



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-102-106>
УДК 669.162

Поступила 07.08.2019
Received 07.08.2019

ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ АРМАТУРЫ

В. В. БЕЛАШ, Т. А. АХМЕТОВ, М. В. ОБОРОВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: vv.belash@bmz.iron, metiz.to@bmz.gomel.by, mihoborov@gmail.com

Для обеспечения безопасности эксплуатации зданий и сооружений из железобетона в соответствии с европейскими нормами устанавливаются требования к ее усталостной выносливости (прочности). Испытания проводятся с размахом колебаний $2\sigma_a$ от 150–200 МПа. Арматура должна выдерживать от 1 до 2 млн циклов.

Проведен анализ причин снижения усталостной выносливости холоднодеформированной стали. На усталостную выносливость большое влияние оказывает наличие поверхностных дефектов и концентраторов напряжений. В качестве концентратора напряжений в арматуре выступает галтельный переход в месте пересечения поперечного ребра с телом арматуры. Для детального выявления причин преждевременного разрушения был проведен анализ состояния излома в районе утолщенных (маркировочных) ребер. Была установлена последовательность разрушения арматуры и определено место зарождения трещины. Данный излом характеризуется как усталостный с четко выраженными зонами усталостного разрушения с мелкозернистой поверхностью и зоной статического излома – остальной части сечения с волокнистым строением. При нанесении прокатной маркировки нарушалась плавность галтельного перехода в месте пересечения поперечного ребра с телом арматуры, что и явилось причиной снижения усталостной выносливости холоднодеформированной арматуры.

Приведены результаты разработки требований к прокатному инструменту, который используется при производстве холоднодеформированной арматуры.

Использование информации, приведенной в настоящей статье при проектировании, закупке и изготовлении инструмента, позволит минимизировать факторы, отрицательно влияющие на усталостную прочность арматуры.

Ключевые слова. *Холоднодеформированная арматура, усталостная прочность, маркировочные ребра, твердосплавные ролики, способ нанесения маркировочных ребер.*

Для цитирования. *Белаш, В. В. Пути обеспечения усталостной прочности холоднодеформированной арматуры / В. В. Белаш, Т. А. Ахметов, М. В. Оборков // Литье и металлургия. 2019. № 3. С. 102–106. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-102-106>.*

THE WAYS TO ENSURE FATIGUE STRENGTH OF COLD-FORMED REBARS

V. V. BELASH, T. A. AKHMETOV, M. V. OBOROV, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: vv.belash@bmz.iron, metiz.to@bmz.gomel.by, mihoborov@gmail.com

To ensure safe operation of buildings and structures from reinforced concrete, European norms set requirements for its fatigue strength (resistance). Tests are carried out with oscillation swing amplitude $2\sigma_a$ from 150–200 MPa. Rebar shall withstand from 1 to 2 mln. cycles.

The analysis of causes which decrease the fatigue strength of cold-formed steel is made in the article. Fatigue strength is a lot affected by surface defects and stress concentrators. Filler transition in the point where transversal rib crosses a rebar body becomes as a rebar stress concentrator. To detect details of early breakage, analysis the condition of fracture in the area of thickened (marking) ribs was made. Sequence of rebar breakage was established as well as the initial point of a crack creation was detected. This fracture is characterized as a fatigue one, with clear zones of fatigue fracture having fine-grained surface and static fracture zone– the rest of section with fibrous structure. While applying a bar mark, smoothness of filler transition was disturbed in the crossing point where transversal rib crosses a rebar body, and this action caused decrease of fatigue strength of cold-formed rebar.

The article describes research on development of requirements for rolling tools used in production of cold-formed rebars.

Use of information given in this article during design, purchasing and manufacture of the equipment will allow to minimize factors which have negative influence on rebar's fatigue test results.

Keywords. Cold-formed rebars, fatigue strength, marking ribs, hard-alloy rollers, method of marking ribs applying.

For citation: Belash V. V., Akhmetov T. A., Oborov M. V. The ways to ensure fatigue strength of cold-formed rebars. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 3, pp. 102–106. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-102-106>.

Армированный бетон или железобетон остается на протяжении многих лет самым востребованным материалом в строительстве [1]. Наиболее частой причиной разрушения конструкций и машин является развитие в них усталостных трещин. Усталостью называется развивающийся во времени процесс накопления поврежденности металла при знакопеременной деформации, которая возникает под действием напряжений, меньших предела текучести [2]. Для обеспечения безопасности эксплуатации зданий и сооружений из железобетона в соответствии с европейскими нормами устанавливаются требования к ее усталостной выносливости (прочности) в отличие от стандартов РБ и РФ. Испытания проводятся с размахом колебаний 2σ от 150–200 МПа. Арматура должна выдерживать от 1 до 2 млн. циклов [2, 3].

На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» освоено производство холоднодеформированной арматурной стали в бухтах класса 4,0–12,0 мм класса 500 МПа в соответствии со стандартами ЕС. При испытаниях на усталостную прочность данная арматура периодически не соответствовала предъявляемым требованиям по данному параметру.

В связи с этим цель настоящей работы – исследования причин преждевременного усталостного разрушения арматуры.

Испытания на усталостную выносливость проводили в МРА BAU Materialprüfungsamt für das Bauwesen (Германия) и ВТИ Bautechnisches Institut GmbH (Австрия). Визуальный осмотр показал, что все разрушения арматуры при неудовлетворительных испытаниях на усталостную выносливость находились в месте маркировочных ребер (рис. 1). Маркировка завода-изготовителя на готовой арматурной проволоке – обязательное требование стандартов при производстве. Маркировка обозначается утолщенными ребрами (не менее 1,5 ширины обыкновенного ребра): начало маркировки обозначается двумя ребрами, конец маркировки и другие обозначения – одним.

Как известно, на усталостную выносливость большое влияние оказывает наличие поверхностных дефектов и концентраторов напряжений [2]. В качестве концентратора напряжений в арматуре выступает галтельный переход в месте пересечения поперечного ребра с телом арматуры. Для детального выявления причин преждевременного разрушения был проведен анализ состояния разрушения излома в районе утолщенных ребер. Была установлена последовательность разрушения арматуры и определено место зарождения трещины. Данный излом характеризуется как усталостный с четко выраженными зонами усталостного разрушения с мелкозернистой поверхностью и зоной статического излома – остальной части сечения с волокнистым строением.

В изломе обнаружены следующие характерные зоны (рис. 2):

- а) зарождение, развитие и ускоренное распространение усталостной трещины (макроскопический локальный участок в районе утолщенного ребра);
- б) окончательное быстрое разрушение (статическое разрушение или долом).

Для проведения металлографического анализа из представленных образцов в месте расположения разрыва металла были вырезаны поперечные микрошлифы. Исследование микрошлифов проводили в нетравленном виде. На поверхности всех образцов дефектов не выявлено. В микроструктуре всех образцов обнаружены крупные неметаллические включения, не выходящие на поверхность (рис. 3). Расположение выявленных неметаллических включений не могло повлиять на разрыв металла (разрыв может произойти, когда включения вплотную подходят или выходят на поверхность арматуры).

При изготовлении прокатных роликов в месте сопряжения ребра и тела арматуры наносили фаску (рис. 4), что позволяет повысить пластические и усталостные характеристики арматуры.

Для маркировки арматуры в условиях БМЗ на прокатных роликах с одинаковой толщиной ребра используют ручной метод расточки ребер бормашиной (рис. 5, 6).

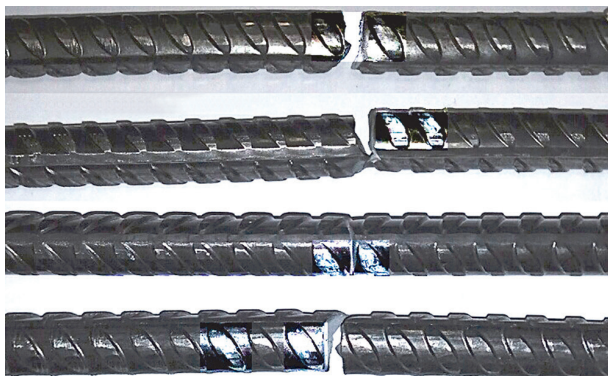


Рис. 1. Образцы арматуры, разрушенные после проведения испытаний усталостной прочностью (цветом выделены ребра с прокатной маркировкой)

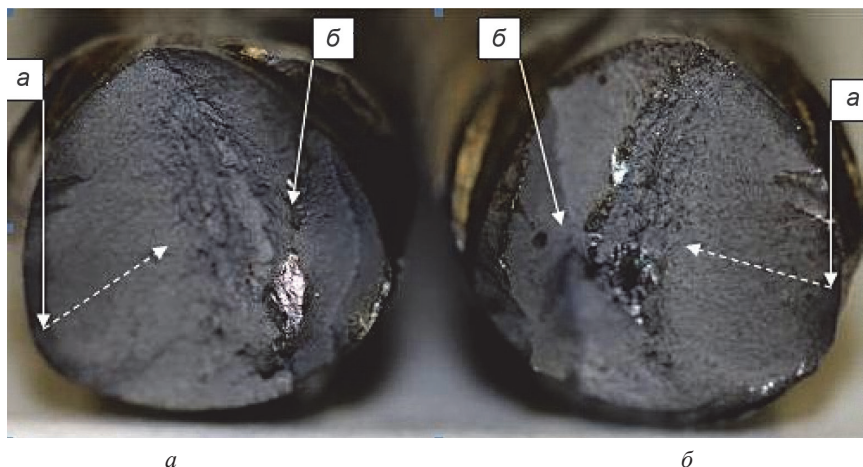


Рис. 2. Характерные зоны излома: *а* – зарождение, развитие и ускоренное распространение усталостной трещины (макроскопический локальный участок в районе утолщенного ребра); *б* – окончательное быстрое разрушение (статическое разрушение или долом)

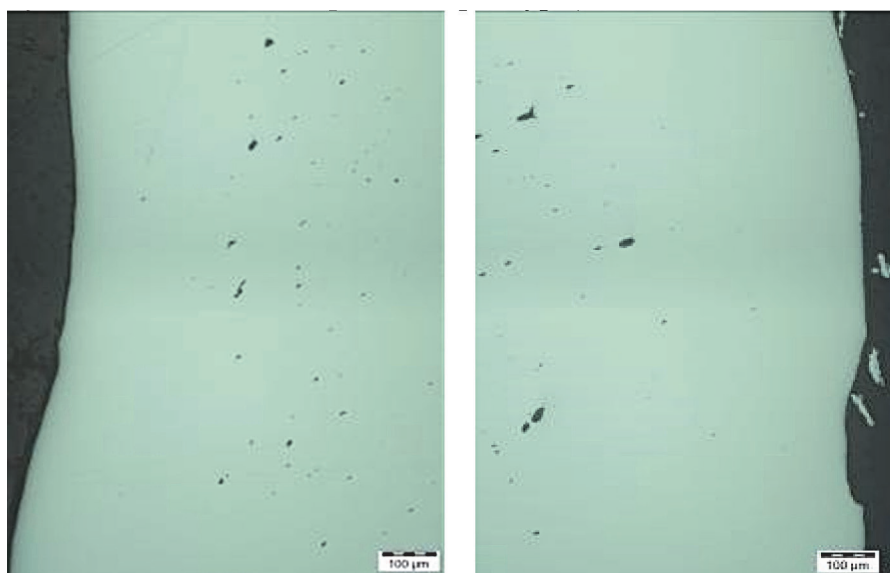


Рис. 3. Расположение неметаллических включений в образцах арматуры

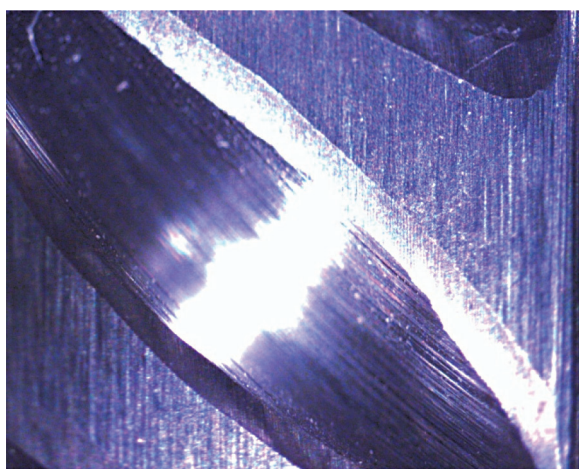


Рис. 4. Фаска на прокатных роликах

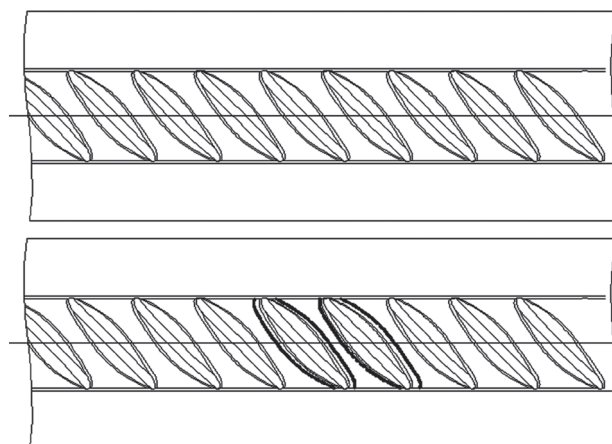


Рис. 5. Схематическое изображение процесса нанесения утолщенного ребра

Данный способ маркировки характеризуется двумя факторами, отрицательно влияющими на усталостную прочность:

- 1) нарушение плавного перехода между стержнем и маркировочными ребрами;
- 2) уменьшение расстояния между ребрами.

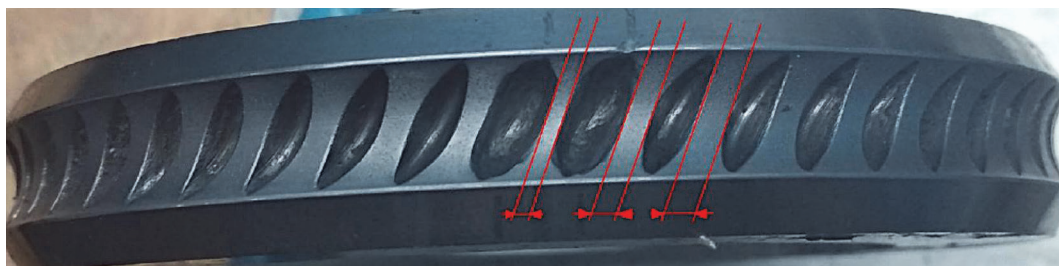


Рис. 6. Изображение прокатного ролика с нанесенными утолщенными ребрами



Рис. 7. Изображение ролика, изготовленного по требованиям и рекомендациям специалистов БМЗ

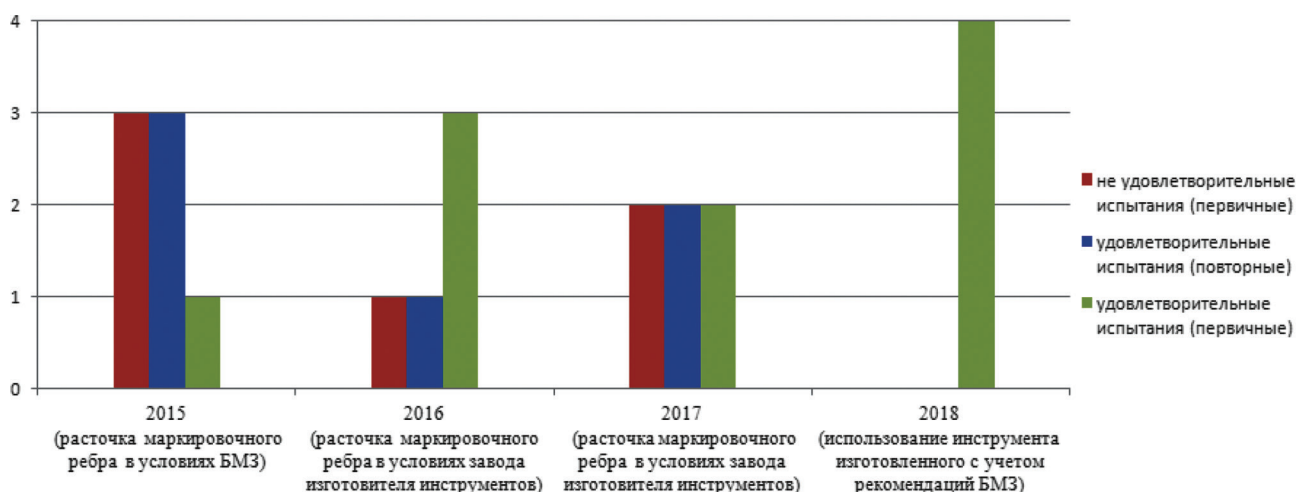


Рис. 8. Результаты проведенных испытаний усталостной прочности холоднодеформированной арматуры за период 2015–2018 гг.

Для обеспечения требуемого уровня усталостной выносливости для используемого инструмента (прокатных роликов) были определены следующие требования к маркировочным ребрам:

- а) нанесение двух утолщенных ребер взамен трех обычных (одного утолщенного взамен двух обычных);
- б) расстояние между краями ребер обычной ширины и маркировочных ребер должно быть не менее чем расстояния между обычными ребрами;
- в) обязательное наличие фаски на границе перехода от тела арматуры к маркировочному ребру.

При производстве холоднодеформированной арматуры использование прокатных роликов (рис. 7), изготовленных с перечисленными выше требованиями, позволило исключить несоответствующие испытания по усталостной выносливости.

На рис. 8 представлены результаты проведенных испытаний усталостной прочности холоднодеформированной арматуры за период 2015–2018 гг. в сертифицированных лабораториях.

Как видно из рисунка, использование прокатных роликов с «правильными» маркировочными ребрами позволяет существенно повысить усталостную выносливость холоднодеформированной арматурной стали.

Выводы

1. Причиной снижения усталостной выносливости холоднодеформированной арматуры может являться нарушение плавности галтельного перехода в месте пересечения поперечного ребра с телом арматуры, который является концентратором напряжений.

2. Изменение геометрических параметров маркировочных ребер прокатных роликов позволило повысить усталостную выносливость холоднодеформированной арматуры.

3. При проектировании инструмента для производства холоднодеформированной арматурной проволоки обязательно должны быть учтены способ нанесения маркировочных ребер; расстояние между краями ребер обычной ширины и маркировочных ребер; наличие фаски на границе перехода от тела арматуры к ребру.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Звездов А. И., Снимщиков С. В., Харитонов В. А., Суриков И. Н.** Проблемы и пути развития современного железобетона // Бетон и железобетон. 2015. № 4.
2. **Богатов А. А.** Механические свойства и модели разрушения металлов: Учеб. пособие для вузов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002, 329 с.
3. **Лахтин Ю. М.** Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Metallurgia, 1983. 359 с.

REFERENCES

1. **Zvezdov A. I., Snimshnikov S. V., Haritonov V. A., Surikov I. N.** Problemy i puti razvitija sovremennogo zhelezobetona [Problems and development paths of modern reinforced concrete]. *Beton i zhelezobeton = Concrete and reinforced concrete*, 2015, no. 4.
2. **Bogatov A. A.** *Mehanicheskie svojstva i modeli razrushenija metallov* [Mechanical properties and models of metal fracture]. Ekaterinburg, GOU VPO UGTU-UPI Publ., 2002, 329 p.
3. **Lahtin Ju. M.** *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov* [Metallurgy and heat treatment of metals]. Moscow, Metallurgija Publ., 1983, 359 p.