

## АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЯ ВАЛА ГИДРОЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

*А.Г. Ксембаев, А.Г. Багинский*

Научный руководитель: доцент, к. т. н. И.Л. Стрелкова  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: madridistas94@gmail.com

### Введение

Электрические центробежные насосы (ЭЦН) являются одними из самых надежных агрегатов для транспортировки жидкостей в нефтегазовом производстве. Эксплуатационная надежность ЭЦН во многом определяется свойствами используемых материалов для изготовления основных элементов установки. Исследования показывают, что более 40% выходов из строя ЭЦН связано с поломками вала узла гидрозащиты. Известно, что валы являются деталями ответственного назначения и используются не только в установках нефтегазовой отрасли, но и в таких отраслях промышленности, как атомно-энергетическая, ракетно-космическая, судостроительная. Поэтому при выборе материала для их изготовления отдают предпочтение металлическим сплавам с более высоким пределом выносливости и удельной прочностью по справочным данным. К ним относятся современные высокопрочные сплавы на основе никеля, титана, железа. Кроме этого следует учитывать и разнообразие используемых валов по типу, весу, длине. На них устанавливают другие элементы установок, например, зубчатые колеса, подшипники качения, тормозные барабаны. Все эти факторы, безусловно, удорожают процесс изготовления валов и требуют внедрения усовершенствованных технологий для их изготовления. Но даже в случае соблюдения технологий их изготовления и правил эксплуатации, указанных в инструкции, неисправности центробежных насосов неизбежно возникают по самым разным причинам [1].

Целью настоящей работы является изучение и выявление причин характерных разрушений валов гидрозащиты электрических центробежных насосов.

### Материалы и методы исследований

Исследовался фрагмент металлического шлицевого вала гидрозащиты размером  $\varnothing 22 \times 60$  мм с трещиной в области шлицов (рис. 1).



Рис. 1. Фрагмент шлицевого вала с трещиной

Анализ разрушения вала проводился в научно-исследовательской лаборатории механических испытаний и металлографического анализа материалов (МИМАМ) при кафедре материаловедения и технологии металлов НИ ТПУ. Был проведен комплекс исследований в соответствии с ГОСТ и использованием соответствующего оборудования: оптико-эмиссионный спектрометр PMI-MASTER Sort, бинокулярный микроскоп МБС-10 с увеличением до 50 крат, металлографический микроскоп Axio Observer.A1m производства Karl Zeiss с увеличением до 1000 крат с программным обеспечением для количественного анализа фазового и структурного состава сплава; испытательная машина для растяжения плоских образцов МИРИ-100К с регистрацией диаграммы растяжения и автоматическим расчетом механических характеристик материалов; прибор ТК-2 для определения твердости по методу Роквелла ( $P = 150$  кг).

### Результаты исследований и их обсуждение

Гидрозащита ЭЦН расположена между насосом и двигателем и выполняет следующие функции: принимает осевую нагрузку от работающего насоса; передает крутящий момент, развиваемый двигателем, к насосу; выравнивает давление между маслом двигателя и добываемой жидкостью, не допуская их перемешивания.

Для определения причины образования трещины был сделан долом вала и исследована поверхность излома. Установлено, что трещина зародилась в углу шлицевого паза и развивалась при работе в обе стороны. Она ориентирована перпендикулярно оси и не имеет основных признаков усталостного разрушения. Излом

однородный матовый. Следов не когерентных включений, которые могут служить концентраторами зарождения трещин, не обнаружено.

Для выявления микроструктуры проведен химический анализ сплава (табл. 1), на основе которого металлический сплав вала идентифицируется как медно-никелевый. По соотношению компонентов сплава он относится к группе под названием «монель-металлы», сочетающей в себе повышенную твердость, прочность, жаропрочность и коррозионную устойчивость, то есть в полном объеме удовлетворяющей условиям работы исследуемого вала. Технологические свойства сплава позволяют осуществлять обработку давлением и в горячем и холодном состоянии.

Таблица 1. Химический анализ сплава разрушенного шлицевого вала ЭЦН

Образец	Массовая доля элементов, %											
	Cu	Zn	Pb	Sn	Mn	Fe	Ni	Si	Al	Ag	Co	As
Разрушенный вал	71,3	0,95	5,08	0,35	0,60	0,79	14,3	3,65	1,02	0,54	1,04	0,11

При анализе микроструктуры установлено отсутствие в объеме основного металла неметаллических включений, типа оксидов, силикатов, сульфидов и пр. Микроструктура сплава состоит из зерен однофазного  $\gamma$ -твердого раствора легирующих элементов в кристаллической решетке меди со средней величиной зерна 20–30 мкм с включениями интерметаллидов неправильной формы и различного размера (3–10 мкм), расположенных преимущественно по границам зерен твердого раствора (рис. 2). Их наличие и характер распределения свидетельствует о проведении стандартной упрочняющей обработки, состоящей из закалки и старения. Такая термическая обработка способствует формированию структурной однородности интерметаллидных сплавов и релаксации напряжений, возникающих на различных этапах технологического процесса изготовления вала, при сохранении его прочностных свойств. А сегрегация мелкодисперсных частиц интерметаллидов по границам зерен сдерживает рост зерен твердого раствора в процессе нагрева при длительной непрерывной работе, повышая предел прочности и сопротивление усталостному разрушению в реальных условиях эксплуатации.

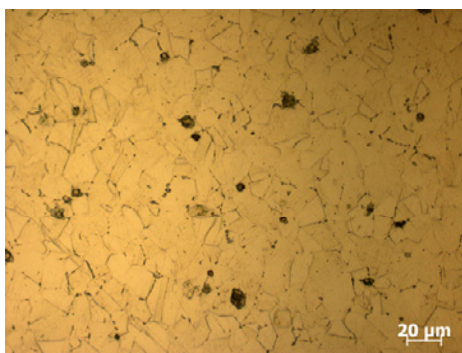


Рис. 2. Микроструктура исследуемого вала

Результаты механических испытаний показали, что исследуемый медно-никелевый сплав имеет повышенные значения твердости (52–53 HRC), условного предела текучести ( $\sigma_{0,2} = 867$  МПа) и прочности ( $\sigma_B = 1164$  МПа) при относительном удлинении  $\epsilon = 17\%$ , по сравнению со сплавами на основе железа.

#### Заключение

Проведенные исследования показали, что исследуемый сплав является современным цветным, дисперсно-твердеющим сплавом, требующим специальных технологий получения и обработки. По микроструктуре сплав мелкозернистый с частицами интерметаллидной фазы, что характерно после упрочняющей термообработки. Разрушение вала произошло в результате превышения эксплуатационных нагрузок предела прочности. Для точного определения причин появления перегрузок недостаточно статистических данных, хотя поломки вала гидрозащиты являются характерными для данного оборудования.

Вероятные причины такого рода поломок – это нарушения условий эксплуатации, отсутствие своевременного технического контроля основных элементов ЭЦН.

#### Список литературы

1. Шаров Е.А., Кузеев И.Р. Исследование разрушений валов насосных агрегатов // Нефтегазовое дело. – 2009. – Т. 7, № 2. – С. 161–163.