

УДК 669.715

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО УПРОЧНЕННЫХ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Скобло Т.С., д.т.н., профессор, Мартыненко А.Д., к.т.н., доцент,
Мартыненко Д.А., инженер

*(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко)*

В работе рассмотрены вопросы износа деталей узла парораспределения турбин, предварительно упрочненных химико – термической обработкой

Состояние вопроса. Длинномерные детали - штоки широко применяются в различных узлах машин и агрегатах. Наибольший интерес представляет исследование эксплуатации таких длинномерных деталей, работоспособность которых обеспечивает надежность и долговечность службы машин в целом. Такими деталями являются штоки гидроцилиндров сельскохозяйственных машин, а также узлов парораспределения турбин, которые работают в отличающихся условиях и изготовлены из различных материалов.

Для повышения надежности и долговечности гидроцилиндров, поверхность их трущихся деталей, например, штоков, должна обладать достаточной коррозионной стойкостью и износостойкостью в период эксплуатации. Совершенствование технологии изготовления деталей, сборки, обкатки и испытания, дает возможность улучшить исходное качество агрегатов и повысить одно из основных свойств - надежность (безотказность, долговечность, сохраняемость). Улучшение качества при этом достигается за счет обеспечения стабильных линейных размеров, макро- и микрогеометрии и физико-механических свойств (коррозионной стойкости и износостойкости) поверхностного слоя деталей.

Наиболее трудоемкой операцией при восстановлении является компенсация износа наружной поверхности штока, поскольку ее осуществляют путем хромирования или осталивания без полного снятия предварительно упрочненного слоя. Величина компенсации изношенного слоя хромированием или осталиванием не превышает 0,28мм, что не позволяет полностью удалить предварительно упрочненный и поврежденный слой. Такая технология восстановления не обеспечивает формирования стабильного упрочненного слоя. В процессе эксплуатации отмечается его шелушение и выкрашивание.

Для получения качественного покрытия целесообразно использовать такие операции: отжиг при 400-450⁰С для снятия напряжений, электроискровое наращивание, которое позволяет компенсировать износ слоя до 0,5-1,0мм, сформировать качественную переходную и рабочую зону по всей длине штока. При этом наиболее эффективно использовать в качестве анода хромистый сплав,

что не требует полного удаления предварительно хромированного слоя.

Система парораспределения паровых турбин типа К-300-240, К-500-240 включает в себя устройства, обеспечивающие поступление в турбину требуемого количества пара и находящиеся под воздействием органов автоматического регулирования и защиты. К ним относятся регулирующие и стопорные клапаны части высокого давления и промперегрева, а также все промежуточные звенья между ними и приводными механизмами.

Ответственность и важность надежной работы деталей узла парораспределения отмечена в работах [1, 2], где указывается, что при стационарной эксплуатации и, особенно, при переменных режимах, на детали турбины действует широкий спектр механических и тепловых нагрузок от пара, центробежных сил, температурных деформаций узлов. Чтобы эти нагрузки не превысили допустимых значений и не привели к аварии турбины или к снижению ее долговечности, при эксплуатации необходимо соблюдать определенные требования, например, частота вращения ротора не должна быть выше установленной заводом-изготовителем. Повышенная частота вращения свидетельствует об отказе системы регулирования и может привести к обрыву лопаток и разрушению роторов от центробежных сил.

Целью работы явилось изучение процесса износа поверхности длиномерных деталей машин и агрегатов, предварительно упрочненных химико – термической обработкой для выбора параметров предварительной (перед восстановлением) обработки деталей.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить особенности износа и поведение материала деталей при эксплуатации;
- определить влияние структурного состояния восстановленной поверхности на качество наносимого покрытия;
- оценить поведение азотированного слоя при нагреве для выбора параметров предварительной (перед восстановлением) обработки деталей;

Результаты исследований. Элементы парораспределения должны выдерживать воздействие высокой температуры пара, а также значительные знакопеременные нагрузки и динамические усилия его потока.

Деталям узла парораспределения необходимо иметь высокую чувствительность к органам управления, которая обеспечивается выбором материала, высоким классом механической обработки и качественным поверхностным упрочнением [1, 2].

При рассмотрении различных факторов, влияющих на работу системы парораспределения, выявлено следующее:

- металл деталей парораспределительных органов, длительно находящихся под воздействием высоких температур, претерпевает

определенные качественные изменения. Снижается его механическая прочность, изменяется пластичность, вязкость и микроструктура;

– паровые усилия, действующие на шток, по мере подъема его меняют направление и величину. Искусственными способами добиваются положительного знака действующих усилий на шток на всем протяжении его хода;

– при некоторых условиях эксплуатации возможно возникновение сложных аэродинамических явлений в клапане: образование вихрей, отставание парового потока от стенки диффузора, возникновение толчков и т.д. Эти явления могут привести к опасной высокочастотной вибрации клапана и поломке штоков;

– клапан должен обладать максимально возможной плотностью. Достаточная плотность клапана достигается, главным образом, высоким удельным давлением штока на седло и наличием полного контакта штока с седлом по кольцевой поверхности небольшой ширины. С течением времени клапаны могут стать неплотными. Особенно это относится к клапанам, остающимся длительное время частично открытыми. Протекание пара в них происходит с большими скоростями, что приводит к износу сопрягаемых поверхностей. В “Правилах технической эксплуатации электростанций и сетей” [3] указано, что при закрытом состоянии стопорных и регулирующих клапанов свежего пара и промперегрева, и номинальных параметрах свежего пара и противодействия (вакуума) ротор турбины не должен вращаться. При полном закрытии только стопорных и регулирующих клапанов установившаяся частота вращения ротора турбины при тех же условиях не должна превышать частоты, определенной заводом изготовителем. Приведенные требования свидетельствуют о необходимости качественного поверхностного упрочнения сопрягаемых поверхностей;

– относительные потери давления в клапане при полном его открытии должны быть небольшими, так как они снижают экономичность турбины. Следовательно, имеющийся зазор между штоком и уплотнительными втулками должен быть минимальным. В качестве направляющих и уплотнительных элементов для штоков стопорного и регулирующих клапанов служат втулки с кольцевыми выточками (лабиринтами) на внутренней поверхности. Высота уплотнительной втулки 60мм. Зазор между штоком и втулками стопорного клапана 0,35-0,41мм, между штоком и втулками регулирующих клапанов - 0,30-0,35мм. Регулирующие клапаны выполнены заодно со штоками, без разгрузки, что упрощает их конструкцию и повышает надежность системы парораспределения. Паровое усилие на стопорный клапан, при закрытом его положении, составляет около 1200кН, поэтому стопорный клапан выполнен с разгрузкой.

Диаметр штока, регулирующего клапана составляет 42мм, штока стопорного клапана - 60мм. Диаметры определены из условий прочности и получения относительно небольших выталкивающих усилий на клапан в зоне,

близкой к полному открытию. Как установлено, металл штока при эксплуатации претерпевает структурные изменения, не наблюдающиеся в обычных условиях работы при нормальных температурах.

Анализ износа и структурных изменений на поверхности трения штока из легированной стали 20X1M1Ф1ТР со сложной термической обработкой (улучшение для обеспечения высокой прочности и жесткости сердцевины и поверхностная химико-термическая обработка - азотирование для получения высокой износостойкости), изучали на примере штока турбин снятого с эксплуатации на Змиевской ГРЭС. Исследовали 5 ремонтных штоков, которые при внешнем осмотре в различных участках по длине имели односторонние выработки от втулок по глубине до $\approx 0,5$ мм. Штоки проработали в атмосфере пара с температурой $\approx 540^{\circ}\text{C}$ в течение 3 лет.

Снятые с эксплуатации штоки подвергнуты проверке геометрических размеров на соответствие требованиям по твердости азотированного слоя. В табл. 1 приведены данные замера твердости по длине штоков.

Таблица 1 - Изменение твердости по длине штока

Номер штока	Твердость HV ₃₀ на расстоянии от головки			
	20мм	300мм	600мм	900мм
21153/1	418	467	685	792
123900/5	331	476	561	736
123900/6	366	400	-	701
123900/3	331	418	618	710
23901/2	366	431	675	763

Видно, что во всех исследуемых штоках на расстоянии 20мм от головки твердость в 1,9-2,2 раза ниже, чем на расстоянии 900мм. Исходная твердость сердцевины исследуемых штоков после эксплуатации изменяется на 13-26%. Для определения качества азотированного слоя штока (№23901/2) после эксплуатации его порезали согласно эскизу, приведенному на рис.1.

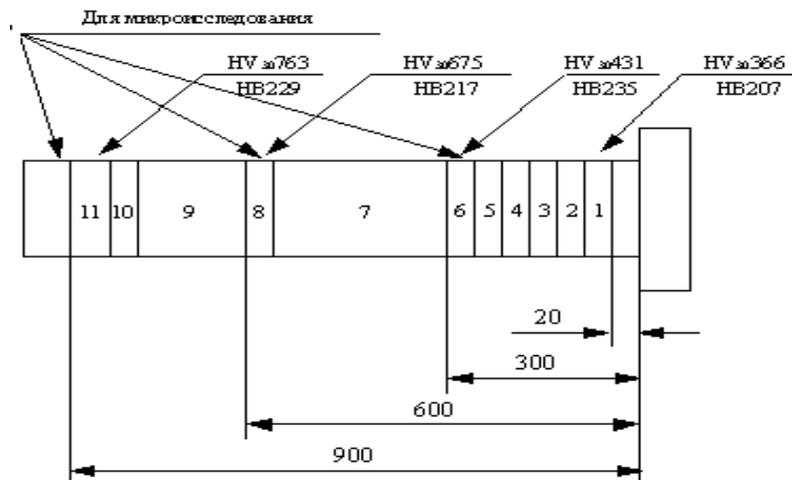


Рисунок 1 - Эскиз порезки штоков из стали 20X1M1Ф1ТР на образцы для исследований микроструктуры, оценки механических свойств и твердости.

Металлографічними дослідженнями штока по його довжині встановлено, що у хвостовій частині глибина азотированного шару становить 0,4мм, а у головки до 1мм. На відстані 300мм від головки такий шар становить 0,9мм. По глибині штока відзначається зниження твердості (табл. 2 і рис. 2 і 3).

Таблиця 2 - Зміна властивостей по довжині штока

Показатели качества	Расстояние от головки штока, мм			
	20	300	600	900
Твердость поверхности, HV ₃₀	366	431	675	763
Глубина азотированного слоя, мм	1	0,9	0,8	0,4

Після експлуатації штока мікротвердість упрочненого поверхнового шару практично досягла вихідної (Н - 50-180-230), відповідної цьому матеріалу без упрочнення, а глибина його зросла до 0,57-0,98мм, що пов'язано з високою робочою температурою, частичною диссоціацією нітридів і дифузійю азота з одночасним його удаленням в атмосферу.

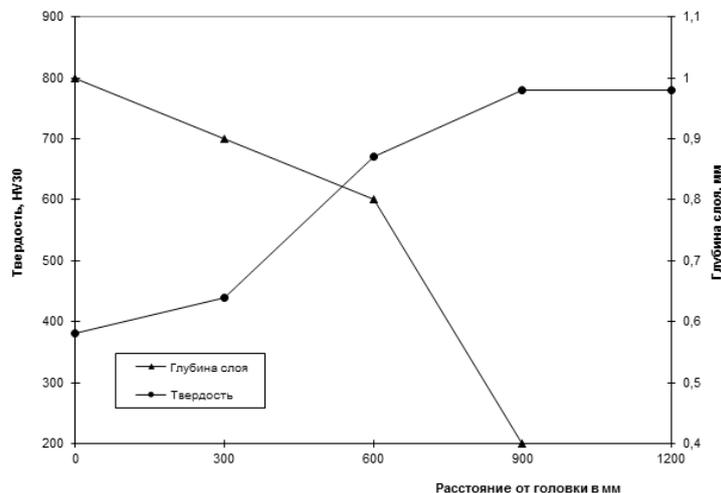


Рисунок 2 - Зміна твердості та глибини азотированного шару по довжині штока в процесі експлуатації

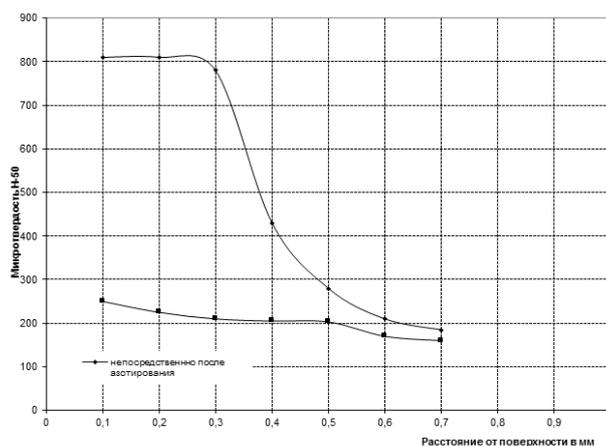


Рисунок 3 - Розподіл мікротвердості по глибині азотированного шару до і після експлуатації

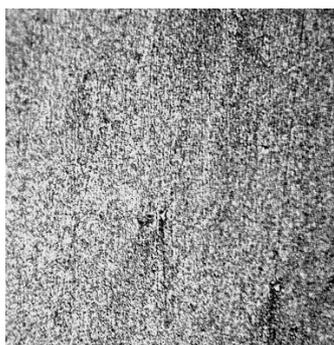


Рисунок 4 - Микроструктура поверхності деталі після експлуатації: $\times 500$

В момент диссоціації нітридів атоми металла мають підвищеною активністю і легко окисляються. На поверхні азотированного слоя появляются окислы [1], количество которых постепенно возрастает (увеличивается размер штоков) и в результате этого явления происходит кратковременное зависание клапанов турбины.

На микрошлифах 1, 6 и 8 в поверхностном азотированном слое обнаружена окисная пленка. Рентгеноструктурным анализом установлено, что она принадлежит Fe_3O_4 . Толщина пленки различна и максимальная, равная 0,06мм, выявлена у головки. На расстоянии 400-600мм от головки выявлены окислы меди, вероятно перенесенные с сопрягаемой детали.

Анализ механических свойств по длине штока после эксплуатации (табл. 3) показал их соответствие требованиям технических условий, т.е. свойства сердцевины при эксплуатации не нарушаются.

Таблица 3 - Механические свойства штоков после эксплуатации

Место вырезки	Клеймо	Механические свойства				
		σ_b	σ_{02}	δ	ψ	НВ
20мм от головки	2	68,0	54,0	18,5	64,0	207
300мм от головки	7	78,0	64,5	18,0	64,0	235
600мм от головки	9	72,5	58,0	18,0	65,0	217
Требования ТУ		60	45-65	16,0	40,0	180-240

Из анализа процессов, происходящих при эксплуатации штоков видно, что увеличивается глубина азотированного слоя, твердость по длине штока существенно изменяется, наблюдаются структурные изменения. Для стабилизации структуры перед восстановлением изношенного слоя было бы целесообразным провести высокотемпературный гомогенизирующий отжиг, однако это не представляется возможным в связи с тем, что объемный нагрев ограничивается температурой 500-540⁰С, т.к. при ее превышении нарушаются свойства сердцевины штока (снижение жесткости, прочности, потеря формы) и деталь становится непригодной для восстановления.

Стабилизацию и однородность свойств поверхности трения (рабочего слоя) перед наращиванием можно обеспечить локальным нагревом для разложения нитридов и формирования переходного слоя необходимой величины. В этом случае наиболее целесообразно использовать локальную лазерную обработку [4].

Выводы:

1. Для разработки рекомендаций по подготовке рабочей поверхности (с учетом ее состояния), к восстановлению, исследовали особенности износа анализируемых деталей. Такой анализ позволит наиболее рационально выбрать режим предварительной обработки, при которой будут обеспечены стабилизация структуры, снятие напряжений и минимальные затраты на механическую обработку.

2. Исследованиями установлено, что при использовании деталей, прошедших химико-термическую обработку (в частности азотирование), после эксплуатации частично сохраняется упрочненный слой, который должен быть удален или восстановлен перед проведением операции нанесения компенсирующего износ покрытия.

Список литературы:

1. Паровая турбина К-300-240 ХТГЗ / Безуглый Г.З., Галацан В.Н., Палей В.А. и др. - М.: Энергоиздат, 1982. - 272с.

2. Паровые и газовые турбины. / Трубило М.А., Арсеньев Г.В., Фролов В.В. и др. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 351с.

3. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. - Изд. 13-е. - М.: Энергия, 1977. - 288с.

4. Мартыненко А.Д., Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Науменко А.А., Слоновский Н.В. Метод восстановления длинномерных деталей, предварительно подвергнутых химико-термической обработке // Труды 5-ой Междунар. науч.- прак. конф. "Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве". – Харьков: ХНПК "ФЭД". 2002. – С. 367-371.

Анотація**Дослідження зносу деталей попередньо зміцнених хіміко-термічною обробкою**

Скобло Т.С., Мартиненко О.Д., Мартиненко Д.О.

В роботі розглянуті питання зносу деталей вузла паророзподілення турбін, попередньо зміцнених хіміко - термічною обробкою.

Abstract**Investigation of wear pre-hardened thermochemical treatment**

Skoblo T.S., Martynenko A.D., Martinenko D.A.

We consider the problems of wear and tear node turbine steam distribution, pre-hardened chemical - heat treatment.