

Оценка причин разрушения лопаток из стали 14X17H2 осевого компрессора агрегата ГТК-25И

К. А. Ющенко^а, В. С. Савченко^а, Л. В. Червякова^а, В. И. Избаш^б,
В. Г. Соляник^б

^а Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

^б НАК “Нефтегаз Украины” ДК “Укртрансгаз”, Киев, Украина

Исследованы причины разрушения лопаток из мартенситно-ферритной стали входного поворотного направляющего аппарата осевого компрессора газоперекачивающего агрегата. Есть несколько стадий разрушения лопаток: коррозия–циклическая усталость–разрушение. На начальной стадии имеет место коррозионное повреждение на границе раздела мартенсит–феррит, переходящее к внутризеренному коррозионному разрушению по мартенситным иглам и усталостному разрушению по телу зерна.

Ключевые слова: газотурбинные установки, лопатки, коррозионные повреждения.

На газотурбинных установках ГТК-25И, широко применяемых для транспортировки газа, используется входной поворотный направляющий аппарат осевого компрессора, который комплектуется стационарными поворотными лопатками из стали 14X17H2. В соответствии со структурной диаграммой Потака и Сагалевича [1], данная сталь относится к высоколегированным сталям мартенситно-ферритного класса с содержанием около 70% мартенсита, менее 20% феррита и остаточного аустенита. Структурно свободный феррит выделяется в виде полос [2].

Сталь 14X17H2 относится к закаленным нержавеющей хромистым сталям, в которых повышенное содержание хрома обеспечивает достаточную коррозионную стойкость ряда слабоагрессивных сред [3, 4]. Однако стали подобной системы легирования [1, 3] чувствительны к понижению коррозионной стойкости при нагреве выше 500°С в связи с возможным выделением избыточных фаз.

В процессе эксплуатации стационарных поворотных лопаток в составе компрессора установки ГТК-25И перо лопатки разрушается. Цветная дефектоскопия поверхности пера и металлографические исследования позволяют обнаружить:

локальные микротрещины в зоне выкружек в местах перехода цилиндрической части верхней и нижней цапф к перу. Предполагалось, что основной задачей выкружек является уменьшение величины концентрации напряжений;

микротрещины в области забоин на входной кромке пера лопатки;

локальные (язвенные) коррозионные повреждения поверхности пера лопатки, в том числе в области выкружек (рис. 1–3).

Анализ состояния верхней цапфы лопатки показывает односторонний износ цилиндрической ее части со стороны “спинки” пера лопатки, что связано, очевидно, с наличием значительных знакопеременных нагрузок пера

поворотной лопатки. Кроме того, визуально обнаружены многочисленные локальные вспучивания поверхности пера лопатки диаметром 0,5–1,2 мм и глубиной 0,5 мм.



Рис. 1. Коррозионно-усталостное разрушение поверхности лопатки из стали 14X17H2 в процессе эксплуатации (1) и хрупкое разрушение в области заборин при аварийном разрушении (2).

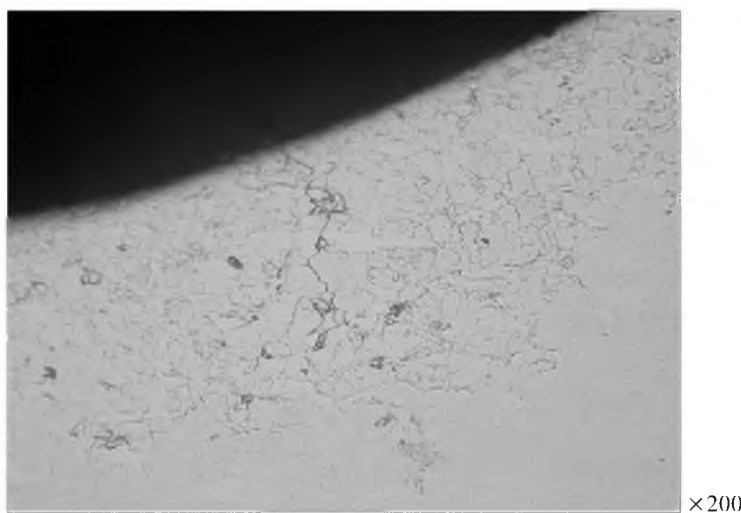


Рис. 2. Коррозионно-усталостное разрушение пера лопатки из стали 14X17H2 в области выкружки. ×200

Металлографическими исследованиями установлен структурный состав металла, состоящий из блочного мартенсита (M) и строчечных выделений феррита (δ), сформировавшегося, по-видимому, в результате термомеханической обработки заготовок лопаток при высоких температурах. По границам мартенситных блоков внутри бывших аустенитных зерен и границам между δ -ферритом и мартенситно-структурными составляющими наблюдаются выделения карбидов типа $Me_{23}C_6$ (рис. 4).

Результаты определения химического состава (мас.%) металла исследуемой поворотной лопатки из стали 14X17H2 с использованием микрорентгеноспектрального анализа таковы: 0,46...0,58 Si, 17,85...20,30 Cr, 78,12...79,66 Fe, 1,01...2,03 Ni.

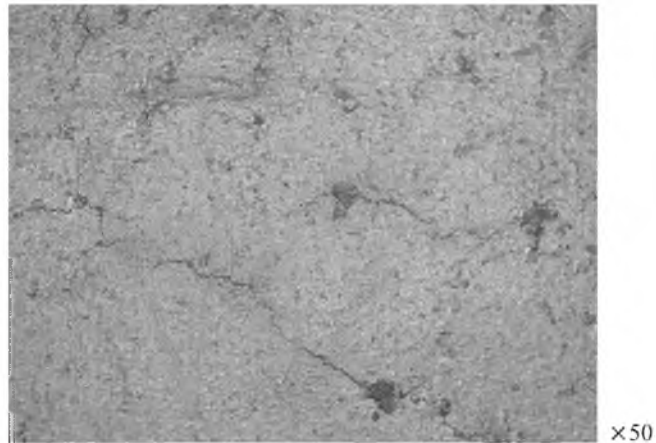


Рис. 3. Фрагмент поверхности пера поворотной лопатки из стали 14X17H2 с характерным коррозионным растрескиванием.

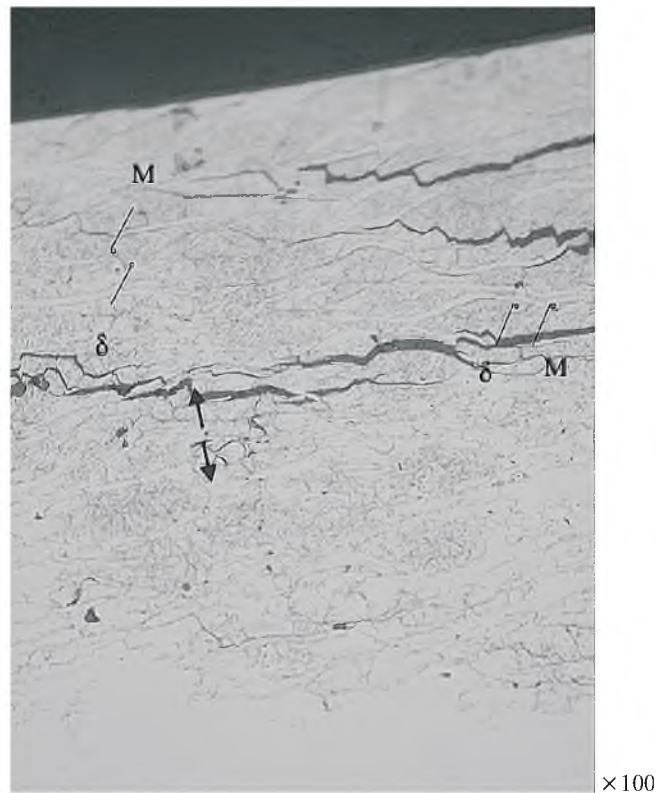


Рис. 4. Смещение локальных участков металла (указаны стрелками) в местах образования вздутий: *M* – мартенсит; δ – феррит.

Среднее содержание углерода в металле исследуемой лопатки, определяемое химическим анализом, составляет 0,14 мас.%. Наблюдается некоторое перераспределение основных легирующих элементов стали (хрома и никеля) между мартенситной и ферритной составляющими структуры в связи с различной растворимостью этих элементов при высоких температурах (в момент существования структур) в γ -аустените и δ -феррите.

Исследование поверхности лопаток в состоянии после эксплуатации с использованием оптического микроскопа “NEOFOT 32” позволяет детально оценить характер разрушения пера лопатки в процессе эксплуатации.

Прежде всего подтверждается наличие коррозионно-усталостного разрушения от выкружек в местах перехода от верхней и нижней цапфы к перу лопатки.

Металлографические исследования полированных, но нетравленных шлифов позволяют судить о глубине коррозионного проникновения в металл и характере коррозии. Таким образом, в процессе эксплуатации имеет место межзеренное разрушение металла по границам бывших аустенитных зерен, сформировавшихся при высоких температурах при закалке металла. Кроме того, установлено, что “язвенные” разрушения поверхности пера лопатки в результате коррозионного воздействия могут располагаться произвольно.

Механические характеристики металла образцов, свободных от повреждений, соответствовали нормативной документации [5] (таблица). Твердость металла (*НВ*) для поворотной лопатки из стали 14Х17Н2 для пера, верхней и нижней цапф соответственно составляла 255, 262 и 251.

Механические свойства стали 14Х17Н2 [5]

Сортамент	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	ψ , %	<i>KCU</i> , Дж/см ²	<i>НВ</i>
Сортовой прокат	835	1080	10	30	49	≤ 285
Поковки	539	686	13	35	54	248...293

На основании полученных результатов можно заключить, что вначале происходит разрушение по границам бывших аустенитных зерен. Впоследствии имеет место также избирательная коррозия от границ зерен в глубь зерна преимущественно по мартенситным иглам. Некоторые локальные язвенные разрушения соединяются трещинами, формируя таким образом макроразрушение.

Как отмечалось выше, значительный объем коррозионных повреждений связан с возникновением локальных вздутий на поверхности пера лопатки из стали 14Х17Н2. Известны предположения, что вздутия предшествуют появлению язвенных разрушений. Для выяснения механизма возникновения локальных нарушений поверхности разработана специальная методика подготовки шлифов, гарантирующая адресное сечение плоскостью шлифа середины такого вздутия. Исследования проводили с использованием оптической микроскопии в светлом и темном поле, а также сканирующей электронной микроскопии. Анализ строения поверхности шлифа в месте коррозионного разрушения осуществляли без предварительного ее травления с целью облегчения идентификации и оценки характеристик типов коррозии.

Исследованиями установлено, что усталостные разрушения в области выкружек имеют межзеренный характер. Усталостные трещины распространяются по границам бывших аустенитных зерен и находятся в поле напря-

жений, создаваемых выкружками. Распространение усталостных трещин облегчается наличием коррозионных язв в области выкружек.

Локальные вспучивания возникают вследствие подповерхностного расслаивания металла из-за процессов коррозии. На начальной стадии происходят коррозионные повреждения на границах зерен и границе мартенсит–феррит, переходящие к внутризеренному разрушению по мартенситным иглам.

Характер разрушения лопаток комплексный и проходит в несколько стадий: коррозия–циклическая усталость–окончательное разрушение.

Предположения о развитии локальных коррозионно-усталостных повреждений базируются на известных фактах [6], в соответствии с которыми в атмосферных условиях скорость коррозии сильно зависит от влажности воздуха и присутствия в нем агрессивных примесей, например SO₂, H₂S и др.

Таким образом, основной причиной коррозии является изменение структурного состояния металла, при котором вследствие выделения карбидов хрома по структурным составляющим в результате термообработки происходит обеднение металла хромом ниже порога пассивации. При этом имеет место избирательное (локальное) коррозионное разрушение под влиянием влажного воздуха, обогащенного агрессивными примесями.

Резюме

Досліджено причини руйнування лопаток із мартенситно-феритної сталі вхідного поворотного напрямного апарата осьового компресора газоперекачувального агрегату. Руйнування лопаток відбувається на декількох стадіях: корозія–циклічна втома–руйнування. На початковій стадії має місце корозійне пошкодження на границі розділу мартенсит–ферит, яке переходить у внутрішньозеренне корозійне руйнування по мартенситних голках і руйнування від втоми по тілу зерна.

1. *Марочник* сталей и сплавов / Под ред. А. С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 783 с.
2. *Потак Я. М.* Высокопрочные стали. – М.: Metallurgiya, 1972. – 208 с.
3. *Чигал В.* Межкристаллитная коррозия нержавеющей сталей // Химия. – 1969. – 232 с.
4. *Ланская К. А.* Высокохромистые жаропрочные стали. – М.: Metallurgiya, 1976. – 216 с.
5. *Ульянин Е. А., Свистунова Т. В., Левин Ф. Л.* Высоколегированные коррозионностойкие сплавы. – М.: Metallurgiya, 1987. – 88 с.
6. *Мелехов Р. К., Похмурський В. І.* Конструкційні матеріали енергетичного обладнання. – Київ: Наук. думка, 2003. – 382 с.

Поступила 25. 10. 2007