

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Яковлева Надежда Григорьевна

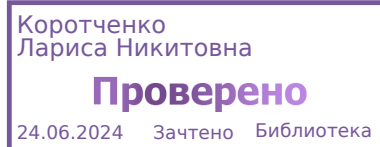
**Исследование причин разрушения гильзы гидроцилиндра
подъёма свода дуговой печи**

Направление подготовки

22.04.01 - «Материаловедение и технологии материалов»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2024



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель

кандидат технических наук,
доцент кафедры МТНМ
Белова Инна Валерьевна

Рецензент

кандидат технических наук,
Жилин Сергей Геннадьевич

Защита состоится «19» июня 2024 года в 09 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 202/2.

Автореферат разослан ____ июня 2024 г.

Секретарь ГЭК

Бурдасова Александра Александровна

Целью и задачи исследования

Цель работы заключается в установлении факторов, приведших к разрушению гильзы гидравлического цилиндра при испытаниях пробным давлением.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие основные задачи исследования:

1. Провести визуальный осмотр и фотофиксацию фрагментов разрушившейся гильзы гидравлического цилиндра;
2. Выполнить макроанализ поверхностей разрушения для выявления характера и механизма разрушения;
3. Исследовать микроструктуру материала гильзы, выявить структурные особенности и дефекты с помощью методов оптической металлографии;
4. Определить химический состав материала гильзы и сравнить с требованиями конструкторской документации;
5. Измерить механические характеристики, такие как твердость, уровень остаточных напряжений и др;
6. Проанализировать соответствие технологии изготовления гильзы установленным требованиям на основе полученных данных;
7. Выявить ключевые факторы, способствовавшие преждевременному разрушению гильзы при испытаниях;
8. Сформулировать рекомендации по повышению качества изготовления и обеспечению надежности эксплуатации гидравлических цилиндров.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются фрагменты разрушившейся гильзы гидравлического цилиндра.

Методы исследования. Визуальный осмотр фрагментов разрушившейся гильзы с применением оптических приборов. Макроанализ излома и поверхностей разрушения. Микроструктурный анализ материала гильзы методами оптической металлографии с использованием микроскопа

Axiovert 40 МАТ и программно-аппаратного комплекса "ВидеоТест-Металл". Определение химического состава материала гильзы. Измерение твердости материала методом Бринелля по ГОСТ 9012. Рентгеноструктурный анализ методом $\sin^2\psi$ для определения уровня остаточных напряжений. Анализ технологической документации (чертежи, журналы технического обслуживания).

Новизна полученных результатов:

Проведено комплексное исследование причин разрушения конкретной гильзы гидроцилиндра при испытаниях пробным давлением с применением современных методов анализа материалов.

Выявлен ряд критических факторов, способствовавших преждевременному хрупкому разрушению детали: несоответствие марки стали требованиям, неоднородность структуры, высокий уровень остаточных напряжений, локальные утонения стенки гильзы.

Установлен вероятный сценарий разрушения гильзы вследствие кратковременного превышения предельной нагрузки, возможно из-за гидроудара, на фоне пониженных прочностных характеристик материала.

Определена совокупность дефектов производства гильзы (отклонение химсостава, некачественная термообработка, нарушения технологии механической и сварочной обработки), которые существенно снизили ее эксплуатационную надежность.

Показана необходимость комплексного подхода к обеспечению качества изготовления ответственных деталей гидроприводов для предотвращения преждевременных отказов.

Достоверность и обоснованность результатов исследования.

Достоверность полученных и представленных в диссертации результатов подтверждается использованием современных независимых, взаимодополняющих методов исследования, большим объемом непротиворечивых экспериментальных данных, согласованность с данными

теоретических исследований. Анализ экспериментальных данных проведен с соблюдением критериев достоверности измерений.

Практическая значимость и ценность работы.

Результаты комплексного исследования причин разрушения гильзы гидроцилиндра позволяют выявить слабые места в технологии производства подобных ответственных деталей гидроприводов. Обнаруженные дефекты изготовления (несоответствие марки стали, неоднородность структуры, высокие остаточные напряжения, нарушения размеров и качества обработки) указывают на необходимость ужесточения контроля качества на всех этапах производственного цикла. Результаты работы могут быть использованы предприятиями, производящими гидроприводы, для совершенствования технологических процессов изготовления деталей и повышения эксплуатационной надежности своей продукции.

Личный вклад автора.

Представленные в работе результаты получены лично автором или при его непосредственном участии.

Анализ литературных источников, проведение экспериментальных исследований, а также обработка и анализ результатов экспериментов выполнены лично автором. Постановка задач исследований и обсуждение результатов проведено при непосредственном участии автора совместно с научным руководителем.

Основные положения, выносимые на защиту:

На защиту выносятся следующие основные положения и результаты работы:

- Результаты комплексного исследования причин разрушения гильзы гидравлического цилиндра при испытаниях пробным давлением 150 бар с применением современных методов анализа материалов.

- Выявленные ключевые факторы, обусловившие хрупкое внутризеренное разрушение гильзы: несоответствие марки стали требованиям документации, неоднородная структура металла

с разнотерностью, высокий уровень остаточных растягивающих напряжений, локальные утонения стенки гильзы.

- Вывод о том, что разрушение произошло в результате кратковременного превышения предельной нагрузки, вероятно, из-за гидроудара в условиях пониженных прочностных характеристик материала гильзы.

- Выявленная совокупность дефектов производства гильзы: отклонение химического состава от марки стали, некачественная термообработка, нарушения технологии механической и сварочной обработки, приведшие к снижению эксплуатационной надежности детали.

Структура и объём магистерской диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованных источников. Общий объём работы составляет 82 страницы, включая 12 рисунков, 4 таблицы, список используемых источников, состоящий из 109 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснование актуальности темы диссертационной работы, изложены основные направления проведённых исследований, сформулированы цель и задачи исследований.

В первом разделе представлен обзор литературных данных, посвящённый особенностям применения, изготовления, видам электродуговых печей и гидроцилиндров.

Во втором разделе представлен патентный поиск, ориентированный на исследование новейших разработок в рамках темы исследования.

В третьем разделе описаны материалы и методы, используемые в исследовании.

В четвертом разделе приводятся экспериментальные данные и обсуждение результатов исследования.

Объектом исследования послужили фрагменты разрушившейся гильзы гидравлического цилиндра, представленные в лабораторию для определения

возможных причин разрушения. Разрушение произошло при испытании пробным давлением 150 Bar.

В лабораторию с целью определения возможных причин разрушения, были представлены фрагменты разрушившейся гильзы гидравлического цилиндра. Разрушение произошло при испытании пробным давлением 150 Bar.

В таблице №1 представлены результаты анализа, проведенного в химической лаборатории. Химический состав представленной гильзы гидравлического цилиндра соответствует стали марки 55, что противоречит требованиям чертежа ГЦ2480.001.001. Данные марки стали не являются взаимозаменяемыми. Несоответствие марки стали и заниженная твердость могли стать одними из ключевых факторов, обусловивших преждевременное разрушение гильзы.

Анализ журналов технического обслуживания показал, что замена рабочей жидкости и фильтрующих элементов гидросистемы производилась в установленные сроки. Однако было отмечено несколько случаев срабатывания предохранительного клапана из-за кратковременных скачков давления, возникавших при резком изменении нагрузки на исполнительный механизм. Подобные гидроудары могли приводить к локальным перегрузкам материала гильзы и образованию микродефектов, ставших впоследствии очагами разрушения (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Химический состав стали

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

Исследование проведено в следующем объеме:

1. Визуальный осмотр представленных фрагментов и получение снимков с помощью цифрового фотоаппарата Soni;
2. Макроанализ;

3. Микроструктурный анализ с использованием программно-аппаратного комплекса ВидеоТест-Металл (в автоматическом режиме) и с помощью микроскопа Axiovert 40 MAT (в ручном режиме);

4. Замер твердости методом Бринелля (ГОСТ 9012).

Визуальный осмотр фрагментов разрушенной гильзы проводился в помещении с комбинированным освещением: естественным боковым и искусственным общим люминесцентным, обеспечивающим освещенность рабочей поверхности не менее 500 лк. Для детального изучения поверхности использовалась налобная лупа MAGNIFIER 81007 с 3,5-кратным увеличением и встроенной подсветкой. Линейные измерения выполнялись штангенциркулем ШЦЦ-I-150-0,01 ГОСТ 166-89 с ценой деления 0,01 мм. Толщина стенки определялась ультразвуковым толщиномером А1207 с точностью $\pm 0,1$ мм.

Фотофиксация общих видов и отдельных элементов осуществлялась с помощью цифровой камеры Sony $\alpha 7$ III в комплекте с макрообъективом Sony FE 90mm f/2.8 Macro G OSS. Для создания равномерного освещения при макросъемке применялось двухстороннее светодиодное освещение с цветовой температурой 5500К. Масштаб изображений контролировался путем совместной съемки с измерительной линейкой.

Разрушение гильзы произошло по месту сварного соединения самой гильзы с охлаждающей рубашкой и сопровождалось отрывом фрагмента от выступающей части с резьбой. На фото рисунке 1 представлен очаг разрушения, справа показаны два фрагмента, представленные на исследование (оторванная часть). Представленные для исследования фрагменты не содержат сварной шов.



Рисунок 1 – Фрагменты гидроцилиндра

Образцы вырезаны в продольном направлении. Визуально установлено, что стенки гильзы имеют разную толщину как по длине отдельно взятой пробы, так и между отдельными пробами (рисунок 2). Толщина стенки гильзы находится в пределах: 17,6-21,9 мм.

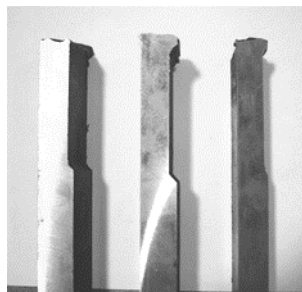


Рисунок 2 – Образцы, вырезанные в продольном направлении

На рисунке 3 показаны произведенные замеры выступающей части гильзы над охлаждающей рубашкой. На данных фото видно, что высота выступающей части гильзы находится в пределах от 30 до 36 мм. Такое расхождение указывает на несоосность деталей (непосредственно гильзы и «рубашки»).



Рисунок 3 – Размеры выступающей части гильзы

На рисунке 4 крупным планом показан внешний вид изломов представленных фрагментов. Изломы идентичные, однородные, рубцы в виде лучей отсутствуют. Поверхности изломов, образовавшихся при разрушении, состоят из блестящих плоских фасеток светло-серого цвета без признаков макропластической деформации. Полученные изломы характерны для литых и деформированных сталей и относятся к кристаллическим (хрупким). Сталь, имеющая кристаллический излом, характеризуется пониженной ударной вязкостью. Разрушение гильзы произошло

с образованием хрупкого излома. Такой вид излома является признаком хрупкого разрушения без признаков макропластической деформации.

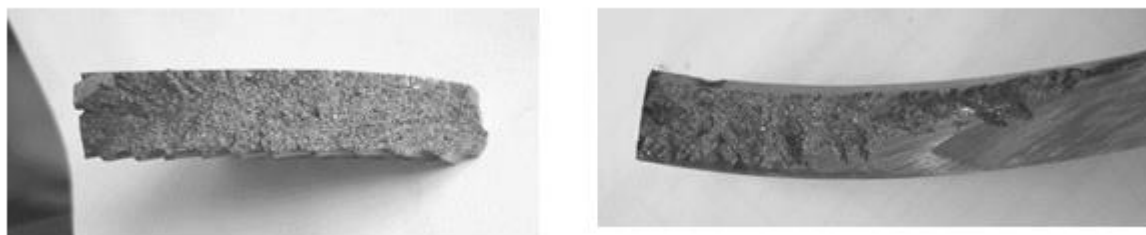


Рисунок 4 – Вид излома

Установлено, что заготовка гильзы была получена из горячекатаного прутка методом токарной обработки. Далее следовали операции растачивания внутренней поверхности, шлифования и полирования. Финишной операцией являлось поверхностное упрочнение методом ППД (поверхностное пластическое деформирование) с использованием роликового раскатника.

Анализ размеров и допусков на чертеже детали показал, что фактическая толщина стенки гильзы (17,6-21,9 мм) значительно отклоняется от проектных значений, что указывает на нарушение технологии механической обработки. Непостоянство толщины стенки по длине гильзы могло приводить к неравномерному распределению напряжений при нагружении и, как следствие, к локальной концентрации напряжений в зонах утонения.

Кроме того, при визуальном осмотре сварных швов, соединяющих гильзу с фланцами, были обнаружены дефекты в виде подрезов и неравномерности проплавления, что также могло служить источником концентрации напряжений. Контроль качества сварных соединений методами неразрушающего контроля (ультразвуковым или радиографическим) в технологическом процессе не был предусмотрен, что повышает вероятность наличия внутренних дефектов.

Твердость по методу Бринелля (ГОСТ 9012-59) измеряют вдавливанием в испытываемый образец стального шарика определенного диаметра D под действием заданной нагрузки P в течение определенного времени.

В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка). Число твердости по Бринеллю, обозначаемое НВ, представляет собой отношение нагрузки P к площади поверхности сферического отпечатка F и измеряется в кгс/мм² или МПа.

Для измерения твердости представленного фрагмента гильзы поверхность была сфрезерована до параллельности сторон и отшлифована. Значение твердости: 216 – 217 кгс/мм².

Проведенный комплекс исследований позволил выявить ряд факторов, которые могли способствовать преждевременному разрушению гильзы гидроцилиндра. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей, изучавших причины отказов гидравлических систем.

Заключение

В рамках данной работы было проведено комплексное исследование причин разрушения гильзы гидравлического цилиндра при испытании пробным давлением. С помощью визуального осмотра, макро- и микроанализа, измерения твердости установлено, что разрушение носило хрупкий внутризеренный характер и произошло в результате однократного превышения предельной нагрузки, вероятно, из-за гидроударов при резких скачках давления.

К основным факторам, способствовавшим преждевременному выходу гильзы из строя, можно отнести:

1. Использование марки стали 55 вместо предусмотренной чертежом 40Х, что привело к пониженной вязкости и трещиностойкости материала;
2. Структурную неоднородность и разнотернистость металла, высокое содержание хрупкого пластинчатого перлита вследствие нарушения режимов термообработки;
3. Высокий уровень остаточных растягивающих напряжений в приповерхностном слое;

4. Отклонения геометрических размеров (толщины стенки, соосности гильзы и рубашки), связанные с нарушениями технологии механической обработки;

5. Наличие дефектов сварных швов в виде подрезов и неравномерного проплавления.

Комплекс выявленных факторов указывает на несоблюдение требований конструкторско-технологической документации на различных этапах производства гильзы и последующей сборки гидроцилиндра.

Для повышения надежности и ресурса работы гидравлических систем необходим строгий входной контроль металла, пристальное внимание к соблюдению технологических режимов и использованию современных упрочняющих методов обработки, а также учет особенностей эксплуатационных нагрузок, в том числе возникновения гидроударов, на стадии проектирования.