

---

# ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ НЕОДНОРОДНОГО МАТЕРИАЛА

## Введение

Улучшение эксплуатационных свойств толстолистового проката из низколегированных марок сталей для изготовления труб большого диаметра является актуальной задачей материаловедения. Использование принципов создания композиционных материалов применительно к низколегированным маркам сталей с целью улучшения их технологических свойств представляется довольно перспективным.

Предложен толстолистовой прокат из низколегированных марок сталей, имеющий периодическое расположение участков с различной микроструктурой по площади листа [1, 2]. Участки, отличающиеся микроструктурой, имеют различные механические свойства. Получение той или иной микроструктуры достигается вследствие локальной термообработки по площади листа. Таким образом, получается термически армированный лист (ТАЛ).

В композитном материале всегда есть граница раздела, по крайней мере, двух фаз с различающимися комплексом механических свойств. Эти фазы представляют, как правило, разнородные материалы. Механика разрушения таких композиционных материалов достаточно освещена в литературе [3].

В термическом армированном листе две фазы представляют различные металлографические структуры стали. Поэтому ТАЛ отличен от классического композиционного материала. В литературе крайне недостаточно сведений о закономерностях разрушения материала, состоящего из различных состояний одного и того же материала [2, 4].

Целью настоящей работы является исследование закономерностей распространения трещин в материале с неоднородной структурой.

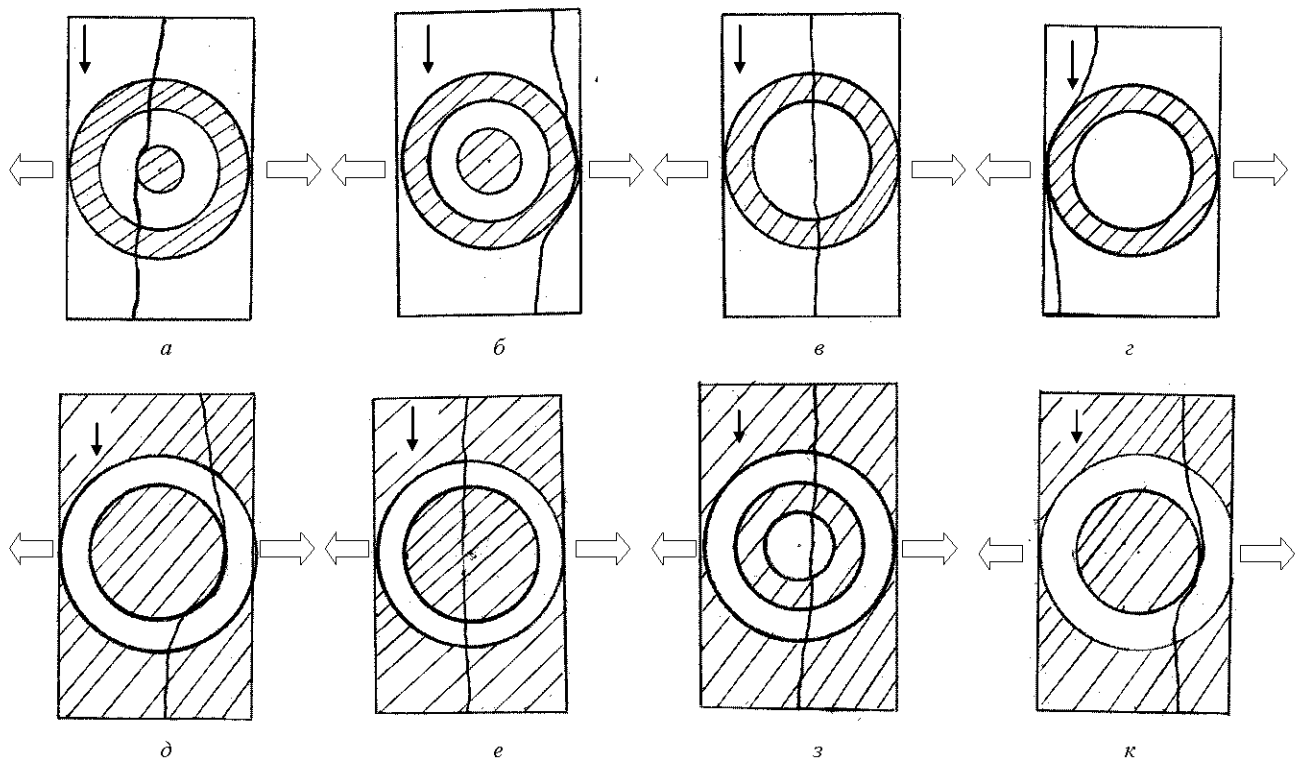
Исследования распространения трещины при разрушении материала с неоднородной структурой проводили на модели. Модель представляла образец для испытания на растяжение (длина рабочей части – 60 мм, ширина – 100 мм), сделанная из бумаги с поверхностной площадью  $160 \text{ мг/м}^2$ .

Создание участков неоднородности достигалось нанесением на бумагу пентафталевого лака с двух сторон определенной конфигурации. По существу участки матрицы и покрытые лаком представляли один и тот же материал (бумагу), но в разных состояниях. Такое моделирование соответствует физической сущности термически армированного листа из стали.

Прочность на разрыв участков бумаги пропитанных лаком на 30–40 % превосходила прочность матрицы, что соответствует соотношению аналогичных характеристик ТАЛ [2].

На рис. 1 в масштабе 1:1.5 представлены схемы (I–VII) упрочненных участков. На боковой части образца в середине (схемы I, III, V, VII) или в первой четверти длины (схемы II, IV, VI, VIII). Надрез делался для того, чтобы задать место начала распространения трещины.

Испытания на одноосное растяжение проводились на разрывной машине FM-500.



**Рис. 1.** Вид разрушенных образцов после деформации на одноосное растяжение (заштрихованные участки – зоны упрочнения):

→ – направление распространения трещины ; ⇐⇒ – направление прилагаемой нагрузки  
Масштаб 1: 1,5

### Теория и анализ полученных результатов

На рис. 1 представлены разрушенные образцы при испытании на одноосное растяжение. Темная кривая, расположенная поперек образцов – это линия разрушения. Образцы из однородного материала (без нанесения лака и полностью покрытые лаком) разрушались практически по линии перпендикулярной оси приложенной нагрузки. Такой характер разрушения соответствует схеме одноосного напряженного состояния.

На рис. 1, а, б представлены разрушенные образцы обработанные по схемам I и II: на матрице упрочненные участки представлены в виде концентрического кольца и окружности. В схеме I надрез сделан в середине рабочей длины образца, а в схеме II – в первой четверти длины. Характер разрушения образцов по схемам I и II принципиально различен.

Если надрез нанесен в центральной части образца, то трещина вначале распространяется почти перпендикулярно оси нагрузки, а при пересечении с первым упрочненным участком немного отклоняется от своего первоначального направления. При подходе ко второму упрочненному участку трещина распространяется вдоль границы раздела и, подходя к вертикальной прямой оси нагрузки, в дальнейшем распространяется практически прямолинейно и перпендикулярно к ней. Эта часть траектории трещины соответствует стадии долома образца и не является предметом исследования.

Если надрез расположен в первой четверти длины образца (схема II), то трещина огибает первый упрочненный участок на границе раздела.

На образцах, обработанных по схемам III и IV, матрица является упрочненной, а неупрочненные участки представлены в виде колец (схемы V, VI), а в схемах VII и VIII – в виде кольца и окружности. В этих схемах надрез сделан в упрочненной матрице. Видно, что месторасположение влияет на характер распространения трещины.

Также как и в предыдущих схемах при расположении надреза в середине длины образца траектория движения трещины представляет практически прямую линию с небольшим отклонением от первоначального направления.

При расположении надреза в первой четверти длины образца после прохождения первой границы, границы раздела, происходит отклонение направления распространения трещины с последующим отгибанием по границе раздела упрочнённого участка.

Таким образом, если трещине распространяется из упрочнённого участка и неупрочнённого, то характер траектории движения трещины от этого не изменяется.

Зависимость траектории распространения трещины от места надреза на боковой грани образца зависит от того под каким углом трещина подходит к первой границе раздела. Если надрез расположен в середине длины рабочей части образца, то трещина подходит к первой границе раздела практически под углом  $90^\circ$ . При расположении надреза в первой четверти длины образца трещина подходит к первой границе раздела под углом  $45^\circ$ , т.е. под острым углом.

Зависимость характера распространения трещины от угла падения на границу раздела можно, по-видимому, объяснить следующим образом. Как известно [4], разрушению предшествует распространение упругой волны, затем пластической со скоростью  $0,6-0,7$  от скорости упругих волн и только потом движется трещина. Скорость трещины обычно составляет  $0,2-0,3$  от скорости упругих волн. Таким образом, направление распространения упругих и пластических волн определяет траекторию движения трещины. Если упругая волна падет нормально на поверхность границы раздела двух сред, то она распространяется в новой среде без преломления. В случае падения упругой волны на границу раздела сред под острым углом, происходит преломление ее в соответствии с законом Снелиуса [5].

### Выводы

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Если трещина подходит нормально к границе раздела сред в неоднородном материале, то трещина пересекает эту границу без изменения направления.
2. Если трещина подходит под острым углом к границе раздела сред в неоднородном материале, то трещина отклоняется от своего первоначального направления.

Направление траектории движения трещины определяется направлением упругих волн, возникающих в месте зарождения трещины.

### Список литературы

1. А. С. 1452846, СССР, МКИ<sup>3</sup> кл. С21Д1/02. Способ упрочнения листового проката / Долженков Ф. Е., Следнев В. П., Подгайский М. С. и др. – № 41930/23-02 ; заявл. 05.08.1986 ; опубл. 23.01.1989, Бюл. № 3.
2. Максимов А. Б. Термически армированный толстолистовой прокат из низколегированных сталей / А. Б. Максимов // Вопросы материаловедения. – № 3 (63). – 2010. – С. 40–44.
3. Финкель В. М. Физические основы торможения разрушения / В. М. Финкель. – М. : Металлургия. – 1977. – 360 с.
4. Кольский Г. Волны напряжения в твердых телах / Г. Кольский. – М. : Иностр. лит.-ра, 1955. – 192 с.
5. Максимов А. Б. Особенности распространения упругих волн в композитных сталях / А. Б. Максимов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – № 1. – 2007. – С. 39–42.

*Одержано 14.06.2011*

© Канд. техн. наук А. Б. Максимов

Государственный морской технологический университет, г. Керчь

**Maximov A. Features of inhomogeneous materials fracture**

---