



УДК 669.

DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-84-89

Поступила 14.11.2018

Received 14.11.2018

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ВАЛА ВАЛКА РАБОЧЕЙ КАСЕТЫ ПРОВОЛОЧНОГО БЛОКА

*И. А. КОВАЛЕВА, П. А. БОБКОВ, И. А. ОВЧИННИКОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.
E-mail: nl.icm@bmz.gomel.by*

В процессе разработки конструкции машины, станка, агрегата закладываются основы долговечности и надежности отдельных узлов и деталей. При изготовлении большое влияние на качество и работу деталей оказывают технологические факторы. От правильности выбора метода изготовления, назначения соответствующей упрочняющей обработки металла, качества сборки во многом зависят надежность и долговечность наиболее нагруженных сопряженных деталей, рабочих органов машины. Деталь «вал» присутствует в любом механизме и играет важную роль в обеспечении функциональной работоспособности узлов и агрегатов. В процессе работы валы подвергаются эксплуатационным нагрузкам, в результате чего могут возникать дефекты. Разнообразие и сложность современных конструкций, условий их эксплуатации, способов производства и упрочнения деталей делают техническую диагностику причин разрушений весьма сложной задачей, которая в ряде случаев может быть решена лишь с помощью комплекса современных физических методов исследований, в том числе фрактографии и микроскопии.

В статье рассмотрены причины разрушения вала валка рабочей кассеты проволочного блока. На основании анализа излома установлены основные классификационные признаки: ориентация, микрогеометрия, степень пластической деформации при разрушении и энергия разрушения, микромеханизм разрушения. Поверхность разрушения имеет мелкокристаллический излом (образовался в условиях малой пластической деформации) и характеризуется наличием на поверхности разрушения блестящих плоских участков.

Проведено исследование микроструктуры после травления в реактивах «Nital» и Обергоффера. Химический состав фрагмента вала соответствует заявленной марке стали. Выявлено повышенное содержание никеля. Повышенное содержание никеля не связано с разрушением вала, так как никель не оказывает отрицательного влияния на свойства стали и готового изделия в целом. Никель оказывает положительное влияние на свойства стали, увеличивая ее прочность, не понижая пластичность и вязкость. Разрушение вала валка рабочей кассеты проволочного блока произошло в результате многократного превышения нормативного момента затяжки при установке вала в конструкцию. «Перетяг» вала привел к трещинообразованию по хрупкому механизму разрушения.

Ключевые слова. Оборудование, эксплуатация, работоспособность, вал, резьба, разрушение, излом, фрактография, трещина, микроструктура, затяжка, перетяг.

Для цитирования. Ковалева, И. А. Исследование и определение причин разрушения вала валка рабочей кассеты проволочного блока // И. А. Ковалева, П. А. Бобков, И. А. Овчинникова // *Литье и металлургия*. 2018. № 4. С. 84–89. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-84-89.

THE STUDY AND DETERMINATION OF CAUSES OF FRACTURE OF THE SHAFT OF THE ROLL WORKING THE WIRE CASSETTE UNIT

I. A. KOVALEVA, P. A. BOBKOV, I. A. OVCHINNIKOVA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: nl.icm@bmz.gomel.by

In the process of the design of the machine, lath or unit the foundations of durability and reliability of individual components and parts are established. In the manufacture a great influence on the quality and performance of parts have technological factors. The reliability and durability of the most loaded mated parts, working parts of the machine depend largely on the correctness of the choice of the manufacturing method, the purpose of the appropriate hardening metal processing, the quality of the Assembly.

Part shaft is present in any mechanism and plays an important role in ensuring of the functional performance of units and assemblies. During operation, the shafts are subjected to operating loads, resulting in defects. The diversity and complexity of modern structures, their operating conditions, methods of production and hardening of parts makes the technical diagnosis of the causes of destruction a very difficult task, which in some cases can be solved only with the help of a complex of modern physical methods of research, including fractography and microscopy.

The article deals with the causes of destruction of the roll shaft of the working cassette of the wire block. On the basis of the fracture analysis, the main classification features are established: orientation, microgeometry, degree of plastic deformation at fracture and fracture energy, micromechanism of fracture. The fracture surface has a fine-grained fracture (formed under conditions of small plastic deformation) and is characterized by the presence of shiny flat areas on the fracture surface

The study of the microstructure after etching in a reagent «Nital» and reagent Oberhoffer. The chemical composition of a fragment of the shaft meets the stated grade of steel. The increased content of Nickel was revealed. Increased Nickel content is not associated with the destruction of the shaft, as Nickel has no negative impact on the properties of steel, and the finished product as a whole. Nickel has a positive effect on the properties of steel, increasing its strength without reducing ductility and toughness. The destruction of the roll shaft of the working cassette of the wire unit occurred as a result of multiple excess of the standard tightening torque when installing the shaft in the structure. «Overtightening» of the shaft led to cracking on the brittle mechanism of destruction

Keywords. *Equipment, operation, performance, shaft, thread, destruction, fracture, fractography, crack, microstructure, tightening, overtightening.*

For citation. *Kovaleva I. A., Bobkov P. A., Ovchinnikova I. A. The study and determination of causes of fracture of the shaft of the roll working the wire cassette unit. Foundry production and metallurgy, 2018, no.4, pp. 84–89. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-4-84-89.*

В процессе разработки конструкции машины, станка, агрегата закладываются основы долговечности и надежности отдельных узлов и деталей. При изготовлении большое влияние на качество и работу деталей оказывают технологические факторы. От правильности выбора метода изготовления, назначения соответствующей упрочняющей обработки металла, качества сборки во многом зависят надежность и долговечность наиболее нагруженных сопряженных деталей, рабочих органов машины. И, наконец, большое влияние оказывают условия эксплуатации машины, субъективные особенности обслуживающего персонала [1].

Деталь «вал» присутствует в любом механизме и играет важную роль в обеспечении функциональной работоспособности узлов и агрегатов. В процессе работы валы подвергаются эксплуатационным нагрузкам, в результате чего могут возникать дефекты.

К валам относят детали машин, предназначенные для передачи крутящего момента и восприятия действующих сил со стороны расположенных на нем деталей и опор. На валу закрепляются шкивы, зубчатые колеса, маховики и т. п. Некоторые из этих деталей, называемые ведущими, получают вращательное движение от постороннего источника энергии (двигателя). К другим деталям вращение передается валом. Они называются ведомыми. Таким образом, вал при своем движении обязательно передает усилие (вращающий момент), а поэтому испытывает деформации кручения и изгиба. Валы по форме разделяются на прямые или изогнутые (коленчатые), целые или составные (собранные из нескольких частей), сплошные или полые (пустотелые) [2].

В технике чрезвычайно актуальной является проблема предотвращения аварийных разрушений в процессе производства и эксплуатации конструкций и машин. Важный аспект данной проблемы – достоверная диагностика характера и причин разрушения, что обуславливает выбор эффективных мер по предотвращению аварийных поломок.

Разнообразие и сложность современных конструкций, условий их эксплуатации, способов производства и упрочнения деталей делают техническую диагностику причин разрушений весьма сложной задачей, которая в ряде случаев может быть решена лишь с помощью комплекса современных физических методов исследований, в том числе фрактографии и микроскопии.

Применение этих методов исследований для целей диагностики основывается на использовании имеющегося в литературе банка данных по макро- и микростроению изломов сталей в зависимости от их химического состава, структурного состояния, комплекса свойств, вида и характера нагружения [3–5].

Рассмотрим причины разрушения вала валка рабочей кассеты проволочного блока.

Для исследования и определения причин разрушения в исследовательскую лабораторию исследовательского центра – отраслевую лабораторию технологий металлургического и сталепроволочного производств ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» был предоставлен фрагмент резьбы вала.

При создании и обслуживании современной техники, строительных конструкций, приборов невозможно обойтись только неразъемными соединениями. Необходимость разборки механизмов при ремонте и обслуживании (замена масла, контроль износа и др.) обуславливает применение таких неподвижных разъемных соединений, которые могли бы нормально выполнять заданные функции после неоднократной разборки и сборки. Одной из разновидностей таких разъемных соединений являются резьбовые



Рис. 1. Внешний вид разрушенной детали и характер разрушения

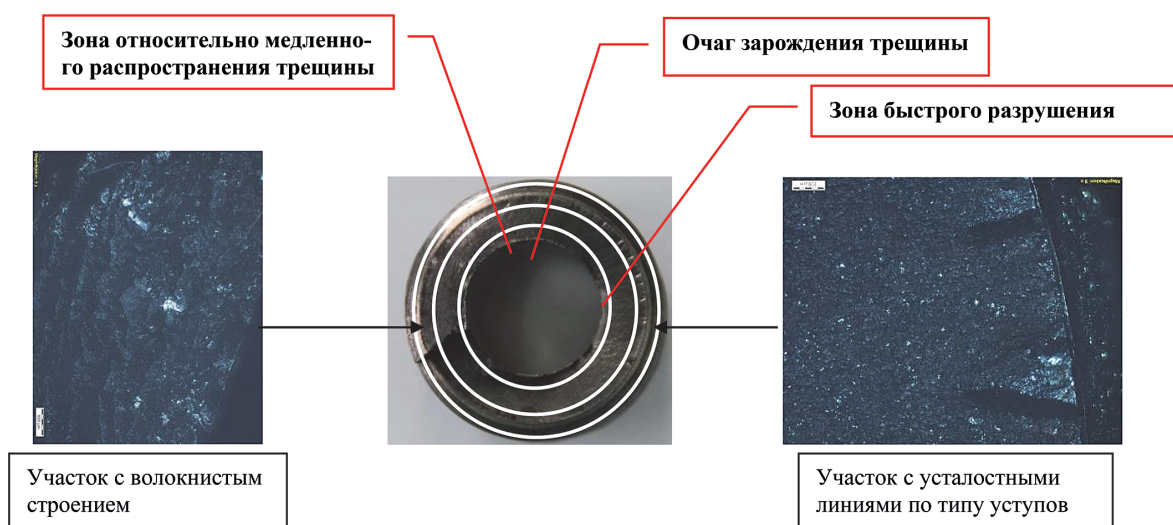


Рис. 2. Внешний вид поверхности излома с фотографиями макростроения отдельных участков. $\times 50$

соединения. Они имеют ряд достоинств перед другими способами соединения деталей, что делает их незаменимыми элементами конструкций, механизмов, машин и приборов.

Концентраторами напряжений у резьбовых соединений являются канавки между витками резьбы. Высокая концентрация напряжения на дне резьбовой канавки происходит вследствие малых радиусов скругления. Углы во впадинах служат сильными концентраторами напряжений, что резко снижает усталостную прочность.

Основной критерий работоспособности резьбовых соединений – прочность. Разрушение элементов резьбового соединения может происходить по одной из следующих причин:

- разрыв стержня по резьбе или переходному сечению у головки;
- повреждение или разрушение резьбы;
- разрушение головки.

Внешний вид разрушенных деталей и характер их разрушения показан на рис. 1.

На основании анализа излома (рис. 2) установлены основные классификационные признаки:

1. Ориентация

Излом прямой по второму витку резьбы.

2. Микрогеометрия

Излом «звездочкой» характеризуется наличием участка с волокнистым строением, расположенного перпендикулярно направлению максимальных растягивающих напряжений. Образование такого рельефа указывает на неоднократное осевое растяжение.

3. Степень пластической деформации при разрушении и энергия разрушения

Хрупкий излом. О хрупком разрушении свидетельствуют гладкие, ровные кромки излома с небольшим скосом. Наличие скоса небольших размеров указывает место долома. Очаг зарождения трещин рас-

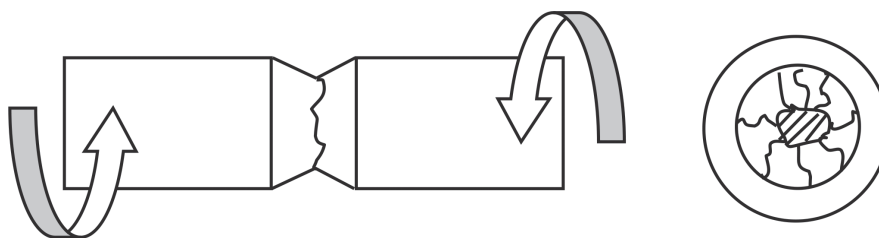


Рис. 3. Схема строения усталостного излома при кручении при высоком номинальном напряжении

полагается у поверхности, по второму витку резьбы. Зона относительно медленного распространения трещины имеет более гладкую поверхность, чем остальная поверхность излома. Зона быстрого разрушения соответствует очень быстрому, лавинному распространению разрушения до полного разделения детали на две части. В структуре излома отчетливые вертикальные усталостные линии характерны для трещинообразования по типу кручение по хрупкому механизму деформации.

4. Микромеханизм разрушения

Усталостный излом (рис. 3). Образование усталостных линий по типу уступов свидетельствует о том, что усталостные трещины возникли по внешней окружности. Макроскопические усталостные линии представляют собой следы фронта распространения усталостных трещин. Данные линии возникают вследствие изменения направления действий внешних нагрузок, при периодическом наложении крутящего момента.

Поверхность разрушения имеет мелкокристаллический излом (образовался в условиях малой пластической деформации) и характеризуется наличием на поверхности разрушения блестящих плоских участков [6].

Исследование микроструктуры проводили после травления в реактивах «Nital» (рис. 4, а) и Обергоффера (рис. 4, б). Микроструктура в продольном сечении образца – бейнитно-мартенситная. Бейнит – темные участки структуры, а мартенсит – светлые, практически не травящиеся.

Был проведен анализ химического состава на соответствие марки стали, заявленной в чертеже. Результаты приведены в таблице.

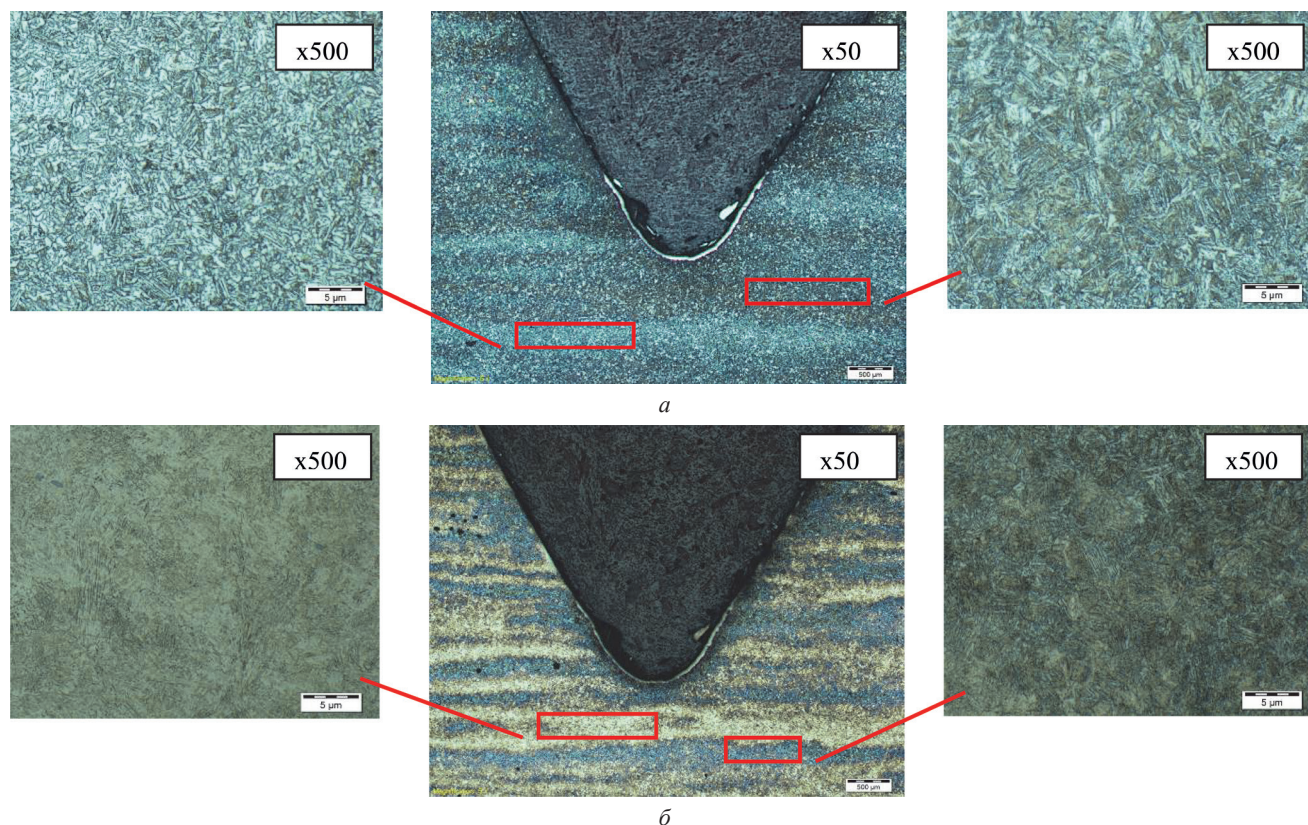


Рис. 4. Микроструктура после травления: а – реактив «Nital»; б – реактив Обергоффера

Результаты определения химического состава

Наименование	Массовая доля химических элементов, %												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo	V	W	Ti
Фрагмент вала	0,14	0,23	0,58	0,009	0,035	0,8	2,85	0,20	0,025	0,1	0,004	0,014	0,002
Марка стали, указанная на чертеже, 17CrNiMo6 (стандарт не указан)													
17CrNiMo6 по DIN EN 10084	0,14–0,2	Max 0,4	0,6–0,9	Max 0,025	Max 0,035	0,8–1,1	1,2–1,5			0,15–0,25			
17CrNiMo6 по DIN 17210	0,15–0,2	Max 0,4	0,4–0,6	Max 0,035	0,035	1,5–1,8	1,4–1,7			0,25–0,35			

Как видно из таблицы, химический состав фрагмента вала соответствует заявленной марке стали согласно европейским стандартам DIN EN 10084, DIN 17210. Выявлено повышенное содержание никеля.

Следует отметить, что повышенное содержание никеля не связано с разрушением вала, так как никель не оказывает отрицательного влияния на свойства стали и готового изделия в целом. Никель оказывает положительное влияние на свойства стали, увеличивая ее прочность, не понижая пластичность и вязкость. Кроме того, никель понижает порог хладноломкости и повышает упрочняемость сталей. В комбинации с хромом и молибденом никель еще больше повышает способность сталей к термическому упрочнению, способствует повышению вязкости и усталостной прочности сталей. Стали, содержащие никель, особенно ценны как конструкционный материал.

Выводы

В результате комплексного исследования металла разрушенного вала установлено:

В изломе вала присутствуют очаги зарождения усталостной трещины. В структуре излома очагов хорошо видны вертикальные следы роста трещины, характерные для трещинообразования по типу кручения по хрупкому механизму деформации. Данные линии возникают вследствие изменения направления действий внешних нагрузок, при периодическом наложении крутящего момента. Зона долома имеет мелкозернистый хрупкий рельеф, который свидетельствует о высокой скорости нагружения в момент окончательного разрушения. Излом «звездочкой» указывает на неоднократное осевое растяжение.

Исследуемый фрагмент вала имеет мартенситно-бейнитную структуру.

Химический состав фрагмента вала соответствует заявленной марке стали согласно европейским стандартам DIN EN 10084, DIN 17210. Выявлено повышенное содержание никеля.

Проведенные исследования показали, что разрушение вала валка рабочей кассеты проволочного блока произошло в результате многократного превышения нормативного момента затяжки при установке вала в конструкцию. «Перетяг» вала привел к трещинообразованию по хрупкому механизму разрушения.

При затяжке резьбового соединения и в процессе его последующей работы в деталях соединения действуют самые разнообразные напряжения. Так, например, под действием осевой силы резьбовое соединение нагружено растягивающими напряжениями, в витках резьбы возникают напряжения изгиба, смятия и среза одновременно. Таким образом, прочность элементов резьбы является основным критерием работоспособности.

В связи с этим важно соблюдать усилие затяжки. Если усилие затяжки мало, под действием изменяющейся нагрузки резьбовое соединение будет быстро повреждаться. Если усилие затяжки велико, процесс затяжки может привести к разрушению компонентов соединения. Следовательно, надежность резьбового соединения зависит от правильности выбора усилия затяжки и соответственно необходим постоянный контроль крутящего момента [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тылкин М. А.** Справочник термиста ремонтной службы / М. А. Тылкин. М.: Металлургия, 1981. 648 с.
2. **Захаров Ю. А.** Совершенствование технологии восстановления посадочных отверстий корпусных деталей проточным электролитическим цинкованием: дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2001. 170 с.
3. **Фрактография** и атлас фрактограмм: Справ. / Под ред. Д. Феллоуза. М.: Металлургия, 1982. 489 с.
4. **Романив О. Н., Зима Ю. В., Карпенко Г. В.** Электронна фрактография зміцнених сталей. Киев: Наукова думка, 1974. 207 с.
5. **Фрактография** – средство диагностики разрушенных деталей / М. А. Балтер, А. П. Любченко, С. И. Аксенова и др. М.: Машиностроение, 1987. 160 с.
6. **Шестопалова Л. П.** Методы исследования материалов и деталей машин при проведении авотехнической экспертизы: учеб. пособ. / Л. П. Шестопалова. Т. Е. Лихачева. М.: МАДИ, 2017. 180 с.
7. **Методы** затяжки резьбового соединения. <http://www.enerprom.ru/article/Metody-zatyazhki-rezbovogo-soedineniya>.

REFERENCES

1. Tylkin M. A. *Spravochnik termista remontnoj sluzhby* [Directory thermist repair service]. Moscow, Metallurgija Publ., 1981, 648 p.
2. Zaharov Ju. A. *Sovershenstvovanie tehnologii vosstanovlenija posadochnyh otverstij korpusnyh detalej protochnym jelektroliticheskim cinkovaniem. Diss. kand. tehn. nauk* [Improving the technology of restoring the mounting holes of body parts by flow electrolytic galvanizing. Thesis for Ph. D]. Penza, 2001. 170 p.
3. *Fraktografija i atlas fraktogramm* [Fractography and atlas fractograms]. Moscow, Metallurgija Publ., 1982. 489 p.
4. Romaniv O. N., Zima Ju. V., Karpenko G. V. *Elektronna fraktografija zmichenih stalej* [Electronic fractography of superstrong steels]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1974, 207 p.
5. Balter M. A., Ljubchenko A. P., Aksenova S. I. *Fraktografija – sredstvo diagnostiki razrushennyh detalej* [Fractography is a tool for diagnosing damaged parts]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987, 160 p.
6. Shestopalova L. P., Lihacheva T. E. *Metody issledovanija materialov i detalej mashin pri provedenii avotekhnicheskoy jekspertizy* [Methods for the study of materials and machine parts when conducting autotechnical expertise]. Moscow, MADI Publ., 2017, 180 p.
7. <http://www.enerprom.ru/article/Metody-zatyazhki-rezbovogo-soedineniya>.