ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

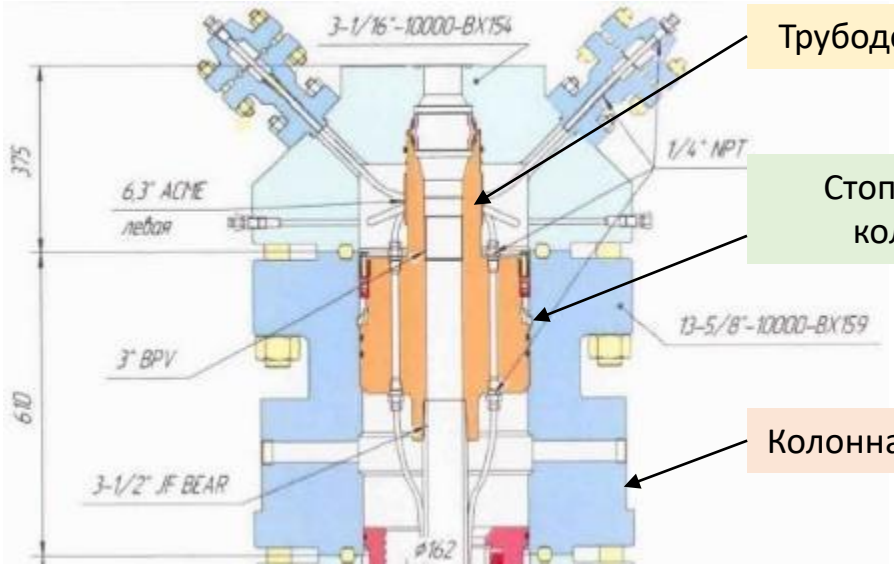
Особенности разрушения моноблочного устьевого оборудования (МУО) при эксплуатации на месторождении Западной Сибири

Цель работы и объекты исследований

Определение причин разрушения моноблочного устьевого оборудования (МУО) при эксплуатации на месторождении Западной Сибири.
Анализ характеристик металла элементов МУО на предмет их соответствия паспортным данным.

Объекты исследования

Наименование объекта	Марка стали	Назначение	Место эксплуатации	Температура окружающей среды в момент инцидента	Параметры эксплуатации, МПа		
					Среднее за год устьевое давление	Среднее за год забойное давление	Среднее за год затрубное давление
Колонная головка	30ХМА наплавка Св-08ХГСМФА+ 309L	Обвязка устья скважины	Западня Сибирь	**Минус 30°С**	20	30	10
Трубодержатель	07Х16Н6						
Стопорное кольцо	-						



Трубодержатель

Стопорное кольцо

Колонная головка



Методы исследования

- Визуальный осмотр в соответствие с требованиями ГОСТ Р ЕН 13018 и РД 03-606-03 с применением цифрового фотоаппарата Canon EOS100D, оснащённым объективом EF 50mm f/2.5 Compact-Makro.
- Определение химического состава материала на спектрометре «ДФС-500Н».
- Замер твёрдости HRB, HRC ГОСТ 9013 на стационарном твердомере HR 150A и прибор твердости по Роквеллу TOKYO KOKI.
- Измерение микротвердости HV производилось на микротвердомере ПМТ-3.
- Определение механических свойств при одноосном растяжении в соответствие с требованиями ГОСТ 1497 с использованием машины испытательной универсальной ТРМ-П 100 С1 Tochline и машины испытательной электромеханической WDW-100E.
- Определение величины ударной вязкости по ГОСТ 9454 для основного металла труб на маятниковом копре КМ-30 при температурах минус 30°С и минус 60 °С.
- Микроструктурные исследования проводились на оптическом микроскопе «Olympus» марки «GX51» и растровом электронном микроскопе «XL30» фирмы «Philips».
- Фрактографические исследования с анализом распределения основных химических элементов энергодисперсионным рентгеноспектральным методом производились при помощи растрового электронного микроскопа «XL30» фирмы «Philips» и химанализатора «EDAX» и оптического микроскопа «Olympus» марки «GX51».

Анализ характеристик металла элементов МУО

Химический состав (спектральный метод)

Объект исследований	Марка стали	Массовая концентрация, %											
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Nb	W	V
Колонная головка	30ХМА*	0,35	0,24	0,57	0,020	0,001	0,98	0,22	0,085	0,022	0,001	-	0,004
Наплавка (первая) колонной головки толщиной более 10 мм	12ХГМФ**	0,13	0,50	1,14	0,008	0,005	1,12	0,53	0,118	0,007	0,001	-	0,224
Вставка в металле колонной головки	07Х16Н6***	0,08	0,26	0,27	0,007	0,013	16,53	0,13	6,070	0,039	0,002	-	0,018
Трубодержатель	07Х16Н6***	0,06	0,22	-	0,007	0,016	15,94	0,18	5,767	0,039	0,001	0,146	0,025
Стопорное кольцо	40ХН	0,42	0,28	0,59	0,005	0,004	0,58	0,07	1,054	0,022	0,001	-	0,008
Данные паспорта на колонную головку	требования	0,26-0,33	0,17-0,37	0,4-0,7	≤0,25	≤0,025	0,8-1,1	0,15-0,25	≤0,3	-	-	-	≤0,05
	Данные	0,31	0,27	0,69	0,006	0,005	0,96	0,2	0,08	-	-	-	0,005
Данные паспорта на трубодержатель	Требования	0.05-0.09	≤0,8	≤0,8	≤0,035	≤0,02	15,5-17,5	-	5,0-8,0	-	-	-	-
	Данные	0.07	0,26	0,26	0,019	0,007	16,22	-	5,85	-	-	-	-

* ГОСТ 4543, AISI 4130

** Проволока Св-08ХГСМФА ГОСТ-2246

*** ГОСТ 5632-72, AISI 4130

Химический состав (энергодисперсионный метод)

Объект исследований (маркировка)	Массовая концентрация элементов, %									
	Si	Mg	Cr	Mo	Ni	Al	Nb	V	Ti	Fe
Наплавка (вторая) колонной головки толщиной до 5 мм*	-	-	16,11	2,95	43,7	0,57	4,03	0,15	0,83	ост.

* Проволока ОК AutRod309L ТУ1222-063-55224353-2009

Анализ характеристик металла элементов МУО

Механические свойства

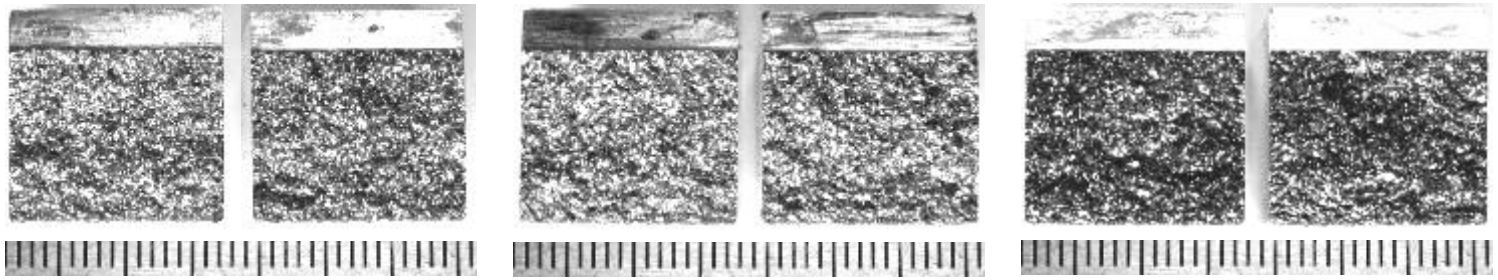
Наименование детали МУО	Марка стали	Предел прочности, σв, Мпа	Предел текучести, σт, МПа	Относительное удлинение δ, %	σт/σв	Твердость
Колонная головка (ближе к внутренней поверхности)	30ХМА	**550; 550; 560 ср. знач. 553**	**245; 235; 255 ср. знач. 245**	26,0; 27,0; 27,0 ср. знач. 27	0,45; 0,43; 0,46 ср. знач. 0,44	**HBW(HB)150 (HRB 80,0)**
Колонная головка (ближе к наружной поверхности)		**580, 650, 590 ср. знач. 607**	**250, 445, 260 ср. знач. 318**	24, 26, 26 ср. знач. 25	0,43; 0,68; 0,44 ср. знач. 0,52	**HBW(HB)213 (HRB 95,6)**
Нормативные требования по паспорту к колонной головке		≥ 655	≥ 517	≥ 17	-	≥ HBW(HB) 197 (HRB 92)
Фактические паспортные данные по колонной головке		783	588	17	-	HBW(HB) 233 (HRB 99)
Трубодержатель	07Х16Н6	1314; 1324; 1313 ср. знач. 1317	1162; 1235; 1181 ср. знач. 1193	17; 13; 12 ср. знач. 14	0,88; 0,93; 0,90 ср. знач. 0,91	HRC 40
Нормативные требования по паспорту к трубодержателю		≥ 930	≥ 785	≥ 11	-	HRC 30…40
Фактические паспортные данные по трубодержателю		1183	972	12	-	≥ HRC 40
Стопорное кольцо	40ХН	-	-	-	-	HRC 47,0

Анализ характеристик металла элементов МУО

Ударная вязкость

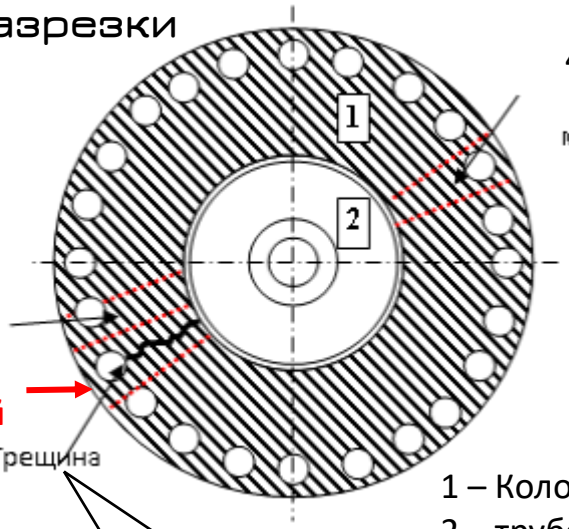
Наименование детали МУО	Марка стали	Работа удара, KV –60°С, кгс·м (Дж)	Ударная вязкость KCV –60°С, кгс·м/см² (Дж/см²)	Доля вязкой составляющей в изломе. %
Колонная головка	30ХМА	**0,5 (4,9); 0,5 (4,9); 0,5 (4,9) ср. знач. 0,5 (4,9)**	**0,63 (6,1); 0,63 (6,1); 0,63 (6,2) ср. знач. 0,63 (6,1)**	0; 0; 0
		0,7 (6,9); 0,8 (7,8); 0,8 (7,8) ср. знач. 0,8 (7,5)	**0,88 (8,6); 1,0 (9,8) ; 1,0 (9,8) ср. знач. 1,0 (9,4)**	0; 0; 0
Нормативные требования по паспорту к колонной головке, Дж		20 min, 27 max	-	-
Фактические паспортные данные по колонной головке		122,4; 86,4; 112,2	-	-
Трубодержатель	07Х16Н6	5,1 (50,0); 4,0 (39,2); 3,8 (37,2) ср. знач. 4,3 (42,1)	6,3 (62); 5,0 (49); 4,8 (47) ср. знач. 5,4 (52,7)	18; 15; 15
Нормативные требования по паспорту к трубодержателю, Дж		20 min, 27 max	-	-
Фактические паспортные данные по трубодержателю, Дж		43,2; 39,6; 45,0	-	-

Характерный вид изломов образцов металла колонной головки после испытаний на ударную вязкость (доля вязкой составляющей 0%)



Определение причин разрушения колонной головки

Схема разрезки

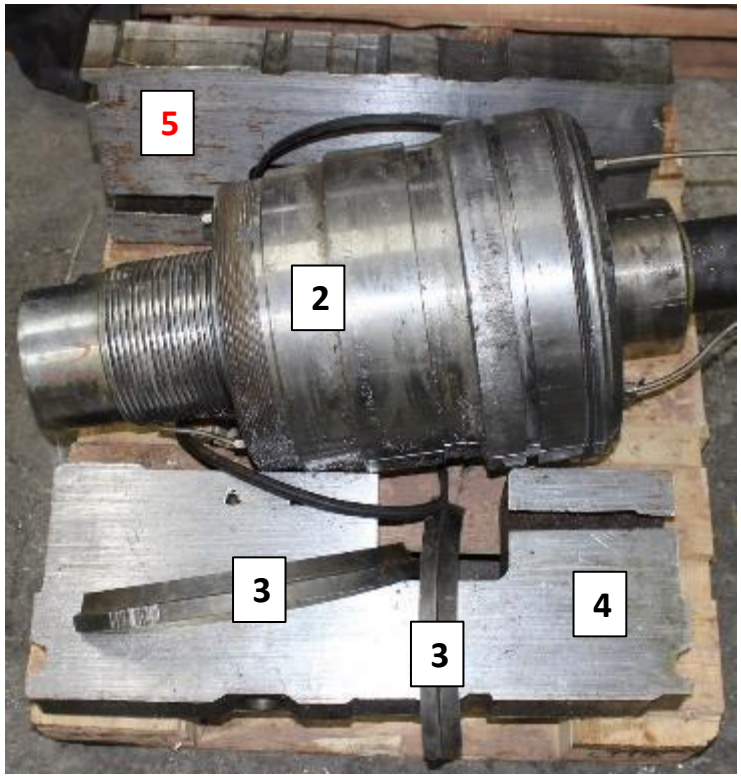


Templet для изготовления образцов для мех. испытаний

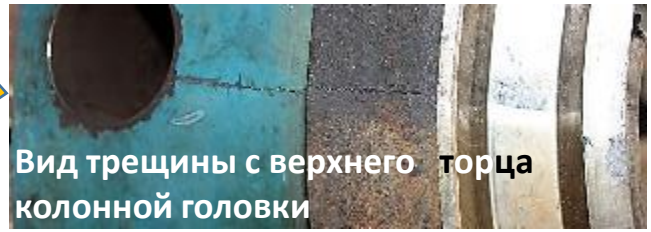
4 - Templet для дополнительных металлографических исследований

5 - Templet с трещиной

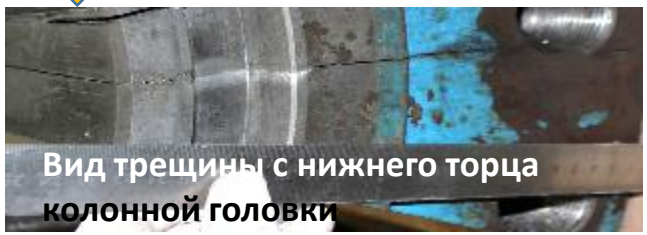
1 – Колонная головка,
2 – трубодержатель,
3 – стопорное кольцо





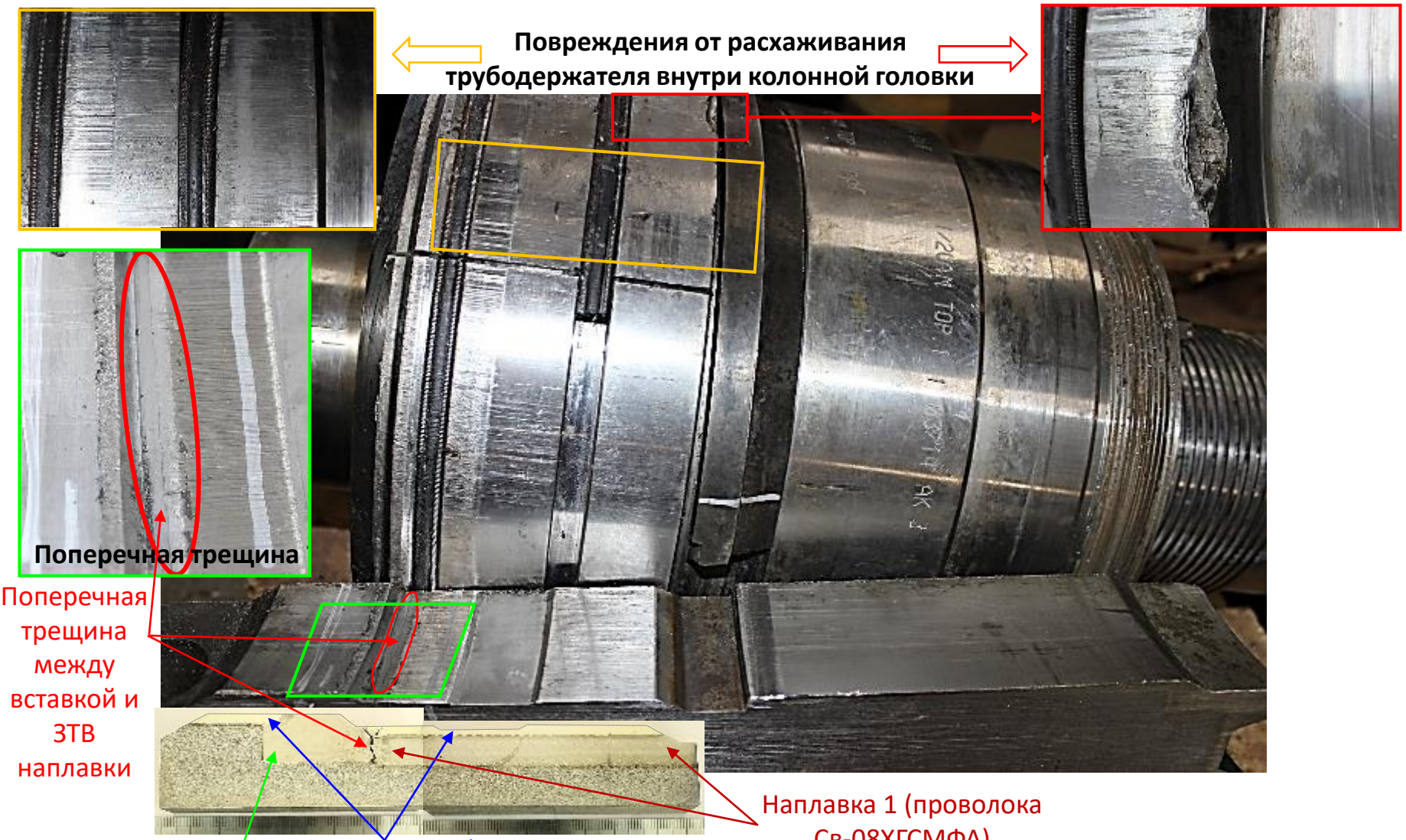


Вид трещины с верхнего торца колонной головки

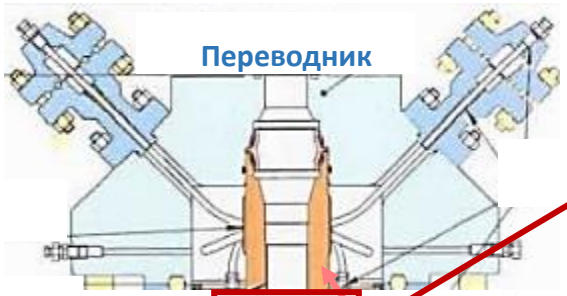


Вид трещины с нижнего торца колонной головки

Определение причин разрушения колонной головки



Определение причин разрушения колонной головки

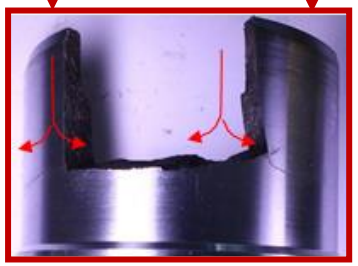




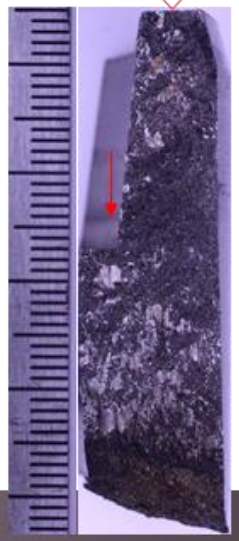
Очаг разрушения



Распространение разрушения

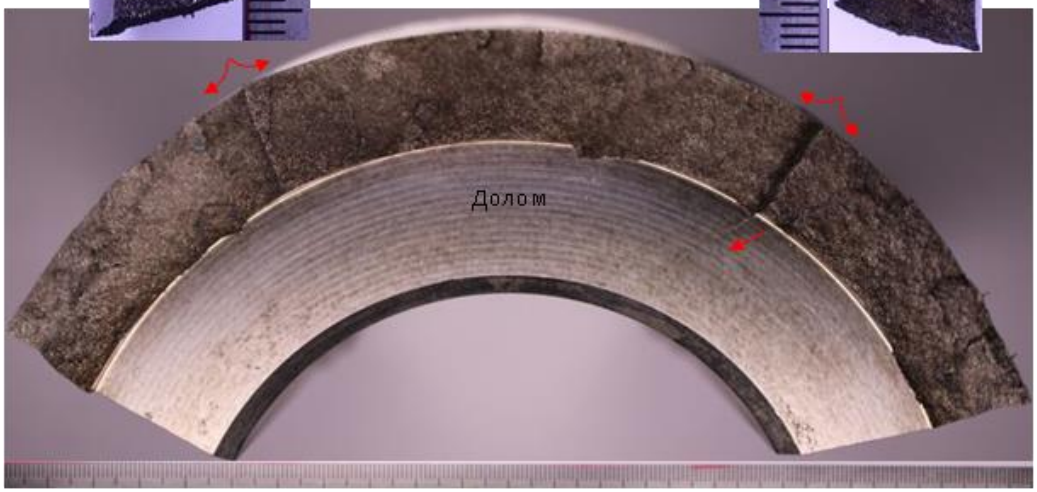


Очаг разрушения



Трубодержатель, разрушенный в самом слабом сечении

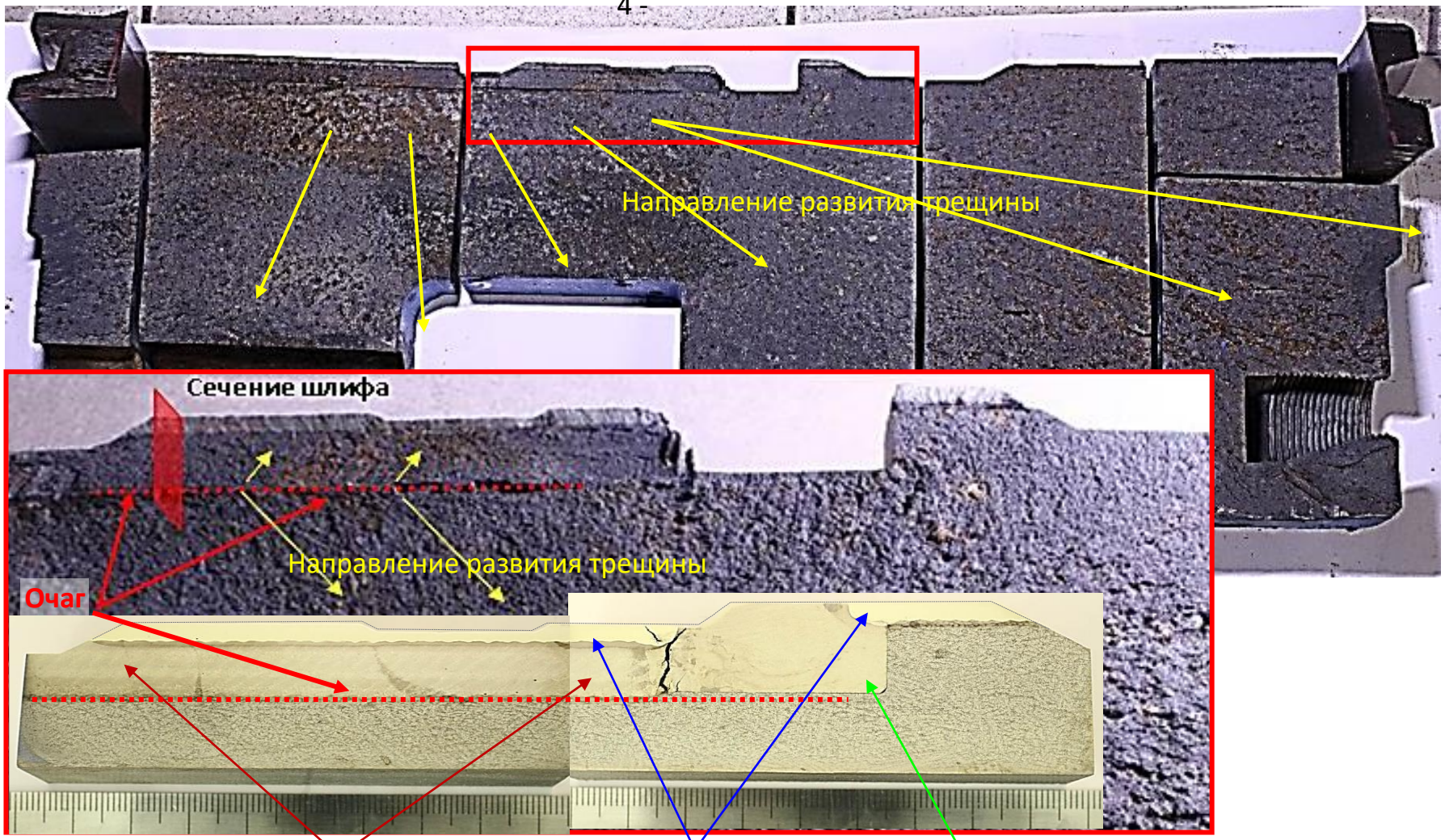




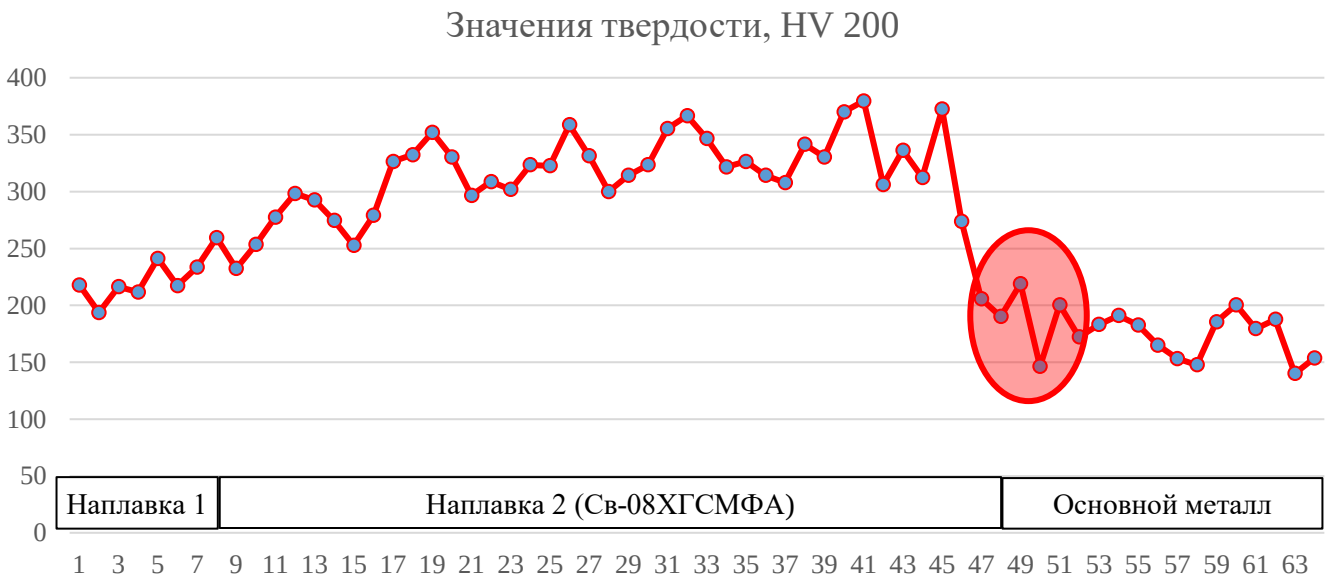
Определение причин разрушения колонной головки

Фрактография поверхности разрушения

4 -

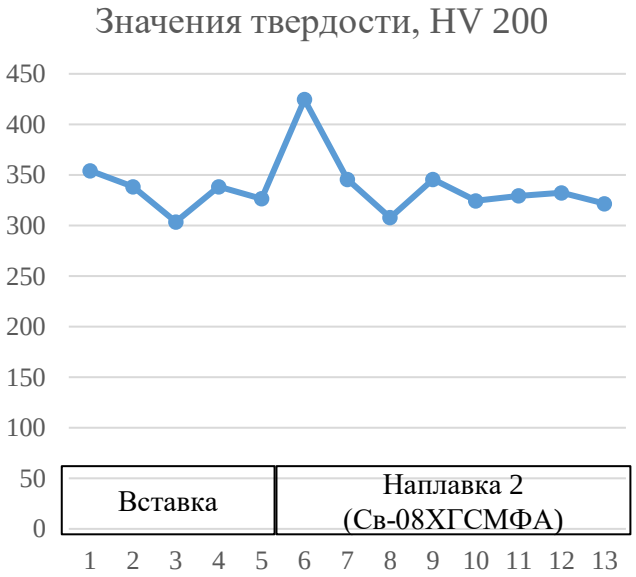


Определение причин разрушения колонной головки









Заключение

Разрушение колонной головки моноблочного устьевого оборудования (МУО) при эксплуатации на скважине Западной Сибири обусловлено:

- внутренним механическим воздействием существенно более твердого трубодержателя, имеющего длинный рычаг в виде колонны НКТ;
- низкими прочностными и вязкопластическими свойствами металла колонной головки;
- отсутствием хладостойкости у металла колонной головки (температура окружающей среды на момент разрушения минус 30°С).

Спасибо за внимание!

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Выводы

В результате проведенных исследований качества металла деталей аварийного моноблочного устьевого оборудования (МУО), а также определения причин их разрушения при эксплуатации Западной Сибири, установлено следующее.

1. В результате оценки химического состава объектов исследований установлено:
   - ✓ состав основного металла колонной головки соответствует требованиям ГОСТ 4543 к стали марки 30ХМА за исключением превышения по концентрации углерода (0,35 % масс., по ГОСТ 4543 содержание С 0,25-0,34 % масс., с учетом допустимого отклонения ±0,01 % масс.);
   - ✓ состав основного металла колонной головки в области первой наплавки (толщиной более 10 мм, проволока Св-08ХГСМФА по ГОСТ-2246) близок к стали типа 12ХГМФ;
   - ✓ материал второй наплавки (толщиной до 5 мм) колонной головки содержит 16 % масс. хрома, 3 % масс. молибдена, 44 % масс. никеля, 4 % масс. ниобия, 1 % титана и 0,1 % масс. ванадия. Следует учесть, что в результате выполнения наплавки ее химический состав может отличаться от состава проволоки ОК AutRod 309 L (ТУ1222-063-55224353-2009);
   - ✓ материал вставки в колонной головке (под посадку трубодержателя) соответствует требованиям ГОСТ 5632 к стали марки 07Х16Н6;
   - ✓ материал трубодержателя соответствует требованиям ГОСТ 5632 к стали марки 07Х16Н6;
   - ✓ материал стопорного кольца соответствует марки стали типа 40ХН.

2. В результате проведенных механических испытаний металла объектов исследований установлено, что:
   - ✓ Колонная головка имеет заниженные, относительно требований паспорта, прочностные и вязкопластические свойства:
     - средняя величина предела прочности металла вблизи внутренней поверхности стенки детали (на расстоянии не менее чем 2 см от ЗТВ наплавки) составляет 553 МПа, а вблизи ее наружной поверхности - 607 МПа. Требования паспорта - не менее 655 МПа;
     - средняя величина предела текучести металла вблизи внутренней поверхности стенки детали (на расстоянии не менее чем 2 см от ЗТВ наплавки) составляет 245 МПа, а вблизи ее наружной поверхности - 318 МПа. Требования паспорта - не менее 517 МПа;
     - уровень твердости металла колонной головки соответствует значениям предела прочности, она составляет в среднем 80 единиц HRB у внутренней поверхности стенки детали, 96 единиц HRB – у наружной. Требования паспорта - не менее 92 единиц HRB;
     - средний уровень ударной вязкости металла колонной головки (KCV_{-60°) не превышает 1 кгс м/см^2. Величина работы удара вблизи внутренней поверхности стенки детали (на расстоянии не менее чем 2 см от ЗТВ наплавки) составляет 4,9 Дж, а вблизи ее наружной поверхности - 7,5 Дж. Требования паспорта - не менее 20 Дж. Доля вязкой составляющей в изломе образцов Шарпи составляет 0%, т.е. металл колонной головки склонен к хрупкому разрушению, особенно при отрицательных температурах. Он является абсолютно не хладостойким.
   - ✓ Металл трубодержателя соответствует требованиям паспорта по значениям пределов прочности и текучести, а также твердости. Уровень ударной вязкости при температуре испытаний – 60°С превышает требования паспорта (работа удара составляет 42,1 Дж, при максимально допустимом паспортном значении 27 Дж).
   - ✓ Металл стопорного кольца имеет твердость 47 единиц HRC.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Выводы (продолжение 2)

3. После разрезки в результате визуального осмотра аварийных деталей МУО установлено, что разрушение колонной головки произошло из-за механических знакопеременных нагрузок, вызванных перемещениями трубодержателя внутри корпуса, которые происходили за счет воздействия на трубодержатель колонны НКТ. Это подтверждается следами деформации на трубодержателе и характером развития трещин в верхней части трубодержателя, который был жестко закреплен в переводнике.
4. В области посадки трубодержателя в колонной головке находится вставка, представляющая собой кольцо из нержавеющей стали 07Х16Н6. Вставка закреплена на корпусе трубодержателя только с двух сторон с помощью наплавок. Вдоль линии сплавления вставки и первой наплавки толщиной 12 мм (проволока Св-08ХГСМФА ГОСТ-2246) развилась поперечная трещины по всей окружности колонной головки.
5. В результате фрактографического анализа поверхности продольной хрупкой трещины установлено, что очаг разрушения имеет протяженную форму и расположен вдоль границы между первой наплавкой (проволока Св-08ХГСМФА ГОСТ-2246) и основным металлом колонной головки.

6. По данным металлографических исследований установлено, что:
   - ✓ Микроструктура основного металла колонной головки из стали 30ХМА представлена крупнозернистым перлитом, карбидная составляющая перлита имеет округлую и пластинчатую форму цементита. Внутри ферритных зерен присутствуют карбидные выделения молибдена в виде разнонаправленных иголок.
   - ✓ Наплавка толщиной 12 мм (первая, Св-08ХГСМФА) имеет крупнозернистую структуру, представленную смесью видманштетта и ячеистой структурой, где видманшетт окаймляется сплошной сеткой из зерен феррита. При дальнейшем приближении к основному металлу колонной головки формируется перекристаллизовавшаяся структура, представленная феррито-карбидной смесью.
   - ✓ Наплавка толщиной до 5 мм (вторая, ОК AutRod 309L) из Cr-Ni-сплава имеет литое состояние с дендритной структурой кристаллов.
7. В результате оценки микротвердости по линии, проходящей через обе наплавки и основой металл колонной головки установлено, что при твердости наплавки 92 HRB – 24 HRC, твердость ЗТВ изменяется в диапазоне 23 HRC – 38 HRC. При этом максимальные значения твердости имеет металл первой наплавки (Св-08ХГСМФА) вблизи основного металла колонной головки, который в свою очередь имеет твердость 79 HRB – 96 HRB. При этом минимальный уровень твердости выявлен у основного металла колонной головки вблизи границы «первая наплавка (Св-08ХГСМФА) - основной металл» там, там где установлен очаг разрушения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Испытания характеристик колонной головки на заводе-изготовителе

Источник данных	Марка стали	Массовая концентрация, %										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Nb	V	Co
ООО «ИТ-Сервис»	30ХМА (по ГОСТ 4543, AISI 4130)	0,35	0,24	0,57	0,020	0,001	0,98	0,22	0,085	0,022	0,001	0,004	0,011
Завод-изготовитель		0,35	0,35	0,41	0,012	0,005	1,04	0,23	0,107	-	-	-	-
Паспортные данные	требования	0,26-0,33	0,17-0,37	0,4-0,7	≤0,25	≤0,025	0,8-1,1	0,15-0,25	≤0,3	-	-	≤0,05	-
	Данные	0,31	0,27	0,69	0,006	0,005	0,96	0,2	0,08	-	-	0,005	-

Источник данных	Испытываемая область металла элемента МУО	Предел прочности, σв, МПа	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ, %	σт/σв	Твердость
ООО «ИТ-Сервис»	Ближе к внутренней поверхности	550; 550; 560 ср. знач. 553	245; 235; 255 ср. знач. 245	26,0; 27,0; 27,0 ср. знач. 27	0,45; 0,43; 0,46 ср. знач. 0,44	HBW(HB)150 (HRB 80,0)
	Ближе к наружной поверхности	580, 650, 590 ср. знач. 607	250, 445, 260 ср. знач. 318	24, 26, 26 ср. знач. 25	0,43; 0,68; 0,44 ср. знач. 0,52	HBW(HB)213 (HRB 95,6)
Завод-изготовитель	До 50 мм от наружной поверхности	548	274	27,4	0,50	HBW(HB) 167,167,164 ср. знач. 166
	До 10 мм от наружной поверхности	655	442	23,4	0,67	HBW(HB) 197,195,198,207 ср. знач. 199
Нормативные требования по паспорту		≥ 655	≥ 517	≥ 17	-	≥ HBW(HB) 197 (HRB 92)
Фактические данные по паспорту		783	588	17	-	HBW(HB) 233 (HRB 99)

Источник данных	Испытываемая область металла элемента МУО	Работа удара, KV–60°C, кгс·м (Дж)	Ударная вязкость KCV –60°C, кгс·м/см² (Дж/см²)	Доля вязкой составляющей в изломе, % (–60°C)	Работа удара, KV–30°C, кгс·м (Дж)	Ударная вязкость KCV –30°C, кгс·м/см² (Дж/см²)	Доля вязкой составляющей в изломе, % (–30°C)
ООО «ИТ-Сервис»	Ближе к внутренней поверхности	0,5 (4,9); 0,5 (4,9); 0,5 (4,9) ср. знач. 0,5 (4,9)	0,63 (6,1); 0,63 (6,1); 0,63 (6,2) ср. знач. 0,63 (6,1)	0; 0; 0 (Рис. 3)	0,5 (4,9); 0,8 (7,8); 0,5 (4,9) ср. знач. 0,6 (5,9)	0,62 (6,1); 1,00 (9,8); 0,63 (6,1) ср. знач. 0,75 (7,3)	0; 0; 0
	Ближе к наружной поверхности	0,7 (6,9); 0,8 (7,8); 0,8 (7,8) ср. знач. 0,8 (7,5)	0,88 (8,6); 1,0 (9,8); 1,0 (9,8) ср. знач. 1,0 (9,4)	0; 0; 0	0,9 (8,8); 0,9 (8,8); 1,1 (10,8) ср. знач. 1,0 (9,5)	1,1 (10,8); 1,1 (10,8); 1,4 (13,7) ср. знач. 1,2 (11,8)	0; 0; 0
Завод-изготовитель	До 30 мм от наружной поверхности	0,4 (3,6); 0,6(5,7); 0,4 (4,2) ср. знач. 0,5 (4,5)	0,46 (4,5); 0,73 (7,1); 0,54 (5,3) ср. знач. 0,57 (5,6)	0; 0; 0 (Рис. 4)	0,5 (4,8); 0,6(5,4); 0,5 (4,8) ср. знач. 0,5 (5,0)	0,61 (6,0); 0,69 (6,8); 0,61 (6,0) ср. знач. 0,64 (6,3)	0; 0; 0 (Рис. 4)
Нормативные требования по паспорту		20 min, 27 max	-	-	-	-	-
Фактические данные по паспорту		122,4; 86,4; 112,2	-	-	-	-	