

Восстановление компонентов горячего тракта в сервисном центре СТГТ

Н. А. Аржакин, Е. В. Черников, М. Л. Зубков – ООО «Сименс Технологии Газовых Турбин»

In brief

Refurbishment of hot gas path components in the Service Center of Siemens Gas Turbine Technologies.

The hot gas path blades of gas turbines operate in a very aggressive environment at elevated temperatures inducing corrosion, erosion, and dynamic fatigue loads. For this reason, the blades are made of heat- and corrosion-resistant nickel- and cobalt-based superalloys. These alloys have unique high-temperature strength properties. Complex configuration of the inner blade geometry combined with cooling holes in the blade airfoils provides necessary convection film cooling. Protective coatings enable the blades to be operated at the inlet gas temperature of up to 1500 °C. However, severe operating conditions of the blades lead to their wear. The Service Center of Siemens Gas Turbine Technologies applies up-to-date technologies and materials for the refurbishment of gas turbine blades. After repair they can be operated for several service intervals.

Лопатки горячего тракта газотурбинных установок работают в очень агрессивной среде, где они подвержены воздействию повышенных температур, вызывающих эрозию и коррозию, а также динамическим усталостным нагрузкам. Поэтому для их изготовления применяются жаропрочные, коррозионноустойчивые суперсплавы на никелево-кобальтовой основе, которые обладают уникальными высокотемпературными прочностными характеристиками.

Сложнейшая конфигурация внутренней геометрии лопаток, обеспечивающая в комбинации с расположением охлаждающих отверстий на пере необходимое конвекционно-пленочное охлаждение, и нанесение защитных покрытий на данные материалы позволяют использовать их при входной температуре рабочего газа до 1500 °С в самых последних поколениях турбин. Но несмотря на покрытие и охлаждение, критические условия работы лопаток приводят к их износу.

Компоненты горячего тракта сложны и дороги в изготовлении. Это обусловлено сложной геометрической конфигурацией и связанными с этим трудностями в процессе литья, а также финальной механической обработки, для проведения которой нужен особый инструмент,

способный обрабатывать высокопрочные материалы с предписанными допусками. В связи с этим заказчики оборудования заинтересованы в продлении жизненного ресурса лопаток за счет ремонта. Компания «Сименс» имеет многолетний опыт предоставления таких услуг. В сервисном центре СТГТ применяются самые передовые технологии восстановления лопаток горячего тракта ГТУ.

Перед установкой в ГТУ, с целью снижения высокотемпературной ползучести при эксплуатации данных сплавов в температурном интервале близком к температуре солидуса, лопатки предварительно проходят ряд термических обработок для обеспечения заданной микроструктуры, а именно, для выделения дисперсионно-упрочняющей фазы – γ' -Ni₃(Al, Ti) в морфологии, обеспечивающей их уникальные высокотемпературные прочностные характеристики (фото 1).

Достижение необходимых эксплуатационных свойств напрямую зависит от количества γ' -образующих элементов, таких как алюминий и титан. Превышение определенного процентного количества данных элементов в сплаве приводит к резкому снижению свариваемости, переводя эти сплавы в ряд «трудносвариваемых» или «несвариваемых» по причине склонности к образованию горячих трещин [1].

Горячие трещины можно разделить на несколько подвидов в зависимости от природы их возникновения [1]:

- ликвационные;
- кристаллизационные;
- трещины провала пластичности (подсолидусные трещины);
- трещины, вызванные упрочняющей термообработкой.

Ликвационные трещины образуются в местах скопления примесных элементов, чаще всего расположенных по границам зерен, появляются во время охлаждения при сварке плавлением. Могут формироваться в самом шве и зоне термического влияния.

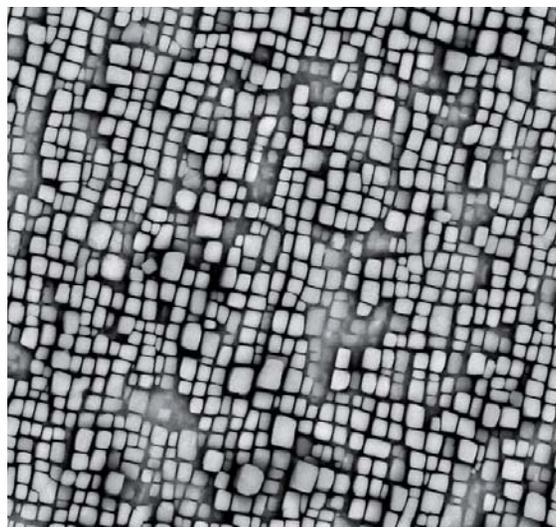


Фото 1. Дисперсионно-упрочняющая γ' -фаза

Кристаллизационные трещины образуются непосредственно в сварном шве во время его затвердевания. Интервал температуры образования данных трещин зависит от изменения твердожидкого состояния металла.

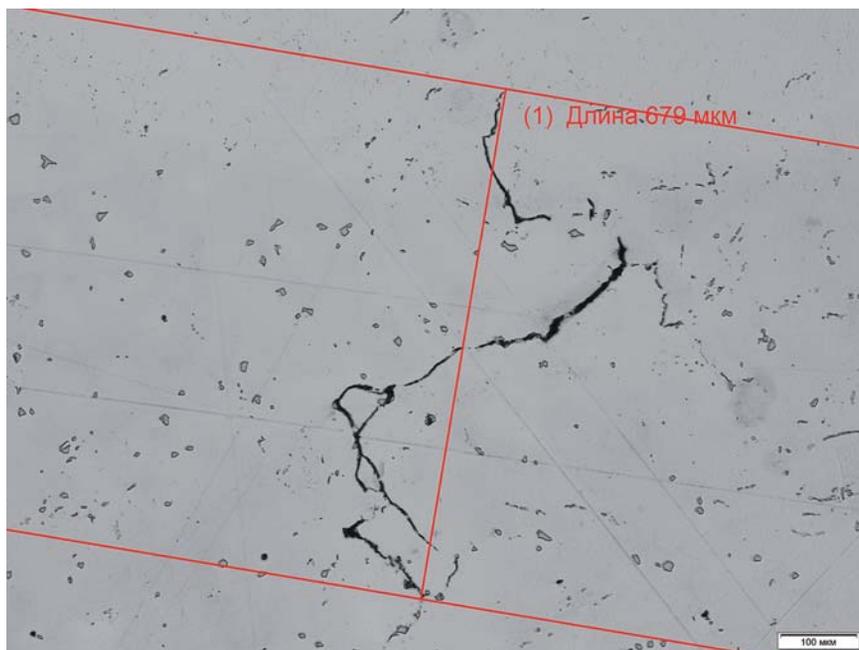
Трещины провала пластичности формируются при температурах 0,5...0,8 от температуры плавления сплава. Их характерное расположение – зона термического влияния (ЗТВ), преимущественно по границам зерен. Провал пластичности в данном интервале температур связан с перераспределением карбидообразующих элементов и γ' -фазой между зерном и границей зерна. В результате происходит разупрочнение приграничной зоны, и напряжения там достигают критических значений – металл начинает растрескиваться (фото 2).

Трещины, вызванные тепловым воздействием на основной металл лопатки (Reheat strain age cracking), могут возникать во время завершающей термообработки для придания металлу конечных прочностных характеристик либо для надлежащей диффузии термозащитного покрытия.

При разработке технологии сварки для снижения рисков возникновения горячих трещин необходимо оценить влияние технологических параметров на микроструктуру и возможность возникновения высокотемпературных деформаций. После того как лопатки горячего тракта прошли операцию входного контроля [2], в ходе которого определяется их ремонтпригодность, они направляются на участок ремонта, где производится выборка дефектов и подготовка под сварку, включая термообработку. Термообработка необходима для снятия напряжений и повышения пластичности за счет выбора температурного цикла таким образом, чтобы модифицировать микроструктуру в основном металле для наиболее приемлемой под сварку конфигурации дисперсионно-упрочняющей фазы – γ' .

Для восстановления геометрической формы изделий и ремонта глубоких трещин в СТГТ применяется ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов (фото 3). Метод нашел широкое применение прежде всего за счет своей универсальности и гибкости в работе. Аргонодуговая сварка не требует долговременной настройки или программирования оборудования, технология и расходные материалы доступны.

В связи с отмеченной склонностью лопаточных материалов к трещинообразованию, требуется серьезная проработка параметров процесса для минимизации тепловложения, а также высокая квалификация сварщиков. Специалисты по сварке проходят внутреннее



📷 Фото 2.
Трещина в зоне термического влияния

обучение в аналогичных ремонтных подразделениях компании «Сименс» за рубежом. Также необходима аттестация сварщиков авторизованными сертификационными учреждениями, такими как TUV и НАКС. Каждый вид сварки рабочих и направляющих лопаток требует отдельного подтверждения соответствия качества, на него выдается сертификат, разрешающий проведение данного вида ремонта.

Одним из обязательных этапов подготовки является зачистка зоны сварки, а именно, удаление оксидных пленок с поверхности изделия для предотвращения образования ликвационных трещин. Соблюдение временного интервала перед началом сварки предотвращает повторное образование окислов. Особое внимание уделяется выбору присадочного материала. Правильный выбор позволяет значительно снизить риск образования горячих трещин, параллельно гарантируя необходимые высокотемпературные свойства, такие как коррозионная стойкость.

После сварки (наплавки) восстанавливается геометрия лопатки и проводится люминесцентный и измерительный контроль. Для пред-

📷 Фото 3. Сварной шов, выполненный ручной дуговой сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов



отращения образования трещин, вызванных упрочняющей термообработкой, во время работы лопаток в турбине, а также для снятия сварных остаточных напряжений на следующем этапе производится термообработка. После заключительной термообработки на этапе ремонта осуществляется финальный люминесцентный контроль. В компании «Сименс» применяются очень жесткие требования к максимальному количеству и виду допустимых дефектов.

Несмотря на свою универсальность, аргонодуговая сварка имеет недостаток – относительно большое температурное влияние, и за счет этого широкую зону термического влияния. Поэтому данный вид ремонта заменяется более перспективным, высокоскоростным, автоматизированным методом лазерной порошковой наплавки, позволяющим значительно снизить риск образования трещин.

За счет высококонцентрированного термического воздействия сфокусированным лазерным лучом и минимального тепловложения, достаточного для формирования необходимой геометрии наплавки, ЗТВ значительно меньше – соответственно, и минимально изменение микроструктуры околосшовной зоны. Данная технология находится на этапе внедрения в сервисном центре СТГТ.

Незначительные дефекты допускается исправлять путем локальной механической обработки, с обязательным последующим люминесцентным и измерительным контролем геометрических параметров.

После окончания ремонтных работ компоненты горячего тракта поступают на линию нанесения термозащитных покрытий. Таким образом, благодаря применению современных технологий и материалов для напыления восстановленные лопатки смогут выдержать еще не один цикл работы турбины.

Вопросы напыления лопаток горячего тракта ГТУ и финальных контрольных операций будут освещены в заключительной статье цикла. **Д**

Использованная литература:

1. *Advanced Weld Repair of Gas Turbine Hot Section Components ASME Turbo Expo 2008: Power for Land, Sea, and Air, Nikolai Arjakine, Jerry Bruck, Birgit Gruger, Dirk M. Seeger, Rolf Wilkenhoener, pp. 559-564.*

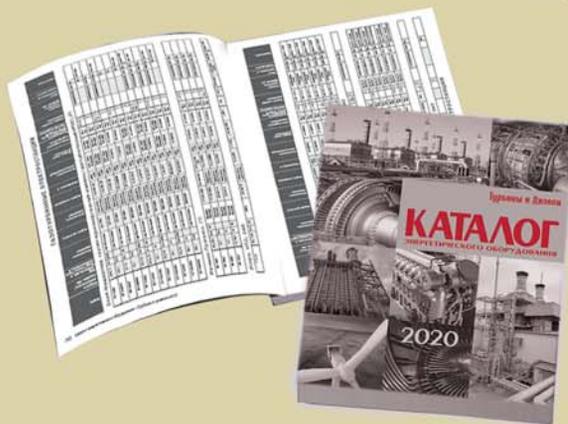
2. *Восстановление компонентов горячего тракта в сервисном центре СТГТ. Н.А. Аржакин, А.М. Сенькин, А.Ю. Данилов, Е.С. Платонова, Е.В. Черников, А.С. Янпольский – ООО «Сименс Технологии Газовых Турбин» / Турбины и Дизели. 2020, №3.*

**Самый полный
Каталог оборудования
для генерации электрической
и тепловой энергии –
20 000 моделей.**

Подробно представлены:

- газотурбинные двигатели для ГТЭС и ПГУ;
- газопоршневые и дизельные приводы;
- паровые турбины;
- теплообменное оборудование для ГТЭС, ПГУ и ГПЭС;
- электростанции различного типа;
- электрогенераторы;
- абсорбционные холодильные установки (чиллеры);
- ветрогенераторы.

КАТАЛОГ



Тел./факс (4855) 285-997
E-mail: info@turbine-diesel.ru

2020

www.turbine-diesel.ru
ПОДРОБНОСТИ НА САЙТЕ