目 录

[1 绪论 1](#_Toc532214856)

[1.1 选题背景 1](#_Toc532214857)

[1.2 文献综述 1](#_Toc532214858)

[1.2.1 角焊缝研究现状 1](#_Toc532214859)

[1.2.2 正面角焊缝和侧面角焊缝研究现状 1](#_Toc532214860)

[1.2.3 不同焊缝与加载方向的角焊缝承载力研究现状 1](#_Toc532214861)

[1.2.4 参数影响 2](#_Toc532214862)

[1.3 存在的问题 2](#_Toc532214863)

[1.4 本文研究内容 3](#_Toc532214864)

[2 高强钢Q890角焊缝试验方案 3](#_Toc532214865)

[2.1 引言 3](#_Toc532214866)

[2.1.1 高强钢角焊缝力学性能的研究现状 3](#_Toc532214867)

[2.1.2 角焊缝设计规范 4](#_Toc532214868)

[2.1.3 研究目的 5](#_Toc532214869)

[2.2 试件设计及数量 5](#_Toc532214870)

[2.2.1 试件设计——0°、15°、30°、45°D 6](#_Toc532214871)

[2.2.2 试件设计——45°S 6](#_Toc532214872)

[2.2.3 试件设计——60° 7](#_Toc532214873)

[2.2.4 试件设计——75° 7](#_Toc532214874)

[2.2.5 试件设计——90° 8](#_Toc532214875)

[2.3 试件尺寸记录 9](#_Toc532214876)

[2.3.1 断前测量 9](#_Toc532214877)

[2.3.2 断后测量 11](#_Toc532214878)

[2.3.3 试件断口 13](#_Toc532214879)

[2.4 试验过程 17](#_Toc532214880)

[2.5 试验结果 18](#_Toc532214881)

[2.5.1 断裂角度汇总 18](#_Toc532214882)

[2.5.2 极限强度汇总 19](#_Toc532214883)

[2.5.3 承载能力与变形能力 20](#_Toc532214884)

[3 矩形缺口试验总结 1](#_Toc532214885)

[3.1 引言 1](#_Toc532214886)

[3.2 试件设计及数量 1](#_Toc532214887)

[3.3 试验结果 2](#_Toc532214888)

# 绪论

## 选题背景

## 文献综述

### 角焊缝研究现状

从19世纪30年代到现在的大多数关于角焊缝的研究是对正面角焊缝和侧面角焊缝的力学性能研究。正面角焊缝决定了角焊缝的承载力上限和延性性能的下限，而侧面角焊缝决定了角焊缝的承载力下限和延性性能的上限。Butler和Kulak（1971），Clark(1971), Holtz and Harre, Swannell and Skewes (1979a)， Biggs (1981)， Neis (1985) 和 Marsh (1985)等学者也进行了角焊缝在不同加载角度下的试验研究，而这些试验研究都是针对母材为普通钢材的角焊缝。

### 正面角焊缝和侧面角焊缝研究现状

Spraragen and Claussen (1942)对423个正面角焊缝和416个侧面角焊缝的加载试验进行研究，发现侧面角焊缝有截面上的最大剪应力是正面角焊缝的60%至100%。无论焊缝是受拉还是受压正面角焊缝和侧面角焊缝都是有足够的承载力的，正面角焊缝试验数据的离散性要大于侧面角焊缝。

Archer et al. (1959) 进行两个正面和两个侧面角焊缝试验，发现正面角焊缝的剪切强度是侧面角焊缝的1.59倍，正面角焊缝的断裂面角度接近侧面角焊缝，但是小于45°。

Naka and Kato (1966)对18个正面角焊缝试件进行了试验和理论研究，试件包括3种类型的焊接方式，2种焊条，每种类型的试件制作三个，试验记录了材料特性、荷载、变形和焊缝断裂面角度。最后用五种不同的理论预测试件的极限荷载，这五种理论都低估了正面角焊缝的实际承载力，其中最大剪应力理论预测结果最好。

Ligtenberg (1968)对一个涵盖10个国家的角焊缝受拉的国际试验进行统计分析，发现正面角焊缝的承载强度是侧面角焊缝的1.59倍。

Higgins and Preece (1969)做了168个角焊缝的试验，极限荷载和断裂面并未给出，但从已发表的论文来看，正面角焊缝的平均安全系数是侧面角焊缝的1.41-1.54倍。

国际焊接学会(1980)发表了正面和侧面角焊缝的力-位移荷载曲线，提出正面与侧面角焊缝的强度比是1.22，侧面角焊缝的变形能力是正面角焊缝的2倍。

### 不同焊缝与加载方向的角焊缝承载力研究现状

Freeman (1932), Hankins andAllan (1934), Vandeperre 和Joukoff (1939) 在早期的试验研究中发现焊缝与加载方向处在正面角焊缝和侧面角焊缝之间的角焊缝试件在焊吼有效截面最大应力也处在正面角焊缝与侧面角焊缝之间。此处应力的定义仅为最大荷载除以有效截面积，尽管断裂面与有效截面积不完全重合。然而这些研究并未建立角焊缝强度与加载角度的关系。

Butler and Kulak (1971)做了23个6mm焊脚尺寸ER60焊条的角焊缝试件来研究角焊缝强度与加载角度之间的关系。文献提出了角焊缝极限强度和最大变形与加载角度的经验公式，这奠定了后来CISC（1984）研究的基础，焊缝的极限强度随着加载角度的增大而增强，正面角焊缝的极限强度是侧面角焊缝的1.45倍，侧面角焊缝比正面角焊缝有更多的变形能力。

Clark (1971)发表了8mm角焊缝的力位移曲线，理论模型低估了真实强度。Clark提到焊缝真实和理论强度的差异是由于焊缝接头搭接板与焊接板之间的约束，然而没有给出更具体的细节描述。

Swannell and Skewes (1979a)进行了不同加载角度下的受压试验，正面角焊缝受拉试验的极限强度与受压试验类似，但是极限强度对应的变形能力更小。

Biggs (1981)总结了Crofts 和Higgs的试验结果，断裂面角度随着加载角度变化，并且提出了断裂面平均拉应力和剪应力的椭圆关系。Crofts 和Higgs采用“梁”类型的加载方式，这种加载方式在焊缝处产生纵向和横向应力的组合。每个试件的加载角度都是变化的，破坏时的加载角度是可以估计的，试验材料特性并未给出具体描述。

Neis (1985) 采用rate-dependent塑性理论，基于Kamtekar (1982)提出的平均应力分布得到角焊缝的理论荷载位移曲线，并与Butler和Kulak (1971)的正面角焊缝与侧面角焊缝荷载位移曲线相吻合。其余加载角度表现出的差异与Kamtekar提出的平均应力分布的不准确的初始假设有关。

Marsh (1985)基于两个未处于平衡状态的自由体的受力分析图得到角焊缝极限强度与加载角度的理论关系。所有的角焊缝不管加载方向断裂面的理论分析与试验观察不一致。

Kennedy and Kriviak (1985)提出了两个对于同时承受纵向和横向力的角焊缝的作用关系。

### 参数影响

（1）焊吼尺寸厚度

（2）母材强度

（3）焊缝长度

### 断裂预测

钢材由于微观结构、应力条件和温度的不同，可以有多种断裂模式，如稳定的延性断裂和不稳定的脆性断裂[3]-[6]，这些不同的断裂模式是由不同条件下起作用的断裂机制所引起的。结构工程中普遍使用的钢材经常出现延性断裂并伴随着大量的塑性变形，这种类型的断裂大体有空穴形核，扩张和聚合几个过程[7] [8]，如图1.1[9]所示：

## 存在的问题

## 本文研究内容

# 高强钢Q890角焊缝试验方案

## 引言

众所周知，角焊缝的力学性能与焊缝和荷载二者之间的夹角有很大关系，试验研究发现正面角焊缝（焊缝与加荷方向垂直）较侧面角焊缝（焊缝与加荷方向平行）有更高的强度，但是更差的接头变形能力。本试验拟研究在不同强度焊丝、不同焊缝与加荷的方向等影响下，角焊缝的力学性能；以及对目前各国规范对正面角焊缝承载能力设计的适用性进行分析。本次试验以高强钢 钢Q890为母材，ER120为焊材，考虑焊缝与受力方向的夹角，选取0°（正面角焊缝）、15°、30°、45°D（单边双条焊缝）、45°S（单边单条焊缝）、60°、75°、90°（侧面角焊缝）作为试验设计变量，每个角度得试件加工3个，共计24个。

### 高强钢角焊缝力学性能的研究现状

Miazga 和Kennedy[1]提出了基于最大剪应力失效准则来预测角焊缝强度的方法，并把理论预测的结果与自己的试验数据以及其他学者（Butler 和Kulak[2]等）的工作做了对比。Lesik 和Kennedy[3]在此基础上又做了一系列的试验工作，并且提出了一个简化的计算公式，通过该简化公式的预测结果与Miazga 和Kennedy[1]的预测结果误差在1.5%以内，该简化公式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.1) |

式中，为待求的任意角度荷载作用下的角焊缝的承载力； 为加载方向与焊缝平行时的角焊缝的承载力，此时为侧面角焊缝；表示加载方向与焊缝的夹角。式(1.1)被加拿大钢结构设计规范（CSA-S16）引用，用来预测角焊缝的承载能力；目前也被美国钢结构协会规程（AISC 1999）的附录J 中采用，通过上式可知，正面角焊缝的强度是相同尺寸侧面角焊缝强度的1.5 倍。但是Miazga 和Kennedy[1]仅仅研究了一种焊丝在一种焊接工艺下（电弧焊SMAW）的力学性能，不具代表性。除了焊丝的强度和延性对接头力学性能造成的影响外，还有许多因素对角焊缝的性能可能造成不同程度的影响，包括：

（1）焊丝制造商

虽然不同焊丝都能在力学性能上达到材料标准，但是不同制造商生产的焊丝可能具有不同的化学成分，这可能带来角焊缝性能的差异。

（2）焊工技能及焊接工艺

焊工的技能体现在焊接的每一个过程中，包括调试的焊接电压电流、焊接的预热温度、冷却速率、送丝速度等，这些差异对焊缝性能也会带来一定的影响。

（3）焊脚尺寸及焊道数

焊道数的影响主要表现在，破坏可能出现于相邻焊道之间的焊接面。

（4）断裂前母材是否屈服

如果在焊缝断裂前母材没有进入屈服，由于母材的约束作用更强，可能使得焊接接头具有更高的承载能力。

（5）温度

低温造成材料的韧性降低，韧性的改变可能造成角焊缝强度和延性的改变。

（6）焊缝与加荷方向

此处明确一个概念，加载方向与焊缝垂直的角焊缝称为正面角焊缝，加载方向与焊缝平行的角焊缝称为侧面角焊缝。

（7）高强钢及高强焊丝的影响

之前的研究大都着眼于普通钢材，由于高强钢屈强比高、延性差，接头强度的预测公式可能与普通钢材不同。

### 角焊缝设计规范

欧洲规范Eurocode 3 Part 1-12、美国规范AWSD1.1/D1.1M2015以及新版中国规范GB50017-2017中均有针对高强钢角焊缝连接的相应设计条款，适用的钢材等级分别为S690（名义屈服强度690MPa）,ASTM A514（名义屈服强度690MPa）,Q460（名义屈服强度460MPa）,具体条款如下：

* 欧洲规范

Eurocode 3 Part 1-8 和Eurocode 3 Part 1-12给出了高强钢角焊缝的承载力计算公式

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.1) |

式中，为焊缝材料的名义极限强度；为焊吼尺寸，取为；*l*为焊缝长度；为相关参数，对于高强钢材取值为1.0；为针对高强钢的强度折减系数，取为1.25. 为理论破坏面，也就是焊吼对应的破坏面。

* 美国规范

美国钢结构焊接规范AWSD1.1/D1.1M2015给出了高强钢角焊缝的承载力计算公式

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.2) |

* 中国规范

中国钢结构设计标准GB 50017-2017给出了Q460及其以内强度等级的钢材的角焊缝的承载力设计公式如下：

对于正面角焊缝：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.3) |

对于侧面角焊缝：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.4) |

在各种力的综合作用下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.5) |

式中，和分别表示垂直于焊缝长度方向的正应力和沿焊缝长度方向的剪应力；为角焊缝的强度设计值，按公式计算，表示焊缝的极限强度；表示正面角焊缝的强度设计值增大系数，静力荷载下取为1.22，汇总公式（1.3）-（1.5），可以得到在任意加载角度下，接头承载力设计值为

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2.6) |

### 研究目的

本章研究目的如下：

（1）提供关于高强钢角焊缝力学性能的试验数据，为高强钢的工程应用提供理论支持。

（2）与目前美国规范、欧洲规范、中国规范中关于正面角焊缝承载能力预测值进行对比，验证目前预测公式对高强钢正面角焊缝的预测精度，提出改进或修改建议。

（3）影响正面角焊缝力学性能的因素很多，某些因素难以避免或难以研究清楚，比如不同焊工的技能差异等，本文在保证焊接质量的前提下，研究对正面角焊缝力学性能有较大影响可能的因素进行试验，参数如下：

a. 焊丝的强度；

b. 焊脚尺寸及焊道数；

c. 焊接根部缺口方向；

## 试件设计及数量

试件编号x-y-z-n的命名规则如下：x表示母材强度，y表示焊材强度，z表示焊缝与加载力方向的角度，n表示重复性试件编号，试件编号汇总如下表 1，共加工24个试件。

表 1 试件编号汇总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试件类型 | 编号 | 状态 | 试件类型 | 编号 | 状态 |
| 0° | 890-120-00-1 | 切平 | 45°S | 890-120-45-1s | 切平 |
| 890-120-00-2 | 切平 | 890-120-45-2s | 切平 |
| 890-120-00-3 |  | 890-120-45-3s |  |
| 15° | 890-120-15-1 | 切平 | 60° | 890-120-60-1 | 切平 |
| 890-120-15-2 | 切平 | 890-120-60-2 | 切平 |
| 890-120-15-3 |  | 890-120-60-3 |  |
| 30° | 890-120-30-1 | 切平 | 75° | 890-120-75-1 | 切平 |
| 890-120-30-2 | 切平 | 890-120-75-2 | 切平 |
| 890-120-30-3 |  | 890-120-75-3 |  |
| 45°D | 890-120-45-1d | 切平 | 90° | 890-120-90-1 | 切平 |
| 890-120-45-2d | 切平 | 890-120-90-2 | 切平 |
| 890-120-45-3d |  | 890-120-90-3 |  |

### 试件设计——0°、15°、30°、45°D

（1）0°、15°、30°、45°D试件每个角度加工3个，试件尺寸如下图。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图 1 | 图 2 |
|  |  |
| 图 3 | 图 4 |

### 试件设计——45°S

45°S角焊缝试件的加工步骤如下：

（1）焊接出一块如图 5的搭接接头焊件板；

（2）在焊件两端各切去50mm，消除起弧和灭弧的影响；

（3）每块搭接接头焊件板切割加工成3个如图 6所示的试件，总共3个试件。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图 5 | 图 6 |

### 试件设计——60°

60°角焊缝试件的加工步骤如下：

（1）焊接出一块如图 7的搭接接头焊件板；

（2）在焊件两端各切去50mm，消除起弧和灭弧的影响；

（3）每块搭接接头焊件板切割加工成3个如图 8所示的试件，总共3个试件。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图 7 | 图 8 |

### 试件设计——75°

75°角焊缝试件的加工步骤如下：

（1）焊接出一块如图 9的搭接接头焊件板；

（2）在焊件两端各切去50mm，消除起弧和灭弧的影响；

（3）每块搭接接头焊件板切割加工成3个如图 10所示的试件，总共3个试件。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图 9 | 图 10 |

### 试件设计——90°

90°角焊缝试件的加工步骤如下：

（1）焊接出如图 11的搭接接头焊件；

（2）在焊件两端各切去50mm，消除起弧和灭弧的影响；

（3）切割加工成6个如图 12所示的试件。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图 11 | 图 12 |

## 试件尺寸记录

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图 13 试验前试件测量 | 图 14 试验后试件测量 |

### 断前测量

针对角度为45°S（单边单条焊缝）、60°、75°、90°（正面角焊缝）的试件，记录每个试件两条焊缝信息，包括剪切边、受拉边、斜边、焊缝长度等数据，记录表 2如下；

表 2单边单条角焊缝实测平均焊脚尺寸记录（mm）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 破坏前 | | | | | | | |
|  | 有字的一边 | | | | 无字的一边 | | | |
|  | 剪切边 | 受拉边 | 斜边长度/45° | 焊缝长度 | 剪切边 | 受拉边 | 斜边长度/45° | 焊缝长度 |
| 890-120-45S-1 | 5.10 | 5.16 | 7.49 | 70.17 | 5.00 | 4.73 | 7.27 | 69.85 |
| 890-120-45S-2 | 4.87 | 5.25 | 7.28 | 69.30 | 5.43 | 4.95 | 7.59 | 68.85 |
| 890-120-45S-3 | 6.07 | 4.73 | 5.23 | 69.67 | 7.70 | 5.00 | 8.53 | 68.78 |
| 890-120-60-1 | 5.40 | 5.13 | 7.32 | 57.73 | 6.00 | 4.53 | 7.41 | 58.91 |
| 890-120-60-2 | 5.87 | 4.87 | 7.14 | 56.05 | 5.50 | 4.53 | 7.70 | 57.74 |
| 890-120-60-3 | 5.17 | 4.63 | 5.93 | 56.93 | 6.30 | 4.17 | 6.30 | 57.03 |
| 890-120-75-1 | 5.60 | 5.03 | 6.82 | 51.56 | 5.87 | 4.53 | 7.43 | 51.63 |
| 890-120-75-2 | 5.23 | 4.77 | 7.07 | 51.00 | 5.67 | 4.93 | 7.52 | 51.71 |
| 890-120-75-3 | 5.77 | 4.10 | 5.22 | 51.48 | 7.50 | 4.13 | 5.80 | 51.72 |
| 890-120-90-1 | 4.53 | 4.67 | 6.81 | 50.48 | 5.07 | 4.53 | 7.10 | 50.40 |
| 890-120-90-2 | 5.23 | 4.10 | 6.42 | 49.13 | 5.57 | 4.93 | 6.54 | 49.25 |
| 890-120-90-3 | 5.27 | 4.37 | 4.90 | 49.61 | 6.60 | 4.90 | 6.90 | 49.99 |

针对角度为0°（侧面角焊缝）、15°、30°、45°D（单边双条焊缝）的试件，记录每个试件四条焊缝信息，包括剪切边、受拉边、斜边、焊缝长度等数据，记录表 3如下；

表 3单边双条角焊缝实测平均焊脚尺寸记录（mm）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1号边 | | | | 2号边 | | | |
|  | 剪切边 | 受拉边 | 斜边长度/45° | 焊缝长度 | 剪切边 | 受拉边 | 斜边长度/45° | 焊缝长度 |
| 890-120-0-1 | 5.27 | 5.43 | 7.16 | 27.48 | 5.70 | 5.00 | 7.59 | 27.55 |
| 890-120-0-2 | 5.73 | 4.90 | 7.36 | 29.28 | 5.13 | 4.60 | 7.73 | 27.79 |
| 890-120-0-3 | 7.83 | 5.87 | 7.30 | 32.51 | 4.73 | 5.1 | 4.97 | 302 |
| 890-120-15-1 | 4.8 | 4.8 | 7.82 | 42.02 | 5.53 | 4.63 | 7.58 | 42.11 |
| 890-120-15-2 | 4.57 | 4.37 | 7.37 | 44.68 | 5 | 5.45 | 7.55 | 44.61 |
| 890-120-15-3 | 6.37 | 5.37 | 7.73 | 44.7 | 5.23 | 5.97 | 5.8 | 36.14 |
| 890-120-30-1 | 4.77 | 4.13 | 7.76 | 53.46 | 5 | 4.9 | 7.84 | 54.02 |
| 890-120-30-2 | 4.9 | 4.1 | 8.12 | 55.71 | 5 | 5.37 | 7.89 | 52.88 |
| 890-120-30-3 | 5.2 | 4.17 | 6.13 | 55.19 | 4.63 | 4.90 | 4.83 | 61.55 |
| 890-120-45D-1 | 5.03 | 4.9 | 7.28 | 47.86 | 5.2 | 4.8 | 7.25 | 45.12 |
| 890-120-45D-2 | 5.33 | 4.60 | 7.36 | 47.33 | 4.93 | 4.53 | 7.46 | 44.88 |
| 890-120-45D-3 | 6.23 | 4.83 | 6.90 | 46.76 | 5.80 | 5.73 | 7.47 | 50.57 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 3号边 | | | | 4号边 | | | |
|  | 剪切边 | 受拉边 | 斜边长度/45° | 焊缝长度 | 剪切边 | 受拉边 | 斜边长度/45° | 焊缝长度 |
| 890-120-0-1 | 5.23 | 5.43 | 7.35 | 28.1 | 5.13 | 4.40 | 7.50 | 31.58 |
| 890-120-0-2 | 5.40 | 4.63 | 7.28 | 28.17 | 5.50 | 4.93 | 7.40 | 27.98 |
| 890-120-0-3 | 6.23 | 5.83 | 6.13 | 31.49 | 5.53 | 5.73 | 6.1 | 30.51 |
| 890-120-15-1 | 5.93 | 5.8 | 7.81 | 42.33 | 4.5 | 4.07 | 8.1 | 41.41 |
| 890-120-15-2 | 6 | 4.75 | 7.87 | 42.67 | 4.72 | 4.8 | 7.56 | 43.46 |
| 890-120-15-3 | 4.53 | 5.53 | 6.4 | 42.17 | 5.43 | 4.73 | 7.67 | 45.78 |
| 890-120-30-1 | 6.1 | 5.17 | 8.15 | 55.6 | 5 | 5.6 | 8.34 | 53.81 |
| 890-120-30-2 | 5.73 | 5.05 | 8.45 | 55.1 | 5.1 | 5.2 | 8.08 | 55 |
| 890-120-30-3 | 6.00 | 5.93 | 5.67 | 58.56 | 6.37 | 5.53 | 7.33 | 57.29 |
| 890-120-45D-1 | 4.9 | 4.53 | 7.15 | 46.5 | 4.8 | 5.4 | 7.34 | 47.68 |
| 890-120-45D-2 | 5.77 | 4.40 | 7.14 | 44.96 | 4.80 | 4.70 | 6.89 | 46.2 |
| 890-120-45D-3 | 5.60 | 5.30 | 7.37 | 45.96 | 6.17 | 5.50 | 7.97 | 45.65 |

### 断后测量

针对角度为45°S（单边单条焊缝）、60°、75°、90°（正面角焊缝）的试件，记录每个试件两条焊缝信息，包括剪切边、断裂面尺寸、斜边、断裂角度、焊根熔透（焊根熔透尺寸是指试验前剪切边长度与断后剪切边长度的差值）等数据，记录表 4如下；

表 4单边单条角焊缝焊后平均焊脚尺寸记录（mm）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 破坏后 | | | | | | | |
|  | 有字的一边 | | | | 无字的一边 | | | |
|  | 剪切边 | 断裂面 | 斜边长度/45° | 断裂角度 | 剪切边 | 受拉边 | 斜边长度/45° | 断裂角度 |
| 890-120-45S-1 | 5.92 | 4.64 | 2.77 | 26.56 | 5.96 | 4.31 | 2.47 | 19.46 |
| 890-120-45S-2 | 6.02 | 4.74 | 2.74 | 26.19 | 5.83 | 4.69 | 2.22 | 20.88 |
| 890-120-45S-3 | 6.35 | 4.72 | 4.32 | 43.34 | 6.30 | 4.06 | 5.04 | 53.10 |
| 890-120-60-1 | 5.19 | 4.11 | 1.95 | 19.81 | 7.07 | 4.35 | 5.29 | 48.31 |
| 890-120-60-2 | 5.30 | 4.33 | 2.02 | 19.17 | 7.16 | 4.77 | 3.69 | 23.85 |
| 890-120-60-3 | 5.93 | 5.18 | 2.77 | 27.87 | 8.08 | 5.74 | 5.09 | 38.69 |
| 890-120-75-1 | 5.76 | 4.41 | 2.20 | 19.94 | 6.37 | 3.74 | 3.32 | 23.28 |
| 890-120-75-2 | 6.04 | 4.28 | 2.21 | 14.89 | 6.68 | 4.87 | 2.73 | 20.33 |
| 890-120-75-3 | 6.28 | 4.84 | 1.89 | 12.32 | 8.70 | 5.38 | 4.76 | 28.60 |
| 890-120-90-1 | 5.15 | 4.07 | 2.24 | 24.13 | 5.45 | 4.32 | 2.51 | 25.18 |
| 890-120-90-2 | 5.44 | 4.11 | 2.14 | 19.46 | 5.56 | 4.26 | 2.48 | 24.56 |
| 890-120-90-3 | 6.96 | 5.60 | 2.22 | 16.03 | 6.23 | 5.20 | 2.52 | 23.51 |

针对角度为0°（侧面角焊缝）、15°、30°、45°D（单边双条焊缝）的试件，记录每个试件四条焊缝信息，包括剪切边、断裂面尺寸、自由边长度、断裂角度等数据，记录表 5如下；

表 5单边双条角焊缝焊后平均焊脚尺寸记录（mm）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1号边 | | | | 2号边 | | | |
|  | 剪切边 | 断裂面 | 斜边长度/45° | 断裂角度 | 剪切边 | 受拉边 | 斜边长度/45° | 断裂角度 |
| 890-120-0-1 | 3.87 | 2.44 | 2.72 | 44.29 | 5.50 | 3.29 | 3.15 | 28.78 |
| 890-120-0-2 | 5.19 | 3.40 | 4.63 | 62.72 | 5.23 | 4.47 | 3.44 | 40.52 |
| 890-120-0-3 | 7.76 | 4.34 | 7.28 | 67.38 | 5.88 | 4.79 | 4.25 | 44.99 |
| 890-120-15-1 | 6.09 | 3.57 | 3.47 | 29.62 |  |  |  |  |
| 890-120-15-2 | 4.58 | 3.78 | 2.85 | 38.20 | 5.32 | 3.44 | 4.16 | 51.89 |
| 890-120-15-3 | 5.51 | 4.31 | 2.24 | 22.19 |  |  |  |  |
| 890-120-30-1 | 4.81 | 4.36 | 3.09 | 39.11 | 5.16 | 3.47 | 4.61 | 60.83 |
| 890-120-30-2 | 5.72 | 4.69 | 3.54 | 37.56 | 5.15 | 3.08 | 5.00 | 70.10 |
| 890-120-30-3 | 5.35 | 4.37 | 4.00 | 47.36 | 4.88 | 4.20 | 3.31 | 40.42 |
| 890-120-45D-1 | 5.08 | 2.84 | 4.44 | 60.45 | 5.45 | 3.52 | 4.33 | 52.38 |
| 890-120-45D-2 | 6.02 | 4.12 | 2.52 | 17.89 | 5.23 | 3.72 | 2.37 | 24.21 |
| 890-120-45D-3 | 5.71 | 5.24 | 2.76 | 25.31 | 6.14 | 4.78 | 2.54 | 23.00 |
|  | 3号边 | | | | 4号边 | | | |
|  | 剪切边 | 受拉边 | 斜边长度/45° | 断裂角度 | 剪切边 | 受拉边 | 斜边长度/45° | 断裂角度 |
| 890-120-0-1 | 5.15 | 4.00 | 3.24 | 38.88 | 7.94 | 4.34 | 7.30 | 65.45 |
| 890-120-0-2 | 4.91 | 4.26 | 3.64 | 46.07 | 5.27 | 3.34 | 4.22 | 53.25 |
| 890-120-0-3 | 6.12 | 4.75 | 3.47 | 33.44 | 5.03 | 4.19 | 3.30 | 40.60 |
| 890-120-15-1 | 5.81 | 2.78 | 4.29 | 44.67 |  |  |  |  |
| 890-120-15-2 | 4.71 | 3.27 | 3.49 | 47.91 | 4.33 | 3.92 | 3.03 | 42.33 |
| 890-120-15-3 |  |  |  |  | 6.15 | 3.95 | 6.19 | 71.05 |
| 890-120-30-1 | 6.29 | 3.52 | 4.61 | 46.10 | 5.62 | 4.62 | 4.45 | 50.41 |
| 890-120-30-2 | 5.46 | 2.98 | 5.55 | 75.80 | 5.54 | 4.63 | 4.06 | 46.10 |
| 890-120-30-3 | 6.18 | 5.64 | 4.26 | 41.91 | 6.05 | 3.30 | 5.40 | 63.38 |
| 890-120-45D-1 | 4.94 | 3.22 | 3.06 | 37.57 | 6.04 | 4.68 | 2.05 | 15.36 |
| 890-120-45D-2 | 5.84 | 4.72 | 4.16 | 45.18 | 5.71 | 3.48 | 3.79 | 38.12 |
| 890-120-45D-3 | 6.42 | 4.81 | 2.20 | 13.73 | 6.46 | 4.80 | 2.57 | 19.90 |

### 试件断口

|  |  |
| --- | --- |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5847.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5850.JPG |
| 890-120-45-1D |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5858.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5855.JPG |
| 890-120-45-2D |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5888.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5885.JPG |
| 890-120-45-3D |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5865.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5862.JPG |
| 890-120-30-1 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5869.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5872.JPG |
| 890-120-30-2 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5890.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5895.JPG |
| 890-120-30-3 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5874.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5875.JPG |
| 890-120-15-1 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5879.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5882.JPG |
| 890-120-15-2 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5900.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5901.JPG |
| 890-120-15-3 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5903.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5906.JPG |
| 890-120-00-1 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5910.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5908.JPG |
| 890-120-00-2 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5916.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5913.JPG |
| 890-120-00-3 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5966.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5972.JPG |
| 890-120-90 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5980.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5987.JPG |
| 890-120-75 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5967.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5976.JPG |
| 890-120-60 |  |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5979.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5974.JPG |
| 890-120-45S |  |

## 试验过程

本试验在同济大学南校区的结构实验室进行，加载机采用液压伺服控制的MTS多功能试验机，加载能力为2000kN。加载全程采用0.5mm/min 的位移控制来模拟静力加载过程，应变及位移数据每秒采集一个点。

ARAMIS Digitai Image Correlation（DIC）-ARAMIS三维光学全场变形和应变测量分析系统（简称“DIC测量系统”）是一种全新的应变位移测量手段。在物理力学性能测试中，使用DIC系统，有助于深入了解材料和零件的力学行为和性能，特别适用于测量瞬时和局部应变。DIC技术采用非接触测量方式，适用于各种材料的静态和动态试验，获取完整的力学性能参数。

|  |  |
| --- | --- |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5800.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\IMG_5797.JPG |
| 图 15 MTS多功能试验机 | 图 16 DIC试验机 |

试件制作步骤分为：打磨、喷白色底漆、喷黑色散斑漆

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\打磨.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\白漆.JPG | G:\1毕业课题\4试验照片\201804Q890角焊缝试验\黑漆.JPG |
| 图 17 试件打磨 | 图 18 喷白色底漆 | 图 19 喷黑色散斑漆 |

## 试验结果

### 断裂角度汇总

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 试件类型 | 编号 | 状态 | 断裂角度 | 平均值 |
| 0° | 890-120-00-1 | 切平 | 44.35 | 47.20 |
| 890-120-00-2 | 切平 | 50.64 |
| 890-120-00-3 |  | 46.61 |
| 15° | 890-120-15-1 | 切平 | 37.15 | 42.95 |
| 890-120-15-2 | 切平 | 45.08 |
| 890-120-15-3 |  | 46.62 |
| 30° | 890-120-30-1 | 切平 | 49.11 | 51.59 |
| 890-120-30-2 | 切平 | 57.39 |
| 890-120-30-3 |  | 48.27 |
| 45°D | 890-120-45-1d | 切平 | 41.44 | 31.09 |
| 890-120-45-2d | 切平 | 31.35 |
| 890-120-45-3d |  | 20.48 |
| 45°S | 890-120-45-1s | 切平 | 23.01 | 31.59 |
| 890-120-45-2s | 切平 | 23.54 |
| 890-120-45-3s |  | 48.22 |
| 60° | 890-120-60-1 | 切平 | 34.06 | 29.62 |
| 890-120-60-2 | 切平 | 21.51 |
| 890-120-60-3 |  | 33.28 |
| 75° | 890-120-75-1 | 切平 | 21.61 | 19.89 |
| 890-120-75-2 | 切平 | 17.61 |
| 890-120-75-3 |  | 20.46 |
| 90° | 890-120-90-1 | 切平 | 24.65 | 22.14 |
| 890-120-90-2 | 切平 | 22.01 |
| 890-120-90-3 |  | 19.77 |

### 极限强度汇总

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试件类型 | 编号 | 极限强度kN | 平均值kN | 用时/s | 用时/min |
| 0° | 890-120-00-1 | 295.595 | 327.77 | 898 | 15 |
| 890-120-00-2 | 327.981 | 964.5 | 16 |
| 890-120-00-3 | 359.747 | 1020.9 | 17 |
| 15° | 890-120-15-1 | 339.04 | 453.93 | 1022 | 17 |
| 890-120-15-2 | 492.151 | 1149 | 19 |
| 890-120-15-3 | 530.606 | 1193 | 20 |
| 30° | 890-120-30-1 | 426.769 | 504.79 | 1006.2 | 17 |
| 890-120-30-2 | 446.813 | 1070.6 | 18 |
| 890-120-30-3 | 640.8 | 641 | 11 |
| 45°D | 890-120-45-1d | 428.978 | 494.47 | 1085 | 18 |
| 890-120-45-2d | 381.108 | 1022 | 17 |
| 890-120-45-3d | 673.328 | 1334 | 22 |
| 45°S | 890-120-45-1s | 570.227 | 583.75 | 1389.2 | 23 |
| 890-120-45-2s | 561.086 | 1353.3 | 23 |
| 890-120-45-3s | 619.931 | 1503.8 | 25 |
| 60° | 890-120-60-1 | 413.899 | 411.26 | 1166 | 19 |
| 890-120-60-2 | 388.803 | 1117 | 19 |
| 890-120-60-3 | 431.073 | 1210 | 20 |
| 75° | 890-120-75-1 | 421.581 | 409.25 | 1204 | 20 |
| 890-120-75-2 | 357.058 | 1018 | 17 |
| 890-120-75-3 | 449.097 | 1225 | 20 |
| 90° | 890-120-90-1 | 404.388 | 376.77 | 1088 | 18 |
| 890-120-90-2 | 329.407 | 1046 | 17 |
| 890-120-90-3 | 396.511 | 1094.9 | 18 |

### 承载能力与变形能力

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 890-120-90 | 890-120-75 |
|  |  |
| 890-120-60 | 890-120-45S |
|  |  |
| 890-120-45D | 890-120-30 |
|  |  |
| 890-120-15 | 890-120-0 |

焊材采用昆山中冶宝钢焊接材料有限公司生产的AWS A5.28 ER120S-G，焊丝牌号为BHG-5，焊材的化学成分如下表 6，机械性能如下表 7。

表 6 焊材ER120S-G的化学成分

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| C | Si | Mn | P | S | Ni | Mo | Cr |
| 0.09 | 0.74 | 1.73 | 0.006 | 0.003 | 2.29 | 0.58 | 0.33 |

表 7焊材ER120S-G的机械性能

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 屈服强度（MPa） | 抗拉强度（MPa） | 伸长率% | | 冲击功吸收能量(－20℃),J | | | 射线检测 |
| 实测值 | 908 | 1022 | 16.4 | 84 | | 90 | 84 | 合格 |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 890-120-00-1 | 890-120-00-2 |
|  |  |
| 890-120-00-3# |  |
|  |  |
| 890-120-15-1$ | 890-120-15-2 |
|  |  |
| 890-120-15-3 |  |
|  |  |
| 890-120-30-1 | 890-120-30-2 |
|  |  |
| 890-120-30-3 |  |
|  |  |
| 890-120-45-1D | 890-120-45-2D$ |
|  |  |
| 890-120-45-3D |  |
|  |  |
| 890-120-45-1S# | 890-120-45-2S# |
|  |  |
| 890-120-45-3S |  |
|  |  |
| 890-120-60-1# | 890-120-60-2 |
|  |  |
| 890-120-60-3 |  |
|  |  |
| 890-120-75-1 | 890-120-75-2 |
|  |  |
| 890-120-75-3 |  |
|  |  |
| 890-120-90-1 | 890-120-90-2 |
|  |  |
| 890-120-90-3$ |  |

图名中带有#表示由于技术原因，DIC测量系统采集变形信息不完整；

$表示对应的试件发生单边焊缝破坏，如未表示默认试件发生双边焊缝同时破坏。

试验结果讨论：1）相同角度焊缝同切平的试件890-120-X-1/2极限荷载出现明显差异的有三组：15°、45D°、90°。分析其原因：890-120-15-1和890-120-45D-2破坏模式是单边焊缝破坏，890-120-90-2试件初始安装时偏心严重，双方焊缝受力不均匀，导致承载力下降。

2）试件理论承载力与实际承载力发生冲突的有试件890-120-60-3和890-120-90-3，其原因与试件初始安装偏心和试件双边焊缝加工质量不均匀一致有关。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 极限荷载 | 断裂荷载 | 极限荷载对应的变形 | | | | | 断裂荷载对应的变形 | | | | | 荷载比 | 变形比 | 破坏方式 |
|  |  |  | 有字的一边 | 无字的一边 | 平均 | 两侧变形差值 | 差值/平均值 | 有字的一边 | 无字的一边 | 平均 | 两侧变形差值 | 差值/平均值 |  |  |  |
| 890-120-0-1 | 293.946 | 285.319 | 0.596 | 0.552 | 0.574 | 0.044 | 0.077 | 0.715 | 0.671 | 0.693 | 0.044 | 0.063 | 0.971 | 1.207 | 双边 |
| 890-120-0-2 | 327.812 | 290.960 | 0.506 | 0.469 | 0.487 | 0.037 | 0.076 | 0.635 | 0.596 | 0.616 | 0.039 | 0.063 | 0.888 | 1.265 | 双边 |
| 890-120-0-3 | 359.747 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 双边 |
| 890-120-15-1 | 339.013 | 214.655 | 0.079 | 0.135 | 0.107 | 0.056 | 0.523 | 0.114 | 0.230 | 0.172 | 0.116 | 0.674 | 0.633 | 1.611 | 单边 |
| 890-120-15-2 | 492.144 | 314.159 | 0.334 | 0.298 | 0.316 | 0.036 | 0.114 | 0.555 | 0.477 | 0.516 | 0.078 | 0.151 | 0.638 | 1.631 | 双边 |
| 890-120-15-3 | 530.461 | 451.739 | 0.256 | 0.232 | 0.244 | 0.024 | 0.098 | 0.268 | 0.239 | 0.254 | 0.029 | 0.114 | 0.852 | 1.039 | 双边 |
| 890-120-30-1 | 426.655 | 354.767 | 0.061 | 0.060 | 0.061 | 0.001 | 0.016 | 0.061 | 0.061 | 0.061 | 0.000 | 0.000 | 0.832 | 1.001 | 双边 |
| 890-120-30-2 | 446.813 | 437.754 | 0.107 | 0.143 | 0.125 | 0.036 | 0.288 | 0.114 | 0.162 | 0.138 | 0.048 | 0.348 | 0.980 | 1.103 | 双边 |
| 890-120-30-3 | 633.470 | 632.700 | 0.392 | 0.362 | 0.377 | 0.030 | 0.080 | 0.420 | 0.399 | 0.409 | 0.021 | 0.051 | 0.999 | 1.085 | 双边 |
| 890-120-45D-1 | 427.736 | 425.446 | 0.111 | 0.096 | 0.104 | 0.015 | 0.144 | 0.122 | 0.100 | 0.111 | 0.022 | 0.198 | 0.995 | 1.068 | 双边 |
| 890-120-45D-2 | 381.074 | 343.208 | 0.046 | 0.096 | 0.071 | 0.050 | 0.704 | 0.055 | 0.138 | 0.096 | 0.083 | 0.865 | 0.901 | 1.355 | 单边 |
| 890-120-45D-3 | 673.314 | 639.104 | 0.398 | 0.406 | 0.402 | 0.008 | 0.020 | 0.533 | 0.507 | 0.520 | 0.026 | 0.050 | 0.949 | 1.293 | 双边 |
| 890-120-45S-1 | 570.230 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 双边 |
| 890-120-45S-2 | 561.090 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 双边 |
| 890-120-45S-3 | 619.918 | 619.061 | 0.334 | 0.293 | 0.314 | 0.041 | 0.131 | 0.373 | 0.336 | 0.354 | 0.037 | 0.105 | 0.999 | 1.129 | 双边 |
| 890-120-60-1 | 413.900 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 双边 |
| 890-120-60-2 | 388.803 | 353.214 | 0.174 | 0.223 | 0.199 | 0.050 | 0.250 | 0.177 | 0.234 | 0.205 | 0.056 | 0.273 | 0.908 | 1.035 | 双边 |
| 890-120-60-3 | 429.782 | 424.088 | 0.066 | 0.064 | 0.065 | 0.002 | 0.026 | 0.070 | 0.067 | 0.069 | 0.003 | 0.045 | 0.987 | 1.062 | 双边 |
| 890-120-75-1 | 421.506 | 340.486 | 0.243 | 0.230 | 0.237 | 0.013 | 0.055 | 0.247 | 0.233 | 0.240 | 0.015 | 0.061 | 0.808 | 1.015 | 双边 |
| 890-120-75-2 | 357.058 | 347.553 | 0.204 | 0.221 | 0.212 | 0.017 | 0.081 | 0.206 | 0.223 | 0.214 | 0.016 | 0.076 | 0.973 | 1.011 | 双边 |
| 890-120-75-3 | 449.002 | 447.537 | 0.203 | 0.195 | 0.199 | 0.008 | 0.039 | 0.209 | 0.199 | 0.204 | 0.011 | 0.052 | 0.997 | 1.023 | 双边 |
| 890-120-90-1 | 404.293 | 304.214 | 0.209 | 0.310 | 0.259 | 0.101 | 0.391 | 0.242 | 0.377 | 0.310 | 0.135 | 0.437 | 0.752 | 1.194 | 双边 |
| 890-120-90-2 | 329.312 | 292.764 | 0.105 | 0.119 | 0.112 | 0.014 | 0.126 | 0.110 | 0.121 | 0.116 | 0.011 | 0.099 | 0.889 | 1.033 | 双边 |
| 890-120-90-3 | 396.071 | 356.592 | 0.268 | 0.163 | 0.216 | 0.104 | 0.484 | 0.343 | 0.193 | 0.268 | 0.150 | 0.560 | 0.900 | 1.242 | 单边 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 试件理论承载力 | 试件实际承载力 | 比值 | 平均剪切边 | 平均焊缝长度 | 试件理论强度 | 试件实际强度 | 试件理论强度平均值 | 试件实际强度平均值 | 试件理论强度平均值-相较侧面角焊缝比值 | 试件实际强度平均值-相较侧面角焊缝比值 | 公式 |
| 890-120-0-1 | 420.71 | 295.60 | 0.703 | 5.20 | 28.68 | 705.30 | 495.56 | 660.83 | 516.22 | 1.00 | 1.00 | 1.000 |
| 890-120-0-2 | 387.02 | 327.98 | 0.847 | 5.10 | 28.31 | 669.70 | 567.55 |  |  |  |  |  |
| 890-120-0-3 | 450.07 | 359.75 | 0.799 | 5.86 | 31.63 | 607.49 | 485.57 |  |  |  |  |  |
| 890-120-15-1 | 513.44 | 339.04 | 0.660 | 5.01 | 41.97 | 610.80 | 403.33 | 639.47 | 517.31 | 0.97 | 1.00 | 1.066 |
| 890-120-15-2 | 577.90 | 492.15 | 0.852 | 4.96 | 43.86 | 664.53 | 565.92 |  |  |  |  |  |
| 890-120-15-3 | 585.61 | 530.61 | 0.906 | 5.40 | 42.20 | 643.09 | 582.69 |  |  |  |  |  |
| 890-120-30-1 | 710.53 | 426.77 | 0.601 | 5.08 | 54.22 | 644.41 | 387.05 | 647.70 | 435.62 | 0.98 | 0.84 | 1.177 |
| 890-120-30-2 | 748.76 | 446.81 | 0.597 | 5.06 | 54.67 | 677.15 | 404.08 |  |  |  |  |  |
| 890-120-30-3 | 772.26 | 640.80 | 0.830 | 5.34 | 58.15 | 621.53 | 515.73 |  |  |  |  |  |
| 890-120-45D-1 | 686.21 | 428.98 | 0.625 | 4.95 | 46.79 | 741.45 | 463.51 | 739.63 | 506.77 | 1.12 | 0.98 | 1.297 |
| 890-120-45D-2 | 664.88 | 381.11 | 0.573 | 4.88 | 45.84 | 742.50 | 425.60 |  |  |  |  |  |
| 890-120-45D-3 | 783.97 | 673.33 | 0.859 | 5.65 | 47.24 | 734.93 | 631.21 |  |  |  |  |  |
|  | 试件理论承载力 | 试件实际承载力 |  | 平均剪切边 | 平均焊缝长度 | 试件理论强度 | 试件实际强度 | 试件理论强度平均值 | 试件实际强度平均值 | 试件理论强度平均值-相较侧面角焊缝比值 | 试件实际强度平均值-相较侧面角焊缝比值 |  |
| 890-120-45S-1 | 531.98 | 570.23 | 1.072 | 5.00 | 70.01 | 760.11 | 814.77 | 752.91 | 789.80 | 1.14 | 1.53 | 1.297 |
| 890-120-45S-2 | 548.57 | 561.09 | 1.023 | 5.13 | 69.08 | 774.80 | 792.47 |  |  |  |  |  |
| 890-120-45S-3 | 588.75 | 619.93 | 1.053 | 5.88 | 69.23 | 723.82 | 762.15 |  |  |  |  |  |
| 890-120-60-1 | 501.03 | 413.90 | 0.826 | 5.27 | 58.32 | 815.60 | 673.77 | 806.57 | 692.83 | 1.22 | 1.34 | 1.403 |
| 890-120-60-2 | 477.33 | 388.80 | 0.815 | 5.19 | 56.90 | 807.99 | 658.14 |  |  |  |  |  |
| 890-120-60-3 | 459.68 | 431.07 | 0.938 | 5.07 | 56.98 | 796.13 | 746.58 |  |  |  |  |  |
| 890-120-75-1 | 461.16 | 421.58 | 0.914 | 5.26 | 51.60 | 849.90 | 776.95 | 821.47 | 753.87 | 1.24 | 1.46 | 1.475 |
| 890-120-75-2 | 438.01 | 357.06 | 0.815 | 5.15 | 51.36 | 828.07 | 675.02 |  |  |  |  |  |
| 890-120-75-3 | 436.24 | 449.10 | 1.029 | 5.38 | 51.60 | 786.45 | 809.62 |  |  |  |  |  |
| 890-120-90-1 | 405.34 | 404.39 | 0.998 | 4.70 | 50.44 | 854.90 | 852.89 | 822.67 | 760.56 | 1.24 | 1.47 | 1.500 |
| 890-120-90-2 | 400.21 | 329.41 | 0.823 | 4.96 | 49.19 | 820.45 | 675.29 |  |  |  |  |  |
| 890-120-90-3 | 417.11 | 396.51 | 0.951 | 5.28 | 49.80 | 792.66 | 753.51 |  |  |  |  |  |

# 矩形缺口试验总结

## 引言

本次矩形缺口试验在物美进行，加载机采用液压伺服控制的SANS多功能试验机，加载能力为600kN，加载全程采用0.5mm/min的速率，位移引伸计标距为25mm，量程为5mm。试验全程采用0.5mm/min的位移控制。

|  |  |
| --- | --- |
| G:\1毕业课题\2-1试验数据\1Q890矩形缺口试验20180308\试验照片\IMG_5407.JPG | G:\1毕业课题\2-1试验数据\1Q890矩形缺口试验20180308\试验照片\IMG_5412.JPG |
| 图 20 SANS多功能试验机 | 图 21 位移计侧位移 |

## 试件设计及数量

本次试验针对高强钢Q890，设计缺口处矩形的长宽比为1/1.5/2/3四种试件类型，每种类型进行三组试验，试验设计尺寸如下图 22至图 25 所示，试件实际测量尺寸如下表 8所示。试件编号规则890XN，X（A/B/C/D）分别表示缺口处试件长宽比为1/1.5/2/3，N表示每种类型重复的试件个数。

|  |
| --- |
|  |
| 图 22 长宽比为1 |
|  |
| 图 23 长宽比为1.5 |
|  |
| 图 24 长宽比为2 |
|  |
| 图 25 长宽比为3 |

表 Q890矩形缺口试件实际测量尺寸值

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 编号 | Tu1(mm) | Tu2(mm) | Tn1(mm) | Tn2(mm) | 面积(mm2) | Ratio（实测值） | Ratio（名义值） | 加载速率mm/min |
| 890A1 | 19.75 | 19.88 | 8.02 | 8.12 | 65.12 | 1.01 | 1 | 0.5 |
| 890A2 | 19.86 | 19.88 | 7.98 | 8.13 | 64.88 | 1.02 | 1 | 0.5 |
| 890A3 | 19.78 | 20.03 | 8.00 | 8.03 | 64.24 | 1.00 | 1 | 0.5 |
| 890B1 | 19.82 | 19.99 | 6.05 | 9.05 | 54.75 | 1.50 | 1.5 | 0.5 |
| 890B2 | 19.79 | 19.75 | 5.98 | 9.00 | 53.82 | 1.51 | 1.5 | 0.5 |
| 890B3 | 19.81 | 19.82 | 5.94 | 8.97 | 53.28 | 1.51 | 1.5 | 0.5 |
| 890C1 | 19.82 | 20.01 | 5.01 | 10.03 | 50.25 | 2.00 | 2 | 0.5 |
| 890C2 | 19.72 | 19.99 | 5.08 | 10.09 | 51.26 | 1.99 | 2 | 0.5 |
| 890C3 | 19.79 | 19.87 | 5.05 | 9.98 | 50.40 | 1.98 | 2 | 0.5 |
| 890D1 | 19.92 | 19.91 | 3.99 | 11.98 | 47.80 | 3.00 | 3 | 0.5 |
| 890D2 | 19.82 | 19.93 | 3.99 | 12.06 | 48.12 | 3.02 | 3 | 0.5 |
| 890D3 | 19.79 | 19.80 | 4.00 | 11.90 | 47.60 | 2.98 | 3 | 0.5 |

## 试验结果

试件的力与位移曲线如下图 26至图 29 所示，试验极限荷载及断裂荷载如表 9所示。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图 26 890A | 图 27 890B |
|  |  |
| 图 28 890C | 图 29 890D |

表 矩形缺口试验承载力总结

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 极限荷载(KN) | 极限荷载对应的位移(mm) | 断裂荷载(KN) | 断裂荷载对应的应变(mm) | 断裂荷载/极限荷载 |
| 890A1 | 92.46 | 0.2627 | 82.76 | 0.7067 | 0.90 |
| 890A2 | 91.73 | 0.2757 | 81.81 | 0.7391 | 0.89 |
| 890A3 | 92.39 | 0.2726 | 82.59 | 0.7409 | 0.89 |
| 平均值 | 92.19 | 0.27 | 82.38 | 0.73 | 0.89 |
| 890B1 | 75.36 | 0.2559 | 68.03 | 0.6422 | 0.90 |
| 890B2 | 74.99 | 0.2579 | 66.18 | 0.5887 | 0.88 |
| 890B3 | 74.08 | 0.2554 | 66.06 | 0.6797 | 0.89 |
| 平均值 | 74.81 | 0.26 | 66.75 | 0.64 | 0.89 |
| 890C1 | 68.31 | 0.2365 | 61.06 | 0.5726 | 0.89 |
| 890C2 | 70.85 | 0.2226 | 63.60 | 0.5599 | 0.90 |
| 890C3 | 69.01 | 0.2214 | 62.55 | 0.5600 | 0.91 |
| 平均值 | 69.39 | 0.23 | 62.41 | 0.56 | 0.90 |
| 890D1 | 65.11 | 0.2108 | 60.02 | 0.4543 | 0.92 |
| 890D2 | 65.75 | 0.2091 | 58.96 | 0.5116 | 0.90 |
| 890D3 | 63.39 | 0.1910 | 57.24 | 0.4924 | 0.90 |
| 平均值 | 64.75 | 0.20 | 58.74 | 0.49 | 0.91 |