

УДК 669.15.620

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ОТЛИВОК ТУРБИН ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

**В.П. Тарабанова, доц., к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-
дорожный университет, Л.Д. Мищенко, ст. науч. сотр., к.т.н.,
Харьковский турбинный завод**

Аннотация. Исследованы изменения в структуре и механические свойства после эксплуатации отливок турбин. Установлены причины появления камневидного излома.

Ключевые слова: металлографический, структура, разрушение, камневидный излом, аустенит, дефект, охрупчивание, фрактография.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ І ХАРАКТЕРУ РУЙНУВАННЯ ВІДЛИВОК ТУРБІН ПІСЛЯ ВЕЛИКОГО ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**В.П. Тарабанова, доц., к.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній
університет, Л.Д. Міщенко, ст. наук. співр., к.т.н., Харківський турбінний завод**

Анотація. Досліджено зміни в структурі й механічні властивості після експлуатації відливок турбін. Установлено причини появи каменеподібного зламу.

Ключові слова: металографічний, структура, руйнування, каменеподібний злам, аустеніт, дефект, окрихчування, фрактографія.

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND NATURE OF DESTRUCTION OF TURBINE CASTINGS AFTER A PROLONGED TERM OF OPERATION

**V. Tarabanova, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), Kharkov National Automobile and Highway
University, L. Mischenko, Sr. Researcher, Ph. D. (Eng.),
Kharkiv Turbine Works**

Abstract. Changes in the structure and mechanical properties, which have been in operation, of turbine castings are researched. Causes of conchoidal fracture appearance are determined.

Key words: metallographical, structure, breakdown, conchoidal fracture, austenite, defect, brittleness, fractography.

Введение

Одной из важнейших задач энергомашиностроения является повышение надежности и работоспособности деталей турбин. В процессе эксплуатации деталей турбин под влиянием повышенных температур и напряжений происходят структурные изменения, которые отрицательно сказываются на механических свойствах и приводят к преждевременному выходу из строя. В связи с этим представляется актуальным проведение ис-

следований структурных изменений в отливках турбин после эксплуатации.

Анализ публикаций

Известно, что отдельные детали турбин работают в достаточно трудных условиях. Так, блок клапанов парораспределения эксплуатируется в условиях сложноподвижного состояния при переменном цикле нагружения, подвергаясь разнообразным видам деформации – растяжению, сжатию, сдвигу и

др. Для оценки состояния металла и прогнозирования долговечности корпусов блока клапанов парораспределения представляется целесообразным исследование структуры отливок после длительных сроков эксплуатации [1].

В жаропрочных сталях, из которых изготовлены детали турбин, структурные изменения инициируют формирование камневидного излома, что приводит к охрупчиванию материала деталей турбин и преждевременному их разрушению. Поэтому очень важным является выявление факторов, препятствующих образованию камневидного излома, что позволит повысить надёжность и долговечность турбин. Точность результатов распознавания этих факторов определяется видом методик, используемых при проведении исследований. Эти вопросы практически не нашли отражения в литературе [1].

Цель и постановка задачи

Целью работы является исследование структуры и характера разрушения отливок турбин, эксплуатируемых в условиях повышенных температур и напряжений. Для достижения цели решается задача установления факторов, препятствующих образованию камневидного излома.

Материал и методика исследований

В настоящей работе исследования проводились на материале корпуса парораспределения турбины Приднепровской ГРЭС, выполненного из стали 15X2M2ФБС, после эксплуатации 100 тыс. часов.

Для исследования состояния металла после эксплуатации был проведен металлографический и электронномикроскопический анализ. Характер разрушения изучался с помощью электроннографического исследования поверхности изломов на растровом микроскопе.

Результаты исследований и их обсуждение

Как показали металлографические исследования, структура отливки состоит из бейнита, феррита и феррито-карбидной смеси. В процессе эксплуатации наблюдается распад бейнита на феррито-карбидную смесь и дифференциация структурных составляющих.

Изучение механических свойств металла после эксплуатации показало, что из всех свойств наиболее существенно снижается ударная вязкость. Обычно при оценке свойств жаропрочных сталей низкий уровень ударной вязкости при 20 °С настораживает, поскольку предполагается, что такое «охрупчивание» снижает пластичность стали и может явиться причиной аварийного разрушения металла в эксплуатации.

Для получения полной информации о структурном состоянии металла после эксплуатации изучалось микростроение изломов. Необходимость в таком исследовании вызвана тем, что особенностью стали 15X2M2ФБС является наличие камневидного излома. В табл. 1 приведено сопоставление величины ударной вязкости с микрофрактографическими характеристиками изломов металла.

Таблица 1 Сопоставление микрофрактографических характеристик излома отливки с количеством участков камневидного излома и значениями ударной вязкости

Ударная вязкость, Дж/см ²	Процент камневидного излома	Микрофрактографические признаки проявления пластической деформации
65	80	участки излома со скоплением ямок различных размеров, главным образом, мелких
55	10	скопления ямок чередуются со следами от микронадрывов, присутствуют язычки и гребни
23	30	поверхность излома состоит из фасеток квазисколов и ступенек
15	–	бороздки усталости с грубохолмистым рельефом, элементы ручьи-стого узора

Все возрастающие потребности современного машиностроения ставят остро вопрос о применении сталей, склонных к образованию камневидного излома.

Так, в работе [1] развита теория образования камневидного излома, связывающая появление этого дефекта с выделением из аустенита при медленном охлаждении после перегрева примесей неметаллического характера – сульфидов – вследствие изменения растворимости с температурой. Однако дальнейшие

исследования показывают возможность образования устойчивого камневидного излома и при высоких скоростях охлаждения. Очевидно, что при очень медленном охлаждении в большей степени, чем при быстром, успевает пройти коагуляция неметаллической фазы сульфидов, ранее выделившихся по границам бывшего аустенитного зерна.

Как видно из сопоставления результатов, приведенных в табл. 1, наличие большого процента камневидного излома не сопровождается хрупким разрушением. Так, при наличии 80 % камневидного излома на фрактограммах наблюдаются скопления мелких ямок, что является отличительным признаком вязкого разрушения.

При изучении изломов методом электронной фрактографии на сколах образцов с большей склонностью к образованию устойчивого камневидного излома наблюдаются частицы. Это могут быть сульфидные включения, нитридная фаза. Локальное обогащение зернограничных объемов такими включениями приводит к тому, что последующая термическая обработка не сможет «убрать» эти частицы с границ бывших аустенитных зерен, и они окажутся как бы «зафиксированными», а границы – резко ослабленными. Отсюда и камневидный излом, и снижение ударной вязкости. На рис. 1 приведена взаимосвязь между размером зерна, с одной стороны, и ударной вязкостью и количеством камневидного излома – с другой.

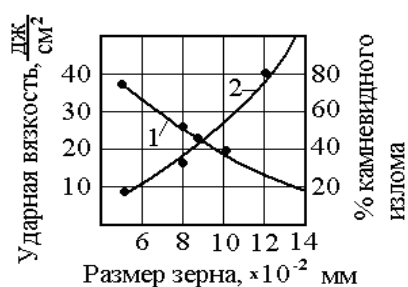


Рис. 1. Зависимость между ударной вязкостью и параметрами структуры излома: кривая 1 – между ударной вязкостью и размером зерна; кривая 2 – между процентом камневидного излома и размером зерна

Следует отметить, что участки камневидного излома имеют хрупкий и вязкий характер. На рис. 2 представлена фрактограмма вязких и полувязких участков камневидного излома, а

на рис. 3 – хрупких участков камневидного излома.

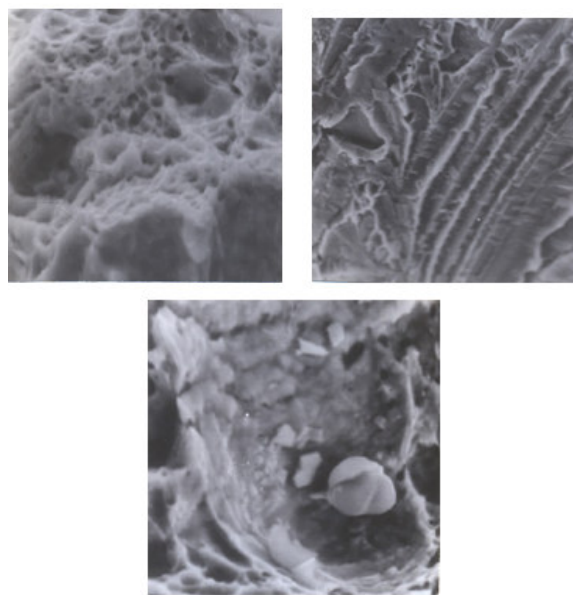


Рис. 2. Фрактограмма вязких и полувязких участков камневидного излома, $\times 1000$

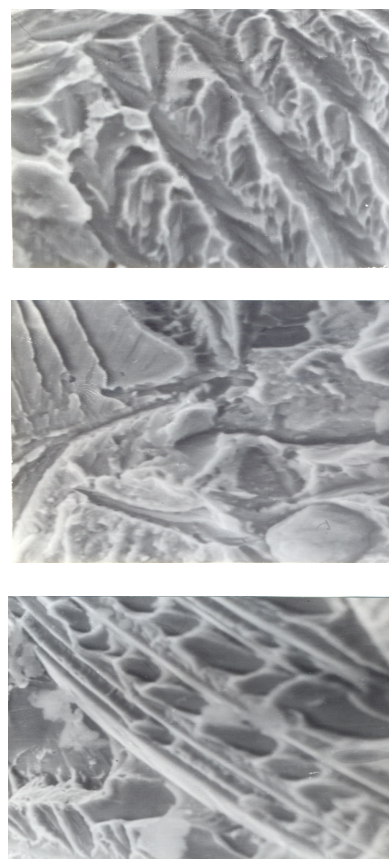


Рис. 3. Фрактограмма хрупких участков камневидного излома, $\times 1000$

Сопоставление микроструктуры с изломами свидетельствует о том, что одной из причин

камневидного излома является крупное зерно. Другой причиной появления камневидного излома является наличие примесей в стали в виде сульфидов или нитридов, которые располагаются по границам зерен и ослабляют их [2, 3].

На характер разрушения влияют ферритные прослойки вокруг бейнитных зерен, которые, участвуя в разрушении, образуют ручьистый узор.

Обобщая полученные результаты, можно сказать, что камневидный излом может быть хрупким и вязким. Считаю неправильным бытующее до сих пор мнение, что камневидный излом всегда сопровождается хрупким разрушением. Если порог хладноломкости смещен влево, то камневидный излом носит вязкий характер. Если же по каким-либо причинам, связанным то ли с исходной термической обработкой, то ли с условиями эксплуатации, порог хладноломкости смещается вправо, в этом случае камневидный излом сопровождается хрупким разрушением.

Выводы

Одним из главных факторов, препятствующих образованию камневидного излома, яв-

ляется чистота стали и, прежде всего, отсутствие сульфидов и нитридов.

Перегрев стали при предварительной или окончательной термической обработке делает границы зерен ослабленными. Последующая эксплуатация, проходящая в условиях повышенных температур и напряжений, приводит к тому, что границы зерен являются местом, где происходит локальное обогащение включениями, а это, в свою очередь, способствует образованию камневидного излома.

Литература

1. Коломбье Я. Нержавеющие и жаропрочные стали / Я. Коломбье, И. Гофман. – М.: Металлургия, 2002. – 352 с.
2. Гарофало Ф. Законы ползучести и длительной прочности металлов и сплавов / Ф. Гарофало. – М.: Металлургия, 2004. – 304 с.
3. Масленков С.Б. Жаропрочные стали и сплавы: справочник / С.Б. Масленков. – М.: Металлургия, 2003. – 192 с.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
