твердом растворе с быстрым охлаждением, исключающим протекание процессов старения. Для выполнения второго условия необходим нагрев в глубоком вакууме.

Поэтому был отобран и внедрен режим термической обработки заготовок дефлекторов перед штамповкой в специальных вакуумных печах (вакуум не ниже $4 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст.) с температурой 1100°C , выдержкой 15 мин, охлаждением в воде. В результате были полностью ликвидированы штамповочные трещины. Дальнейшие работы были направлены на ликвидацию повреждения поверхностного слоя в процессе термических операций.

Методы исследования. Оценка качества материала дефлекторов осуществлялась посредством анализа длительной прочности и состояния поверхностного слоя деталей. Длительная прочность проверялась на специальных образцах, вырезанных из дефлекторов: один образец - из спинки, другой - из корыта. Режимы испытаний длительной прочности следующие: температура $t = 700^{\circ}\text{C}$, постоянно приложенное напряжение $\sigma = 45 \text{ кгс/мм}^2$, время до разрушения $\tau \geq 100 \text{ ч}$.

Проверка качества поверхностного слоя производилась посредством металлографических исследований и микрозондирования поверхности на установке MAP-I.

Анализ технологии изготовления дефлекторов. В процессе изготовления дефлекторы подвергались следующим основным операциям термической обработки:

- а) закалке в прутке до механической обработки при температуре 1100°C в течение 5 ч в воздушной среде, охлаждению на воздухе;
- б) отжигу в вакууме - перед холодной штамповкой и после нее;
- в) термофиксации в вакуумной среде при температуре 1000°C в течение 5 ч после монтажа дефлектора в лопатку.

При металлографическом исследовании серийных дефлекторов на поверхности наблюдался окисленный слой глубиной 5-10 мм (рис. 2).

После термической обработки в вакууме окисленный слой практически отсутствует.



500x

Р и с. 2. Микроструктура материала дефлектора с окисленным слоем после серийной термообработки

Исследования при помощи установки MAP-I показали, что серийная термообработка приводит к обеднению поверхностного слоя на глубину до 5 мкм хромом и незначительно - алюминием и титаном. При термообработке в вакууме поверхностный слой обеднен незначительно алюминием, причем большое количество алюминия содержится в окисной пленке.

Таким образом, основной причиной образования дефектного поверхностного слоя является операция термофиксации.

Выбор метода защиты поверхности дефлекторов. Чтобы избежать обеднения поверхностного слоя, были предложены следующие методы предохранения поверхности дефлекторов от окисления:

- а) старение дефлекторов в лопатке без термофиксации;
 - б) проведение термофиксации дефлекторов в лопатке в аргоне и в вакууме;
 - в) термофиксация и старение дефлекторов в вакууме до поставки в лопатку;
 - г) нанесение защитных покрытий: эмалирование, алитирование.
- Опробование вышеперечисленных методов дало следующие результаты.

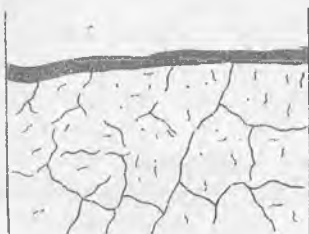
Старение дефлекторов без термофиксации привело к образованию трещин в дефлекторах. Известно, что материал ЭИ598ВД склонен к округливанию при медленном нагреве под напряжением в интервале температур 650-900°C. При запрессовке дефлекторов в лопатки возникали монтажные напряжения, которые при старении (температура 800°C, 5 ч) приводили к растрескиванию материала. Этот метод признан нецелесообразным.

При термофиксации дефлекторов в лопатках в вакууме и в аргоне продолжительность нагрева деталей в опасном диапазоне температур (650-900°C) в 2-3 раза больше, чем при серийном техпроцессе, что приводило к появлению трещин в процессе термофиксации. Поэтому термофиксация дефлектора в лопатке в вакууме и в аргоне нецелесообразна.

Поставка в лопатку дефлекторов, прошедших термофиксацию и старение в вакууме отдельно от лопатки, привела к высоким остаточным монтажным напряжениям, в 10-20 раз превышающим монтажные напряжения на серийных дефлекторах. Это вызвало дефекты при работе на шпатель.

Для защиты дефлекторов в лопатках при термофиксации от окисления были исследованы защитные свойства эмалей ЭВТ-10, ЭВ-103, ЭВТ-24, ЭВ-15, ЭВТ-345, ВНТ-23. Покрытия эмалью не обеспечивают полную защиту от окисления, наблюдается скалывание эмалей при монтаже и демонтаже дефлекторов.

Отработан технологический процесс тонкослойного алитирования дефлекторов в порошке. Толщина слоя 5-15 мкм (рис. 3). Алитирование проводилось в печи Н-85 при температуре $950 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 3 ч 35 мин. Дефлекторы монтировались в лопатки, диффузионный отжиг был совмещен с термофиксацией и выполнялся по серийной технологии при температуре 1000°C с выдержкой 30 мин.



Р и с. 3. Микроструктура материала дефлектора с алитированным поверхностным слоем

Люминисцентным методом контроля ЛЮМ-А и лабораторными исследованиями демонтированных дефлекторов установлено, что поверхность обедненная легирующими элементами, и дефекты отсутствуют.

Влияние различных методов защиты дефлекторов на свойства материала дефлекторов определялось при длительной прочности. Результаты испытаний представлены в таблице.

Состояние образцов	Продолжительность испытания до разрушения ($\sigma = 45 \text{ кгс/мм}^2$; $t = 700^\circ\text{C}$) в ч		
	минимальная	максимальная	средняя
1. Серийные	160	265	223
2. Термообработка без термофиксации	142	382,7	300,6
3. Термообработка в вакууме в свободном состоянии	213	371,4	283
4. Алитирование	230	468,75	388

Из таблицы видно, что тонкослойное алитирование является наиболее эффективным и практически осуществимым методом. Оно повышает длительную жаропрочность материала дефлекторов и обеспечивает защиту поверхностного слоя от повреждения. Дефлекторы, алитированные на глубину 5-15 мкм, прошли длительные стендовые испытания в изделии и дали положительные результаты.

При эксплуатации изделий наблюдался износ дефлекторов по буртикам. Для уменьшения износа поясков на дефлекторах внедрен процесс электроискрового легирования трех верхних поясков твердым сплавом Т15К6.

В ы в о д ы

1. Внедрение отжига дефлекторов в вакууме с охлаждением в воде обеспечило качественное изготовление деталей.
2. Проведенные мероприятия позволили полностью защитить поверхность дефлекторов от обеднения ее легирующими элементами и повысить длительную прочность дефлекторов в 2 раза.
3. Совместные металлургические, конструктивные, технологические мероприятия позволили повысить ресурс работы дефлекторов в 3 раза.

УДК 629.7.036:62. 135:534.1

А.Ю.Березкин, А.С.Сердотецкий, И.В.Терехин

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ВИБРОИССЛЕДОВАНИЯ БАНДАЖИРОВАННЫХ ЛОПАТОЧНЫХ ВЕНЦОВ

Обеспечение достаточной вибропрочности и надежности лопаточных венцов ГТД, бандажированных полками, и устранение причин таких наблюдаемых в практике дефектов, как усталостные поломки полок, износ и выкрашивание полочных стыков, тесно связаны с развитием теории колебаний бандажированных венцов и методов их экспериментальных вибрационных исследований.

Разработка теоретических методов определения вибрационных свойств полочных венцов находится в настоящее время в стадии