

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М. Г. СТАКЯН, С. А. ГАСПАРЯН

О СТРОЕНИИ ТИПИЧНЫХ УСТАЛОСТНЫХ ИЗЛОМОВ  
ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Характерные особенности разрушения деталей машин чаще всего устанавливаются изучением кинетики и строения излома—поверхности сечения, по которому произошло полное разрушение детали. Это позволяет иногда без каких-либо специальных лабораторных анализов определять причину поломок деталей и на этой основе при проектировании управлять надежностью правильным выбором материала, а также конструктивных и технологических средств. Нагрузки, вызывающие в сечениях деталей переменные во времени напряжения, наиболее характерны для машин, и подавляющее большинство поломок деталей происходит вследствие усталости.

В связи с этим представляет интерес изучение и систематизация особенностей строения усталостных изломов, присущих основным видам нагружения деталей машин. В таблицах 1 и 2 приводятся схемы строения изломов на основе [1] и [2], дополненные нами строением изломов при совместном действии циклического изгиба и статического кручения. Для общего представления вкратце рассмотрим общие положения процесса развития видимой усталостной трещины и некоторые особенности строения изломов, приведенных в таблицах.

На поверхности усталостного излома отчетливо выделяются две зоны. Около области зарождения трещины поверхность имеет гладкий, призматический вид. Эта зона начинается от очага зарождения трещины, который возникает в месте наиболее неблагоприятного сочетания напряжений и локальной прочности материала. Вторая—зона статического разрушения—на вид менее гладкая; здесь трещина распространяется в ускоренном темпе. Эта зона носит характер хрупкого излома при статическом разрушении. Наличие блестящей усталостной зоны излома является следствием многократного раскрытия и закрытия усталостной трещины, приводящего к взаимной «обработке» поверхностей излома.

Соотношение площадей зон усталостного и статического разрушений излома, а также следы развития усталостной трещины зависят от уровня приложенной циклической нагрузки и вида напряженного состояния. Чем больше площадь зоны усталостного разрушения и отчетливее ее притертость, тем ниже циклическая нагрузка, так как соответственно меньше скорость роста трещины. При высокой частоте

нагружения изломы имеют более развитую усталостную зону. Рельефность этой зоны зависит также от материала. У пластичных материалов она выявляется отчетливее, чем у хрупких.

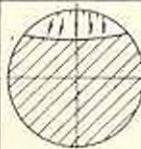
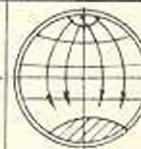
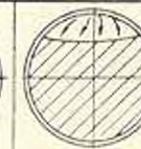
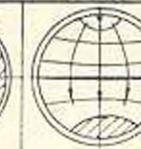
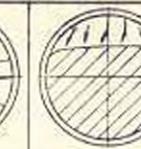
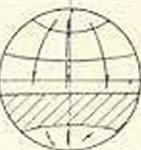
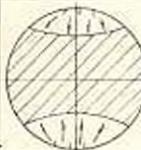
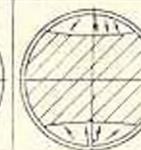
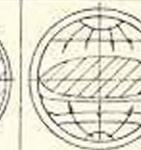
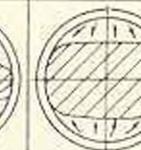
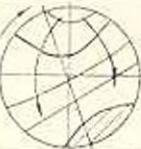
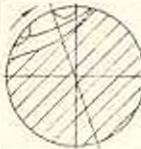
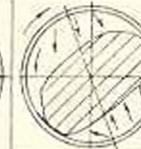
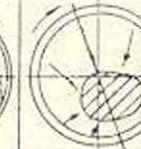
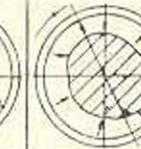
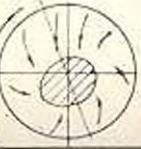
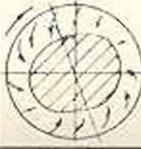
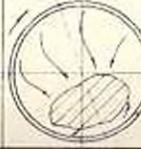
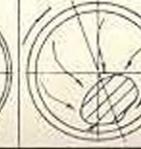
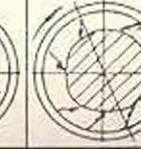
При высоких перенапряжениях усталостная трещина развивается с большой скоростью, и тогда, вследствие меньшего числа смыканий этих поверхностей, зона усталостного разрушения имеет более шероховатый вид и менее резко отличается от зоны статического разрушения. Усталостные изломы характеризуются числом очагов, характером линии фронта распространения трещины, следами линии фронта [1]. Эти признаки наряду с упомянутыми особенностями усталостного излома: наличие зоны усталостного разрушения, ее характерный вид и соотношение площадей,—обусловлены характером нагружения и позволяют вскрывать причины поломки деталей. На изменение этих основных признаков усталостного излома влияют, в основном, три фактора: величина циклического нагружения, вид нагружения, характер и величина концентрации напряжений. Влияние концентрации напряжений обусловлено тем, что усталостное разрушение происходит без макропластической деформации, наличие которой вызывает перераспределение напряжений. Рассмотрим некоторые особенности влияния перечисленных факторов на изменение признаков усталостных изломов.

Появление следов линии фронта усталостной трещины обусловлено временными остановками продвижения трещины вглубь. Очевидно, что появившаяся трещина является концентратором напряжений, остроту надреза которой, следовательно, и коэффициент концентрации напряжений в среднем можно считать величиной постоянной. Действующее при росте трещины напряжение равно произведению номинального напряжения в сечении на этот коэффициент. Тогда продвижение усталостной трещины происходит при условии, что величина действующих напряжений выше предела усталости встречающихся на пути трещины микрообъемов металла. В противном случае происходит остановка роста трещины. Дальнейший рост усталостной трещины возможен при обходе этих сравнительно прочных объемов металла, чем определяется избирательность путей развития трещины. При этом величина номинального компонента действующих напряжений, меняющаяся с изменением сечения детали и внешних факторов нагружения, предопределяет, наряду со структурой кристаллического строения материала, отчетливость следов линии и расстояние между ними. Общий характер линии раздела зон—линии фронта—зависит от скорости распространения отдельных участков усталостной трещины вглубь. Число очагов разрушения зависит, в основном, только от величины перенапряжения [3].

Рассмотрим особенности изломов при разных видах нагружения.

При нагружении детали циклическим растяжением-сжатием линия фронта распространения трещины напоминает дугу с центром кривиз-

Таблица 1

Характер нагружения	Без микроскопического концентратора напряжений		При небольшой концентрации напряжений		При значительной концентрации напряжений	
	При умеренной циклической перегрузке	При значительной циклической перегрузке	При умеренной циклической перегрузке	При значительной циклической перегрузке	При умеренной циклической перегрузке	При значительной циклической перегрузке
Растяжение-сжатие; односторонний изгиб						
Двухсторонний изгиб						
Круговой изгиб вращающейся детали						
Круговой изгиб с кручением вращающейся детали						

Характер нагружения	Без микроскопического концентратора напря- жений		При небольшой кон- центрации напряжений		При значительной кон- центрации напряжений	
	При умерен- ной цикли- ческой пе- регрузке	При значи- тельной цик- лической пе- регрузке	При умерен- ной цикли- ческой пе- регрузке	При значи- тельной цик- лической пе- регрузке	При умерен- ной цикли- ческой пе- регрузке	При значи- тельной цик- лической пе- регрузке
Растяжение- сжатие, односторонний изгиб						
Двусторонний изгиб						
Круговой изгиб вращающейся детали						
Круговой изгиб с кручением вращающейся детали						

ны в очаге. Изломы, полученные при высоком номинальном нагружении, отличаются лишь величиной площади усталостной зоны. При наличии концентратора напряжений на периферии сечения выпуклость дуги линии фронта, особенно по ее краям, превращается в вогнутость по мере продвижения трещины вглубь. Изломы, полученные при одностороннем циклическом изгибе, подобны изломам при растяжении, с той лишь разницей, что выпуклость дуги линии фронта менее выражена, а иногда, при слабом концентраторе напряжений, приближается к прямой линии.

При двустороннем изгибе возникают два (минимально) очага разрушения в диаметрально противоположных местах, где величина действующих напряжений максимальна. Соотношение площадей характерных зон при действующем умеренном напряжении может быть различным в силу неоднородности свойств материала; при высоком напряжении они, в основном, равны по величине.

При симметричном изгибе с вращением изломы весьма характерны. При высоком номинальном напряжении линия фронта выпуклая, подобно излому при растяжении. При действующих умеренных напряжениях эта линия, переходя середину сечения, превращается в вогнутую, с опережением развития трещины на флангах. Это объясняется влиянием вращения—непрерывного перемещения объемов металла на флангах в область высоких напряжений. При сильном концентраторе по контуру сечения фронт распространяется по периметру, образуя пояс усталостной зоны.

Представляет интерес случай совместного действия циклического изгиба и статического кручения—наиболее распространенный вид нагружения в практике машиностроения. Влияние касательных напряжений сказывается тем, что поверхность зоны усталостного разрушения оказывается менее притертой—имеет несколько неровный характер и лишена блеска [4]. Поверхность излома образует небольшой угол ( $5 \div 8^\circ$ ) с плоскостью, перпендикулярной к оси детали. С увеличением отношения касательных и нормальных напряжений возрастает величина угла. Усталостное разрушение, в основном, развивается из одного очага вследствие влияния наложенного статического кручения. Влияние касательных напряжений на вид и расположение излома деталей с контурными надрезами проявляется в изменении направления развития трещины. Если в зоне, где начинается разрушение, трещины имеют радиальную ориентацию, то по мере проникновения вглубь они искривляются, оставляя конхондалные следы, а в зоне, примыкающей к области долома, направление их почти тангенциальное. В области низких перенапряжений действуют сравнительно небольшие касательные напряжения, поэтому здесь искривление усталостных трещин незначительно. Относительно симметричное расположение окончательного долома наблюдается только в области высоких напряжений.

Нестационарность нагружения на изломах детали проявляется в

