

### Список литературы

1. Инструкция по программированию станков 2E450AФ4 и 2E450AMФ4. Московский завод координатно-расточных станков. – 1986. – 68 с.
2. Фельдштейн Е. Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Москва-Минск, ООО «Новое знание», 2008. – 298 с.
3. Программирование управляющих программ FMS3000, редакция 4.0. – Нижний Новгород : ООО «Модмаш-софт», 2009. – 92 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещеряковой. – М. : Машиностроение, 1985. – 655 с.
5. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. – М. : Наука, 1966. – 872 с.
6. Пат. 58039 Украина, МКИ<sup>7</sup> В 23 С 3/26. Способ обработки внутренних поверхностей трехгранных углов деталей на станках с ЧПУ/ С. Ф. Лякун, В. Е. Юркевич; заявитель и патентообладатель Запорожск. Казенное предприятие «Научно-производственный комплекс «Искра». – № u 201011161 ; заявл. 17.09.10 ; опубл. 25.03.11, Бюл. № 6.
7. Новоселов С. И. Специальный курс элементарной алгебры / С. И. Новоселов. – М. : Высшая школа, 1965. – 552 с.
8. А.с. 1292938 СССР, МКИ<sup>5</sup> В 23 С 3/16. Способ обработки криволинейных поверхностей / С. Ф. Лякун, В.А. Рагушный, П. И. Жованик, А.Н. Шарко (СССР). – № 3950644/25-08 ; заявл. 28.06.85 ; опубл. 28.02.87, Бюл. № 8.
9. Лякун С. Ф. Система автоматического программирования точно-заданных кривых / С. Ф. Лякун // Обмен производственно-техническим опытом. – 1987. – № 4. – С. 8–10.
10. Лякун С. Ф. Программирование обработки лекальных кривых на станках с ЧПУ / С. Ф. Лякун // Станки и инструмент. – 1989. – № 12. – С. 21–23.

*Одержано 14.12.2011*

© С. Ф. Лякун, Н. Д. Васеленко

Казенное предприятие «Научно-производственный комплекс «Искра», г. Запорожье

### **Lyakun S., Vaselenko N. Milling along the three-dimensional space curve on the numerical programme control machine-tools**

---

## **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.

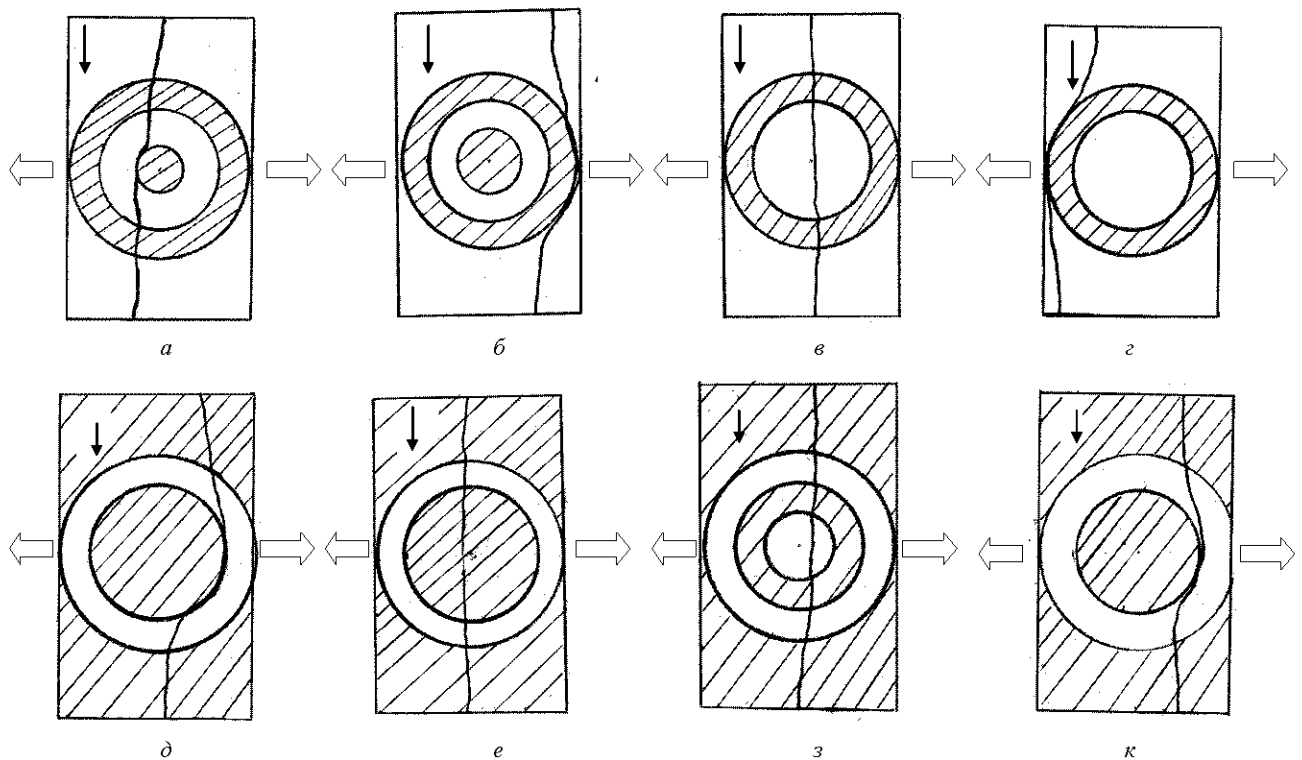
Исследования распространения трещины при разрушении материала с неоднородной структурой проводили на модели. Модель представляла образец для испытания на растяжение (длина рабочей части – 60 мм, ширина – 100 мм), сделанная из бумаги с поверхностной площадью 160 мг/м<sup>2</sup>.

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 падает 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. : Иностран. 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**

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ СТРУКТУРНОГО СТАНУ НОВОЇ ЕКОНОМНОЛЕГОВАНОЇ ЖАРОСТІЙКОЇ СТАЛІ

Метою наукових досліджень було встановлення впливу легувальних елементів в економнолегованій жаростійкій сталі з 8 % хрому і додатково легованій кремнієм та алюмінієм на її структуру у литому стані та отримання феритної структури при мінімальній кількості вкраплень вторинних фаз. Це повинно значно підвищити експлуатаційні властивості сталі, призначеної для виробів систем випуску відпрацьованих газів, що працюють при температурах до  $800^\circ\text{C}$  в агресивних середовищах і мають при цьому підвищену якість поверхні листового металопрокату.

Поставлене завдання вирішували шляхом оптимізації хімічного складу відомої економнолегованої жаростійкої сталі 08X8Cr04Ti. У цій сталі отримання феритної структури при вмісті хрому біля 8 % забезпечується введенням титану для мінімізації аустенітоутворювального впливу вуглецю. Але застосування титану призводить до інтенсивного карбідоутворення, а вміст алюмінію більший за 1 % обумовлює утворення на поверхні листа шарів з надлишковим вмістом оксиду алюмінію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), що значно знижує якість поверхні листового металопрокату.