



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-47-50>
УДК 669.21

Поступила 14.11.2022
Received 14.11.2022

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИН РАЗРЫВА ЗВЕНЬЕВ В ИЗДЕЛИИ «ЦЕПЬ КРУГЛАЯ ПЛОСКОЗВЕННАЯ» ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ У ПОТРЕБИТЕЛЯ

*И. А. КОВАЛЕВА, Н. А. ХОДОСОВСКАЯ, И. А. ГУЗОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.
E-mail: nl.icm@bmz.gomel.by, тел.: + 375-2334-54903*

В статье описаны проведенные исследования изделия «цепь круглая плоскозвенная» с разрывом трех звеньев после термической обработки и механических испытаний у потребителя. Целью проведения исследований явилось определение причины разрушения звеньев цепи. При визуальном осмотре цепи выявлены разрывы трех звеньев из девяти. Разрыв произошел в зоне заводского клеймения. Проведено металлографическое исследование двух образцов, вырезанных из звена цепи с разрывом и звена без разрыва. В ходе исследования был обнаружен поверхностный слой, отличный от основной микроструктуры. Наличие обнаруженного поверхностного слоя обусловлено проведением поверхностной закалки. Упроченная зона поверхности звена с разрывом практически в 2 раза меньше, чем в звене без разрыва. Количество остаточного аустенита больше и крупнее в звене с разрывом. В результате исследований установлено, что разрушение звеньев цепи произошло по причине нарушения режима термообработки поверхностного слоя.

Ключевые слова. Эксплуатация цепей, термическая обработка, цепь круглая плоскозвенная, излом, волокнистое строение, металлографический анализ, поперечное сечение исследуемых образцов, мартенсит, остаточный аустенит.

Для цитирования. Ковалева, И. А. Определение причин разрыва звеньев в изделии «цепь круглая плоскозвенная» после механических испытаний на усталостную прочность у потребителя / И. А. Ковалева, Н. А. Ходосовская, И. А. Гузова // *Литье и металлургия*. 2022. № 4. С. 47–50. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-47-50>.

DETERMINATION OF THE REASONS FOR THE RUPTURE OF LINKS IN THE PRODUCT “ROUND FLAT-LINK CHAIN” AFTER MECHANICAL TESTS FOR FATIGUE STRENGTH AT THE CONSUMER

I. A. KOVALEVA, N. A. HODOSOVSKAYA, I. A. GUZOVA, OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel region, Belarus 37, Promyshlennaya str. E-mail: nl.icm@bmz.gomel.by, Tel.: + 375-2334-54903

The article describes the conducted research of the product “round flat-link chain”, with the rupture of three links after heat treatment and mechanical tests at the consumer. The purpose of the research was to determine the cause of the destruction of the chain links. Visual inspection of the chain revealed breaks in three of the nine links. The rupture occurred in the area of factory branding. A metallographic study of two samples cut from a chain link with a break and a link without a break was carried out. During the study, a surface layer was found that was distinguishable from the main microstructure. The presence of the detected surface layer is due to surface hardening. The hardened area of the surface of the link with a break is almost two times smaller than in the link without a break. The amount of residual austenite is larger and larger in the link with the gap. As a result of the conducted studies, it was found that the destruction of the chain links occurred due to a violation of the heat treatment regime of the surface layer.

Keywords. Operation of chains, heat treatment, round flat-link chain, fracture, fibrous structure, metallographic analysis, cross-section of the studied samples, martensite, residual austenite.

For citation. Kovaleva I. A., Hodosovskaya N. A., Guzova I. A. Determination of the reasons for the rupture of links in the product “round flat-link chain” after mechanical tests for fatigue strength at the consumer. *Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 4, pp. 47–50. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-47-50>.

Круглозвенные цепи предназначены для использования в забойных и штрековых конвейерах, а также в качестве тягового органа в струговых установках. Учитывая жесткие условия эксплуатации цепей, к ним предъявляют повышенные требования по механическим характеристикам, износостойкости, равномерности структуры, твердости [1]. После проведения термической обработки и механических испытаний у потребителя произошел разрыв звеньев цепи.

Целью данной работы является исследование причины разрушения (разрыва) плосковзвонной цепи. Объект исследования – «цепь круглая плосковзвонная» с разрывом трех звеньев после проведения термической обработки и механических испытаний у потребителя. Материалом для изготовления данного изделия служил металл производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», выплавленный, разлитый и прокатанный по требованиям потребителя. Состояние поставки – катанка диаметром 9,0 мм, марка стали 20Г2Р. Химический состав металла приведен в таблице.

Химический состав металла

Марка стали	Массовая доля элементов, %											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	B	Al	Sn	N2
20Г2Р	0,20	0,23	1,06	0,009	0,006	0,04	0,08	0,14	0,002	0,030	0,010	0,009

Из таблицы видно, что данная марка стали борсодержащая. Имеется незначительное количество бора, что позволяет сохранить наилучшие механические свойства готовых изделий и обеспечить получение мелкозернистой структуры после горячей прокатки в высокотемпературном режиме, т.е. выше температуры начала рекристаллизации аустенита [2].

При визуальном осмотре цепи выявлены разрывы трех звеньев из девяти. Разрыв произошел в зоне заводского клеймения (рис. 1).

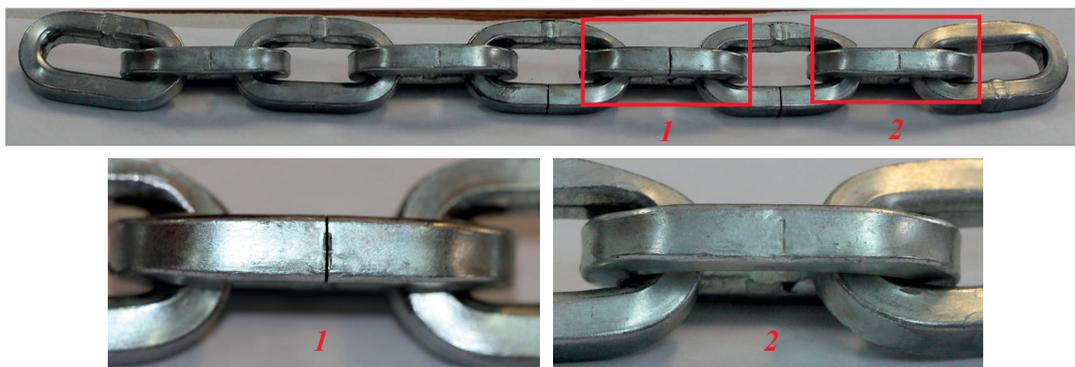


Рис. 1. Внешний вид представленных образцов

С целью определения причины разрыва был проведен анализ состояния разрушения по излому звеньев. Поверхность разрушения матовая (без металлического блеска) темно-серого цвета. По всему периметру поперечного сечения звена цепи наблюдается поверхностный мелкозернистый слой, отличный от структуры основного металла. Излом представляет собой однородную поверхность вязкого, внутризерненного разрушения и классифицируется как волокнистый (рис. 2).

Волокнистое строение – название условное. При больших увеличениях в волокнистом изломе выявляется ямочный микрорельеф.

Получение волокнистого излома обеспечивается характером легирования стали и ее термической обработкой – закалкой и отпуском. Режимы обработки должны обеспечивать равномерное распределение вторичных фаз; получение аустенитного зерна минимальных размеров; скорость охлаждения при закалке, обеспечивающую получение минимального количества немартенситных продуктов превращения



Рис. 2. Внешний вид излома звена цепи

и остаточного аустенита; скорость охлаждения при отпуске, препятствующую развитию обратимой отпускной хрупкости; заданный уровень прочности и ударной вязкости стали при минимальной критической температуре хрупкости [3].

Для проведения металлографического анализа образцы замаркировали: № 1 с разрывом звена и № 2 без разрыва. Были вырезаны поперечные микрошлифы. Исследование микрошлифов проводили в не травленном состоянии и после травления в 4% -ном растворе азотной кислоты [4], в светлом поле зрения с помощью инвертированного металлографического микроскопа отраженного света «OLYMPUS GX-51» с цифровой системой изображений.

Анализ показал отсутствие грубых неметаллических включений в подповерхностном слое всех исследуемых образцов. После травления поперечных микрошлифов в 4%-ном растворе азотной кислоты выявлено, что структура представляет собой мелкокристаллический мартенсит. В ходе исследования обнаружен поверхностный слой, отличимый от основной микроструктуры. Наличие обнаруженного слоя обусловлено проведением поверхностной закалки.

Сущность поверхностной закалки состоит в том, что поверхностные слои детали быстро нагревают выше температуры закалки, а затем охлаждают со скоростью выше критической. Основное назначение поверхностной закалки: повышение твердости, износостойкости и предела выносливости поверхности при сохранении вязкой сердцевины. Нагрев в принципе может быть осуществлен разными способами. В промышленности самым распространенным способом поверхностного упрочнения является индукционная закалка с нагревом токами высокой частоты. При микроструктурном анализе (рис. 3) видно, что упрочненная зона состоит из двух слоев: светлый у самой поверхности и далее более темный. Верхний светлый слой имеет структуру мартенсита закалки. Мартенсит образовался при быстром охлаждении поверхности. Более темный слой – мартенсит отпуска. Это тот мартенсит, который тоже образовался при ускоренном охлаждении, но дольше находился при повышенной температуре, чего оказалось достаточно, для того чтобы произошел отпуск [5].

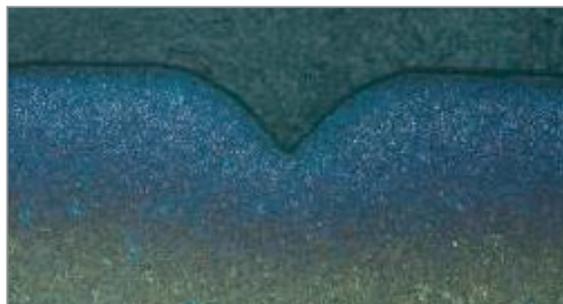


Рис. 3. Микроструктура поперечного сечения звена цепи

Одним из параметров, характеризующим прочность цепей, является разрушающая нагрузка цепи в целом (и пластин звеньев цепи в частности), зависящая от выбранного способа упрочняющей обработки.

Необходимо обратить внимание, что упрочненная зона поверхности в образце № 1 (звено с разрывом) практически в 2 раза меньше, чем в образце № 2 (звено без разрыва.)

Также следует отметить, что в образце, вырезанном от звена с разрывом, количество остаточного аустенита (белые участки) больше и его зерна крупнее, чем в образце, вырезанном от звена цепи без разрыва (рис. 4).

Изучение различного рода информации показывает, что присутствие остаточного аустенита в структуре закаленной стали – явление в большинстве случаев отрицательное: так как твердость аустенита значительно меньше твердости мартенсита (200 и 700 НВ соответственно), то и твердость закаленной стали, в структуре которой присутствует остаточный аустенит, получается меньше; остаточный аустенит при распаде вызывает постепенное самопроизвольное изменение размеров деталей, а это недопустимо для деталей, которые должны иметь постоянные размеры.

Наличие остаточного аустенита в деталях, работающих в условиях циклических контактных напряжений, особенно нежелательно. Остаточный аустенит негативно влияет не только потому, что, распадаясь и превращаясь в мартенсит, он приводит к короблению деталей и изменению их размеров, но главным образом потому, что он снижает контактную прочность, способствуя зарождению первичных трещин усталости [6].

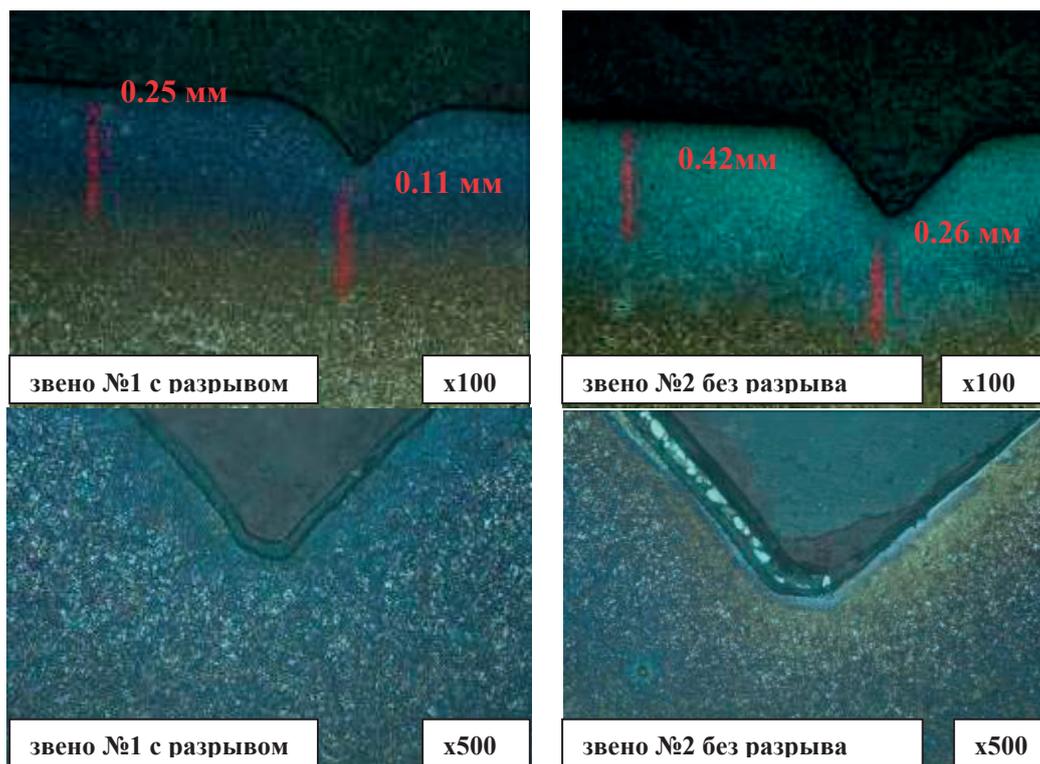


Рис. 4. Микроструктура в поперечном сечении исследуемых образцов

Выводы

В результате проведенной работы исследовано изделие «цепь круглая плоскозвенная» с разрывом трех звеньев после проведения термической обработки и механических испытаний у потребителя. Металлографические испытания показали неравномерную закаленную упрочненную зону поверхности и наличие остаточного аустенита в звене с разрывом, количество которого больше и крупнее, чем в звене без разрыва. В ходе исследования определено, что существенной причиной разрушения звеньев цепи явилось нарушение режимов термообработки, связанных, во-первых, с неравномерностью нагрева и охлаждения, во-вторых, с увеличением объема стали при образовании мартенсита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Продукция для горной промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.thiele.de/download/kataloge/bergbau/THIELE_Mining_catalog_2015_russian.pdf.
2. Парусов В. В., Парусов О. В., Сычков А. Б. Прокат из борсодержащих сталей для высокопрочных крепежных изделий. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2010. 155 с.
3. Герасимова Л. П., Ежов А. А., Маресев М. И. Изломы конструкционных сталей: справ. М.: Metallurgia, 1987. 272 с.
4. Баранова Л. В., Демина Э. Л. Металлографическое травление металлов и сплавов: справ. М.: Metallurgia, 1986. 255 с.
5. Поверхностное упрочнение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://structure.by/index.php/studentam/o-laboratorykh-rabotakh/80-poverkhnostnoe-uprochnenie>.
6. Присутствие-остаточный аустенит [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ngpedia.ru/id322324p1.html>.

REFERENCES

1. https://www.thiele.de/download/kataloge/bergbau/THIELE_Mining_catalog_2015_russian.pdf
2. Parusov V. V., Parusov O. V., Sychkov A. B. *Prokat iz borsoderzhashhih stalej dlja vysokoprochnyh krepzhenykh izdelij* [Rolled products from boron steels for high-strength fasteners]. Dnepropetrovsk, ART-PRESS Publ., 2010, 155 p.
3. Gerasimova L. P., Ezhov A. A., Maresev M. I. *Izlomy konstrukcionnyh stalej* [Structural steel fractures]. Moscow, Metallurgija Publ., 1987, 272 p.
4. Baranova L. V., Demina Je. L. *Metallograficheskoe travlenie metallov i splavov* [Metallographic etching of metals and alloys]. Moscow, Metallurgija Publ., 1986, 255 p.
5. <http://structure.by/index.php/studentam/o-laboratorykh-rabotakh/80-poverkhnostnoe-uprochnenie>.
6. <https://www.ngpedia.ru/id322324p1.html>.