

Ю. М. Шелухина, Д. В. Руцкий, Н. А. Зюбан, К. Е. Титов, В. В. Шелухин

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ
В ПОКОВКЕ РОТОРНОГО ВАЛА ИЗ СТАЛИ МАРКИ 35ХН1МА**

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: julsheluhina@rambler.ru

В статье проведено подробное исследование по идентификации дефектов, выявленных при УЗК в поковке роторного вала марки 35ХН1МА (масса слитка 71,5 т); показано, что большинство трещин расположено в зоне внеосевой ликвации. Проводимые исследования с использованием методов оптической микроскопии показали пористый характер трещин с мелкокристаллической структурой. Электронная фрактография изломов по дефектам также показала, что данный вид дефекта окружают неметаллические включения (MnS-FeS), характерные для зоны внеосевой ликвации слитка.

По совокупности металлографических признаков после проведенных исследований эти дефекты классифицированы как флокены.

Ключевые слова: сталь, поковка, флокены, внеосевая ликвация, неметаллические включения, излом

Yu. M. Shelukhina, D. V. Rutskiy, N. A. Zyuban, K. E. Titov, V. V. Shelukhin

IDENTIFICATION OF INTERNAL DEFECTS IN THE FORGING OF THE ROTARY SHAFT MADE OF STEEL GRADE 35CrNi1Mo

Volgograd State Technical University

In the article a detailed study was conducted to identify defects identified during the narrow forging of a 35CrNi1Mo rotary shaft (ingot weight 71.5t). It is shown that most of the cracks are located in the zone of off-axis liquation. The conducted studies using optical microscopy methods have shown the porous nature of cracks with a fine crystalline structure. Electronic fractography of fractures by defects also showed that this type of defect is surrounded by non-metallic inclusions (MnS-FeS) characteristic of the zone of off-axis liquation of the ingot. According to the totality of metallographic features, after the conducted studies, these defects are classified as floccules.

Keywords: steel, forging, floccules, off-axis liquation, non-metallic inclusions, fracture

Одним из распространенных внутренних дефектов, встречающихся в поковках, являются флокены. Флокены в значительной мере снижают характеристики прочности и пластичности сталей. Присутствие в изделиях флокенов может резко снизить их рабочий ресурс, а неожиданное разрушение стальных конструкций может привести к экологическим и техногенным катастрофам. На данный момент практически все заготовки под «холодную» обработку, поставляемые металлургическими предприятиями, подвергаются ультразвуковому контролю, что позволяет выявить флокены и не допустить их перехода в готовое изделие, однако отбраковка продукции по флокенам приводит к большим экономическим издержкам.

В работах [1–6], показано, что на процесс флокенообразования большое влияние оказывает технология выплавки. Использование непрокаленных материалов в значительной мере увеличивает опасность получения флокенов. Осуществление операции вакуумирования ведет к существенному уменьшению вероятности образования флокенов. С целью предупреждения образования флокенов готовые изделия послековки необходимо охлаждать замедленно,

что позволит снизить внутренние напряжения. Длительный изотермический отжиг ниже A_{c1} способен во многих случаях предотвратить образование флокенов.

Существует несколько основных технологических факторов, определяющих склонность стали к образованию флокенов: технология выплавки и разлива; химический и фазовый состав; термическая обработка.

Флокеночувствительность в зависимости от технологии выплавки определяется в основном методом переплава и содержанием водорода в жидкой стали, попадающего в нее из ферросплавов, науглероживателя, шлакообразующих смесей, изложниц и прибыльных надставок, а также из атмосферы [7, 8].

Ультразвуковым контролем в поковке роторного вала, полученной из слитка массой 71,5 т, в бочке были обнаружены множественные внутренние дефекты, которые являлись причиной отбраковки заготовок. Общее количество дефектов составило 120 штук, из них 106 эквивалентным диаметром 3,0–3,5 мм на глубине 210–335 мм; 10 дефектов эквивалентным диаметром 3,5–4,0 мм на глубине 275–370 мм; 4 дефекта 5,0–6,0 мм на глубине 270–310 мм (см. рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения дефектов, выявленных при УЗК в поковке роторного вала марки 35ХН1М (масса слитка 71,5 т)

На макротемплетах дефекты в виде трещин располагались в зоне внеосевой ликвации. Трещины были различно направлены по отношению к оси слитка и расположены преимущественно по местам скопления ликватов (см. рис. 2).

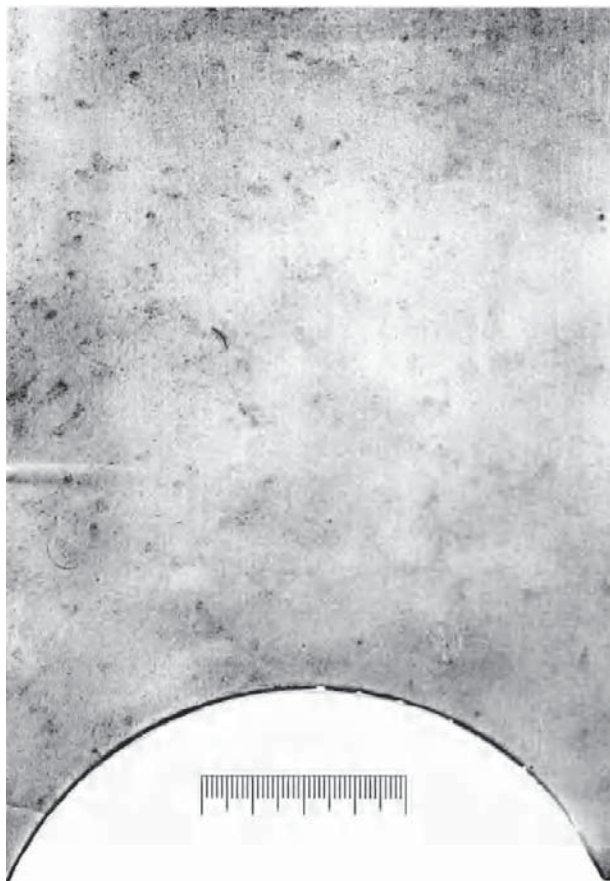


Рис. 2. Расположение дефектов типа флокен в шнурах внеосевой ликвации

При рассмотрении дефекта под бинокулярным микроскопом вокруг трещин наблюдались значительная пористость металла, характерная для ликвационного шнура, и повышенная травимость. Вскрытие дефектов показало, что они имели овальную или эллиптическую форму и по виду излома отличались от излома основного металла. Строение излома по дефекту – мелкокристаллическое; в отдельных случаях видны следы осей дендритов. Излом – серебристого цвета с маслянистым оттенком. Крупных неметаллических включений, видимых невооруженным глазом, не выявлено. Для выявления характера дефекта был использован специальный метод обработки [9]. Образец с дефектом в изломе нагревался до получения соломенного цвета побежалости (240 °С) и затем охлаждался

на воздухе. При этом дефекты типа флокенов, окисляясь, приобретали характерный синий цвет. Исследуемые дефекты в изломах после указанного вида обработки имели цвет характерный для флокенов. Исследование трещин под оптическим микроскопом при увеличении 100–200 крат показало, что трещины тонкие идут по зерну, местами по границам зерен (см. рис. 3). Вокруг трещин выявлены сульфидные включения и пористость. В микроструктуре дефектных участков, как и основного металла, преобладал продукт промежуточного превращения сорбит, ориентированный по бейниту. Никаких специфических особенностей строения микроструктуры металла в зоне трещин не обнаружено.

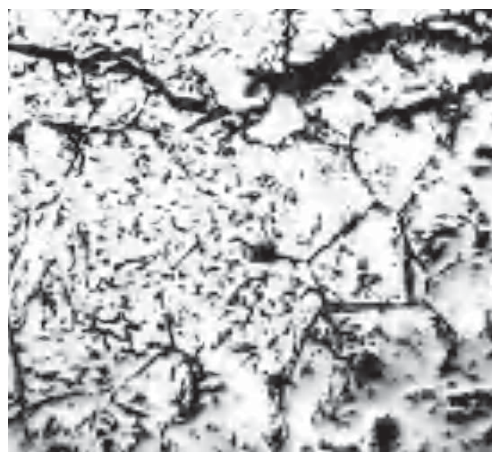


Рис. 3. Расположение трещин по границам зерен и по зерну. Травление в 10%-м спиртовом растворе HNO_3 , $\times 200$

Фрактография излома методами электронной микроскопии позволила классифицировать изломы следующим образом: излом основной части металла на 70–80 % представлял собой характерные для хрупкого разрушения сколы, идущие по нескольким параллельным плоскостям, расположенным близко друг от друга. В связи с этим на поверхности сколов наблюдались ступени, образующие «речной узор», на отдельных сколах – «язычки». Излом остальной части – «чашечный», то есть вязкий.

Излом по дефекту – в большей части межзеренный и с транскристаллитными сколами со следами квазиотрыва (см. рис. 4, а). Имелись также участки «чашечного» строения (см. рис. 4, б). В зонах межзеренного излома обнаруживали мелкие включения округлой формы – карбиды и крупные включения двойного сульфида марганца и железа.



а



б

Рис. 4. Излом по дефекту:

а – транскристаллитные сколы со следами квазитрива; б – чашечного строения, х 5000

По совокупности металлографических признаков, а именно по своей форме, цвету, изменению цвета побежалости при нагреве до 240 °С, эти дефекты следовало классифицировать как флокены [9, 10]. Однако образование таких дефектов хотя и связано с водородом, имеет свои особенности. Они образуются даже в случае обеспечения условий, гарантирующих предотвращение образования флокенов, т. е. при отсутствии переохлаждения поковок послековки до 100–200 °С и медленном охлаждении их после двухступенчатого отжига с перекристаллизацией. Характерно, что эти дефекты локализируются только в местах расположения шнуров. Все это дает основание классифицировать их как дефекты «типа флокенов».

Выводы

Для предотвращения образования дефектов типа флокенов недостаточно только противифлокенной термической обработки поковок и снижения общего содержания водорода в жидкой хромоникельмолибденовой стали, содержащей около 1 % [Ni]; до 2,5–3,0 см³/100 г [H₂]. Окружающие трещины неметаллические включения и расположение этих дефектов в шнурах внеосевой ликвации указывают на то, что зона внеосевой ликвации, с расположенными в ней сульфидными неметаллическими включениями, а также карбидами, являющимися «накопителями» водорода, влияют на процесс образования флокенов, преимущественно в зоне внеосевой ликвации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернышов, Е. А. Влияние вакуумной обработки жидкого металла на качество заготовок из легированной стали / Е. А. Чернышов, Е. Ю. Пичугина, И. М. Баев // *Металлург.* – 2014. – № 1. – С. 51–53.
2. Бигеев, В. А. Влияние производственных факторов на насыщение стали водородом / В. А. Бигеев, А. О. Николаев, А. Б. Сычков // *Электрометаллургия.* – 2014. – № 1. – С. 15–21.
3. Принципы управления качеством подшипниковой стали / А. Н. Никулин, А. В. Оленченко, К. А. Семериков, Г. А. Филиппов, И. П. Шабалов, В. Е. Куняев // *Проблемы черной металлургии и материаловедения.* – 2013. – № 1. – С. 91–100.
4. Усовершенствованный режим предварительной термической обработки кованных слябов из высокопрочной корпусной стали / В. В. Цуканов, В. Г. Миллюц, О. Э. Нигматуллин, А. Г. Павлова, Е. В. Новиков // *Электрометаллургия.* – 2014. – № 9. – С. 32–38.
5. Повышение качества жидкого металла и отливок из среднелегированной высокопрочной стали / Е. А. Чернышев, А. Д. Романов, Е. Ю. Попихина, Е. А. Романова // *Черные металлы.* – 2015. – № 9 (1005). – С. 6–10.
6. Использование микрорельефа при мартенситном превращении для идентификации микротрещин (флокенов) в сталях / В. И. Изотов, Е. Ю. Киреева, М. Е. Гетманова, Г. А. Филиппов // *Проблемы черной металлургии и материаловедения.* – 2013. – № 4. – С. 94–98.
7. Морозов, А. Н. Водород и азот в стали / А. Н. Морозов. – М. : Металлургия, 1968. – 283 с.
8. Касаткин, Г. Н. Водород в конструкционных сталях / Г. Н. Касаткин. – М. : Интермет Инжиниринг, 2003. – 336 с.
9. Калинина, З. М. Дефекты легированных сталей / З. М. Калинина. – М. : Металлургия, 1960. – 163 с.
10. Дубовский, В. Я. Флокены в стали / В. Я. Дубовский. – М. : Металлургиздат, 1950. – 282 с.