

УДК 621.311.019.3

ЭРОЗИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ ТУРБИН EROSION OF THE WORKING BLADES OF THE LAST STAGES OF TURBINES

А.О. Боровикова

Научный руководитель – Пантелей Н.В., старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

nvpanteley@tut.by

A. Borovikova

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** выполнен анализ перспективных направлений развития материалов рабочих лопаток для их усовершенствования.*

***Abstract:** the analysis of promising directions of development of materials of working blades for their improvement is carried out.*

***Ключевые слова:** энергоэффективность, рабочие лопатки, эрозия, износостойчивость, материалы.*

***Keywords:** energy efficiency, working blades, erosion, wear resistance, materials.*

Введение

Наиболее ценной и одновременно дорогой частью турбины являются рабочие лопатки. При повреждении лопаточного аппарата турбины, происходит остановка всей турбины, что экономически совсем не выгодно.

Эрозия рабочих лопаток (РЛ) последних ступеней конденсационных и теплофикационных турбин известна чуть ли не с самого начала турбостроения, и, несмотря на многочисленные и разнообразные попытки устранить или, по крайней мере, уменьшить ее, продолжает оставаться одной из важных проблем. Важность этой проблемы росла с увеличением мощности турбин, так как при этом значительно увеличиваются размеры и окружные скорости РЛ. Эрозионный износ лопаток не только снижает надежность, но и увеличивает потери в лопатках, и изменяет их вибрационные характеристики, что может приводить к авариям. Именно поэтому заводы-изготовители устанавливают ограничения на предельные величины эрозионного износа.

Основная часть

Эрозионные повреждения входных кромок РЛ вызываются крупными каплями влаги, образующимися при срыве водяной пленки с направляющих лопаток. Большая часть пленки, если не приняты соответствующие меры, срывается с выходной кромки лопаток и дробится в кромочном следе, где скорости потока весьма малы. Поэтому размеры капель достигают сотен микрон, они мало разгоняются потоком, и скорость их относительно РЛ очень высока и близка к окружной скорости лопаток.

В производстве применяются исключительно нержавеющую сталь из-за сложности работы лопаток. В основном используются стали 1Х13, 2Х13,

12Х13 и 12Х13Ш, в составе которых 10–15% хрома. Это позволяет обеспечить восприятие к эрозии. Для больших температур применяют стали, легированные молибденом и ванадием, а также вольфрамом и ниобием.

Наибольший износ лопаток наблюдается в периферийной области, что обусловлено главным образом тремя обстоятельствами:

- наибольшим количеством эрозионно-опасной влаги;
- наименьшей скоростью пара на выходе из направляющих лопаток;
- наибольшей окружной скоростью РЛ.

Различают активные и пассивные методы снижения эрозии. Первые имеют задачей снижение каплеударного воздействия на лопатку, вторые – повышение эрозионной стойкости материала путем упрочнения лопаточных сталей или применения защитных покрытий и накладок. Для хорошего результата используют два метода одновременно. Однако, у пассивных способов есть очень большой недостаток заключающийся в невозможности произвести упрочнение или полное восстановление РЛ при нахождении их на роторе турбины. Это все из-за того, что многие методы нельзя применять в условиях стационарного ремонта.

Уменьшение количества эрозионно-опасной влаги достигается путем уменьшения на этапе ее образования и дальнейшей сепарацией влаги на различных участках тракта и проточной части. Конструкции и места установок влагоотводящих устройств различны и во многом отражают те или иные концепции конкретных фирм [1].

Эрозия выходных кромок РЛ последних ступеней ЦНД обусловлена забросом влаги из выхлопного патрубка обратными токами. Особенно распространено для теплофикационных турбин это срывающаяся влага с внутреннего конуса патрубка, либо впрыскивается охлаждающими устройствами при малых расходах в ЦНД. Несмотря на существенно меньшую величину износа, эрозия выходных кромок представляет значительную опасность, так как толщина лопатки здесь мала, а напряжение весьма велики.

Используемые в большинстве современных мощных турбин системы влагоудаления и сепарации, как правило, дополняются пассивными методами защиты РЛ от каплеударной эрозии, поскольку как стальные (1Х13, 2Х13, 15Х12ВМФ), так и титановые лопатки обладают недостаточной эрозионной стойкостью. Эти средства имеют своей целью повышение эрозионной стойкостью РЛ. В основном они применяются в области наибольших каплеударных нагрузок.

Методы делятся на два класса:

- повышающее антиэрозионные свойства лопаток за счет упрочнения их металла или защиты поверхности более стойкими покрытиями и накладками;
- смягчающие ударное воздействие капель путем придания поверхности лопатки соответствующей формы.

Упрочнение достигается специальной обработкой лопатки, повышающей антиэрозионную стойкость поверхностного слоя металла.

Самыми лучшими материалами для восстановления прочности РЛ и их же самих являются покрытия из:

- ВК6; ВК6М, ВК6ОМ, ВК-8, стеллита ВЗК, износостойких никелевых сплавов ВЖЛ2 (ВЖЛ2М) при образовании покрытия на новых лопатках;
- W + стеллит ВЗК; Мо + стеллит ВЗК при восстановлении кромок лопаток.

Наибольшее распространение получили термические способы упрочнения и в первую очередь закалка токами высокой частоты. В основном используется для деталей из углеродистых и конструкционных сталей или чугуна. При этом толщина упрочненного слоя составляет 1–2 мм. Хотя относительная эрозионная стойкость такого упрочнения на ~ 20% ниже, чем в случае электроискрового упрочнения сплавом Т15К6, большая толщина закаленного слоя обеспечивает больший эрозионный ресурс лопаток. Внутри закаленной твердой поверхности заготовки остаются незакаленные вязкие слои металла, что позволяет уменьшить хрупкость и в тоже время увеличить срок эксплуатации всего изделия. Достоинством этого метода является возможность применения его для лопаток АЭС [2].

Напайка твердых сплавов широко применяется в турбиностроении. Первоначально напайки изготовлялись из твердых закаленных сталей. В настоящее время повсеместно применяются стеллиты – сплавы на кобальтовой основе. При этом возможно получение значительной толщины упрочняющего слоя до 3 мм. Например, ЛМЗ, использует пластинки стеллита ВКЗ с твердостью не менее НРС 40 толщиной 2 мм (рисунок 1). Несмотря на значительную эрозионную стойкость, стеллит также изнашивается. Кроме того, наблюдается износ лопаток ниже стеллита. Недостатком такой защиты является и частый обрыв пластинок, вызываемый не только различием коэффициентов температурного расширения лопатки и стеллитовых пластин, но и упругим удлинением и изгибом входной кромки лопатки под действием внецентренного растяжения, в то время как пластинки практически не деформируются.

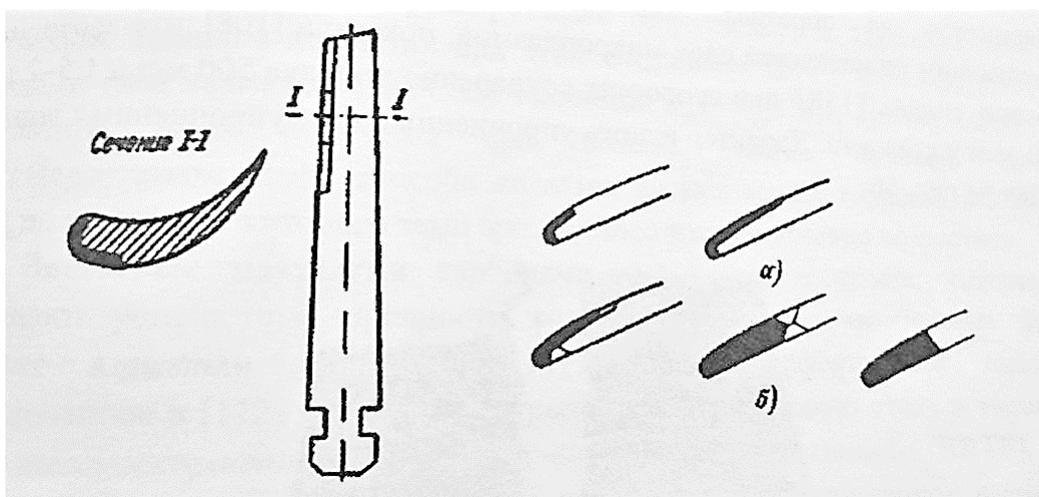


Рисунок 1 – Лопатка со стеллитовыми накладками и различные формы накладок

Когда же нужно восстановить подобный к изначальному профиль РЛ, применяют способ наварки пластин вместо изношенной части лопатки.

Главное после данного метода не забыть про термообработку. Рабочие лопатки чинятся путем нанесения высоконикелевой аустенитной наплавки без послесварочной термической обработки с обязательной приваркой стеллитовых пластин из кобальтового стеллита марки ВЗК. Впрочем, это же наплавка, в основном, сама же и разрушает лопатки.

Одним из способов снижения разрушительного эффекта удара капель по лопатке является образование на ней водяной пленки. При ударе капли по сухой поверхности большая часть ее энергии расходуется на создание напряженного состояния в металле, а меньшая передается отражающимся каплям. При наличии на поверхности водяной пленки, толщина которой соизмерима с размером капли, нагрузка на стену резко уменьшается, так как энергия капли расходуется главным образом на деформацию самой пленки и выбивание из пленки жидкости, масса которой зачастую превышает массу падающей капли.

Для удержания пленки на поверхности РЛ используются довольно разные приемы. Одним из них является радиальные канавки, которые выполняются на выпуклой стороне входной части лопаток, куда, в свою очередь, попадает большая часть капель. Влага, находящаяся в таких канавках, обуславливает антиэрозионный эффект за счет амортизации удара капель по пленке, при этом толщина пленки должна быть порядка 0,2 мм.

Существует еще один метод обработки сталей или других металлов и сплавов, благодаря которому изменяется поверхностный слой путем внедрения молекул других элементов. Данный способ называется – диффузионной металлизацией. Данный процесс может протекать только в специальной среде с помощью высоких температур. Путем такой обработки укрепляется слой и повышается жаростойкость, увеличивается сопротивляемость к эрозии. Огромным плюсом является наибольшая износостойчивость поверхности.

Заключение

В результате можем сделать вывод, что для того, чтобы увеличить надежность и эффективности работы лопаточного аппарата последней ступени требуется повысить совершенство конструкций межлопаточных связей. Следовательно, выходные кромки лопаток повреждаются влагой, заносимой обратными токами из выходного патрубка.

Литература

1. Исследование эрозии выходных кромок рабочих лопаток последних ступеней конденсационных турбин в условиях эксплуатации / В.Г. Орлик, Л.Б. Резник. – Труды ЦКТИ, 1983. – № 205.
2. Кирилов, И.И. Некоторые вопросы снижения эрозии влажнопаровых ступеней / И.И. Кирилов, А.И. Носовицкий, Г.Г. Шпензер // Теплоэнергетика. – 1970. – № 4. – С. 24–27.