

УДК 621.438

Повышение мощности ГТУ

С.В. Адаменко (Севергазпром), А.А. Елкин (Оргтехдиагностика),
А.И. Каширин, О.Ф. Ключев (ОЦПН, г. Обнинск)

Существует большой парк газотурбинных установок (ГТУ) компрессорных станций, отработавших достаточно большой срок, у которых наблюдается коробление корпуса турбины и осевого компрессора (ОК). В этом случае мощность ГТУ может быть увеличена за счет восстановления оптимальных радиальных зазоров газодинамическим напылением металлокерамических покрытий на стартовую часть ОК.

При эксплуатации газотурбинных агрегатов на КС магистральных газопроводов их техническое состояние со временем ухудшается, что приводит к падению мощности и КПД ГТУ и, следовательно, к пережогу топливного газа. Существует целый ряд причин такого ухудшения [1]:

- увеличение радиальных зазоров в проточной части ОК, происходящее, в частности, из-за коробления корпуса и стирания металла стартера рабочими лопатками;
- увеличение средних радиальных зазоров в уплотнении высокого давления компрессора (воздушной обойме), связанное преимущественно также с изменением ее формы и стиранием металла "усами";
- негерметичность разъемов внутреннего и внешнего корпуса турбины, вызванная короблением корпуса.

Как показал опыт [1], ухудшение расходно-напорных характеристик компрессора, увеличение утечек сжатого компрессором воздуха и рабочего тела, обусловленные указанными причинами, могут приводить к значительному снижению наиболее важных характеристик ГТУ: мощности – на 10–20 %, КПД – на 5–10 % (относительных).

Дефекты оборудования, обусловленные изменением первоначальных геометрических размеров металлических деталей или узлов, можно устранить напылением металлических покрытий, восстанавливающих первоначальные размеры.

При газодинамическом способе напыления покрытий мелкие частицы металла и керамики (порошок) ускоряются сверхзвуковым газовым потоком до скорости несколько сот метров в секунду и, находясь при этом в твердом состоянии, сталкиваются с подложкой [2]. В процессе высокоскоростного удара частицы с подложкой происходит преобразование кинетической энергии этой частицы в энергию связи (механическая, межмолекулярная, химическая) ее с подложкой.

Получаемые таким образом газодинамические покрытия отличаются высокой прочностью сцепления с основой и по своей структуре представляют собой практически однородный металлический слой, структурированный частицами керамики (фото).

Важно отметить, что при работе газодинамического оборудования поток напыляемых частиц является узконаправленным и имеет очень небольшие поперечные размеры – от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Это позволяет напылять покрытие только там, где это необходимо,

не затрагивая соседние участки поверхности изделия. При проведении ремонтно-восстановительных работ использовался комплекс газодинамического напылительного оборудования ДИМЕТ разработки и изготовления Обнинского центра порошкового напыления (патенты РФ: № 2038411 от 17.11.93 г., № 2109842 от 03.06.97 г., № 2100474 от 13.11.96 г.; свидетельства РФ на полезную модель: № 8288 от 21.01.98 г., № 10968 от 24.12.98 г.).

В качестве первого этапа работы было проведено испытание стойкости покрытий в эксплуатационных условиях. Экспериментальное покрытие на основе алюминия было нанесено на крышку статора осевого компрессора ГТУ типа ГТК-10-4 на КС № 15 Нюксеницкого ЛПУ (Севергазпром). Покрытие шириной в основании около 15 мм и высотой 0,3–0,8 мм наносилось над рабочими лопатками 10-й ступени. После нанесения покрытия агрегат был запущен в работу и, отработав 2328 ч, остановлен. После вскрытия агрегата был произведен тщательный осмотр состояния покрытия, который показал, что оно полностью сохранилось на всем участке напыления без каких-либо изменений размера или формы, трещин, отслоений или коробления. На одном из участков покрытия на площади около 1 см² наблюдался след задевания рабочей лопатки за покрытие. При этом верхняя часть покрытия в месте задевания была стерта (но не содрана!), а нижняя – осталась полностью целостной. Это свидетельствует о том, что случайные задевания рабочих лопаток за покрытие не приводят ни к каким отрицательным последствиям. Более того, легкое сревание лопатками покрытия открывает возможность саморегулирования радиального зазора и его автоматической минимизации после ремонта непосредственно в процессе работы компрессора.

Таким образом, предварительная апробация показала, что газодинамические покрытия, наносимые с помощью оборудования ДИМЕТ, обладают устойчивостью к условиям работы в ГТУ. Это позволило перейти к следующему этапу работы – экспериментальным ремонтным работам с контролем их эффективности.

Ремонтно-восстановительные работы проводились на ГТУ типа ГТК-10-4 в Юбилейном ЛПУ (Севергазпром). На горизонтальный разъем корпуса турбины наносилось покрытие на основе меди и алюминия с небольшими добавками некоторых других компонентов. Это покрытие обладает повышенной жаростойкостью, причем со временем при температуре 750–800 °С за счет протекания диффузионных процессов однородность покрытия и его жаростойкость повышаются.



Микрошлиф покрытия из Al + Al₂O₃

Для уменьшения среднего радиального зазора ОК металлическое покрытие наносилось на статор над рабочими лопатками компрессора со 2-й по 10-ю ступень.

Покрытие наносилось в виде трех параллельных полос, расположенных на расстоянии около 15 мм друг от друга. Форма поперечного сечения каждой полосы была близка к равнобедренному треугольнику с основанием 6–7 мм и высотой от 0,2 мм до ~1,5 мм на

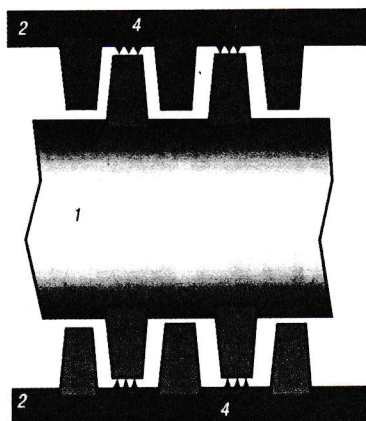


Рис. 1. Схема продольного сечения компрессора:
1 – ротор; 2 – статор; 3 – рабочие лопатки; 4 – нанесенное покрытие

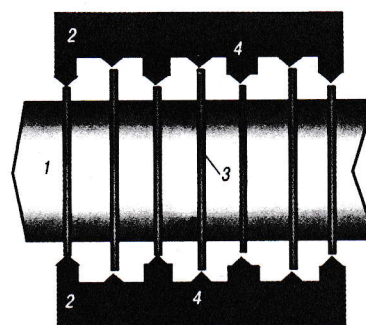


Рис. 2. Схема продольного сечения воздушной обоймы:
1 – ротор; 2 – воздушная обойма; 3 – «усы» лабиринтного уплотнения; 4 – нанесенное покрытие

различных участках статора. Необходимую толщину покрытия выбирали на основании измерений фактических зазоров между рабочими лопатками и статором. Измерения проводили в четырех точках по окружности статора, на остальных участках зазоры оценивали путем интерполяции измерений. Для компенсации искажения формы нанесенное покрытие имело различную толщину по окружности статора (рис. 1).

Для повышения прочности сцепления покрытия с основой была проведена предварительная подготовка поверхности основы с помощью напылительного оборудования ДИМЕТ (путем обработки поверхности высокоскоростным потоком частиц электрокорунда). Особенность процесса заключалась в том, что подготовка поверхности и нанесение покрытия осуществлялись на одном и том же оборудовании (на нескольких различных режимах) и в основном «за один установ», т. е. подготовка поверхности производилась только там, где сразу же после этого наносилось покрытие.

При подготовке поверхности и нанесении покрытия рабочая область напыления закрывалась специальным сборным пылезащитным кожухом, соединенным с фильтровентиляционным устройством. После нанесения покрытия на крышку и корпус статора был осуществлен контроль, направленный на предотвращение возможного касания лопатками напыленного покрытия. Эта операция включала в себя установку ротора, закрытие крышки статора и ручное проворачивание ротора. Затем ОК открывали и производили тщательный визуальный осмотр всего нанесенного покрытия. Была предусмотрена возможность (при необходимости) механического снятия «лишнего» покрытия в местах задевания лопаток.

Ремонтные работы на воздушной обойме выполняли примерно в том же порядке, что и на ОК. Измерения геометрических параметров воздушной обоймы показали, что разница в горизонтальном и вертикальном диаметрах (эллипсность) внутренней полости обоймы на данной ГТУ составила около 3 мм. Необходимая толщина покрытия на разных секторах обоймы составила от 0,2 до 1,5 мм. Ширина каждой полосы напыления в основании составляла 5 мм. Напыление производилось как на выступы, так и на впадины обоймы непосредственно над «усами» лабиринтного уплотнения (рис. 2).

Для уменьшения утечек рабочего тела было выполнено уплотнение горизонтального разъема корпуса турбины. Для определения необходимой толщины покрытия на различных участках разъема на горизонтальный разъем крышки внутреннего (вставка) и внешнего корпуса турбины в нескольких точках наносили

Р О И З В О Д С Т В О

мягкое медное покрытие толщиной 2–3 мм. Затем крышку устанавливали на место, при­тягивали болтами, а потом опять снимали. По высоте деформации напыленных точечных участ­ков покрытия определяли величину зазоров в горизонтальном разъеме и необходимую тол­щину напыления.

Напыление жаростойкого покрытия было выполнено с помощью ручного оборудова­ния ДИМЕТ так, чтобы толщина напыленно­го слоя не превышала величину ранее оп­ределенного зазора (чтобы покрытие не сминалось при закрытии разъема). Покры­тие представляло собой несколько полос, на­несенных на торце вставки и крышки внеш­него корпуса, имеющих в поперечном сече­нии форму приблизительно равно­сторонне­го треугольника с основанием шириной 5–6 мм и толщиной 1–3 мм.

Эффективность ремонта оценивали по результатам расчетов приведенной мощнос­ти и КПД ГТУ. Исходные фактические пара­метры ГТУ измерялись персоналом КС № 16 Юбилейного ЛПУ, а также представителями Севергазпрома и Оргтехдиагностики. По этим данным специалистами Оргтехдиагностики по методике [3] был произведен расчет приве­денной мощности ГТУ и коэффициента ее технического состояния. КПД рассчитывался специалистами Севергазпрома по методике завода-изготовителя (НЗЛ).

Результаты расчетов показали, что ремон­тные работы дали значительный прирост мощ­ности (от 6,5 до 8,5 МВт) и КПД ГТУ (от 22,8 до 25,6 %). При этом необходимо отметить, что при выполнении данных работ ремонт (гер­метизация) регенератора не производился.

Таким образом, первый опыт примене­ния описанного способа ремонта показал его большие потенциальные возможности. Дальнейшие работы по автоматизации тех­нологического процесса, оптимизации со­става, формы, расположения и других па­раметров покрытий, а также режимов их нанесения позволят внедрить в практику новую эффективную технологию восстано­вления характеристик ГТУ.

Список литературы

1. Щуровский В.А., Зарицкий С.П., Корнеев В.И. и др. Инструкция по контролю и учету тех­нического состояния элементов газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. – М.: ВНИИ­газ, 1977. – 46 с.
2. Алхимов А.П., Косарев В.Ф., Папырин А.Н. Метод "холодного" газодинамического напы­ления // Докл. АН СССР. 1990. – Т. 315. – № 5. – С. 1062–1065.
3. Вертепов А.Г. Экспресс-метод оценки за­руски и технического состояния ГТУ// Сб. "Совершенствование машин и агрегатов га­зовой промышленности". – М.: ВНИИгаз, 1994. – С. 44–52.