

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ МОНОКРИСТАЛЛОВ

На правах рукописи

ГРИШАЕВ Вадим Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ТРЕЩИНЫ В СТЕРЖНЕ
ПРИ ИЗГИБЕ

01.04.07 - физика твердого тела

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Харьков - 1993



00815212 (J)

Робота виконана в Донецькому фізико-технічному інституті АН України, г. Донецьк.

Научные руководители: доктор фізико-математических наук
Стрельцов Владимир Александрович

кандидат технических наук
Высоцкий Евгений Николаевич

Официальные оппоненты: доктор фізико-математических наук
Фельдман Эдуард Петрович

доктор фізико-математических наук
Ишук Валерий Максимович

Ведущая организация: Старокраматорский машиностроительный завод, г. Краматорск

Защита состоится " 9 " июня 1993 г. в 13 часов на заседании специализированного совета К138.01.01 в Институте монокристаллов АН Украины по адресу:

З10001, г. Харьков-1, пр. Ленина, 60, Институт монокристаллов АНУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института монокристаллов АНУ.

Автореферат разослан " 8 " мая _____ 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного
совета К 138.01.01
кандидат технических наук

Л. В. Атрошенко

Актуальность темы. Проблема определения траектории трещины и ее стабилизации относится не только к физике и механике разрушения. В настоящее время это, прежде всего, прикладная проблема разделения сортового проката на мерные длины методом холодной ломки в металлургическом и машиностроительном производстве. Этот метод является весьма перспективным как малозатратный, малостойкий и ресурсосберегающий, так как разделяющим инструментом, по существу, является трещина.

Однако холодная ломка применяется в производстве недопустимо редко. Одним из самых неприятных недостатков метода является случайное нарушение прямолинейности траектории трещины, т.е. дестабилизация ее траектории. Попытки объяснить причины отклонения трещины в стержне при изгибе, предпринятые некоторыми авторами, не позволяют охватить многообразие случаев схем нагружения — объяснены лишь некоторые частные случаи. Таким образом, к настоящему времени отсутствует хотя бы относительно полная инженерная теория, описывающая распространение трещины как в хрупком, так и в пластичном стержне при изгибе.

Целью работы является определение механизма дестабилизации траектории трещины как в хрупком, так и в пластичном стержне при изгибе, выработка общих рекомендаций для технологии разделения хрупкого и пластичного проката методом холодной ломки и основных требований к конструкции установок для ломки проката.

Научная новизна. Раскрыт механизм дестабилизации траектории трещины в стержне при изгибе, обнаружен пороговый характер зависимости траектории трещины от параметров схемы нагружения, исследовано распространение трещины в стержне при знакопеременном пластическом изгибе.

На защиту выносятся следующие:

- пороговый характер зависимости отклонения трещины от условий нагружения в стержне при изгибе;
- механизм дестабилизации траектории трещины в стержне при изгибе, связанный со скоростью трещины и нарушением симметрии касательных напряжений;
- экспоненциальная зависимость длины трещины и ее скорости от количества циклов и амплитуды деформации при знакопеременном пластическом изгибе стержня;
- зависимость критерия распространения трещины в стержне при изгибе от структурных особенностей материала, при которых трещина

распространяется не сколом, а путем слияния начальных трещин, зародившихся на поверхности наибольших касательных напряжений.

Практическая ценность работы. Полученные результаты позволяют прогнозировать и управлять траекторией трещины как в хрупком, так и в пластичном стержне при изгибе. Выработанные рекомендации легли в основу нового способа ломки и в основу конструкции принципиально новой установки для разделения проката с любыми пластическими свойствами холодной ломкой УРП-2. Установка разработана и изготовлена в Донецком физико-техническом институте АН Украины при непосредственном участии автора настоящей работы и защищена авторскими свидетельствами.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях: на Всесоюз. конф. по физике прочности и пластичности материалов и сплавов (г.Куйбышев, июнь 1983 г.), "Прогнозирование и управление качеством металлоизделий, получаемых обработкой давлением (г.Абакан, сент. 1988 г.), "Разработка и промышленная реализация новых механических и физико-химических методов обработки" (г.Москва, дек. 1988 г.), на 5-й Всесоюзной конференции "Физика разрушения" (г.Киев, сент. 1989 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения. Работа изложена на 147 страницах, включая 104 страницы машинописного текста, 43 рисунка, 4 таблицы. Список литературы содержит 53 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Во введении обоснована актуальность работы, показана ее новизна и практическая ценность, дана краткая характеристика разделов, сформулированы цель и полжения, выносимые на защиту.

Глава I. Посвящена обзору информации, связанной с разрушением стержней. Недостаточную развитость этого вопроса можно объяснить тем, что задача о разрушения стержня при изгибе, по существу, является трехмерной и динамической. Для постановки и решения подобных задач необходимо знание взаимосвязи между основными процессами, протекающими в разрушаемом стержне хотя бы в общих чертах. Это нужно и для производственной практики разделения сортового проката методом холодной ломки. Такое состояние вопроса позволяет восполь-

зоваться комплексным подходом, применяя результаты и методы теорий упругости, сопротивления материалов, физики и механики разрушения.

Влияние параметров схемы нагружения на траекторию трещины изучали авторы, которые занимались проблемой разделения сортового проката ломкой. Поэтому их интересовали условия, при которых трещина распространялась прямолинейно, что несколько сузило область их исследований.

В главе приводится критический анализ работ в этом направлении, выполненных ранее рядом авторов.

Существует ряд критериев, позволяющих определить траекторию трещины. Основным из них является критерий наибольших растягивающих напряжений. Все критерии дают полосу вероятного распространения трещины.

Характер напряженно-деформированного состояния (НДС) стержня при изгибе до начала разрушения определяется с помощью принципов суперпозиции и Сен-Венана, наложением друг на друга полей различных источников, пренебрегая полями отдаленных ограниченных источников.

В процессе распространения трещины напряжения в зоне разрушения изменяются и могут привести к отклонению ее траектории. Очевидно, что НДС стержня зависит от скорости распространения трещины.

Скорость трещины в стержне при изгибе имеет максимум и при определенных условиях совершает скачки. Скорость может быть измерена методом скоростной киносъемки или путем регистрации разрыва токопроводящих полосок на пути трещины. Концентратор напряжений снижает скорость трещины тем больше, чем он заостреннее и глубже. В образцах с более эффективным концентратором трещина менее чувствительна к параметрам схемы нагружения. Это наводит на мысль о связи скорости трещины со стабильности ее траектории.

Область исследований настоящей работы ограничена изотропными материалами, поскольку практическое применение процесса разрушения стержней изгибом актуально в производстве разделения проката ломкой, материал которого изотропен.

Распространение трещины при знакопеременном нагружении изучено для усталостных трещин, длина которых экспоненциально зависит от количества циклов нагружения. Механизм распространения усталостных трещин связан с накоплением повреждений. Можно ожидать, что при знакопеременном пластическом изгибе стержня процесс

распространения трещины будет описываться сходным выражением.

Существующие промышленные установки для разделения проката ломкой обладают рядом недостатков, сдерживающих внедрение метода ломки в производство. Среди них такие, как: низкое качество поверхности разделения; низкая производительность; в момент разрушения происходит удар длинной частью проката по подающему устройству; оборудование позволяет обрабатывать только хрупкий прокат; отсутствует технологически удобный способ нанесения концентратора напряжений.

В конце главы поставлены задачи исследования.

Во второй главе описаны использованные образцы, аппаратура и методика эксперимента. Основным требованием для всех образцов является их изотропность. Чтобы быстро провести испытания на чувствительность траектории трещины к параметрам схемы нагружения выбрали хрупкий и непрочный материал эбонит и изготовили простые установки с ручным приводом. Концентратор наносили ножовкой на заданную глубину. Для аналогичных испытаний металлических образцов использовали также и гидропресс.

Скорость трещины измеряли на прямоугольных эпоксидных образцах, позволяющих изменять их пластические свойства путем введения в их состав пластификатора. На поверхность образцов наносили токопроводящее покрытие, в котором делали прорезы. По образованным полоскам пропускали ток. Образцы разрушали, нагружая их по схеме трехточечного изгиба. Пересечение полосок трещиной регистрировали на экране осциллографа с памятью. По фотографиям осциллограмм определяли распределение скорости трещины по ширине образца.

Металлические образцы подвергали различной термообработке с целью определить влияние структуры и пластических свойств материала на траекторию трещины.

Испытания на знакопеременный пластический изгиб проводили на металлических образцах диаметром 10 мм, одним концом зажатых в слесарные тиски. Надрез предварительно наносили на токарном станке. Задавая угол изгиба (амплитуду деформации), определяли момент появления трещины и наблюдали процесс ее распространения.

В главе 3 приведены результаты исследований. Обнаружен пороговый характер зависимости отклонения трещины от параметров схемы нагружения (рис.1). Существует некоторая критическая длина плеча l_k приложения нагрузки, превышение которой заставляет трещину скачком почти на порядок увеличивать величину своего отклонения e .

Значение l_k зависит от параметров концентратора. Более глубоким и заостренным концентраторам соответствуют большие l_k и меньшие ϵ_{\max} . При мелких концентраторах поверхность разрушения имеет рельеф, характерный для ветвления трещины.

Это говорит о высокой скорости трещины при малой глубине концентратора напряжений.

Рис. 1.

С целью определить влияние пластичности на отклонение трещины образцы из ст. ЭХС подвергли соответствующей термообработке и разрушили по схеме несимметричного трехточечного изгиба. Результаты измерений приведены на рис. 2. С понижением температуры отпуска падают пластичность $\delta\%$ и доля площади $S\%$, занятой пластичными вырывами. До определенного предела растут наибольшее показание манометра прессы P и отклонение трещины ϵ . Видно, что ϵ невелико в пластичном и хрупком состояниях материала.

Существенное влияние структурных особенностей материала обнаружено на латунных образцах и образцах из ст. 45, закаленных и отпущенных при $T = 600^\circ\text{C}$.

Поверхность разрушения представляет собой глубокий конический вырыв при любой схеме нагружения. Соответствующая структура содержит крупные включения избыточного феррита, в которых легко зарождаются начальные трещины. Они располагаются на поверхности наибольших касательных напряжений, имеющих в стержне при изгибе коническую форму. Однако распространение начальных трещин затруднено высокой прочностью сорбита. Поэтому разрушение происходит путем слияния начальных трещин, накопившихся в процессе пластической деформации.

Распределение скорости трещины по ширине образца имеет максимум (рис. 3). Его величина зависит от параметров концентратора и содержания пластификатора. Поверхность разрушения содержит ступеньки и ручьевоу узор в местах, соответствующих высокой скорости. В области перед финишем поверхность зеркально гладкая. При глубине незаостренного лезвия концентратора менее 1 мм, трещина совершала скачки на 2+4 мм, достигая скорости ~ 1500 м/с.

Наличие пластификатора несколько снижает расчетное значение

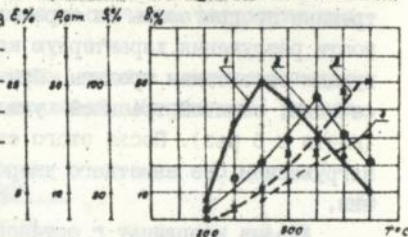
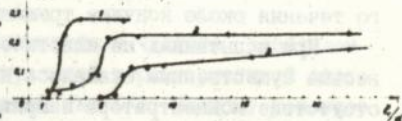


Рис. 2.

$\sigma_{ш}$. Но измеренная максимальная скорость v_{max} имеет гораздо меньшее значение, что можно объяснить активизацией пластического течения около кончика трещины.

При испытаниях на пластический изгиб весьма существенным оказалось наличие или отсутствие концентратора напряжений. Даже при его малой глубине (0,05d) трещина зарождалась при количестве циклов на два порядка меньшем, чем на поверхности гладкого образца. Состояние поверхности разрушения при этом значительно лучше. При глубине концентратора более $14+20\%$ от d пластическая деформация целиком сосредоточена в нетто-сечении, и трещина зарождалась при первом же цикле деформации. Далее с каждым циклом трещина продвигалась на определенную величину, оставляя на поверхности разрушения характерную картину в виде темных дуг, соответствующих остановкам трещины. При глубине $25+30\%$ от диаметра нетто-сечения, занятой трещиной усилие нагружения существенно падало (почти в 5 раз). После этого стержень можно доломать однократным нагружением без заметного ущерба для качества поверхности разрушения.

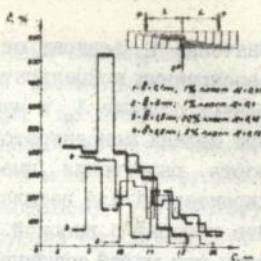


Рис.3.

Анализ координат r остановок трещины показал, что они зависят экспоненциально от числа циклов n и амплитуды деформации $\Delta\theta$. Графики зависимости $\ln r$ от n представляют собой прямые линии, наклон которых пропорционален $\Delta\theta$ (рис.4).



Рис.4.

Глава 4 посвящена теоретическому анализу результатов эксперимента и построению моделей, описывающих разрушение стержня при изгибе. Во внимание приняты отклонения трещины, сравнимые с размером поперечного сечения стержня. Отклонения, связанные со структурными особенностями материала (пластические вырывы, ступеньки и т.д.), зернистостью или ветвлением трещины в расчет не брались. Трехконтурная такая трещина вполне определяется затухающим полем напряжений, которое можно представить как суперпозицию волн и колебаний различной амплитуды и частоты.

Силы сцепления, удерживающие две части стержня, до начала разрушения, в процессе распространения трещины исчезают и создают

импульс разгрузки длительностью τ . Амплитуда и частота возбуждаемых волн и колебаний ограничена спектральной характеристикой этого импульса, имеющей ширину $1/\tau$ и убывающей как $1/\omega$. Поэтому решающее влияние на траекторию трещины оказывают наиболее низкочастотные компоненты поля напряжений, имеющие наибольшую амплитуду $A \sim 1/\omega^2$. При этом можно выделить три различных по длительности основных релаксационных процесса: распространение продольных и поперечных волн, изгибной волны, исчезновение напряжений контакта с опорами. Оценка времени затухания этих процессов дает, что дольше всего затухают контактные напряжения. Поэтому анализ НДС стержня с распространяющейся трещиной следует проводить с учетом затухания контактных и изгибных напряжений.

Для определения траектории трещины удобно воспользоваться критерием наибольших растягивающих напряжений. Направление их площадок задается соотношением

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_{xx} - \sigma_{yy}}, \quad (1)$$

где α - угол между нормалью к искомой площадке и осью Ox . Ось Oy направим вдоль предполагаемой траектории трещины и совместим с осью симметрии центральной опоры в схеме трехточечного изгиба.

На рис. 5, а показано распределение этих площадок в зоне разрушения при отсутствии трещины в области выше нейтральной линии. Здесь $\sigma_{xx} > 0$, $\sigma_{yy} < 0$. Знак τ_{xy} слева и справа от Oy различный. Трещина создает дополнительное возмущение $\sigma_{yy}^+ > 0$, вызванное изогнутыми слоями материала. Знак τ_{xy} остается прежним, так как остается прежним знак деформации изгиба. При $\sigma_{xx} \sim 0$ (вблизи нейтральной линии) может измениться знак знаменателя в (1), и распределение площадок принципиально изменится (рис. 5, б). Оба распределения площадок наибольших растягивающих напряжений соответствуют устойчивой и неустойчивой траектории трещины.

Таким образом, условие

$$\tau_{xy} = 0, \quad \sigma_{xx} - \sigma_{yy} > 0 \quad (2)$$

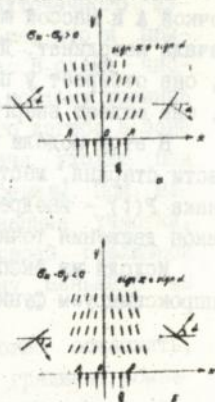


Рис. 5.

вдоль предполагаемого пути распространения трещины, по существу, является критерием устойчивого распространения трещины.

В процессе разрушения компоненты σ_{yy}^- (отрицательные контактные напряжения), σ_{yy}^+ (напряжения, наведенные трещиной) и σ_{xx} (эпюра изгибных напряжений) затухают в течение разного времени. Величина $|\sigma_{yy}^-|$ пропорциональна моменту внешних сил и обратно пропорциональна их плечу l . Величина σ_{yy}^+ зависит только от момента внешних сил и пропорциональна длине трещины, так как связана с деформацией изгиба. Затухание σ_{yy}^+ связано с затуханием изгиба и его время пропорционально l^2 . Таким образом, с ростом l складывается ситуация $\sigma_{yy} = \sigma_{yy}^- + \sigma_{yy}^+ > 0$, что может привести к дестабилизации траектории трещины. Но для этого должна стать достаточно малой компонента σ_{xx} . Это произойдет, когда трещина достигнет нейтральной линии.

В поле растягивающих напряжений трещина получает энергию для своего распространения. В области сжимающих напряжений ей бы пришлось отдавать ее. Это тормозит и останавливает трещину. Этот процесс можно смоделировать простой колебательной системой. Масса m притягивается пружиной k к началу координат. Точка A связана с массой m второй пружиной k_1 и натягивает ее, удерживая m на некотором расстоянии от начала координат. При $t = 0$ точка A начинает движение в направлении начала координат по некоторому закону. Следует определить условия, при которых сила $F(t)$, действующая между точкой A и массой m , изменит свой знак до того, как m достигнет начала координат. Другими словами, когда точка A притягивается к m , она отбирает у пружины k энергию. Когда же A отталкивается от m , она отдает энергию.

В этой модели m соответствует моменту инерции деформированной части стержня, жесткость пружины k - жесткости стержня, изменение знака $F(t)$ - внедрению трещины в область сжимающих напряжений, закон движения точки A - закону распространения трещины.

Исходя из экспериментальных данных, закон движения точки A аппроксимируем функцией

$$x = A \cos \omega_0 t \quad (3)$$

имея ввиду, что $\tau = \frac{\pi}{2\omega_0}$ - время, за которое точка A достигнет начала координат, соответствующее полному времени распространения трещины.

Уравнение движения системы следующее:

$$\dot{x}' = \Omega^2 x - \omega_1^2 x + \omega_1^2 A \cos \omega_0 t, \quad (4)$$

где $\Omega^2 + \omega_1^2 = \omega^2$ - квадрат собственной частоты колебаний массы m , соответствующий квадрату собственной частоты свobodных изгибных колебаний деформированного участка отделяемой части стержня. Решение уравнения (4) дает, что знак силы $P(t)$ не изменится, а значит трещина не достигнет нейтральной линии, если

$$\tau \geq \frac{3T}{4}. \quad (5)$$

Условие (5) можно преобразовать, выражая τ и T через параметры материала стержня. Это дает условие для соотношения длины плеча приложения нагрузки l в схеме трехточечного изгиба и высоты поперечного сечения стержня H в зависимости от соотношения предельной $\dot{\epsilon}_m$ и средней $v_{\text{ср}}$ скорости трещины:

$$\frac{l}{H} \geq \sqrt{\frac{\dot{\epsilon}_m}{v_{\text{ср}}}} \quad (6)$$

Из (3) и из (6) следует, что $v_{\text{ср}} \approx 0,64 \dot{\epsilon}_m$ и $l/H \leq 2,5$, что вполне соответствует экспериментальным данным.

Таким образом, при неравных плечах в схеме трехточечного изгиба со стороны большего из них компонента σ_{yy}^+ больше, что и приводит к отклонению трещины в сторону большего плеча. В схеме чистого изгиба компонента σ_{yy}^- полностью отсутствует и поэтому трещина при чистом изгибе разветвляется. В схеме консольного изгиба в зоне разрушения $\tau_{xy} \neq 0$ и поэтому трещина при малом плече уходит под спору, а при большом, когда вырастает σ_{yy}^+ , за ее пределы. При малых равных плечах несимметрию вносят недеформированные участки, создающие различные по величине σ_{yy}^- вследствие своей различной инерции. Это приводит к отклонению трещины в сторону меньшего из них.

Влияние концентратора на отклонение трещины можно объяснить, введя в баланс энергий, рассмотренный Гриффитсом, градиент убывающих напряжений σ' . Решение уравнения при этом содержит σ и σ' , снижающие скорость трещины на начальном этапе ее распространения. Это объясняет малое отклонение трещины в образцах из ст.9ХС в хрупком состоянии. Концентратор при этом создает большой градиент

напряжений, что снижает скорость трещины. В пластичном состоянии скорость трещины понижена именно пластичностью, и отклонение трещины также невелико. В среднем состоянии пластичность материала недостаточна для существенного снижения скорости трещины, но достаточна, чтобы блокировать действие концентратора, и отклонение трещины велико.

Модель распространения трещины в стержне при его знакопеременном пластическом изгибе можно построить, исходя из критерия достижения предельной пластической деформации для зарождения начальной трещины. Изогнем стержень на угол θ_0 так, чтобы в вершине надреза появилась начальная трещина. Пусть расстояние от ее вершины до нейтральной линии равно r_0 . Тогда пластическая деформация в окрестности трещины равна $r_0\theta_0$. Изгибая стержень далее на угол $\Delta\theta$, увеличим деформацию на большей глубине. Трещина вырастет, но у ее вершины пластическая деформация будет не более $r_0\theta_0$. При этом координата вершины трещины определится уравнением

$$r_0\theta_0 = r(\theta_0 + \Delta\theta) \quad \text{или} \quad \frac{r - r_0}{r} = - \frac{\Delta\theta}{\theta_0} \quad (7)$$

Если изогнуть стержень в обратную сторону на угол $-\Delta\theta$, начальная трещина сомкнется, но не залечится. В материале появятся новые повреждения. Поэтому при дальнейшем изгибе стержня на угол $+\Delta\theta$ координата начальной трещины изменится и станет равной αr_0 , где $\alpha < 1$.

Так можно получить выражения, аналогичные (7), для каждого положения трещины. Эти выражения представляют собой члены сходящегося ряда, суммирование которого в пределе дает уравнение распространения трещины при знакопеременном изгибе стержня:

$$\ln \frac{r_n}{\alpha^n r_0} = - \frac{n \Delta\theta}{\theta_0} \quad (8)$$

где n - количество циклов.

Сравнение формул (7) и (8) показывает, что при n -кратном нагружении трещина продвигается значительно меньше, чем при однократном на угол $\theta = \theta_0 + \Delta\theta$ (при $n = 3$ в 31 раз).

Глава 5 посвящена приложению полученных результатов к процессу разделения проката ломкой. Выделены три основные группы прока-

та, имеющие различную степень пластичности. Первая группа содержит хрупкие углеродистые инструментальные стали. Ломка такого проката требует точного соблюдения симметрии схемы нагружения. Поверхность разрушения может быть частично занята следами пластической деформации.

Прокат второй группы состоит из среднеуглеродистых инструментальных и конструкционных сталей, требует знакопеременного нагружения и разрушается квазихрупко. Для получения высокого качества поверхности разрушения условия нагружения также должны обеспечивать симметричность поля напряжений, как и для проката первой группы.

В третью группу входят малоуглеродистые стали, начиная со ст.35 и вязкие цветные сплавы. Эти материалы требуют знакопеременного нагружения, трещина распространяется в них вязко. Наиболее предпочтительной схемой нагружения является консольная. Качество поверхности разрушения контролируется подбором глубины концентратора и амплитуды изгиба.

Настоящие исследования позволили предложить способ и устройство для ломки проката по схеме трехточечного изгиба с подвижной боковой опорой, на которые получены авторские свидетельства. В процессе нагружения система ломающих опор свободно поворачивается вокруг оси, проходящей через одну из опор, обеспечивая симметричность нагружения. Установка УРП-2 содержит два силовых гидроцилиндра, создающих при необходимости знакопеременное нагружение, устройство для нанесения концентраторов клиновидными роликами, подающее и приемное устройства, управляющий микропроцессор.

В главе приведены расчеты основных параметров установки: для обоснования схемы установки, усилия ломки, усилия нанесения концентраторов, экспериментальные данные исследований процесса накатывания клиновидных роликов на различные марки проката, описание и техническая характеристика установки УРП-2. Установка изготовлена в условиях ДОНТИ АНУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы следующие.

1. Обнаружена и изучена пороговая зависимость отклонения траектории трещины в стержне при изгибе от длины плеч приложения нагрузки. Существует критическая длина плеча приложения нагрузки, превышение которой скачком (на порядок) увеличивает отклонение трещины, которое с дальнейшим ростом длины плеча изменяется слабо.

2. Установлен механизм дестабилизации траектории трещины в стержне при изгибе. Отклонению трещины связано с величиной ее средней скорости. Трещина отклоняется в сторону, если время ее распространения достаточно мало по сравнению с временем затухания изгибных напряжений в зоне разрушения. При этом трещина достигает нейтральной поверхности эпюры напряжений, где складывается соотношение компонент тензора напряжений, благоприятное для отклонения трещины.

3. В стержне, содержащем достаточно заостренный и глубокий концентратор напряжений в месте зарождения трещины, либо выполненном из достаточно пластичного материала, трещина имеет относительно малую среднюю скорость, и ее траектория меньше реагирует на несимметрию параметров схемы нагружения.

4. Структурные особенности материала могут быть такими, что трещине выгоднее распространяться не путем скола под действием растягивающих напряжений, а путем слияния множества начальных трещин, легко зародившихся в плоскостях наибольших касательных напряжений. При этом поверхность разрушения имеет коническую форму независимо от параметров схемы нагружения.

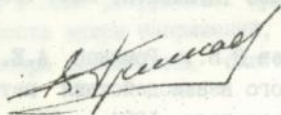
5. В пластичных стержнях трещина зарождается легко в вершине надреза на поверхности и распространяется вязко при знакопеременном пластическом изгибе. Скорость распространения трещины и ее длина при этом экспоненциально зависят от амплитуды деформации и количества циклов изгиба. Состояние поверхности разрушения пластичного стержня существенно зависит от наличия надреза на его поверхности.

6. Предложены рекомендации для технологии разделения сортового проката с различными пластическими свойствами методом ломки, которые нашли свое отражение в конструкции новой установки, разрабатываемой и изготовленной при непосредственном участии автора.

Перечень работ, в которых опубликованы основные научные результаты, включенные в диссертацию:

1. А.с. 1701444 СССР, МКИ² В 23 D 27/00. Способ ломки проката/Высоцкий Е.Н., Гришаев В.В., Высоцкий И.Е. - Опубл. 30.12.91. Бюл. №18.
2. А.с. 1733203 СССР МКИ² В 23 D 27/06. Установка для разделения проката/Высоцкий Е.Н., Гришаев В.В., Высоцкий И.Е. - Опубл. - 15 - 15.05.92. Бюл. №8.
3. Гришаев В.В., Романов А.Е., Стрельцов В.А. Асимптотическое поведение полей напряжений и энергий взаимодействия прямоугольных дисклинационных петель//Всесоюз. конф. по физике прочности и пластичности металлов и сплавов (Куйбышев, июнь 1983 г.): Тез. докл. - Куйбышев: 1983. - С. 194.
4. Владимиров В.И., Гришаев В.В., Романов А.Е., Стрельцов В.А. Асимптотика энергий упругого взаимодействия петель дислокаций и дисклинаций//Физика твердого тела. 1984. - 26. - №8. - С. 2517-2519.
5. Высоцкий Е.Н., Гришаев В.В. Экспериментальное исследование напряженного состояния образца с краевой трещиной при изгибе//Пробл. прочности. - 1987. - №6. - С. 37-40.
6. Высоцкий Е.Н., Гришаев В.В. Оценка затухания напряженного состояния изогнутого образца с краевой трещиной//Пробл. прочности. - 1988. - №2. - С. 25-28.
7. Высоцкий Е.Н., Гришаев В.В., Кобельке В.Ф. Управление качеством поверхности разделения при ломке проката изгибом//Всесоюз. конф. "Прогнозирование и управление качеством металлоизделий, полученных обработкой давлением" (Абакан, сент. 1988 г.): Тез. докл. - Абакан: 1988. - С. 180-181.
8. Гришаев В.В., Высоцкий Е.Н. Условия качественного разделения проката методом ломки//Всесоюз. конф. "Разработка и промышленная реализация новых механических и физико-химических методов обработки" (Москва, дек. 1988 г.): Тез. докл. - Москва: 1988. - Ч. 1. - С. 50-51.
9. Гришаев В.В., Высоцкий Е.Н. Траектория трещины при изгибе стержня//Пробл. прочности. - №6. - С. 52-56.
10. Гришаев В.В., Высоцкий Е.Н. Скорость распространения трещины в изогнутом стержне//6-я Всесоюз. конф. "Физика разрушения" (Киев, сент. 1989 г.): Тез. докл. - Киев: 1989. - Ч. 2. - С. 240.

11. Высоцкий Е.Н., Саакьянц В.П., Гришаев В.В. Структурный фактор разрушения сталей при ломке изгибом/Там же. - С. 227.
12. Кобельке В.Ф., Гришаев В.В., Высоцкий Е.Н. Накатка концентраторов напряжений на круглый прокат клиновидными роликами//Кузнечно-штамповочное производство. -1989. - ПГО. - С. 10-12.
13. Исследование скорости трещины в изогнутом стержне//Пробл. прочности. - 1991. - №7. - С. 44-47.
14. А.с. 1648648 СССР, МКИ² В 23 D 27/06. Установка для разделения проката и труб круглого сечения/Кобельке В.Ф., Гришаев В.В., Высоцкий Е.Н., Василенко Н.М. - Опубл. 15.05.91. Вкл. 18.



Подписано в печать 11.03.93г.

Формат 60x84/16. Бум. тип. №1.

Офсетная печать. Бесплатно.

Усл. п. л. I, I. Заказ 1038, Тир. 100 экз.

Р-т ИЭП АН Украины, 340048, Донецк-48,

Университетская, 77.

Бесплатно.

АВ 27.530

АВ 27.530