

УДК 620.1

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ЛЕГКОСПЛАВНОЙ БУРИЛЬНОЙ ТРУБЫ

*А.А. Суслина, К.И. Кощеев, Т.М. Пугачева*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Приведены область применения, основные преимущества и недостатки легкосплавных бурильных труб, а также результаты металловедческого анализа фрагмента разрушенной трубы для выявления причин ее чрезвычайно низкой долговечности в процессе эксплуатации. В ходе экспертизы были определены химический состав металла, характеристики прочности и пластичности, твердость, а также был выполнен визуальный осмотр мест разрушения и анализ микроструктуры поврежденных областей металла бурильной трубы. По результатам экспертизы были сделаны соответствующие выводы о соответствии качества трубы требованиям нормативно-технической документации и приведены основные причины ускоренного износа данной трубы в процессе эксплуатации.*

**Ключевые слова:** *легкосплавная бурильная труба, химический состав, механические свойства, микроструктура, металлургическое качество, причины износа.*

Легкосплавные бурильные трубы (ЛБТ) применяются для бурения сверхглубоких и наклонно направленных скважин, а также для подземного и капитального ремонта и геологоразведочного бурения. ЛБТ были созданы для сокращения продолжительности спускоподъемных операций, которая интенсивно возрастает с ростом глубины скважин, и предназначены для турбинного и роторного способов бурения.

Отечественной промышленностью ЛБТ изготавливаются из алюминиевых сплавов Д16 (наиболее распространенный), АК4-1Т1 (термостойкий) и 1953Т1 (высокопрочный коррозионно-стойкий) [1].

Главное преимущество их использования в том, что буровая колонна из ЛБТ более чем в 2,5 раза легче, чем колонна из стальных труб. Вместе с тем по износостойкости и прочности эти трубы не уступают стальным и имеют удовлетворительную коррозионную стойкость, в первую очередь трубы из сплава 1953Т1, используемые при бурении морских скважин и скважин с пластовыми флюидами, содержащими растворенные сероводород и диоксид углерода. Кроме того, ЛБТ имеют гладкую внутреннюю поверхность (снижается гидравлическое сопротивление примерно на 20 %), характеризуются диамагнитностью (что позволяет использовать для замеров инклинометры), обладают высокими виброгасящими свойствами (что позволяет избежать резонанса в системе «долото – буровая колонна») [2–5 и др.].

---

*Анастасия Алексеевна Суслина, магистр.*

*Кирилл Игоревич Кощеев, бакалавр.*

*Татьяна Михайловна Пугачева (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы».*

Однако ЛБТ имеют и ряд недостатков: во-первых, они существенно дороже стальных труб; во-вторых, их нельзя эксплуатировать при температурах выше 120–150 °С, так как их прочностные свойства начинают снижаться; и, наконец, они недолговечны в агрессивной кислотной или щелочной среде.

В настоящей работе изучали фрагмент разрушенной ЛБТ с целью выявления причин столь катастрофического ее разрушения.

#### Методика исследования

Химический состав стали определяли методом спектрального анализа на атомно-эмиссионных спектрометрах с индуктивно-связанной плазмой iCAP 6500 и SA-2000.

Испытания на растяжение проводили на разрывной машине Р-10М-авто на 5 мм образцах с продольным расположением волокна в соответствии с ГОСТ 10006-80.

Замер твердости производили методом Виккерса на твердомере ПМТ-3 по шкале HV с последующим переводом в шкалу HB.

Анализ микроструктуры металла выполняли с использованием оптического микроскопа Leitz MM6 на микрошлифах с поперечным расположением волокна после травления 10%-м раствором едкого натра.

Фотосъемку микроструктуры выполняли на микрорентгеноспектральном анализаторе Jeol Superprobe 733 (Япония).

#### Результаты исследования

Результаты анализа химического состава металла трубы (табл. 1) показали, что сплав соответствует марке Д16 (1160) по ГОСТ 4784-97, в том числе по соотношению  $Fe/Si > 1$ .

Таблица 1

Химический состав объекта исследования

Объект	Содержание элементов, %				
	Cu	Mg	Mn	Fe	Si
ЛБТ	4,82	1,62	0,68	0,40	0,27
ГОСТ 4784-97	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	≤0,50	≤0,50

Значения механических свойств (табл. 2) соответствуют закаленному и естественно состаренному состоянию сплава Д16 по ГОСТ 23786-79.

Разрушение исследуемых образцов после испытаний на одноосное растяжение произошло под углом 45–48° практически без образования шейки, что характерно для вязкого разрушения.

Анализ фрактограмм поверхности разрушения выявил следы интенсивного скольжения с образованием грубых полос деформации. Кроме того, были обнаружены небольшие неметаллические включения, предположительно на основе кремния, что, однако, не могло послужить причиной катастрофически быстрого разрушения трубы ввиду их небольшого количества и малого размера.

Микроструктура объекта исследования имеет характерную для сплава Д16 основную структурную составляющую – α-твердый раствор на основе алюминия. Неравновесные фазы  $\theta(CuAl_2)$ ,  $S(Al_2CuMg)$  эвтектического происхождения имеют расположение, характерное для вырожденной эвтектики, и располагаются по границам дендритных ячеек твердого раствора.

Механические характеристики объекта исследования

Объект	На одноосное растяжение				Твердость, НВ
	Временное сопротивление, $\sigma_{\text{в}}$ , МПа	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Относительное сужение $\psi$ , %	
ЛБТ	484	283	26	27,2	128
ГОСТ 23786-79	$\geq 421$	$\geq 274$	$\geq 10$	–	–

Примесь кремния и железа образуют с магнием соединения  $\text{Mg}_2\text{Si}$  (силицид магния) и фазы  $(\text{Mn, Fe})\text{Al}_6$ ,  $(\text{Fe, Mn})_3\text{Si}_2\text{Al}_{15}$  в виде иероглифов или частиц неправильной формы, которые выделяются также по границам дендритных ячеек и зерен твердого раствора на основе алюминия.

Визуальный осмотр мест повреждения показал, что кроме продольного разрушения имеют место и поперечные надрывы по концентрическим траекториям (рис. 1, *а*). Это свидетельствует о том, что уровень приложенных при эксплуатации нагрузок был существенно выше прочностных характеристик трубы. На наружной поверхности имеются следы существенного износа и интенсивной пластической деформации (см. рис. 1, *а*). Повреждения наружной поверхности связаны с геологическими особенностями разбуриваемой породы и способом бурения.

Внутренняя поверхность объекта исследования имеет масштабные повреждения в виде расслоений (рис. 1, *б*), образовавшихся под воздействием агрессивной среды.



Рис. 1. Области разрушения ЛБТ,  $\times 0,3$ :  
*а* – наружная поверхность; *б* – внутренняя поверхность

Визуальным осмотром было также установлено, что наименьшая толщина стенки трубы в зоне разрушения составляет 1,5 мм. Однако в соответствии с ГОСТ 23786-79 первоначальная толщина стенки основного сечения должна составлять  $13^{+0,9}$  мм. С учетом степени износа и наработки трубы можно предположить, что по геометрическим параметрам она не соответствовала 3-му классу.

Микроструктурным анализом области разрушения установлено:  
 – разрушение имеет вязкий характер;

- в зонах разрушения наблюдаются следы вырыва металла;
- разрушение происходило в наиболее поврежденных местах ЛБТ, с максимальной глубиной залегания повреждений;
- на внутренней поверхности ЛБТ наблюдаются множественные коррозионные расслоения (рис. 2);
- под расслоениями имеются микротрещины, распространяющиеся на достаточно большую глубину;
- в резьбовой части ЛБТ, под впадиной резьбы имеются многочисленные трещины коррозионно-усталостного характера (рис. 3).

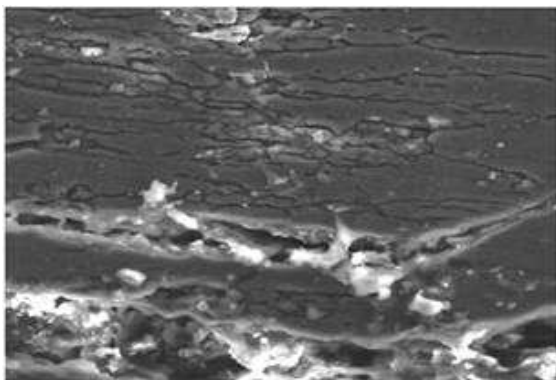


Рис. 2. Коррозионное растрескивание в области повреждения объекта исследования, x1000

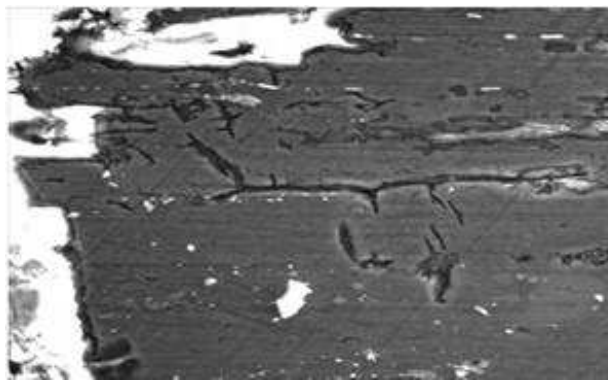


Рис. 3. Коррозионно-усталостное растрескивание резьбовой части ЛБТ, x1000

### Выводы

1. Металл ЛБТ по химическому составу и механическим свойствам соответствует закаленному и естественно состаренному сплаву Д16, что отвечает требованиям НТД.
2. Металл объекта исследования характеризуется высоким металлургическим качеством и не содержит дефектов и аномалий, видимых при оценочном увеличении, которые могли бы привести к его ускоренному разрушению.
3. Основной причиной разрушения является образование коррозионно-усталостных трещин в резьбовой части ЛБТ вследствие длительного срока эксплуатации.
4. Коррозионные растрескивания и расслоения ускорили выход трубы из строя, чего можно было бы избежать, используя трубы с антикоррозионным покрытием.
5. Причиной предельного износа трубы вследствие воздействия разбурывающей породы было также несоответствие выбранной толщины стенки требованиям ГОСТ 23786-79.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абубакиров В.Ф.* Оборудование буровое, противовыбросовое и устьевое: В 2 т. Т. 2. – М.: ИРЦ, Газпром, 2007. – 650 с.
2. *Калинин А.Г., Григорян Н.А., Султанов Б.З.* Бурение наклонных скважин: справочник. – М.: Недра, 1990. – 348 с.
3. *Ежов И.В.* Бурение наклонных и горизонтальных скважин: Учеб. пособие. – М.: Феникс, 2016. – 288 с.
4. *Штамбург В.Ф., Фаин Г.М., Данелянц С.М., Шеина А.А.* Бурильные трубы из алюминиевых сплавов. – М.: Недра, 1980. – 240 с.

5. Коррозионно-усталостная прочность бурильных труб из алюминиевых сплавов / А.В. Карлашов, А.Н. Яров, К.М. Гильман и др. – М.: Недра, 1977. – 183 с.

*Статья поступила в редакцию 20 сентября 2016 г.*

## **ANALYSIS OF THE POSSIBLE CAUSES OF FAILURE OF GOOD SMOOTH DRILL PIPE**

***A.A. Suslina, K.I. Koshcheev, T.M. Pugacheva***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russian Federation

*The analysis of reasons for emergency destruction of light alloy drill pipes is given. During the examination the studied macro - and microstructure of damaged structural areas of the metal drill pipe and the chemical composition of the metal, characteristics of strength, ductility and hardness are defined. The conclusions on drill pipe quality were made. The main reasons of quick drill pipe wear during operation were named.*

***Key words:*** *aluminum drilling pipe, chemical composition, mechanical properties, microstructure, metallurgical quality, causes of wear.*

---

*Anastasiya A. Suslina, Graduate Student.*

*Kirill I. Koshcheev, Bachelor.*

*Tatiana M. Pugacheva, Ph.D. (Techn.), Associate Professor.*