



УДК 691

Д.С. Смирнов – кандидат технических наук, доцент**С.С. Маслов** – инженер

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЧУГУННЫХ РАДИАТОРОВ

АННОТАЦИЯ

В России потребность в чугунных радиаторах сохраняется не только при замене старых отопительных приборов, но и для оснащения ими новостроек. Однако использование устаревших технологий и нарушение технологических процессов при производстве чугунных радиаторов приводят к снижению их качества и надежности.

Работа направлена на изучение причин возникновения дефектов и, как следствие, появления протечек в чугунных радиаторах на одном из муниципальных объектов города Казани.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Чугун, чугунные радиаторы, кристаллизация чугуна, отливки из чугуна, макродефекты чугуна, микродефекты чугуна.

D.S. Smirnov – candidate of technical sciences, associate professor**S.S. Maslov** – engineer

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

TO ESTIMATION METHODS OF QUALITY OF CAST-IRON RADIATORS

ABSTRACT

In Russia, the requirement in cast-iron radiators is remained not only for replacing the old heaters but also for provision of newly developed buildings. However, the use of obsolete technologies and troubles in technological processes of cast-iron radiators production lead to the reduction of their quality and reliability.

This work is devoted to research of reasons of defect arousing, and to consequent leakages in the cast-iron radiators at one of the municipal projects in Kazan.

KEYWORDS: Cast-iron, cast-iron radiators, crystallization of cast-iron, founding from cast-iron, macro-defects of cast-iron, micro-defects of cast-iron.

В настоящее время в России в эксплуатации находятся многие миллионы чугунных радиаторов, при этом износ большинства из них составляет 60-80 %. В случае реформирования ЖКХ рассчитывать на замену чугунных радиаторов на биметалл или алюминий не приходится [1]. Кроме того, качество отопительной воды, по меньшей мере, не улучшится и, следовательно, её агрессивное воздействие на отопительные приборы не уменьшится. В последние годы наблюдается рост систем индивидуального, поквартирного отопления. В этом узком секторе жилья чугун, вероятно, будет быстрее вытесняться алюминием, биметаллом и сталью. Однако, в балансе жилищного фонда страны такие здания составляют лишь доли процента, и большинство населения пока живёт в других условиях. Единственным массовым, надёжным и доступным прибором для таких условий эксплуатации остаётся и долго будет оставаться чугунный радиатор. Антикоррозионная устойчивость, низкое гидравлическое сопротивление, высокая

теплоотдача, хорошая гигиеничность, долговечность, доступная цена – эти качества обеспечивают стабильный спрос на чугунные радиаторы в России на десятилетия вперёд. Значительная тепловая инерционность чугуна в российских условиях отнюдь не недостаток. При таких условиях потребность в чугунных радиаторах сохранится не только при замене старых отопительных приборов, но и для оснащения ими новостроек (кроме высоток).

Владельцы индивидуальных домов тоже пока очень спешат отказываться от чугунных радиаторов. Во-первых, потому, что далеко не везде имеется газ, а при использовании твёрдотопливных котлов большая тепловая инерция чугунных радиаторов не недостаток, а благо. Во-вторых, преимущественно радиационная составляющая теплоотдачи чугунных радиаторов привычнее и полезнее для человека, в процессе эволюции привыкшего к низкотемпературному излучению дровяных печей. В-третьих, установив чугунные радиаторы, человек на десятилетия забывает

о них, так как никаких проблем в процессе эксплуатации они ему не создают. Таким образом, чугунный радиатор для России не вчерашний день, а самый что ни на есть сегодняшний [1, 2].

Серьезная проблема – дизайн и качество исполнения отечественных чугунных радиаторов. В России радиаторы производят по давно устаревшим технологиям и на примитивном оборудовании. Отсюда – шероховатая поверхность, неравномерность толщины стенок, большая масса и т.п. В ряде случаев нарушение технологических процессов при производстве чугунных радиаторов приводят к многомиллионным убыткам.

В период с 2002 по 2004 годы на одном из муниципальных объектов производился капитальный ремонт, включающий замену отопительного оборудования. Радиаторы, произведенные одним из ведущих российских предприятий, были установлены в октябре-ноябре 2002 года и опрессованы в декабре 2002 года. Через 2 года эксплуатации произошло более 10 случаев протечки.

С целью выявления причин их появления проведены исследования в металлографической лаборатории КГАСА.

Внешний осмотр позволил установить следующие дефекты: каверны, трещины на торцевой и лицевой частях секций. По результатам внешнего осмотра чугунных радиаторов доставленных в лабораторию, предполагаемыми причинами возникновения выявленных дефектов могли быть:

- избыточное давление или гидравлический удар в отопительной системе;
- не соблюдение условий транспортирования, хранения и монтажа;
- дефекты материала.

На основании данных, представленных МУП «Казэнерго», в период с февраля по март 2004 года избыточного давления в системе не возникало. Нарушений в работе системы не было.

Образование указанных дефектов не связано с механическими повреждениями, которые могли бы иметь место в процессе транспортировки или погрузо-разгрузочных работах, в виду отсутствия отколов, царапин, вмятин, забоин и др. признаков внешнего механического воздействия. Монтаж радиаторов осуществлен в соответствии с требованиями ГОСТ 8690-94 п. 9 [3].

Для определения возможных дефектов в материале проводились обследования чугунных радиаторов на соответствие их требованиям ГОСТ 8690-94 по основным параметрам и размерам, а также требованиям к чугуну, из которого они изготавливались.

Анализ результатов показал, что габаритные расстояния между центрами ниппельных отверстий, размеры и отклонения соответствуют требованиям ГОСТ 8690-94 и ГОСТ 26645-85 [4].

С целью изучения структуры и химического состава чугуна на соответствие требованиям ГОСТ 8690-94, а также характера и причин образования протечек проведен детальный анализ трех секций радиаторов, имеющих все ранее перечисленные дефекты. Исследования включали в себя 3 этапа:

- изучение макроструктуры дефектов,
- химический и спектральный анализы чугуна,
- изучение микроструктуры чугуна.

Для изготовления образцов микрошлифов на радиаторе № 1 были отмечены участки с предположительно возможными дефектами структуры по всей длине трещин. Внешний осмотр вырезанных образцов при восьмикратном увеличении показал, что причиной образования трещины также явились усадочные деформации чугуна. Развитие этих трещин шло с середины сечения, что особенно хорошо видно на рис. 1. Такие трещины не могли возникнуть под действием внешних механических нагрузок.

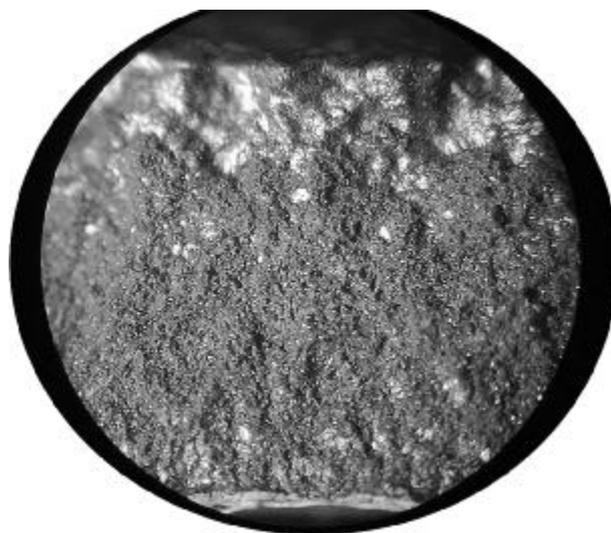


Рис. 1. Усадочная трещина

Для изучения поверхности трещины на радиаторе № 2 с целью выявления причин ее возникновения механическим способом был вырезан образец длиной 370 мм и шириной 23 мм с симметрично расположенной трещиной по длине. Вырезанный участок имел деформационный изгиб с максимальной величиной прогиба 12 мм (рис. 2). Причиной этой деформации явились значительные остаточные напряжения в материале изделия. Трещина имеет характер хрупкого разрушения. Изучение макроструктуры трещины на бинокулярном стереоскопическом микроскопе МБС-9 при восьмикратном увеличении показало, что ее развитие шло с внутренней стороны радиатора.

Наиболее вероятной причиной возникновения трещины является усадка чугуна после завершения процесса его кристаллизации. На первом этапе шло образование несквозной холодной трещины глубиной



0,5-1,0 мм. На втором этапе, вследствие воздействия остаточных напряжений в материале, трещина развивалась вглубь стенки радиатора.

С целью определения механизма образования и строения раковин (предположительно сквозных) на радиаторе № 3 были отмечены участки с указанными дефектами, которые затем вырезались механическим способом. Внешний визуальный осмотр показал, что раковина на участке 1 развивается на глубину до 2,8 мм, т.е. не на всю толщину стенки радиатора. Затем она соединяется с трещиной, образовавшейся с внутренней стороны изделия, что и явилось причиной протечки воды из радиатора (рис. 3).

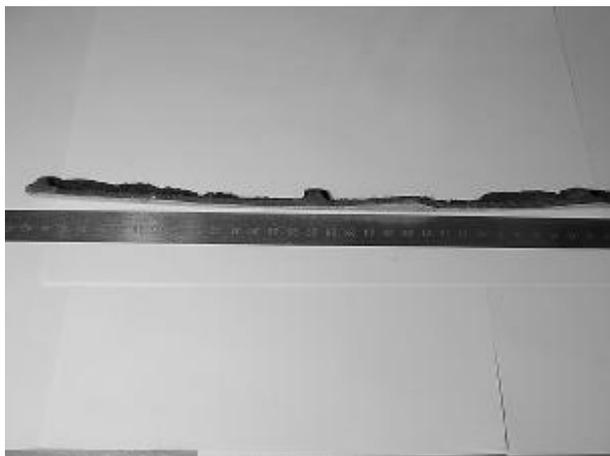


Рис. 2. Образец с деформационным изгибом

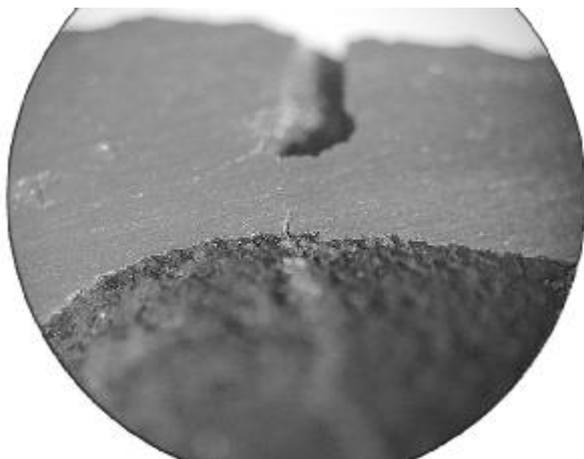


Рис. 3. Раковина на участке 1

На момент проведения опрессовки и в процессе дальнейшей эксплуатации в течение длительного периода времени протечки не наблюдалось. Давление в системе не могло явиться причиной возникновения трещин на рассматриваемых участках, т.к. в этом случае развитие трещин началось бы с наружной стороны изделия в зоне растягивающих напряжений. Статическая прочность чугуна при сжатии примерно

в 4 раза выше прочности при растяжении. Соппротивление усталости серого чугуна при пульсирующем цикле сжатия в 5-6 раз выше, чем при пульсирующем цикле растяжения [5].

В данном случае изначальной причиной образования этих трещин также следует считать усадочные деформации чугуна после кристаллизации с последующим их развитием в результате действия остаточных напряжений в материале до соединения с отверстием на участке 1.

Раковины, наблюдаемые на наружной поверхности радиаторов, образовались в результате газовой выделения. На данном этапе исследований предполагаемыми причинами образования этих раковин могли явиться:

- высокая скорость охлаждения отливки, повлиявшая на процесс кристаллизации чугуна,
- недостаточно развитая вентиляционная система для отвода газов в процессе отливки,
- недостаточная жидкотекучесть чугуна.

С целью определения твердости чугуна проведены испытания образцов №№ 1, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 17, 23 на приборе Роквелла в соответствии с ГОСТ 9013. Далее твердость по Роквеллу (HR_{β}) перевели в твердость по Бринеллю (НВ). Результаты испытаний образцов показали, что для чугуна марок СЧ10 и СЧ15 твердость соответствует требованиям ГОСТ 1412-85 и в среднем составляет НВ 170. Следует отметить, что на разных участках радиатора твердость чугуна изменялась от 156 (образец № 6) до 178 (образец № 10). На данном этапе исследований это явление можно объяснить двумя причинами:

- неравномерное распределение элементов сплава по объему отливки,
- неравномерное формирование структуры чугуна.

Для изучения качественного и количественного химического состава чугуна проведены спектральный и химический анализы образцов 14, 16 и 26, вырезанных из радиатора № 1.

Наличие химических элементов Mn, Si, P, S определялось спектральным анализом на многоканальном спектрометре оптического излучения фирмы APPLIED RESEARCH LABORATORIES (ARL 3460). Прибор имеет стабильные аналитические характеристики, что позволяет быстро и точно определять химический состав металлов. Количество углерода определялось на газоанализаторе ГОУ-1 газообменным методом. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Анализ результатов показал, что содержание химических элементов Mn, Si, P и S соответствует требованиям ГОСТ 1412-85. Компоненты равномерно распределены по объему отливки.

Содержание углерода на образцах 14 и 26 ниже рекомендуемых значений и не соответствует ГОСТ 1412-85 [6]. Следует отметить, что низкое содержание углерода отрицательно сказывается на жидкотекучести и, следовательно, на литейных свойствах чугуна.



Таблица 1

№№ обр.	Fe	C	S	P	Si	Mn
14	основа	3,4	0,036	0,06	2,4	0,64
16	основа	3,5	0,036	0,05	2,4	0,65
26	основа	3,45	0,034	0,05	2,4	0,69

Недостаточные литейные свойства чугуна приводят к образованию литейных дефектов, к которым относятся и раковины, наблюдаемые на некоторых радиаторах.

Для изучения микроструктуры чугуна вырезанные из радиатора образцы (№№ 7, 8, 12, 18, 21) шлифовались и полировались в соответствии с ГОСТ 3443-87 [7]. Исследование графита производили на нетравленном шлифе. Просмотр образцов производили на микроскопе МИМ-7 при увеличении $\times 100$, в соответствии с ГОСТ 3443-87. Анализ результатов показал, что форма включений графита для всех образцов пластинчатая прямолинейная. Длина включений графита в среднем для образцов № 21 и № 12 составила 100 мкм (рис. 4), а для образцов № 7, № 8 и № 18 – 50 мкм (рис. 5).

Для всех исследованных образцов распределение включений графита розеточное. Количество включений графита в среднем составило 5-8 %. Результаты исследований микроструктуры приведены в таблице 2. Розеточное распределение включений графита свидетельствует о быстрой скорости охлаждения чугуна, характерной для тонкостенных отливок.

Разные размеры включений графита в исследуемых образцах могли быть обусловлены двумя причинами:

- неравномерное распределение элементов сплава по объему отливки,
- неравномерное охлаждение отливки.

Причиной образования включений графита различной длины следует считать разную скорость

охлаждения участков отливки, т.к. по результатам спектрального и химического анализов элементы сплава распределены равномерно. Разная скорость охлаждения по участкам отливки стала причиной возникновения остаточных внутренних напряжений в материале.

Анализ полученных результатов исследований позволил установить, что габаритные расстояния между центрами ниппельных отверстий, размеры и отклонения соответствуют требованиям ГОСТ 8690-94 и ГОСТ 266645-85. Твердость чугуна в отливке соответствует ГОСТ 1412-85. Форма зерен графита в чугуне соответствует требованиям ГОСТ 8690-94. Содержание S, P, Si, Mn соответствует требованиям ГОСТ 8690-94. Содержание C не соответствует требованиям ГОСТ 8690-94 по минимально допустимому содержанию.

Следовательно, наиболее вероятной причиной возникновения дефектов является:

- 1) образование холодных трещин в результате неравномерного и быстрого охлаждения отливок;
- 2) повышенные остаточные напряжения в материале;
- 3) наличие литейных дефектов в виде раковин, вызванных недостаточной жидкотекучестью чугуна и высокой скоростью его охлаждения.

Учитывая причины возникновения дефектов, предприятию рекомендовано обеспечить надлежащий операционный контроль при изготовлении чугунных радиаторов.



Рис. 4. Включение графита на образце 12 (участок 3)



Рис. 5. Включение графита на образце 18 (участок 2)



Таблица 2

№№ обр.	Условное обозначение по ГОСТ 3443-87
7	ПГф1 – ПГр7 – ПГд45 – ПГб
8	ПГф1 – ПГр7 – ПГд45 – ПГб
12	ПГф1 – ПГр7 – ПГд90 – ПГб
18	ПГф1 – ПГр7 – ПГд45 – ПГб
21	ПГф1 – ПГр7 – ПГд90 – ПГб

Литература

- Интернет-портал «Все для строительства и ремонта» // Vashdom.ru: 2005. 05 окт. URL: http://www.vashdom.ru/articles/time_1.htm (дата обращения 15.01.2009).
- Современные радиаторы на российском рынке // «Dom.ustanovi.ru» - энциклопедия строительства. URL: <http://www.dom.ustanovi.ru/cottage/oborud/radiat.shtml> (дата обращения 15.01.2009).
- ГОСТ 8690-94. Радиаторы отопительные чугунные. Технические условия. – М., 1995. – 8 с.
- ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. – М., 1987. – 25 с.
- Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. и др. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
- ГОСТ 1412-85. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки. – М., 1989. – 10 с.
- ГОСТ 34443-87. Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения. – М., 1987. – 43 с.