

Белова И. В.
I. V. Belova

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ГИЛЬЗЫ ГИДРОЦИЛИНДРА

IDENTIFICATION OF THE CAUSES OF DESTRUCTION OF THE HYDRAULIC CYLINDER LINER

Белова Инна Валерьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение и технологии новых материалов» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: inna_belova@mail.ru.

Inna V. Belova – PhD in Engineering, Assistant Professor, Department of Materials Science and Technologies of New Materials, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: inna_belova@mail.ru.

Аннотация. В статье представлены результаты макроскопического и микроструктурного исследований фрагментов разрушенной гильзы гидроцилиндра. Разрушение произошло при испытании пробным давлением 150 бар. Был выполнен спектральный анализ фрагментов для идентификации марки материала. Обнаружено, что гильза изготовлена не из заявленного материала. Установлено, что причиной разрушения гильзы гидроцилиндра является отсутствие термической обработки данного материала.

Summary. The article presents the results of a macroscopic and microstructural study of fragments of a destroyed hydraulic cylinder liner. The destruction occurred during the test with a test pressure of 150 bar. A spectral analysis of the fragments was performed to identify the brand of the material. It was found that the sleeve was not made of the declared material. But the reason for the destruction of the cylinder liner was the lack of heat treatment of this material.

Ключевые слова: разрушение, микроструктура, неметаллические включения, излом.

Key words: destruction, microstructure, non-metallic inclusions, fracture.

УДК 620.186

Введение

Гильза гидроцилиндра является важным элементом гидросистемы, который должен выдерживать высокие нагрузки, высокое внутреннее давление и обеспечивать герметичность. Обычно для изготовления гильз гидроцилиндров используют среднеуглеродистые стали 35, 40X, 45 с термической обработкой, повышающей их твёрдость и прочность. Изготовление гильзы – это сложный процесс, требующий соблюдения технологических норм и стандартов. Для предотвращения хрупкости выполняется выбор соответствующего вида термической обработки. Применение сталей с большим содержанием углерода может привести к повышенной хрупкости. Например, сталь 55 обладает высокой прочностью, но требует тщательной термической обработки для предотвращения хрупкости. При обработке важно учитывать, что сталь 55 склонна к образованию трещин при неправильной закалке [1].

Для значительного повышения прочности и износостойкости гильзы цилиндра применяется термическая обработка, включающая закалку и отпуск. Закалка осуществляется путём нагрева до температуры 800...850 °С с последующим интенсивным охлаждением в закалочной среде, в качестве которой может выступать масло или вода [1]. Данный процесс обеспечивает мартенситное превращение структуры стали, повышая её твёрдость. Далее следует отпуск при температуре 400...500 °С, предназначенный для снятия внутренних напряжений, возникающих в процессе закалки, и повышения пластичности материала [2]. В результате термической обработки формируется структура троостита, характеризующаяся оптимальным сочетанием прочности, твёрдости и пластичности, что обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики гильзы [3].

Обычно выполняется термическая обработка, позволяющая обеспечить твёрдость 45...55 HRC.

После термической обработки проводится контроль качества – проверка геометрических размеров (диаметр, длина, соосность), проверяется твёрдость поверхности, выполняется ультразвуковой или магнитопорошковый контроль для выявления скрытых дефектов [4].

Методика проведения эксперимента

Основными задачами макроанализа являются: идентификация типа разрушения (усталостное, хрупкое, вязкое и т. д.), определение мест зарождения трещин, оценка скорости распространения трещин, а также выявление факторов, способствовавших инициированию и развитию разрушения. Особое внимание уделяется исследованию поверхности излома, поскольку она несёт информацию о механизмах разрушения и условиях, в которых оно происходило.

Определение элементного состава исследуемого материала было выполнено методом оптико-эмиссионной спектроскопии с использованием спектрометра Q4 TASMAN 170 фирмы Bruker. Данный метод, основанный на анализе спектра излучения возбуждённых атомов, обеспечивает высокую точность и чувствительность при определении концентрации различных элементов в образце.

Количественная оценка загрязнённости металла гильзы неметаллическими включениями выполнена по ГОСТ 1778-2022 «Металлопродукция из сталей и сплавов. Металлографические методы определения неметаллических включений» [5] методом III, регламентирующим оценку по шкале эталонов при увеличении 100 крат. Оценка производилась путём сравнения наблюдаемых полей зрения с эталонными микрофотографиями, представленными в ГОСТ 1778-2022, для каждого типа включений (сульфиды, оксиды глобулярные, оксиды строчечные, силикаты хрупкие, силикаты деформирующиеся). Определялся балл для каждого типа включений в соответствии с их морфологией, размером и количеством на единицу площади.

Для анализа микроструктуры из места излома был вырезан образец, из которого изготовлен шлиф. После полировки шлиф был протравлен в 4%-ном спиртовом растворе HNO_3 . Микроструктурный анализ проводился с помощью микроскопа Axiovert 40 MAT (в ручном режиме) при увеличениях $\times 100$ и $\times 500$.

Твёрдость определялась на вырезанных образцах методом Бринелля по ГОСТ 9012-59 «Металлы. Метод измерения твёрдости по Бринеллю» [6].

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены результаты спектрального анализа образца, полученного для исследования. Химический состав соответствует среднеуглеродистой конструкционной стали марки 55.

Таблица 1

Химический состав материала, массовая доля
в процентах

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
0,56	0,67	0,30	0,032	0,040	0,07	0,05	0,08

Разрушение гильзы произошло в месте, которое расположено между корпусом гильзы и рубашкой охлаждения. Разрушение привело к разрыву резьбового выступа. Центральная часть излома показана на рис. 1. Зона разрушения проходит вдоль стенки гильзы, пересекая резьбовое соединение.

На рис. 2 показаны обломки (разрушенные фрагменты, отрезанные от изделия).

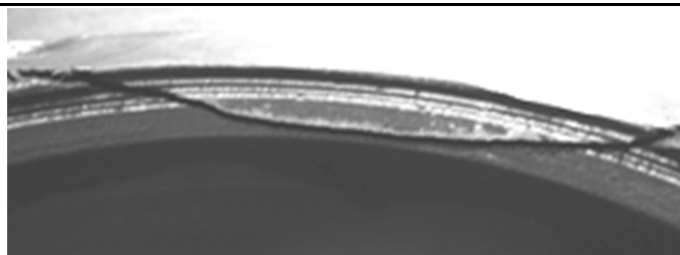


Рис. 1. Очаг разрушения

На рис. 3 можно увидеть, как проводились замеры выступающей части гильзы над охлаждающей рубашкой. В результате замеров было установлено, что высота выступающей части гильзы варьируется в пределах 30...36 мм. Это расхождение в показателях может свидетельствовать о несоосности между гильзой и охлаждающей рубашкой, что в свою очередь может негативно сказаться на эффективности работы всей системы охлаждения.

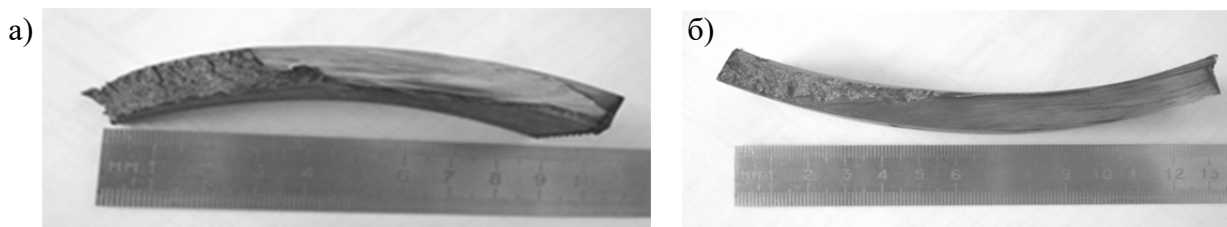


Рис. 2. Оторванная часть гильзы: а – первый фрагмент; б – второй фрагмент

Несоосность деталей может приводить к неравномерному распределению тепла, что в конечном итоге может вызвать перегрев отдельных компонентов и, как следствие, сокращение срока службы оборудования. Кроме того, подобные несоответствия могут указывать на недостатки в процессе производства или монтажа.

В ходе механических и технологических испытаний образцы для анализа были вырезаны из гильзы вдоль её продольной оси. Визуальный осмотр выявил существенную неравномерность толщины стенок. Это неоднородное распределение толщины наблюдалось как вдоль каждого отдельного образца, так и при сравнении разных образцов между собой (см. рис. 4). Замеры показали, что толщина стенки гильзы варьируется в диапазоне 17,6...21,9 мм. Такой значительный разброс значений (более 4,3 мм) указывает на потенциальные проблемы в процессе изготовления гильзы. Возможные причины неравномерности толщины стенок гильзы могут быть связаны с несколькими факторами. Во-первых, это может быть следствием нестабильной работы оборудования, используемого для литья или при механической обработке металла. Например, неравномерное давление в пресс-форме или неточности в настройках станка могут привести к образованию участков с разной толщиной. Во-вторых, некачественное исходное сырьё, имеющее внутренние неоднородности по составу и структуре, также может способствовать появлению дефектов. Наличие примесей или включений в металле также может оказать существенное влияние на характер кристаллизации и формирование структуры, что отражается на конечной толщине стенки. В-третьих, несоблюдение технологического процесса термической обработки, неверный выбор температурного режима могут привести к деформациям и изменению толщины стенки.

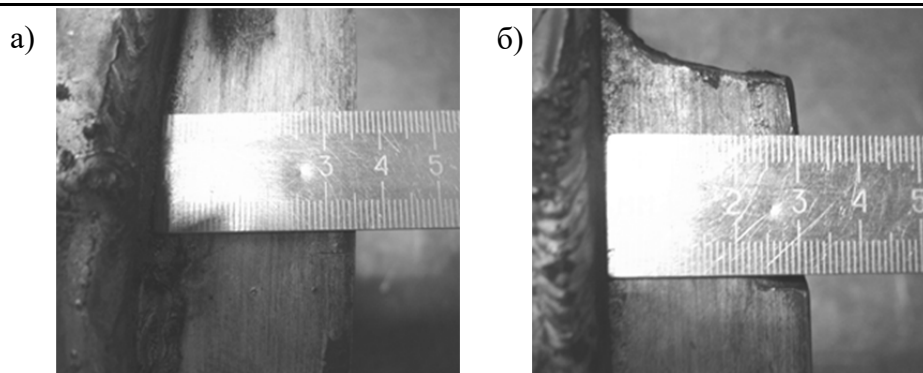


Рис. 3. Замеры выступающей части гильзы над охлаждающей рубашкой: а – первый фрагмент; б – второй фрагмент



Рис. 4. Образцы для механических испытаний

На рис. 5 показаны фотографии изломов крупным планом. Изломы имеют качественную схожесть, однородны, без лучеобразных рубцов. Поверхность излома, образовавшаяся при разрушении, состоит из светло-серых блестящих плоских поверхностей без признаков макроскопической пластической деформации. Образующиеся поверхности излома характерны для литых и деформированных сталей и являются кристаллическими (хрупкими). Стали с кристаллическими изломами имеют низкую ударную вязкость.

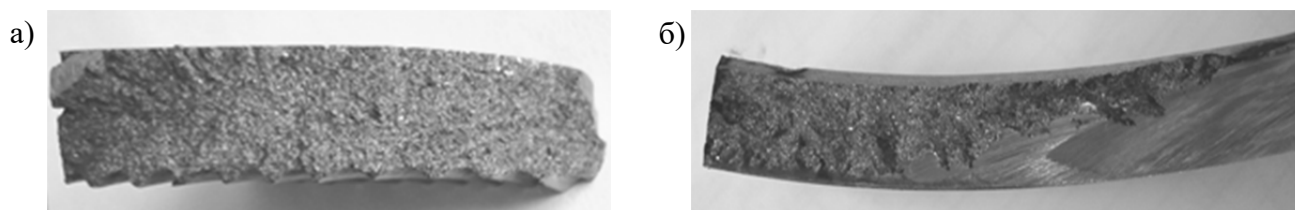


Рис. 5. Изломы представленных фрагментов: а – первого фрагмента; б – второго фрагмента

При количественной оценке загрязнённости металла гильзы выявлены неметаллические включения в виде сульфидов – 2 балла и точечных оксидов – 1 балл (см. рис. 6).

Для проведения последующего микроструктурного анализа шлиф протравили в 4%-ном спиртовом растворе HNO_3 . Микроструктура металла неоднородная феррито-перлитная (см. рис. 7). Соотношение фаз: перлит – 80 %, феррит – 20 %. Перлит пластинчатый, феррит в виде сетки.

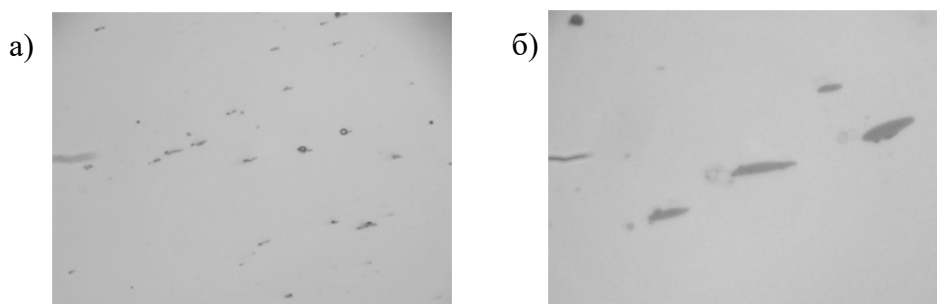


Рис. 6. Неметаллические включения: а – увеличение $\times 100$; б – увеличение $\times 500$

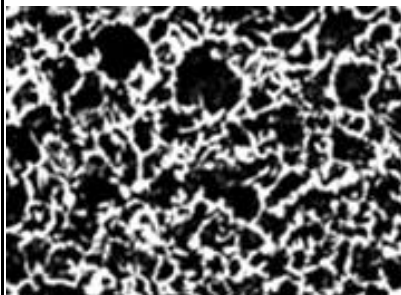


Рис. 7. Микроструктура стали 55, увеличение x340

Выявлена грубая разнотернистость металла. Величина зерна находится в пределах 1...6 баллов шкалы ГОСТ 5639-82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна» [7]. Термообработка отсутствует. При микроанализе в данных фрагментах гильзы трещин не выявлено. Значение твёрдости – 216...217 НВ.

Заключение

1. Гильза гидравлического цилиндра изготовлена из стали марки 55, что не соответствует общепринятым требованиям. Чаще всего при производстве гильз гидроцилиндра применяют марки 35, 40Х и 45. Однако выбор материала зависит от требований заказчика, условий, в которых будет использован цилиндр, а также нагрузок, с которыми он будет сталкиваться в ходе работ.

2. Твёрдость металла гильзы составляет 216...217 НВ. Это является низким показателем в сравнении с рекомендуемым 45...55 HRC (430...500 НВ).

3. Разрушение гильзы произошло в результате образования хрупкого излома без признаков макрореактивной деформации.

4. По произведённым замерам геометрических размеров фрагментов гильзы выявлена разнотолщинность стенки гильзы (17,6...21,9 мм). Разрыв произошёл в наиболее тонком месте.

5. Металл гильзы не подвергался термообработке, о чём свидетельствуют низкая твёрдость, неоднородность металла и наличие разнотернистости (величина зерна 1...6 балла). Дополнительных трещин в местах, исключая зону разрушения, на гильзе не выявлено. Это может свидетельствовать о том, что разрушение не было вызвано множественными дефектами, сформировавшимися в процессе эксплуатации, и не имеет признаки усталостного разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев, А. П. Металловедение: учеб. для вузов / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
2. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин. – М.: Металлургия, 1993. – 448 с.
3. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов / И. И. Новиков. – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.
4. Методы структурного анализа материалов / О. В. Башков, А. А. Бурдасова, И. В. Белова [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2022. – 60 с.
5. ГОСТ 1778-2022. Металлопродукция из сталей и сплавов. Металлографические методы определения неметаллических включений: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2022 г. № 1640-ст: взамен ГОСТ 1778-70: дата введения 2023-06-01 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Центральный научно-исследовательский институт чёрной металлургии им. И. П. Бардина». – М.: Российский институт стандартизации, 2023. – 52 с.
6. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твёрдости по Бринеллю = Metals. Method of Brinell hardness measurement: межгосударственный стандарт: издание официальное: введён впервые: дата введения 1960-01-01 / разработан и внесён Министерством чёрной металлургии СССР. – М.: Стандартиформ, 2007. – 42 с.
7. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна = Steels and alloys. Methods for detection and determination of grain size: межгосударственный стандарт: издание официальное: утверждён и введён в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26.08.82 № 3394: взамен ГОСТ 5639-65: дата введения 1983-01-01 / разработан и внесён Министерством чёрной металлургии СССР. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 21 с.
8. Сапожник, К. Р. Влияние сверхмногоциклового нагружения на структуру и микротвёрдость стали 45 / К. Р. Сапожник, И. Ч. Божоев, О. В. Башков // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2023. – № I (65). – С. 116-122.