

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВХОДНЫХ КРОМОК РАБОЧИХ ЛОПАТОК ЦНД ПАРОВЫХ ТУРБИН ИЗ СТАЛЕЙ 15Х11МФ, 20Х13 и 13Х11Н2В2МФ БЕЗ РАЗЛОПАЧИВАНИЯ СМЫСЛОВ А.М., ЛЮДВИНИЦКИЙ С.С.

Уфимский государственный авиационный технический университет,
Уфа, Россия

Одна из насущных проблем эксплуатации паровых турбин это – эрозийный износ входных кромок рабочих лопаток последних ступеней ротора низкого давления. Из-за того, что многие турбины работают на пониженных параметрах, замена лопаток может происходить каждые 9-10 лет эксплуатации. Рабочие лопатки последних ступеней – дорогостоящие детали, поэтому задача их восстановления является крайне актуальной.

В разработанной нами технологии применены следующие усовершенствования: выбран высокопластичный присадочный материал для наплавки и приварки защитных пластин; введена операция послесварочного самоотпуска, опробован режим наплавки импульсной дугой, отработана технологическая операция дополнительной защиты восстановленных лопаток путём нанесения защитных покрытий.

One of essential problems of operation of steam turbines it - eroding deterioration of entrance edges working paddles last steps of a rotor of low pressure. That many turbines work on the lowered parameters, replacement paddles can occur each 9-10 years of operation. Workers paddles last steps - expensive details, therefore a problem of their restoration is the extremely actual.

In the technology developed by us following improvements are applied: it is chosen very mach plastic a material for strengthening welding and welding protective plates; operation after welding self-holidays is entered, the mode strengthening welding is tested by a pulse arch, technological operation of additional protection restored paddles by drawing sheeting's is fulfilled.

Рабочие лопатки (РЛ) последних ступеней ротора низкого давления паровых турбин (ПТ) мощностью от 25 до 1200 МВт (см. рис. 1 и 2) подвергаются естественному изнашиванию в результате каплеударной эрозии от конденсирующейся в паровом тракте влаги, что обусловлено конструктивными недоработками турбины или котла и режимными эксплуатационными отклонениями. Чаще всего поражаются эрозией участки входной кромки лопатки в верхней трети длины её пера (см. рис. 3) и в нижней 2/3 пера по выходной кромке.

Актуальность проблемы резко возросла в последние десятилетия с ростом мощностей. В результате эрозийного износа после нескольких десятков лет эксплуатации лопаток их входные кромки изнашиваются на глубину до $A = 6-12$ мм на длине $L = 60-250$ мм от периферийного конца РЛ (см. рис. 4).

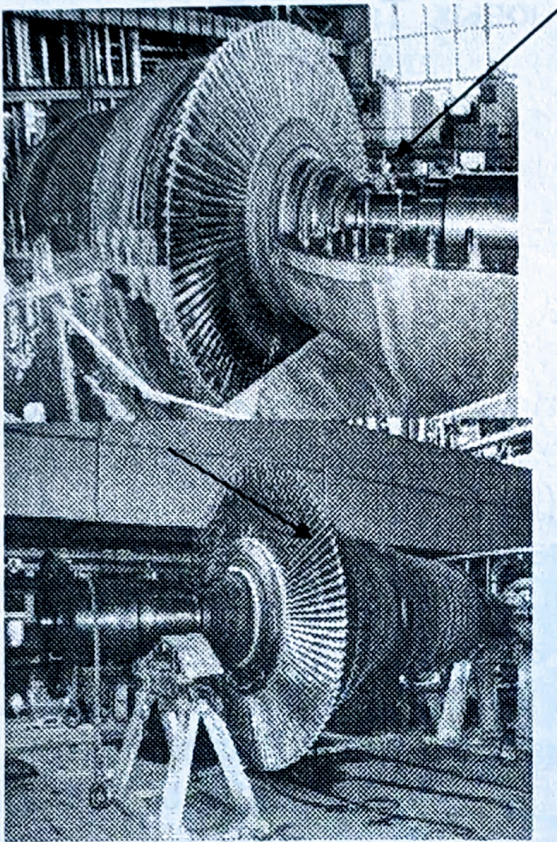


Рис. 1. Внешний вид ротора низкого давления паровой турбины ПТ-60-130/13 после снятия верхней половины цилиндра (30-я ступень указана стрелкой)

Рис. 2. Внешний вид ротора низкого давления турбины ПТ-60-130/13 после демонтажа из цилиндра (30-я ступень указана стрелкой)

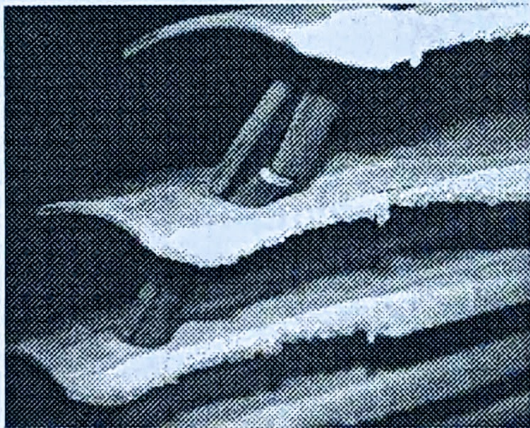


Рис. 3. Внешний вид лопаток по месту эрозии входной кромки

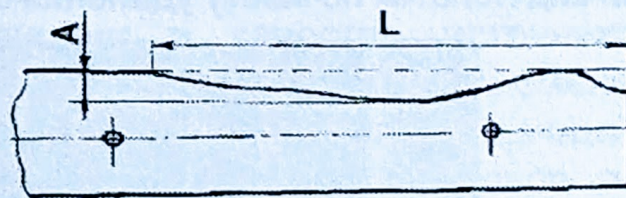


Рис. 4. Износ входной кромки РЛ цилиндра низкого давления (ЦНД) ПТ

Из-за эрозионного изнашивания приходится заменять РЛ новыми после 100-140 тыс. часов эксплуатации, однако расчеты показывают, что из-за снижения КПД ПТ в результате изменения геометрии РЛ, замена лопаток экономически оправдана уже после 4-5 лет эксплуатации.

РЛ ЦНД – дорогостоящие детали, поэтому примерно с 1970 года в нашей стране и за рубежом ведется разработка способов их восстановления. Ремонт является экономически целесообразным, стоимость восстановления повреждённых эрозией

РЛ не превышает 30-40% от стоимости новых. Таким образом, при цене РЛ из стали 20Х13 и 15Х11МФ порядка 30-35 тыс. руб. восстановление только одной ступени ПТ (например, 30-й в количестве 112 шт.) позволяет сэкономить 2-2,5 млн. руб.

Резко возросла потребность в восстановлении РЛ в последние годы в связи с большой наработкой ПТ большой мощности и недостатком у электростанций средств на приобретение новых РЛ. Вследствие увеличения спроса многие институты и предприятия стали работать в этой области. Наиболее широко внедрены в производство технологии, разработанные ОАО «НПО ЦКТИ» (Санкт-Петербург) и ОАО «ВТИ» (Москва).

Традиционно процесс восстановления РЛ с изношенной входной кромкой включает следующие основные операции: механическое удаление повреждённого эрозией металла (см. рис. 5); наплавка кромки (см. рис. 6), либо вварка вставки; механическая обработка кромки для придания перу необходимого профиля (см. рис. 7); приварка защитных стеллитовых пластин на входную кромку (см. рис. 8).

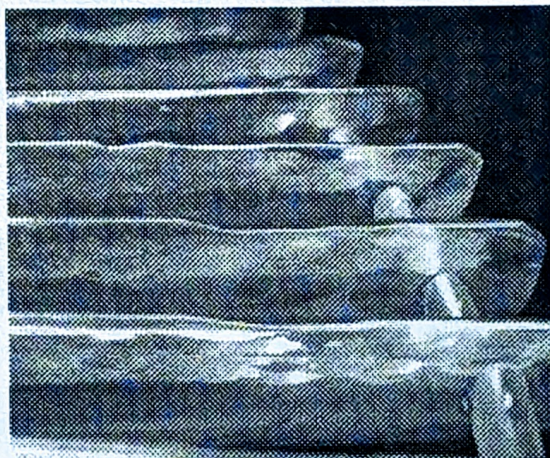


Рис. 5. Внешний вид лопаток по месту удаления эрозии на входной кромке



Рис. 6. Внешний вид лопаток после наплавки



Рис. 7. Внешний вид лопаток после механической обработки наплавленного металла

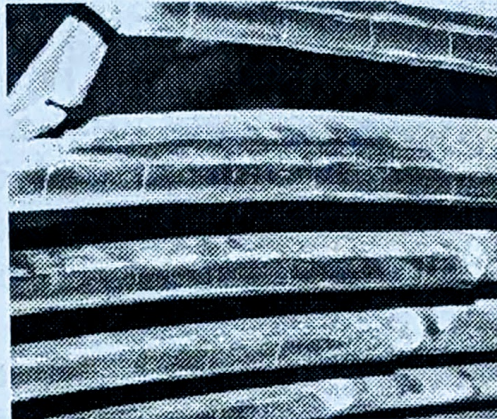


Рис. 8. Внешний вид лопаток после приварки стеллитовых пластин

В 2002 году ООО «НПП Уралавиаспецтехнология», УГАТУ и ООО «Энергоремонт» по заказу ведущего отечественного производителя ПТ ОАО «ЛМЗ» (ныне филиала ОАО «Силовые машины») разработали технологию ремонта РЛ ПТ из высокохромистых сталей 20X13 и 15X11МФ методом ручной аргонодуговой сварки в импульсном режиме (импульсной дугой).

Сущность аргонодуговой сварки в импульсном режиме заключается в применении в качестве источника теплоты – импульсной дуги с целью концентрации во времени теплового и силового воздействия дуги на основной и присадочный металл. Дуга пульсирует с заданным соотношением импульса подачи тока и паузы. Сплошной шов получается за счёт расплавления отдельных точек с определённым перекрытием. Повторные возбуждения и устойчивость дуги обеспечивается благодаря горению маломощной дежурной дуги. Основной сварочный ток подаётся в виде отдельных импульсов большой силы.

Основные преимущества аргонодуговой сварки в импульсном режиме перед сваркой постоянной дугой следующие:

- полнее используется теплота дуги на расплавление основного металла при стеснённом теплоотводе;

- качественное формирование сварного шва при сварке на весу (отсутствие провисания, подрезов и т.п.) и уменьшение опасности образования прожогов;
- эффективнее проплавливающая способность сварочной дуги;
- широкое влияние на кристаллизацию металла шва и как следствие – на свойства сварного соединения;
- снижение требований к квалификации сварщика.

Применение аргонодуговой сварки в импульсном режиме позволяет получить мелкозернистую структуру металла шва (менее склонную к образованию трещин, чем крупнозернистая) за счёт использования более жёстких режимов сварки (с меньшей погонной энергией).

Жёсткостью режима сварки (G) называют отношение длительности паузы (t_n) к длительности импульса сварочного тока ($t_{св}$). В качестве источника питания сварочной дуги была использована сварочная установка производства фирмы «ESAB» – Aristotig 200 (LTN 200), созданная на базе инверторной технологии, и предназначенная для аргонодуговой сварки в непрерывном и импульсном режиме, а также – дуговой сварки покрытыми электродами. Диапазон $t_{св}$ и t_n у этой установки составляет 0,02-5,0 сек, имеется дополнительная функция позволяющая устанавливать длительность паузы и импульса, начиная с 0,001 сек. Внешний вид установки приведён на рис. 9.



Рис. 9. Внешний вид установки LTN 200

Как показала практика, минимальная усталостная прочность лопаточных образцов (см. рис. 10) из стали 20X13, изготовленных по разработанной технологии – аргонодуговой сваркой в импульсном режиме (импульсной дугой), составляет 120 МПа при базовом числе циклов 2×10^7 без существенной разницы между термообработанными и не термообработанными образцами. Усталостная прочность образцов, изготовленных с применением

аргодуговой сварки в непрерывном режиме (постоянной дугой) – составляет 80 МПа при базовом числе циклов 2×10^7 .

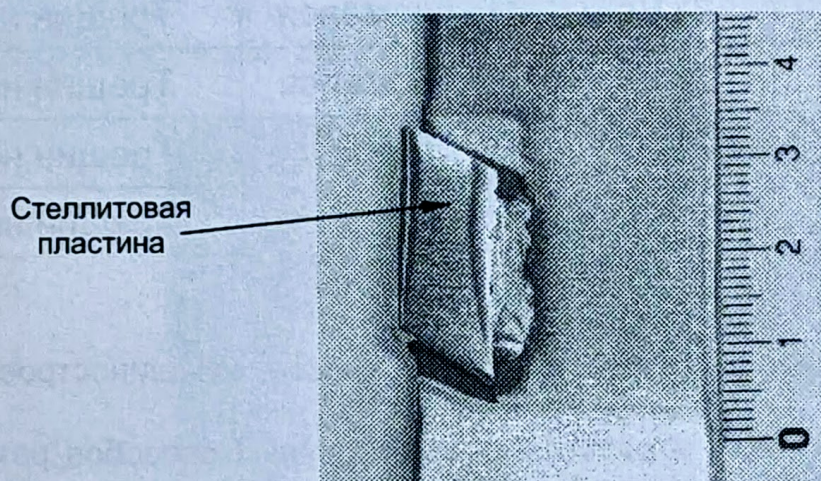
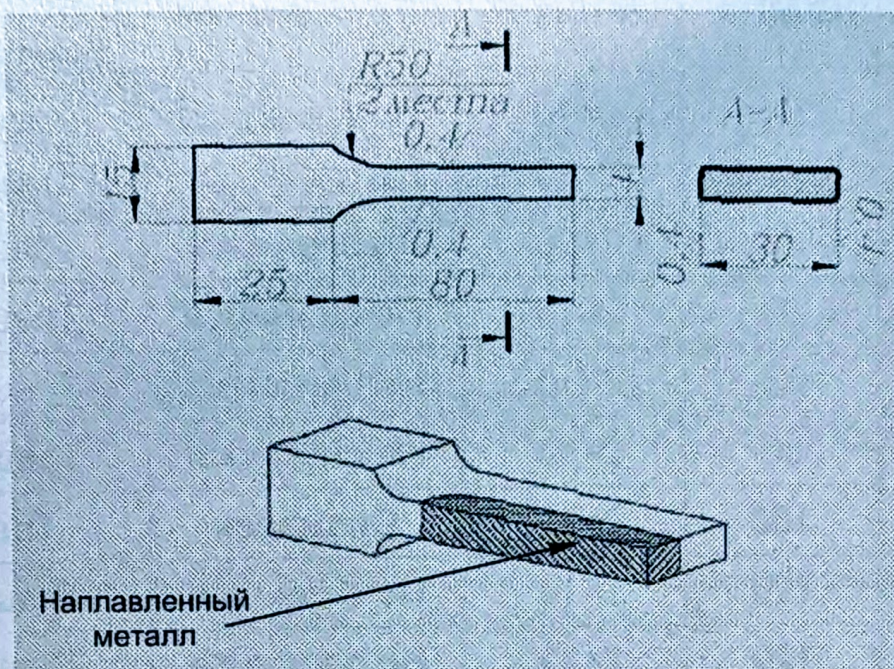


Рис. 10. Лопаточный образец для усталостных испытаний

Проведены усталостные испытания образцов лопаток паровых турбин. Наплавка образцов и приварка стеллитовых пластин произведена ручной аргоно-дуговой сваркой в импульсном режиме.

Усталостные испытания образцов с приваренными стеллитовыми пластинами проводились при температуре $t=20^\circ\text{C}$ при напряжениях $G=80\text{ МПа}$ в механическом зажиме.

Количество образцов - 10 шт. Базовое число циклов $N=2 \times 10^7$. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Результаты усталостных испытаний подтверждают контрольный уровень напряжений $\sigma_{-1} 80\text{ МПа}$ $N=2 \times 10^7$.

Разработанная технология обеспечивает качественное сварное соединение без образования трещин при восстановлении непосредственно на роторе входных кромок рабочих лопаток паровых турбин без последующей термической обработки.

№	F гц	G МПа	N цикл.	Примечание	Заклучение Люм-контроля
1-06с	781	80	2×10^7	Не сломался	Трещин нет
2-06с	808	80	2×10^7	Не сломался	Трещин нет
3-06с	788	80	2×10^7	Не сломался	Трещин нет
4-06с	803	80	2×10^7	Не сломался	Трещин нет
5-06с	827	80	2×10^7	Не сломался	Трещин нет
6-06с	781	80	2×10^7	Не сломался	Трещин нет
7-06с	807	100	2×10^7	Сломался	Трещина
8-06с	788	120	2×10^7	Не сломался	Трещин нет
9-06с	783	120	2×10^7	Не сломался	Трещин нет
10-06с	811	120	2×10^7	Не сломался	Трещин нет
11-06с	803	120	2×10^7	Не сломался	Трещин нет
12-06с	829	140	2×10^7	Не сломался	Трещин нет
13-06с	801	140	2×10^7	Не сломался	Трещин нет

Литература

1. А.И. Акулов «Сварка в машиностроении» том 2, Москва, «Машиностроение», 1978 г.
2. Ф.Г. Гонсеровский и др. «Об эффективности сварочных способов ремонта паротурбинных лопаток и упрочнения их входных кромок» Журнал «Сварочное производство». 1993. № 8.
3. Ф.А. Хромченко и др. «Технология ремонта рабочих лопаток паровых турбин. Ч.1. Ремонт методом нанесения высокохромистой наплавки». Журнал «Сварочное производство». 1998. № 11.
4. Ф.А. Хромченко и др. «Технология ремонта рабочих лопаток паровых турбин. Ч.2. Ремонт комбинированным способом сварки и наплавки». Журнал «Сварочное производство». 1999. № 2.
5. Ф.А. Хромченко и др. «Технология ремонта рабочих лопаток паровых турбин. Ч.3. Усталостная прочность отремонтированных рабочих лопаток». Журнал «Сварочное производство». 1999. № 4.
6. Ф.Г. Гонсеровский и др. «Работоспособность паротурбинных лопаток, отремонтированных с помощью сварки в условиях электростанций». Журнал «Сварочное производство». 2000. № 1.
7. Ф.Г. Гонсеровский и др. «Сварочные технологии восстановления эрозионно-изношенных паротурбинных лопаток». Журнал «Сварочное производство». 2002. № 3.