

УДК 670.191.33

**П. Марущак<sup>1</sup>, докт. техн. наук; И. Окипный<sup>1</sup>, канд. техн. наук;  
С. Панин<sup>2</sup>, докт. техн. наук; В. Бревус, А. Сорочак**

<sup>1</sup>*Тернопольский национальный технический университет  
имени Ивана Пулюя*

<sup>2</sup>*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ВОДО- И ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

*Резюме.* Рассмотрены механизмы разрушения металла арматуры водо- и газотранспортных систем. Приведены сведения о влиянии технологии изготовления и эксплуатационной наработки на техническое состояние металла. Предложены мероприятия, позволяющие увеличить прочность и ресурс деталей.

*Ключевые слова:* чугун, разрушение, литейные дефекты, структурная неоднородность.

**P. Maruschak, I. Okipnyi, S. Panin, V. Brevus, A. Sorochak**

## **ANALYSIS OF CAUSES OF FAILURE OF THE SYSTEM ELEMENTS OF THE WATER AND GAS SUPPLY**

*The summary.* The mechanisms of failure of the metal fittings of water and gas transportation systems. It provides information on the impact of manufacturing technology and operational developments in the technical state of the metal. Proposed activities that increase strength and resource details.

*Key words:* cast iron, fracture, casting defects, structural heterogeneity.

**Вступ.** Высокопрочный чугун (ВЧ) один – из наиболее перспективных материалов при изготовлении арматуры для нефтегазовой промышленности. Основными его преимуществами являются высокая прочность, коррозионная стойкость и технологичность [1]. Кроме того, наличие в структуре чугуна графитных включений, служащих твердой смазкой, позволяет эффективно проводить механическую обработку литых деталей. Использование ВЧ позволяет изготавливать детали ответственного назначения, эксплуатируемые в условиях высоких квазистатических и циклических нагрузок, в тоже время это требует дополнительного контроля соблюдения технологии их изготовления, а также развития методов фрактодиагностики разрушенных деталей [2,3].

Еще одним перспективным направлением развития фрактодиагностики является исследование изломов деталей, изготовленных из цветных металлов, которые нашли широкое применение при изготовлении арматуры систем водоснабжения. На основании анализа ряда работ, посвященных проблемам экспериментального исследования процессов деформирования и разрушения деталей из ВЧ и цветных металлов [1-3,4], можно утверждать, что к ним применимы аналогичные подходы фрактодиагностики. В тоже время, в каждом конкретном случае, причины разрушения конструкций могут отличаться [5,6]. Фрактодиагностические подходы эффективно дополняют результаты проектных расчетов и позволяют внести коррективы в технологический процесс изготовления деталей. Таким образом, исследование причин разрушения деталей с учетом их структуры, свойств и условий эксплуатации материала является актуальной задачей.

В данной работе проведен анализ причин квазистатического разрушения отливки корпуса фильтра для очистки природного газа, а также механизмы эксплуатационного разрушения шарового крана системы водоснабжения.



Прочность данной отливки обеспечивается соблюдением существующих норм дефектности металла и выполнением требований технологического процесса. Таким образом, вопросы анализа формы и размеров дефектов имеют первостепенное значение.

На основании данных макроанализа установлено, что поверхность макроразрушения имеет хрупкое мелкозернистое строение, крупные рубцы и вторичные трещины не обнаружены. Подобный механизм является типичным для разрушения чугунов. Выявлен ряд расслоений металла длиной 2,0...2,5 мм, что являются металлургическими дефектами (рис. 2 а, б).

Таким образом, вероятной причиной разрушения детали является трещина, которая распространилась из дефекта литейного происхождения. Наличие вторичных металлургических дефектов послужило дополнительным фактором быстрого старта трещины.

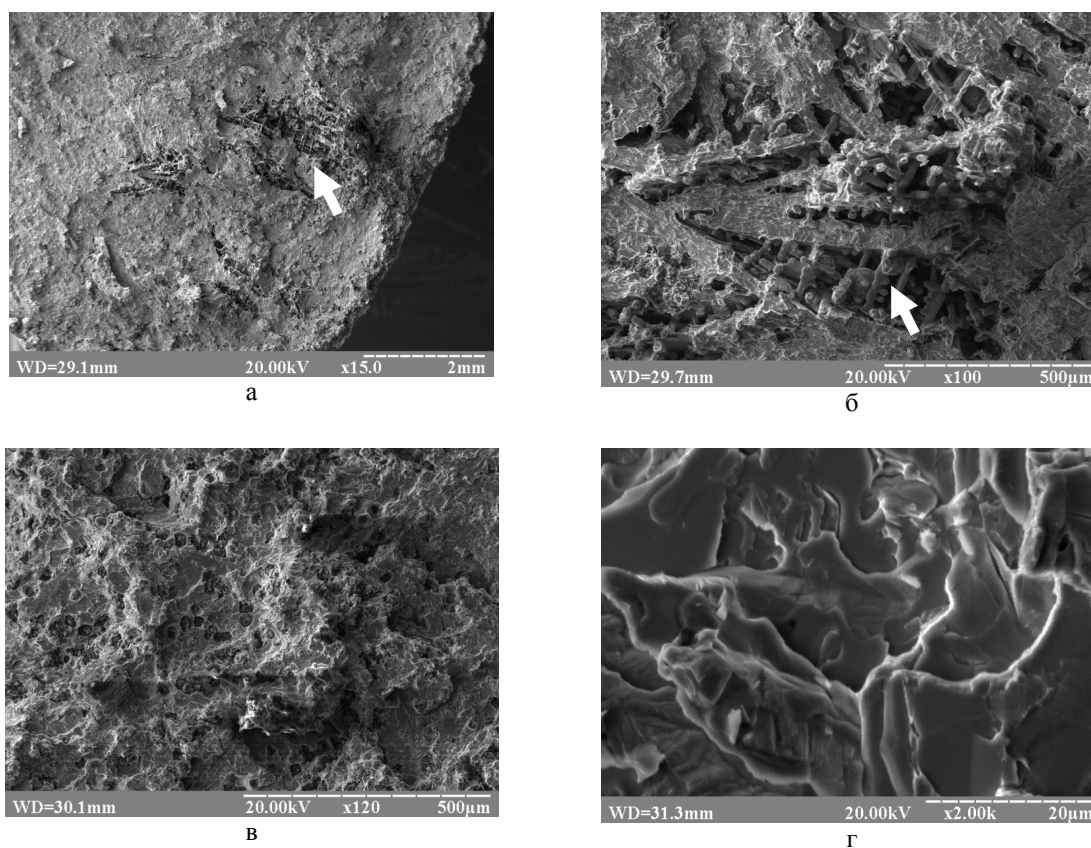


Рисунок 2. Микромеханизмы разрушения корпуса газового фильтра: а,б – макротрещина (позн. стрелкой); в – включения графита; г - фасетки скола

Одной из причин хрупкого строения излома материала является его структурная неоднородность. Причиной повышенной чувствительности материала к зарождению макротрещины является наличие в нем крупных скоплений графитовых включений (рис. 2 в). На поверхности излома наблюдали колонии крупных включений, окруженные участками микропластичного разрушения.

Наличие участков микропластического разрушения свидетельствует о позитивном влиянии микролегирующих и модифицирующих добавок алюминия, кальция, магния. Наличие этих элементов с высокой термодинамической активностью положительно влияет на процессы структурообразования литого чугуна и, в частности, на форму, размер и дисперсность образующихся феррито-перлитных, графитных и других структурных составляющих [1].

При больших увеличениях (до 2000 раз) видно, что разрушение материала произошло по механизму микроскола. Основной составляющей излома являются фасетки скола, средний размер которых составляет 20 мкм, (рис. 2 г). При этом на поверхности разрушения не выявлено вторичных микротрещин. Все фасетки имеют одинаковую ориентацию, направление речевого узора также имеет упорядоченный характер.

При этом необходимо отметить неравномерное распределение вторичных и избыточных фаз по сечению отливки корпуса фильтра, что повышает склонность материала к холодному трещинообразованию и снижает его работоспособность в условиях ударного и длительного циклического нагружения. В исследуемом материале выявлено ряд усадочных раковин и пор, а также локальную зональную и дендритную ликвации. Повышения технологичности и качества литья корпусов фильтров может быть достигнуто при уменьшении суммарного содержания остаточных примесей серы и фосфора, что позволит улучшить литейные свойства чугуна, в том числе жидкотекучесть.

**Шаровой кран.** Исследовали причины эксплуатационного разрушения крана после 7 лет использования в системе водоснабжения, (рис. 3 а). Разрушение произошло вследствие обрыва витка резьбы. Материал крана – латунь водопроводная CW 617N (ЛС 59-1), состав: медь – 58%, цинк – 40%, свинец – 2%. Кран был установлен в механической системе «шаровой кран+фильтр+счетчик расхода воды». Наличие касательной нагрузки на витке резьбы обусловило возникновение растягивающих напряжений в зоне разрушения. Величина этой зоны, а также главного нормального напряжения в ней, зависят от величины усилия затяжки и типа посадки детали. Это обстоятельство дает основания полагать, что в некоторых случаях локальные напряжения в этой зоне превышали допустимые значения для исследуемого материала.

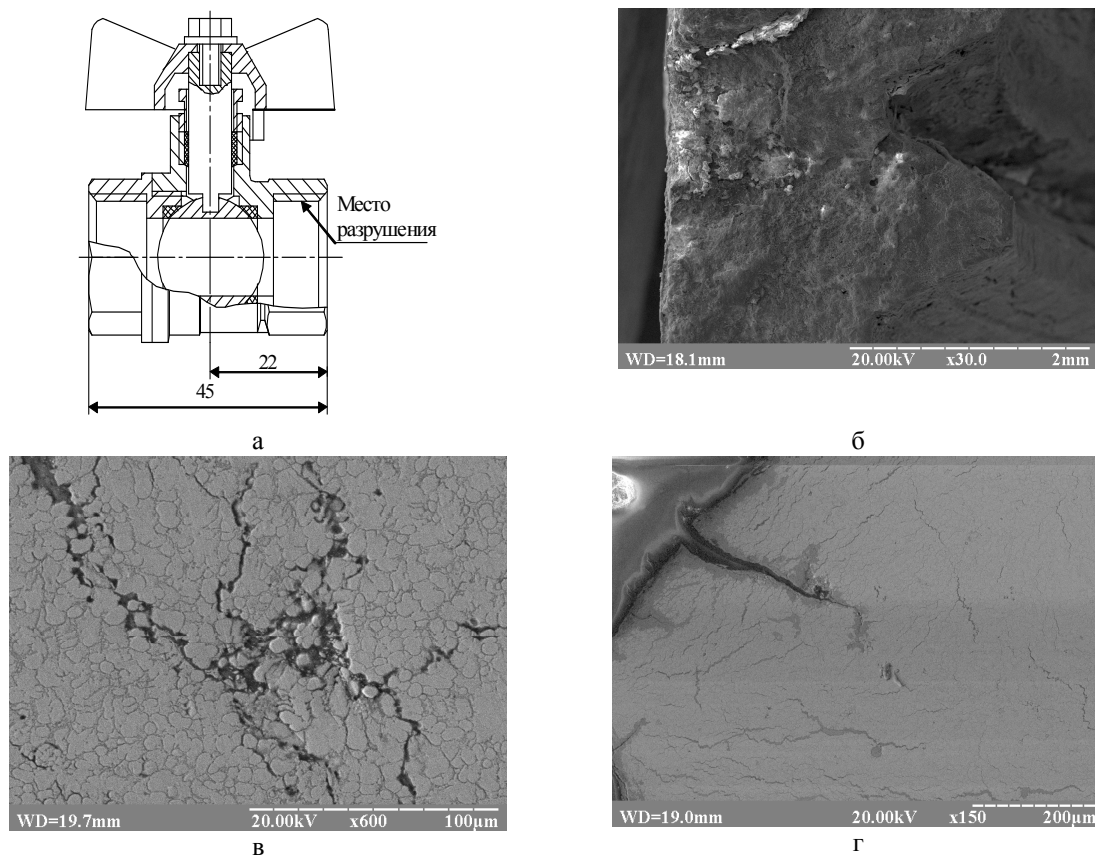


Рисунок 3. Схема шарового крана (а) и механизмы его макро- и микроразрушения (б-г)

Наличие на поверхности излома исследованного образца слоя ржавчины, (рис. 3б). свидетельствует о длительном присутствии дефекта в резьбовом соединении. Очевидно, при затяжке в материале образовались микротрещины, которые развились вследствие действия растягивающих напряжений.

Кроме того, обращает на себя внимание наличие множественных расслоений металла около витков резьбы. Данные расслоения не являются технологическими дефектами, полученными в процессе изготовления. По-видимому, это результат силового воздействия при монтажно-установочных работах. Такие микроповреждения свидетельствуют о том, что в резьбовом соединении действовали значительные остаточные напряжения, которые могли быть одним из основных факторов старта и развития трещины [7,8].

Фрактографические исследования поверхности разрушения показали, что обнаруженные ранее опасные очаги растрескивания в растянутых витках резьбы не были локализованы пластическим течением материала, более того, возникла сетка вторичных дефектов, что в дальнейшем способствовало подрастанию трещины и хрупкому разрушению детали, (рис. 3 в).

На рис. 3г показана типичная трещина, выявленная в вершине одного из витков резьбы. По нашему мнению, трещина зародилась вследствие деформаций материала по схеме «сдвиг+растяжение». При этом значительную роль играли остаточные напряжения, обусловленные начальным усилием затяжки резьбы. Микроанализ профиля резьбы крана показал, что на различных участках резьбы присутствуют микроповреждения и локальные микротрещины.

Одной из причин разрушения крана, по-видимому, необходимо считать периодическое (каждые 2 года) снятие счетчика расходы воды для поверки. После раскручивания счётчика и при его последующей установке после поверки требовалась дополнительная подтяжка резьбовых соединений системы «шаровой кран+фильтр+счетчик расхода воды», что увеличило вероятность возникновения монтажных перекосов и зарождения микротрещин в резьбовых элементах. В соответствии с ГОСТом 12.2.063-81, краны не должен испытывать нагрузок от трубопровода (изгиб, сжатие, растяжение, кручение, перекосы, вибрация, несоосность патрубков, неравномерность затяжки крепежа).

Таким образом, в данном случае причиной разрушения крана послужили нарушения технологии его установки, что привело к зарождению микротрещин и последующему квазистатическому разрушению резьбового элемента конструкции.

В дальнейшем для разработки мероприятий по борьбе с поломкой запорной арматуры систем водоснабжения необходимо учитывать количественные характеристики, механизмы и основные закономерности процессов деформирования материала крана.

**Выводы.** Для получения более высоких физико-механических, технологических и служебных характеристик литых корпусов фильтров из высокопрочного чугуна ВЧ-450 необходимо проведение мероприятий по нормированию соотношений вводимых микролегирующих и модифицирующих добавок, а также технологического процесса литья. Кроме того, необходим контроль чистоты металла по остаточным примесям, что позволит уменьшить негативное влияние этих факторов на процессы структурообразования и формирование технологических свойств литого чугуна.

Причиной разрушения шарового крана системы водоснабжения является нарушение правил его эксплуатации, многократная затяжка резьбового соединения. Несколько повторных затяжек резьбового соединения привели – к возникновению микроперекосов и как следствие к пластическому деформированию материала около резьбы и зарождению микротрещин, одна из которых явилась причиной разрушения шарового крана.

**Література**

1. Структура та опір руйнуванню залізвуглецевих сплавів [Текст] / О.П. Осташ, І.П. Волчок, О.Б. Колотілкін та ін. – Львів. – ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАНУ, 2001. – 272 с.
2. Красовский, А.Я. Прочность и трещиностойкость чугунов с шаровидным графитом [Текст] / А.Я. Красовский, В.В. Калайда. – Киев: Наукова думка, 1989. – 136 с.
3. Найдек, В.Л. Бейнитный высокопрочный чугун [Текст] / В.Л. Найдек, В.П. Гаврилюк, И.Г. Неижко. – К: ФТИМС НАНУ. – 2008. – 140 с.
4. Microstructure and mechanical properties of high strength brass alloy with some elements / H. Atsumi, H. Imai, L. Shufeng et al // Materials Forum. – 2010. – Vols. 654-656. – P. 2552–2555.
5. Фрактодиагностика разрушения металлических материалов и конструкций [Текст] / Г.В. Клевцов, Л.Р. Ботвина, Н.А. Клевцова, Л.В. Лимарь. М.: МИСиС. – 2007. – 264 с.
6. Мак-Ивили А.Дж. Анализ аварийных разрушений [Текст] / пер. с англ. Э.М. Лазарева, Ю.И. Шкадиной; под. ред. Л.Р. Ботвиной. – М.: Техносфера, 2010. – 416с.
7. Stress corrosion cracking and selective corrosion of copper-zinc alloys for the drinking water installation / E. Brandl, R. Malke, T. Beck, A. Wanner, T. Hack // Materials and Corrosion. – 2008. – Vol. 59. – P. 251–258.
8. Haque M.M. Investigation on structure and properties of brass casting / M.M. Haque, A.A. Khan // Mater. Sci. Technol. – 2008. - Vol. 24. – P. 299–301.