

指导性文件  
GUIDANCE NOTES  
GD13-2016



中国船级社

# 船用高强度钢厚板检验指南

## 2016

生效日期：2017年1月1日

北京

## 简要编写说明

《船用高强度钢厚板检验指南》2016 根据以下内容进行修订：

- 1、 纳入 UR S33 Rev. 1 的内容；
- 2、 UR S33 Rev. 1 的修改内容主要为澄清性、说明性，以及新增定义，如“其他焊缝区域”。
- 3、 UR S33 Rev. 1 的生效时间为 2017 年 1 月 1 日。

# 目 录

第 1 章	通则 .....	1
第 2 章	H47 高强度钢板的认可 .....	2
第 3 章	H47 钢板的检验 .....	5
第 4 章	止裂钢的认可与检验 .....	7
第 5 章	高强度钢特厚板在集装箱船上的应用 .....	9
附件 A	标准 ESSO 试验 .....	14
附件 B	标准双重拉伸试验 .....	18
附录 C	H47 钢认可试验的试样 .....	22

# 第 1 章 通则

## 1.1 目的

1.1.1 为了使最小屈服强度为  $460\text{N/mm}^2$  船体结构用高强度钢能在大型船舶中得到应用，特制定本指南。

1.1.2 由于高强度钢特厚板在结构中易于产生脆性破坏，为降低船舶大型化后因高强度特厚钢板使用时可能带来易发生脆性破坏的风险，本指南规定了高强度特厚板的防脆断措施。

## 1.2 适用范围

1.2.1 本指南适用于最小屈服强度为  $460\text{N/mm}^2$ ，以温度—形变控制轧制(TMCP)状态交货的高强度船体结构钢的认可和检验。对正火或调质状态交货时，应经 CCS 特别考虑。

1.2.2 本指南适用于厚度范围大于  $50\text{mm}$  且不超过  $100\text{mm}$ ，最小规定屈服强度分别为  $390\text{N/mm}^2$  和  $460\text{N/mm}^2$ ，具有止裂性能的船体结构用高强度结构钢 EH 级钢板的认可和检验。

1.2.3 本指南适用于集装箱船上甲板区域纵向结构构件(如舱口侧围板、舱口围顶板和附连的纵向构件)采用 1.2.2 所述的高强钢板时，进行脆断识别和制订防止脆断的措施。

1.2.4 如在非 1.2.3 所述场合应用 1.2.2 所述的钢材，及厚度超过  $100\text{mm}$  的钢材，应经 CCS 特别考虑。

## 1.3 术语与定义

1.3.1 本指南采用的术语定义如下：

- (1) 特厚钢板——厚度大于  $50\text{mm}$  但不超过  $100\text{mm}$  的高强度钢板；
- (2) 止裂钢板——按本指南规定方法评定具有相应止裂性能的钢板。
- (3) 止裂试验——评定钢板止裂性能的试验，包括标准 ESSO 试验和双重拉伸试验。
- (4) 止裂韧性值 ( $K_{ca}$ )——评定钢板止裂性能的指标值， $\text{N/mm}^{3/2}$ ，应通过止裂试验测得。
- (5) 止裂温度( $T_K$ )——评定钢板止裂性能的指标值， $^{\circ}\text{C}$ 。双重拉伸试验中，在一定应力水平和温度梯度条件下，运动裂纹终止于试样主拉伸板时中心裂纹最前端的温度。
- (6) 标准 ESSO 试验——按附件 1 进行的止裂试验。
- (7) 双重拉伸试验——按附件 2 进行的止裂试验。

## 1.4 试验

1.4.1 止裂试验应在 CCS 接受的实验室进行。

1.4.2 除本指南另有规定外，试验应按 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇和第 3 篇的有关规定进行。

## 第 2 章 H47 高强度钢板的认可

### 2.1 一般规定

2.1.1 本章适用于最小规定屈服强度为  $460\text{N/mm}^2$ ，以 TMCP 工艺制造的船体结构用高强度钢 (以下简称“H47 钢”) 的认可。按其冲击韧性，H47 钢分为 A、D、E、F 四个等级，分别以 AH47、DH47、EH47 和 FH47 表述。

2.1.2 除本章另有规定者外，H47 钢的认可应按 CCS《产品检验指南》第 2 篇第 1 章第 1 节的规定进行。

2.1.3 除本章另有规定者外，H47 钢的生产应按 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 1 节的有关规定进行。

2.1.4 H47 钢应经 CCS 工厂认可。

### 2.2 钢材制造

2.2.1 H47 钢通常应为以电炉或吹氧转炉冶炼，并经过细化晶粒处理的镇静钢。

2.2.2 H47 钢通常应以 TMCP 状态交货。其他交货状态应由 CCS 特别考虑。

### 2.3 材料的技术条件

2.3.1 H47 钢的熔炼分析化学成分应满足表 2.3.1 的要求。

H47 钢的化学成分 (重量百分比 %)									
材料等级	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	
AH47、DH47	0.14	2.00	0.55	0.01	0.02	0.30	1.50	0.50	
EH47、FH47	Al(酸溶)	Nb		V		Ti	Mo	N	B
	$\geq 0.015^{②}$	$0.02\sim 0.05^{③}$	$0.05\sim 0.10^{③}$	$0.02^{③}$	0.25	0.015	0.003		

① 除 Al、Nb 和 V 外，表中其他元素均为最大限值。

② 当采用总铝含量来代替酸溶铝含量的要求时，总铝含量应不小于 0.02%。

③ 当 Al、Nb、V 单独加入时，其含量应不低于表列下限值；若混合加入两种及以上细化晶粒元素时，表中对单一元素含量的下限规定不适用。

④ Nb、V 和 Ti 的总量应不大于 0.15%。

2.3.2 除 2.3.1 以外，TMCP 状态交货的 H47 钢还应根据钢材的熔炼分析化学成分计算碳当量和冷裂纹敏感指数，并符合表 2.3.2 的要求：

H47 钢的碳当量和冷裂纹敏感指数		
钢板厚度	t(mm)	
		$t \leq 50$
		$50 < t \leq 100$
碳当量	$C_{eq}$	$\leq 0.46$
		$\leq 0.49$
冷裂纹敏感指数	$P_{cm}$	$\leq 0.20$
		$\leq 0.22$

注：(1) 碳当量应按下式计算：

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (\%)$$

(2) 冷裂纹敏感指数应按下式计算：

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (\%)$$

2.3.3 厚度不超过 100mm 的 H47 钢的力学性能应符合表 2.3.3 的规定。

H47钢的力学性能

表2.3.3

钢材等级	屈服强度 $R_{EH}$ 或 $R_{p0.2}$ ( $N/mm^2$ ) 不小于	抗拉强度 $R_m$ ( $N/mm^2$ )	伸长率 $A_5$ (横向) (%) 不小于	夏比V型缺口冲击试验 <sup>②</sup>			
				试验温度 ( $^{\circ}C$ )	平均纵向冲击功(J) 不小于		
					$t^{①} \leq 70$	$70 < t \leq 85$	$85 < t \leq 100$
AH47	460	570~720	17	0	53	64	75
DH47				-20			
EH47				-40			
FH47				-60			

注：①  $t$ 为钢板厚度，mm。

② 除订货方或CCS有要求外，冲击试验一般仅做纵向试验，但钢厂应采取措施保证钢材的横向冲击性能。横向规定冲击值为纵向规定值的2/3。

## 2.4 材料的认可试验

2.4.1 除本章另有规定外，H47 级钢的认可，包括程序和试验项目，应按 CCS《产品检验指南》第 2 篇第 1 章第 1 节的规定进行。

2.4.2 认可时应选择一件认可范围内具有最大厚度和最高韧性等级的产品进行试验。

2.4.3 钢材应按下述要求进行试验：

(1) 试验的试件取样位置对于以铸锭轧制的钢板应取自相应于锭头的位置。对于连铸钢坯轧制的钢板，则可从浇次的头或尾部的板中取样，试件的位置应在板在端部(板头和板尾)距板边约 1/4 板宽处。如图 2.4.3 所示。

(2) 应进行下列力学性能试验：

(a) 夏比 V 型缺口冲击试验

i. 应按如下要求在代表板头和板尾的位置处取关于主轧制方向的试件：

纵向夏比 V 型缺口冲击试样——头部和尾部

横向夏比 V 型缺口冲击试样——头部

应变时效纵向夏比 V 型缺口冲击试样——头

部

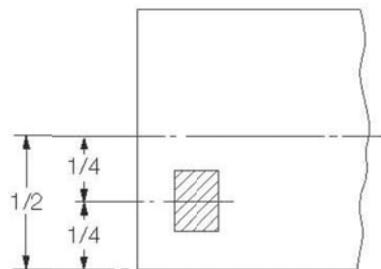


图 2.4.3 试件取样位置

夏比 V 型缺口冲击试验要求从试件厚度的 1/4 处取样，对厚度大于 40mm 的材料还应在厚度 1/2 处取样。每项冲击试验应要求 3 个一组夏比 V 型缺口冲击试样。试验温度为所试钢板的韧性等级所规定的温度。

试验结果，除确定冲击功外，还应报告侧膨胀值和断面纤维率。

ii 应变时效试件应在试验前塑性变形 5%，随后加热到 250 $^{\circ}C$ ，保温 1h。

iii 为了合适地确定整个转变的温度范围，每个位置还应按适当的温度间隔进行冲击

试验。

(b) 应进行深缺口试验或裂纹顶端张开位移(CTOD)试验, 并报告试验结果。

(c) 应进行材料表面落锤试验, 并报告脆性转变温度。

(3) 除(2)所述的钢板母材力学性能外, 还应按下列要求进行钢板的焊接性能试验:

(a) 夏比 V 型缺口冲击试验

应在焊缝正面距板表面  $1/4$  厚度处取缺口垂直于板表面的试样进行夏比 V 型缺口冲击试验。应在缺口位于熔合线、距熔合线 2、5 和 20mm 处各取一组垂直于焊缝的试样。在制样确定缺口位置前, 应用适当的腐蚀剂对试样进行酸蚀以确定熔合边界。

应在焊缝根部另取缺口与表面侧试样位置相同各一组同深度的试样。

冲击试验的温度为应与母材的试验温度相同。试验结果应不低于母材规定最小值。

(b) 按公认的国家标准, 如 GB 4675.1, 进行斜 Y 型焊接裂纹试验(氢致裂纹试验), 并报告建议的预热温度。

(c) 应进行深缺口试验或 CTOD 试验。CTOD 试验应按 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 2 章第 8 节的规定进行。并报告热影响区试验的结果。

## 第 3 章 H47 钢板的检验

### 3.1 一般规定

3.1.1 H47 钢应由经 CCS 认可的工厂，按认可工艺生产。

3.1.2 H47 高强度船体结构钢应按本章进行生产检验。

### 3.2 脱氧方法与化学成分

3.2.1 H47 钢均应为经过细化晶粒处理的镇静钢，其熔炼分析化学成分应满足本指南 2.3.1 和 2.3.2 的要求。

### 3.3 交货状态

3.3.1 钢材的交货状态通常应为 TMCP 状态。

### 3.4 力学性能

3.4.1 H47 钢板应按如下要求取样进行力学性能试验：

(1) 对 AH47 和 DH47 可按同炉号且尺寸相近，以每 50 吨或其余量为一批取样进行试验；对 EH47 和 FH47 应按每个轧件为一批取样进行试验。

(2) 每批试验的取样数量为一个拉伸试样，一组 3 个纵向夏比冲击试样。拉伸试样应采用 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 2 章表 2.2.2.1 中序号 1 的板状试样，对厚度超过 40mm 者也可采用序号 2 的圆棒形试样，此时试样的轴线应位于板厚 1/4 厚度处；

(3) 产品厚度不大于 40mm 时，冲击试样应为近表面试样，即试样边缘距轧制面 1/4 厚度处；当产品厚度超过 40mm 时，还应另取一组轴线位于板厚中心厚度处冲击试样。冲击试样的缺口方向应垂直于轧制面。

(4) 试验应按 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 2 章的有关规定进行。试验结果应满足本指南表 2.3.3 的要求。

### 3.5 标志与证书

3.5.1 钢厂对检验合格的每一件钢材，应至少在一个位置清晰地标出 CCS 的标志和下列标记：

- (1) 钢厂名称及商标；
- (2) 钢材等级标记；
- (3) 炉罐号或其他能够追溯钢材全部生产过程的编号或缩写；
- (4) 如订货方有要求，可标上订货合同号或其他识别标记。

上述标记和钢印应以适当方法使其显见易认。

3.5.2 材料的合格证书应至少包括下列内容：

- (1) 订货方的名称和合同号以及使用该材料的船名或机号(可能时)；
- (2) 材料运往的目的地；
- (3) 材料的说明书和尺寸；

- (4) 材料的技术规格或等级；
- (5) 炉罐号和熔炼化学成分；
- (6) 力学性能试验结果；
- (7) 供货状态。

## 第4章 止裂钢的认可与检验

### 4.1 一般规定

4.1.1 本章规定适用于最小屈服强度  $390\text{N/mm}^2$  和  $460\text{N/mm}^2$  高强度特厚 EH 级止裂钢的认可与检验。

4.1.2 除本章要求外，止裂钢应满足 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 3 节和本指南第 2 章的有关规定。

4.1.3 认可为具有止裂性能的钢板，应在其母钢级标志后加上 CA 后缀，如 EH47-CA。

### 4.2 止裂钢的认可

4.2.1 除本章另有规定外，止裂钢的认可，包括程序和试验，应按 CCS《产品检验指南》第 2 篇第 1 章第 1 节的规定进行。

4.2.2 当认可的目标化学成分范围保持不变，认可时应选择一件认可范围内具有最大厚度的产品进行试验。

4.2.3 母材力学性能试验除本指南 2.4.3 要求外，应按进行下列试验：

(1) 按 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 2 章第 10 节，采用 P1 型和 P3 型试样进行材料表面和中心的落锤试验，并报告材料两个部位的无塑性转变温度(NDTT)。

(2) 按本指南附件 1《标准 ESSO 试验》或附件 2《双重拉伸试验》的要求，进行脆性裂纹止裂试验。试验应满足  $-10^\circ\text{C}$  下， $K_{Ic} \geq 6000\text{N/mm}^{3/2}$  或在表 4.2.3(2) 的应力条件下，止裂温度  $T_k \leq -10^\circ\text{C}$  的要求。当板厚超过 80mm 时，相关验收指标应经 CCS 特别考虑。

试验时加载的应力水平 表 4.2.3(2)

材料规定最小屈服强度 $\text{N/mm}^2$	加载的应力水平 $\text{N/mm}^2$
390	257
460	282

### 4.3 止裂钢的生产检验

4.3.1 除 4.3.2 另有规定外，止裂钢应分别按 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 3 节和本指南第 3 章有关规定进行检验。

4.3.2 应按下列要求每批进行取样进行韧性试验：

(1) 每批钢板应制取表面和中心部位的试样各 2 个，按 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 2 章第 10 节的规定进行落锤试验。

(2) 板材的试验温度分别为  $-60^\circ\text{C}$  (表面) 和  $-30^\circ\text{C}$  (中心)，试样应不出现断裂(即裂纹扩展至受拉面的一个或两个边缘)。

(3) 试验结果如有 2 个及以上试样出现断裂，该批材料应予拒收。如出现一个试样出现断裂，允许复试。复试应在原取样位置附近重新选取一组 2 个试样，在原试验温度下进行。复试的 2 个试样均不应出现断裂。

#### 4.4 标志与证书

4.4.1 除本指南 3.5 要求外，止裂钢的标志和证书还应符合下列规定：

- (1) 检验合格的止裂钢，应在钢材上标出止裂钢的附加标志。
- (2) 止裂钢的合格证书上应标明落锤试验的结果。

## 第 5 章 高强度钢特厚板在集装箱船上的应用

### 5.1 一般规定

5.1.1 本章规定了集装箱船上甲板区域纵向结构构件应用规定最小屈服强度不低于  $355\text{N/mm}^2$  的高强度特厚板的要求。。

5.1.2 从事高强度钢焊接工作的焊工，应通过 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 4 章规定的考试。

5.1.3 除本章另有规定外，船用高强度钢特厚板的焊接工艺评定除按照 CCS《材料与焊接规范》第 3 章第 3 节的规定进行。

### 5.2 集装箱船用特厚钢板的安全措施

5.2.1 集装箱船货舱区域上部纵向构件，主要包括内外壳体(舱壁)的最顶部列板、舷侧顶列板、上甲板、舱口围板、舱口围顶列板及其所附连的纵向扶强材(详见图 5.2.1 所示)。

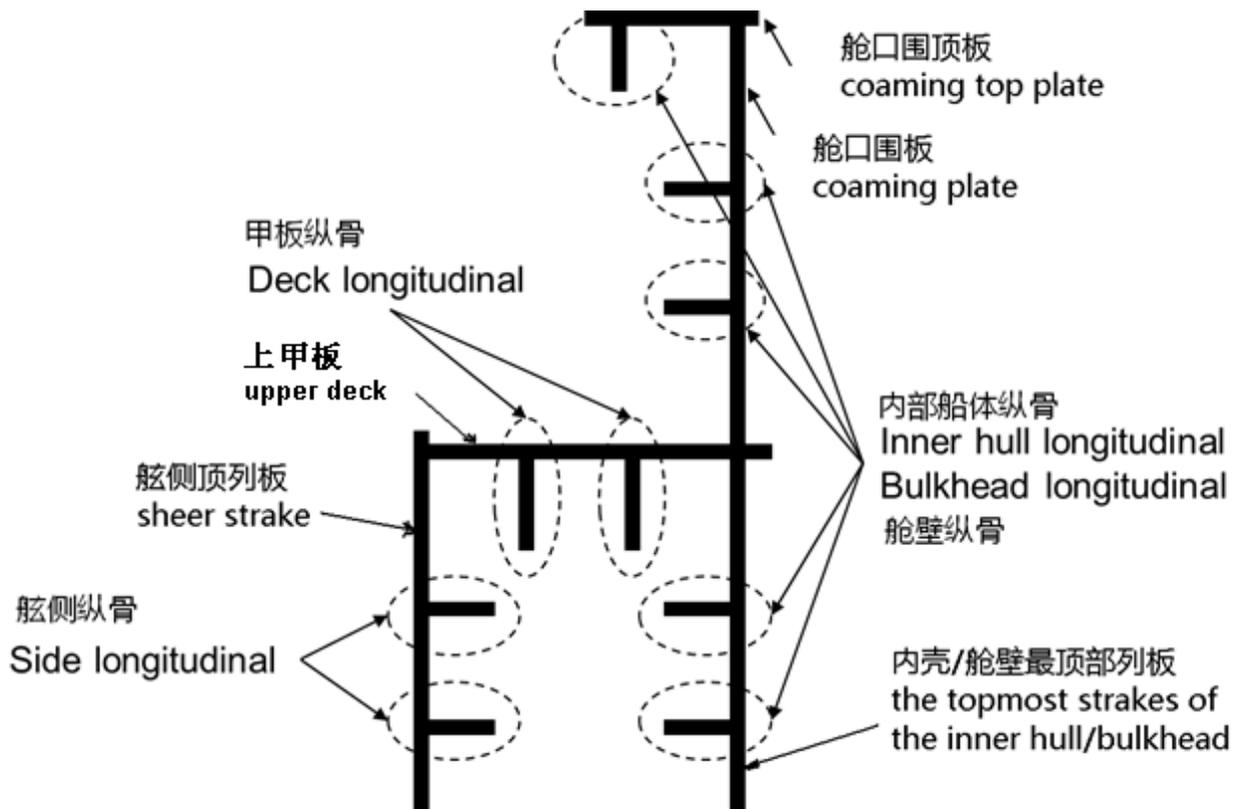


图 5.2.1 集装箱船货舱区域的纵向结构

5.2.2 当集装箱船上甲板区域纵向结构板材（上甲板板、舱口围顶板和舱口围侧板及其连接的纵向构件）采用板厚大于 50mm 但不小于 100mm 的高强度钢板时，应采用韧性不低于

E 级的钢板。并根据具体情况，按表 5.2.2 中的规定，采取适当的防止脆性裂纹萌生和扩展的措施。

特厚钢板的安全措施

表 5.2.2

屈服强度 (N/mm <sup>2</sup> )	厚度 (mm)	选项	措施			
			1	2	3+4	5
355	50 < t ≤ 85	-	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
	85 < t ≤ 100	-	X	N.A.	N.A.	N.A.
390	50 < t ≤ 85	-	X	N.A.	N.A.	N.A.
	85 < t ≤ 100	A	X	N.A.	X	X
B		X*	N.A.**	N.A.	X	
460 (FCAW)	50 < t ≤ 100	A	X	N.A.	X	X
		B	X*	N.A.**	N.A.	X
460 (EGW)	50 < t ≤ 100	-	X	N.A.	X	X

措施：  
 1 (建造阶段) 除外观检查外，所有目标分段接头进行无损检测：见 5.5；  
 2 (交船后) 所有目标分段接头除外观检查外的无损检测：见 5.6；  
 3 (建造阶段)防止脆性裂纹沿焊缝直线扩展的止裂设计：见 5.3.7(2) a、b 或 c；  
 4 (建造阶段)防止脆性裂纹偏离焊缝扩展的止裂设计见 5.3.7(1)a；  
 5 (建造阶段) 防止从其他焊缝区域，如角焊缝和附连件焊缝，裂纹扩展的止裂设计见 5.3.7(1)a。

注 1. 表中所示的厚度和屈服强度适用于舱口围**顶板和舱口围侧板**结构，并为表中措施应用时予以控制的参数。若舱口围**顶板和舱口围侧板**结构的建造厚度低于表列值，不论上甲板的厚度和屈服强度，均无必要采取表中措施。

2、“X”为“应采用”；“N.A.”为“不必采用”；从“A”和“B”中选择

3、FCAW 为药芯焊丝电弧焊

4、EGW 为气电立焊

\*： 见本章 5.3.7(2)d。

\*\*： 见 5.6.1(3)。

5.2.3 对于采用厚度超过 100mm 的钢板，CCS 将根据本指南的规定，考虑具体情况后，决定采用适当的防止脆性裂纹萌生和扩展的措施。

5.2.4 虽然本章规定主要用于集装箱船上部结构的分段对接接头，但仍需对远离这些接头部位的母材上裂纹萌生和扩展按 5.3.6(2)考虑适当的预防措施。

### 5.3 高强钢的设计应用

5.3.1 高强钢的设计应用应满足船体梁强度、疲劳强度评估要求和止裂设计，以及无损检测的有关要求。

5.3.2 用于船体梁强度评估的高强钢材料系数 K 应以材料的强度等级按表 5.3.2 选取。

高强钢的材料系数 K 表 5.3.2

材料强度 N/mm <sup>2</sup>	355	390	460
材料系数	0.72	0.68	0.62

5.3.3 当船体结构采用高强度钢时，其纵向结构的总纵强度（屈服、屈曲）和疲劳强度评估应按 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇的有关规定进行。对于 H47 钢的疲劳强度评估，热点应力应采用精细网格有限元计算得到，有限元模型和计算报告应提交 CCS 审核。

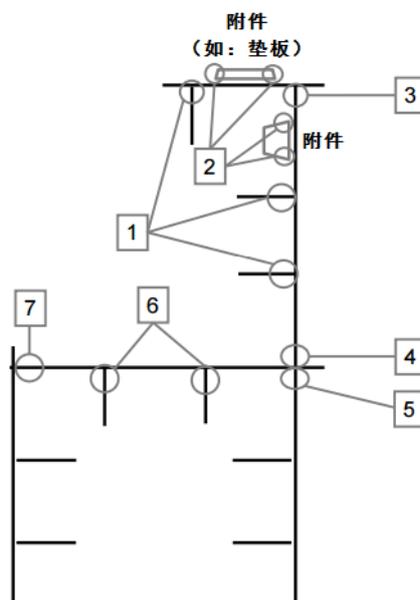
5.3.4 当规定最小屈服强度不小于 460N/mm<sup>2</sup> 的高强度钢用于船体结构与舾装件连接时，应对结构构件的连接予以特别考虑。连接应按 CCS 相关规定进行。

5.3.5 集装箱船的货舱区域采用高强度钢特厚板时，应采用防止脆性裂纹扩展的措施(或称为“脆性裂纹止裂设计”)。本节中给出的方法一般用于对接接头，但应注意到启裂和裂纹扩展会偏离这些接头，因此，应按 5.3.6 (2) 考虑采取合适的措施。

5.3.6 脆性裂纹止裂设计的目的旨在合适的位置上阻止裂纹扩展和防止船体梁的大尺度断裂。考虑防止脆性裂纹的设计时，应考虑脆性裂纹的启裂点位于舱口围板和上甲板的分段对接接头处，并(从启裂点)按以下 2 种情况扩展：

(1) 脆性裂纹直沿着对接接头扩展，和；

(2) 脆性裂纹启裂于对接接头中，但偏离对接接头焊道进入母材，或脆性裂纹启裂于其他焊缝（其他焊缝的定义见图 5.3.6 (2))，扩展进入母材。



“其他焊缝区域”包括如下：

- (1) 舱口围侧板，包括顶板与纵骨连接的角焊缝；
- (2) 舱口围侧板，包括顶板和纵骨与附件连接的额角焊缝（如舱口围顶板与舱口盖垫板的角焊缝）；
- (3) 舱口围顶板与舱口围侧板连接的角焊缝；

- (4) 舱口围侧板与上甲板板连接的角焊缝；
- (5) 上甲板板与内壳/舱壁板连接的角焊缝；
- (6) 上甲板板与纵骨连接的角焊缝，以及
- (7) 舷顶列板与上甲板板连接的角焊缝。

### 图 5.3.6 (2) 其他焊缝区域

5.3.7 下列情况应考虑作为可接受的脆性裂纹止裂设计。详细的设计布置应提交 CCS 认可。其他概念设计可以由 CCS 考虑并接受：

(1) 针对 5.3.6(2) 的脆性裂纹止裂设计：

a. 沿货舱区的上甲板应采用具有本指南第 4 章规定性能的脆性裂纹止裂钢，以适当的方法阻止从舱口围启裂的脆性裂纹扩展到下部结构；

(2) 针对 5.3.6(1) 的脆性裂纹止裂设计：

a. 舱口围板和上甲板的分段对接焊缝错开，错开的距离应大于或等于 300mm。舱口围板应采用脆性裂纹止裂钢。

b. 分段对接处，舱口围板的焊缝遇到甲板对接缝处开有止裂孔时，对接焊缝下端处的疲劳强度应予以评估。对脆性裂纹从焊道偏离进入上甲板或舱口围板的可能性应采取附加的应对措施。这些措施应包含舱口围板的止裂钢板应用。

c. 当舱口围板遇到甲板接缝处的分段对接焊缝处采用嵌入止裂钢板或采用具有高止裂韧性的焊缝金属时，对于脆性裂纹从焊道偏离进入上甲板或舱口围板的可能性应采取附加的应对措施。这些措施应包含舱口围板的止裂钢板应用。

d. 采用加强的无损检测措施，特别是采用更严格的缺陷验收标准的衍射时差(TOFD)技术以替代 5.5 中规定的超声波检测技术，可以作为(a)，(b) 和(c)的替代措施。

## 5.4 高强度钢的建造与焊接

5.4.1 除本章规定外，高强度船体结构钢的装配与焊接应满足 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 5 章的有关规定。

5.4.2 集装箱船舱口围纵向构件的自由边应加工平整，自由边宜采用机加工。舱口围顶板不应有任何缺口，其角部可机加工倒圆，圆角半径一般不必大于 5mm。

5.4.3 H47 钢的焊接工艺试验和认可范围可参照 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章中规定最小屈服强度为 390N/mm<sup>2</sup> 钢的有关规定。试验结果应符合下列规定：

(1) 横向拉伸强度应不低于 570N/mm<sup>2</sup>；表面和中心的维氏硬度应不高于 380HV10。

(2) 止裂钢工艺认可的冲击功应满足在-20℃下，不低于 64J 的要求。

(3) 各强度等级止裂钢的焊接接头除常规力学性能外，还应取试件全厚度的试样，进行焊缝中心和熔合线的 CTOD 试验。试验结果应予报告。

5.4.4 高强钢的焊接材料，除下列规定外，应符合 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 2 章的规定：

(1) 与 H47 钢相匹配的焊接材料如表 5.4.4 所示。

建议的 H47 钢匹配焊接材料

表 5.4.4

焊接材料	厚度小于 50mm 的母材	厚度为 50~100mm 的母材
3Y46	AH47、DH47	AH47
4Y46	AH47、DH47、EH47	AH47、DH47
5Y46	AH47、DH47、EH47、FH47	AH47、DH47、EH47
专门考虑	AH47、DH47、EH47、FH47	AH47、DH47、EH47、FH47

(2) 用于集装箱船舱口围的焊接材料应满足熔敷金属中扩散氢含量小于 5ml/100g 的要求。

5.4.5 集装箱船高强度特厚板焊接应由按 CCS 规范或可接受标准考试合格的焊工，采用认可的焊接材料，按认可的焊接工艺进行施焊，并应满足下列要求：

(1) 定位焊或焊缝修补时，焊道应不短于 50mm；当材料的 Pcm 小于或等于 0.19 时，经 CCS 同意可采用不短于 25mm 的短焊道；

(2) 当环境温度为 5℃或以下时，应预热至 50℃或以上。当材料的 Pcm 小于或等于 0.19，环境温度为 0℃及以下时，可由 CCS 特别考虑。

(3) 焊接结束后，应特别注意焊缝中不能留有有害缺陷，表面应过渡平顺。装配码应无缺陷地完全去除，必要时可对去除处进行表面无损检测。

## 5.5 建造阶段的无损检测

5.5.1 当按表 5.2.2 的要求，需要采取措施 1(即建造时进行无损检测)时，货舱区域所有上部纵向构件的分段对接焊缝均应按 CCS《船舶焊接检验指南》第 7 章的检测工艺要求进行外观检查和超声波检测。

5.5.2 外观检查应满足 ISO 5817 的 B 级或其他等效标准的要求。

5.5.3 超声波检测的验收标准应不低于 ISO 11666 的 2 级、CB/T 3559 的 II 级或其他等效标准的要求。

5.5.4 在考虑了有关防止脆性裂纹启裂规程且其比 5.5.3 的要求更严格的情况下，验收标准可予以调整，超声波检测工艺规程则应按更严格的灵敏度进行修订。

5.5.5 船上应留存检测报告的副本，以便在特检抽查时进行核对。

## 5.6 交船后周期性的无损检测

5.6.1 当按表 5.2.2 的要求需要采取措施 2(即要求交船后进行无损检测)时，应在每次特检时按 CCS《船舶焊接检验指南》第 7 章的相关要求进行下列无损检测：

(1) 对上次无损检测中发现的缺欠，再次全面检测，以验证这些部位的小缺欠没有扩展；

(2) 对舱口围板、舱口围顶板和强力甲板上的分段对接焊缝，随机抽取 10%长度进行超声波无损检测；

(3) 对舱口围纵向结构上除(2)外的其他对接焊缝，视情况随机抽取不超过 5%长度进行超声波检测。

5.6.2 检测结果应满足本章 5.5.3 的要求。当发现缺陷有扩展的迹象时，应做好记录，并报告 CCS。同时至少每年对该部位复查一次，必要时应及时修理。

## 附件 A 标准 ESO 试验

### A1 范围

ESO 试验用于评定厚度为 100mm 或以下轧制船体钢板的脆性裂纹止裂韧性值  $K_{ca}$ 。

### A2 符号

表 A 1 所用的符号和意义

符号	单位	意义
$t_s$	mm	试样的厚度
$W_s$	mm	试样的宽度
$L_s$	mm	试样的长度
$t_r$	mm	连接板的厚度
$W_r$	mm	连接板的宽度
$L_r$	mm	连接板的长度
$L_p$	mm	两销孔间距
$A$	mm	裂纹投影在垂直于载荷线的表面的长度
$a_a$	mm	止裂点处的最大裂纹长度
$T$	°C	试样温度
$dT/da$	°C/mm	试样的温度梯度
$\sigma$	$N/mm^2$	受试部位的总应力( $load / W_s \cdot t_s$ )
$K_{ca}$	$N/mm^{3/2}$	脆性裂纹止裂韧性值

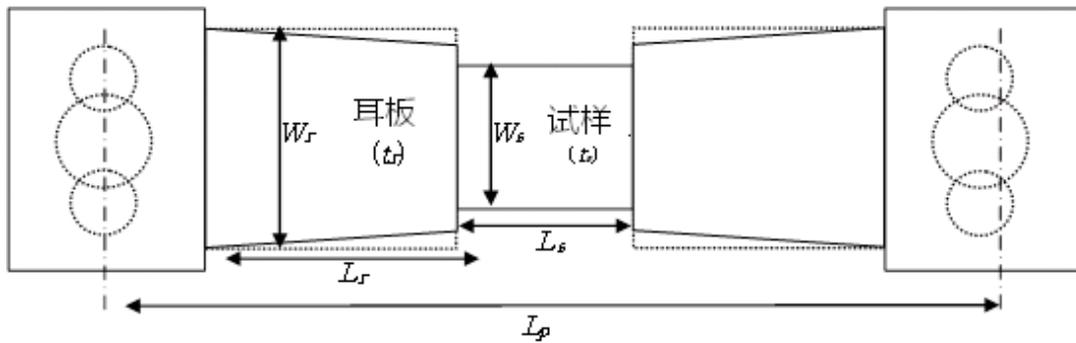


图 A 1 试样、连接板和加载夹具的概念

### A3 目的

A3.1 本试验(程序)的目的是促进带温度梯度的脆性裂纹止裂韧性标准试验的实施, 并获得相应的脆性裂纹止裂韧性值  $K_{ca}$ 。

## A4 标准试样

A4.1 图 A2 显示了标准试样的形状和尺寸

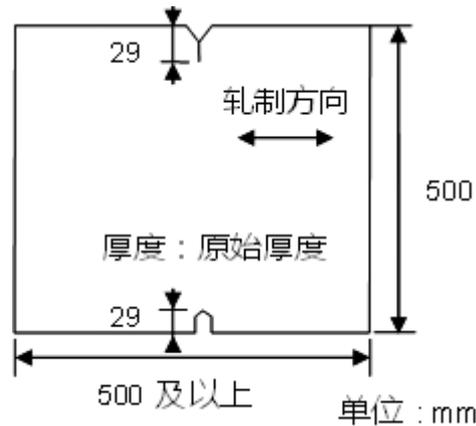


图 A 2 试样的形状和尺寸

A4.2 试样的厚度和宽度应按表 A2。

表 A2 试样的厚度和宽度

厚度 $t_s$	100 mm 及以下
试样的宽度 $W_s$	500 mm

注：如果试样的宽度在 500mm 无法进行试验时，可以取为 600mm。

A4.3 试样应取自同张钢板。

A4.4 试样的取样应以同样方式使载荷的轴向平行于钢板的轧制方向。

A4.5 试样的厚度应与船舶结构用所用钢板的厚度相同。

## A5 试验装置

A5.1 所用的试验装置应由具有拉伸试验能力的销加载型的液压试验装置。

A5.2 加载销之间的距离应不小于 2000mm。加载销的间距指销直径中心间的距离。

A5.3 落锤型或空气枪型的冲击装置可被用于产生脆性裂纹所需的冲击能。

A5.4 冲击楔的角度应大于试样的上缺口的角度，并应将张开力作用于缺口上。

## A6 试验准备

A6.1 试板应被直接固定到销加载夹具上或用通过连接板焊接起来。整个试样和连接板的长度应不小于  $3W_s$ 。连接板的厚度和宽度应按表 A 3 要求。

表 A3 连接板的允许尺寸

	厚度	宽度
连接板的尺寸	$0.8t_s^{(1)} \leq t_r \leq 1.5t_s$	$W_s \leq W_r \leq 2W_s$

注 1: 若连接板的厚度  $t_r$  小于试样厚度，评估时应力波的反映将偏于安全。因此，考虑到实际情况，为了进行试验，厚度的下限取为  $0.8t_s$ 。

A6.2 热电偶应以节距为 50mm 的间距沿试样的缺口延长线固定。

A6.3 如果估计脆性裂纹会偏离其预定路径，热电偶应安装在试样宽度中心处缺口延长线的

载荷线间隔 100 mm 的两个点。

A6.4 如果动态测量是必要的，应变计和裂纹计应安装在特定位置处。

A6.5 焊后带连接板和销加载夹头的试样应被固定试验机上。

A6.6 应装上冲击设备。冲击装置的构造应使冲击能量被正确传递。应正确地布置一个适当的夹具，以使尽量减少因冲击设备导致的弯曲载荷的影响。

## A7 试验方法

A7.1 为了消除残余应力的影响或校正连接板焊接的角变形，在试样冷却前可采用比试验载荷小的预加载荷。

A7.2 冷却和加热，可以在装有热电偶面的背面进行，在两面进行。

A7.3 试样中心区域  $0.3W_s$  至  $0.7W_s$  宽度范围内温度梯度应控制在  $0.25^\circ\text{C}/\text{mm}$  至  $0.35^\circ\text{C}/\text{mm}$  范围内。

A7.4 当达到规定的温度梯度时，温度要维持超过 10min，随后加载规定的试验载荷。

A7.5 在维持试验载荷至少 30 秒后，应施加冲击产生一条脆性裂纹。标准的冲击能量应取每 1mm 板厚为 20J~60J。如果母材的脆性裂纹启裂特性高，难以产生脆性裂纹，冲击能量可以增加至 1mm 板厚 120J 的上限。

A7.6 当确认裂纹启裂、扩展、并被止住后，停掉(卸除)载荷。恢复正常的温度，并且如果有必要，用气割割断或用试验机强行拉断试样未断部分；或者用试验机将韧性裂纹扩展到足够的长度后，再用气割割断试样剩余部分。

A7.7 在(试样)加制分断后，应报取断裂表面和扩展路径的照片，并测量裂纹的长度。

## A8 试验结果

A8.1 应测量试样顶端(包括缺口)至止裂点板厚方向上的最大长度。如果裂纹表面偏离了与试样加载线垂直的面，则应测量投影到与加载线垂直的面上的长度。在这种情况下，如果在断面上脆断裂纹止裂痕迹清晰可见，则取第一个止裂点为止裂位置。

A8.2 由热电偶测量的结果编制温度分布曲线，由测量与止裂裂纹长度相应的止裂温度。

A8.3 每个测试的脆性裂纹止裂韧度值 ( $K_{CA}$  值) 由下面的公式来确定：

$$K_{ca} = \sigma \sqrt{\pi a} \sqrt{\left(\frac{2W_s}{\pi a}\right) \tan(\pi a / 2W_s)}$$

## A9 报告

A9.1 下列项目应予报告：

- (a) 试验材料：材料牌号、炉批号或编号、规格；
- (b) 试验机规格：试验机的能力，销之间的距离 ( $L_P$ )
- (c) 加载夹具的尺寸：连接板板厚( $T_r$ )、连接板宽度( $W_r$ )、包括连接板的试样长度( $L_S + 2L_r$ )
- (d) 试样尺寸：板厚度( $t_s$ )、试样的宽度( $W_s$ )和长度( $L_s$ )
- (e) 试验条件：预加载的应力、试验应力，温度梯度分布(图或表)、冲击能量
- (f) 试验结果：止裂长度( $a_a$ )，止裂点处的温度，脆性裂纹止裂韧性( $K_{ca}$ )
- (g) 动态测量结果(如果进行测量)：裂纹扩展速率，应变变化

(h) 试样照片：断裂路径，断裂表面

A9.2 如果下面的条件不满足，则测试结果应被处理为参考值。

(i) 脆性裂纹的止裂位置应在图 A3 中所示的阴影部分范围内。在这种情况下，如果脆性裂纹止裂位置偏离试样纵向方向上的试验中心超过 50mm，则在  $\pm 100$  毫米位置范围处的热电偶温度应为中心热电偶的  $\pm 3^\circ\text{C}$  范围内。

(ii) 脆性裂纹在扩展时应没有明显的裂纹分叉。

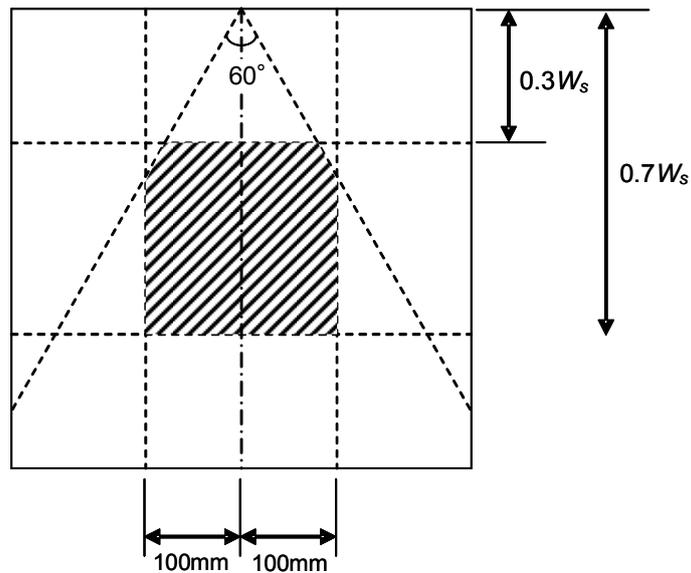


图 A3 止裂位置的必要条件

A9.3 从多于 3 点的有效测量结果，在阿累尼乌斯图(单对数图)上确定近似线性方程，以计算期望温度下的  $K_{ca}$  值。在这种情况下，其两侧均应有数据，即围绕评估的温度，即有高温也有低温数据。

## 附件 B 标准双重拉伸试验

### B1 范围

本试验方法可用于测量厚度不大于100mm 船用高强度钢板的止裂温度 $T_k$ 和止裂韧性 $K_{ca}$ 。

### B2 原理

通过研究一定应力和温度梯度条件下运动裂纹在试样主拉伸板扩展和停止的行为来测定钢材的止裂温度和止裂韧性。

### B3 目的

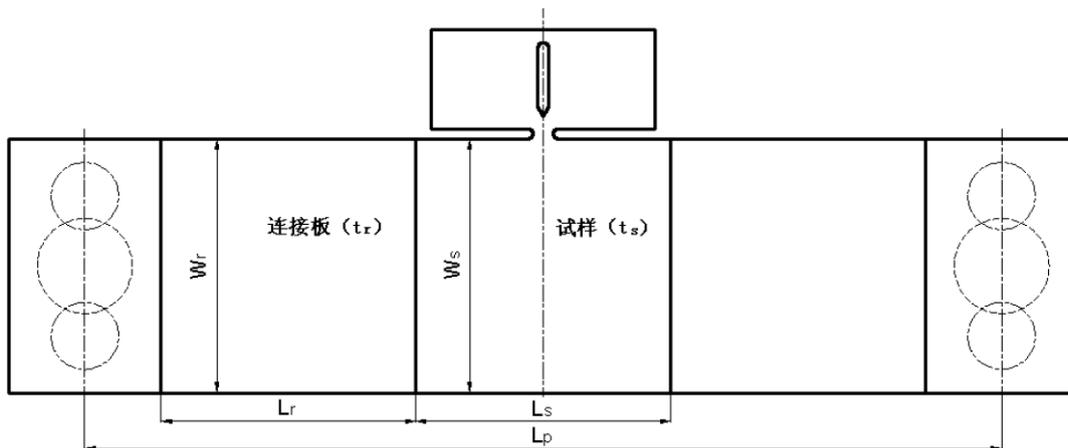
B3.1 本试验(程序)的目的是促进带温度梯度的脆性裂纹止裂韧性标准试验的实施，并获得相应的脆性裂纹止裂温度  $T_k$  和止裂韧性值  $K_{ca}$ 。

### B4 符号

本方法所用符号及其含义如表B1 和图B1 所示。

表 B1 所用符号及其含义

符号	单位	含义
$t_s$	mm	试样厚度
$W_s$	mm	试样主拉伸板宽度
$L_s$	mm	试样长度
$t_r$	mm	连接板厚度
$W_r$	mm	连接板宽度
$L_r$	mm	连接板长度
$L_p$	mm	夹头间距
$a$	mm	裂纹止裂长度
$T$	°C	试验温度
$dT/da$	°C/mm	试样中的温度梯度
$\sigma$	$N/mm^2$	主拉伸应力(载荷/ $W_s \cdot t_s$ )
$T_k$	°C	止裂温度
$K_{ca}$	$N/mm^{3/2}$	止裂韧性



图B1 试样和连接板示意图

## B5 试样

B5.1 试样由启裂板和主拉伸板组成，其形式和尺寸如图B2 所示。

B5.2 试样的厚度和主拉伸板宽度如表B2 所示。

表B2 试样厚度和主拉伸板宽度

厚度, $t_s$	$\leq 100\text{mm}$
宽度 <sup>(1)</sup> , $W_s$	500mm

注：1、主拉伸板宽度也可取为600mm。实际制样时应考虑试验机所需的增加启裂板的宽度。

B5.3 同一批试样应取自同一块钢板。取样时，试样的长度方向原则上应平行于钢板的终轧方向。

B5.4 启裂板的尖锐缺口可采用线切割或压制方法制备。

B5.5 试板应被直接固定到销加载夹具上或用通过连接板焊接起来。整个试样和连接板的长度应不小于  $3W_s$ 。连接板的厚度和宽度应按表 B 3 要求。

表B3 连接板的允许尺寸

连接板的尺寸	厚度	宽度
	$0.8t_s^{(1)} \leq t_r \leq 1.5t_s$	$W_s \leq W_r \leq 2W_s$

注1：若连接板的厚度 $t_r$ 小于试样厚度，评估时应力波的反映将偏于安全。因此，考虑到实际情况，为了进行试验，厚度的下限取为 $0.8t_s$

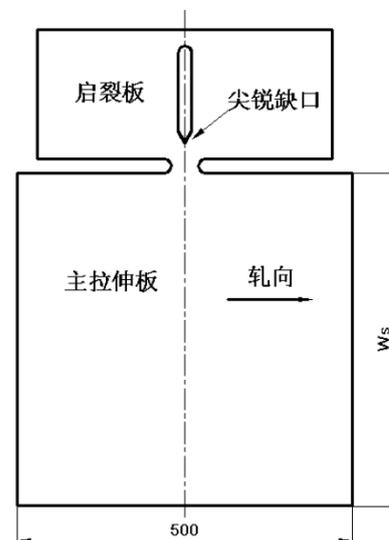
## B6 温度场的建立

B6.1 将试样启裂板缺口处冷却至低温。

B6.2 在主拉伸板中建立梯度型温度场，使 $0.3W_s$ - $0.7W_s$  范围内宽度方向中心线上的温度梯度为 $0.25^\circ\text{C}/\text{mm} \sim 0.35^\circ\text{C}/\text{mm}$ 。

## B7 试验机

B7.1 双重拉伸止裂试验可以采用卧式或立式拉伸试验机，试验机施加载荷应平稳、无冲击和颤动现象。



图B2 试样形式和尺寸

B7.2 试验机载荷保持时间不应少于30 秒，在30 秒内载荷波动范围应小于试验机最大负荷的5%。

B7.3 试验机加载时，试样前、后（或上、下）夹头的连线与拉伸载荷的轴线应基本重合，偏差不应超过15mm。

B7.4 夹头间距应不小于2000mm。

## B8 试验步骤

B8.1 将试样与连接板焊接在一起。

B8.2 在试样表面宽度方向中心线上焊接热电偶，间距为50mm。如果预计试样扩展路径会发生偏离，应在与中心线相距100mm 处以相同间距焊接热电偶。

B8.3 将焊接后的试样和连接板整体吊装到试验机钳口处，安装副拉伸装置。

B8.4 对试样启裂板缺口处进行冷却。

B8.5 待温度梯度达到要求后，应保温至少10 分钟。

B8.6 对试样施加主拉伸载荷，载荷保持时间应不少于30 秒，然后启动副拉伸装置，至试板启裂。

B8.7 当裂纹从启裂板启裂、扩展进入试验板并发生止裂后，对副拉伸装置和主拉伸装置进行卸载。

B8.8 取下副拉伸装置，对试样重新加载直至试样断裂。

B8.9 从试验机钳口中取下试样。

B8.10 对断裂后的主拉伸板中心裂纹止裂长度进行测量。

## B9 试验结果

B9.1 裂纹止裂长度 $a$  为靠近启裂板的主拉伸板边缘到中心裂纹止裂处的距离。

B9.2 将主拉伸板上热电偶所测温度与热电偶位置的关系绘成曲线，采用插值法确定中心裂纹止裂位置处的温度即止裂温度 $T_k$ 。

B9.3 根据主拉伸载荷和试样的宽度、厚度确定主拉伸应力 $\sigma$ 。

B9.4 按下式确定止裂韧性 $K_{ca}$ ：

$$K_{ca} = \sigma \sqrt{\pi a} \cdot \sqrt{\left(\frac{2W_s}{\pi a}\right) \tan\left(\frac{\pi a}{2W_s}\right)}$$

## B10 试验报告

B10.1 试验报告应包含：

(a) 试验材料：材料牌号、炉批号或编号、规格；

(b) 试验机规格：试验机的能力，销之间的距离（ $L_P$ ）；

(c) 加载夹具的尺寸：连接板板厚（ $T_r$ ）、连接板宽度（ $W_r$ ）、包括连接板的试样长度（ $L_S + 2L_r$ ）；

(d) 试样尺寸：板厚度（ $t_s$ ）、试样的宽度（ $W_s$ ）和长度（ $L_s$ ）；

(e) 试验条件：试验主拉伸应力、温度梯度分布（图或表）；

(f) 试验结果：止裂长度（ $a_a$ ），止裂点处的温度（ $T_k$ ），脆性裂纹止裂韧性（ $K_{ca}$ ）；

(g) 动态测量结果（如果进行测量）：裂纹扩展速率，应变变化；

(h) 试样照片：断裂路径，断裂表面。

B10.2 试验结果应满足以下条件：

(1) 裂纹止裂位置应位于图 3 所示阴影区域内。

(2) 裂纹扩展过程中不应发生明显分叉。

若试验结果不满足上述条件，则该结果仅作为参考值。

B10.3 从多于 3 点的有效测量结果，在阿累尼乌斯图(单对数图)上确定近似线性方程，以分别计算期望温度下的  $K_{ca}$  值和期望许用应力下的止裂温度  $T_k$ 。在这种情况下，其两侧均应有数据，即围绕评估的温度，即有高温也有低温数据。

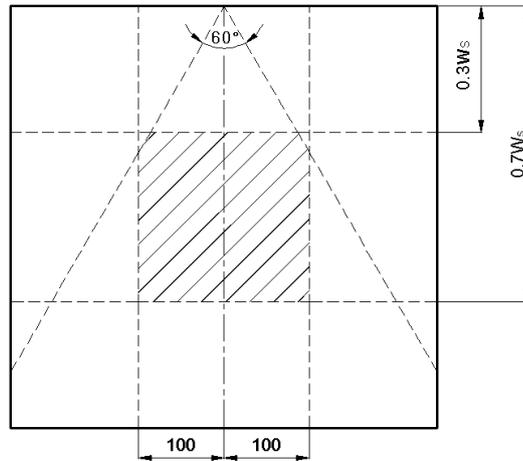


图 B3 裂纹有效止裂区域

## 附录 C H47 钢认可试验的试样

	试验	试样方向	取样部位	数量	备注	
母材力学性能试验	化学成分分析		熔炼、板头、板尾	各一		
	拉伸试验	纵向、横向	头部、尾部	各一		
	弯曲试验	纵向、横向	头部、尾部	各一		
	夏比冲击试验	纵向试样(头部、尾部)	板厚 1/4 处 板厚中间处(对厚度大于 40mm)	每个位置各取一组 3 个试样	至少进行四组试验, 其中低于申请钢级冲击试验温度的不少于两组。除确定冲击功外, 还应报告侧膨胀值和断面纤维率, 并绘制曲线, 确定脆性转变温度(采用断面纤维率50%所对应的温度为脆性转变温度)并提供冲击试样的断口照片。	
		横向试样(头部、尾部)	板厚 1/4 处 板厚中间处(对厚度大于 40mm)			
	应变时效夏比冲击试验	纵向试样(头部)	板厚 1/4 处 板厚中间处(对厚度大于 40mm)	每个位置各取一组 3 个试样		试验前变形 5%, 随后加热至 250℃, 保温 1h。冲击试验的温度按试验材料等级。
	脆性断裂启裂试验	横向试样	板厚 1/4 处(尽可能全厚度)	深缺口试验或 CTOD 试验。		CTOD 试验方法见《材料与焊接规范》第 1 篇第 2 章第 8 节。报告试验结果。
落锤试验	横向	板的一端		试验方法见《材料与焊接规范》第 1 篇第 2 章第 10 节, 确定无塑性转变温度并报告。		
脆性裂纹止裂试验		板的一端		ESSO 试验或双重拉伸试验。详见本《指南》附件 1 或 2。		
母材金相	硫印		坏料和成品			选锭顶部; 对连铸坯, 任意取。
	低倍		板的一端			
	显微组织		板的两端			
母材焊接性能试验	接头横向拉伸试验	横向	全板厚		允许厚度等分分层取样, 试验后计算平均值。	
	夏比 V 缺口冲击试验	纵向试样	板厚 1/4 处 焊缝根部处		熔合线、热影响区 2、5、20mm 处各四组, 其中低于申请钢级冲击试验温度的不少于两组	
	斜 Y 型焊接裂纹试验	横向	全板厚		报告建议的预热温度。	
	脆性断裂启裂试验	纵向试样	板厚 1/4 处		取厚度 50mm 试样, 测定熔合线和距熔合线 2mm 处的 CTOD 值。	