

高等学校交流讲义

焊接結構設計原理

[捷克]F. 法尔杜斯著

哈尔滨工业大学整理

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校交流讲义



焊接结构设计原理

〔捷克〕F. 法尔杜斯著
哈尔滨工业大学整理

中国工业出版社

本书是由捷克斯洛伐克科学院通讯院士、布拉格工业大学教授法尔杜斯 (František Faltus) 博士在哈尔滨工业大学讲学时的讲稿，翻译、整理而成的。

本书主要讲述了两个主要内容：焊接接头的强度计算及材料选择、焊接结构的设计原则。书中反映了在这个领域内的许多新成就，并总结了作者自己在设计、科学研究、教学等方面所积累的宝贵经验。同时也论述了设计与工艺之间的关系。

本书可做为高等学校交流讲义。也可供从事焊接结构设计的技术人员参考。

焊接结构设计原理

〔捷克〕F. 法尔杜斯 著
哈尔滨工业大学 整理

*

第一机械工业部教材编审委员会编辑（北京复兴门外三里河第一机械工业部）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $16 \frac{3}{4}$ · 插页 1 · 字数 368,000

1961年11月北京第一版·1963年7月北京第二次印刷

印数 2,101—2,693 · 定价(10-6)2.00元

*

统一书号: K15165·955(一机-209)

前 言

本书是根据捷克斯洛伐克科学院通讯院士、布拉格工业大学教授法尔杜斯 (František Faltus) 博士, 于 1959 年 10 月到 1960 年 3 月間在哈尔滨工业大学讲学的讲稿, 翻譯、整理而成的。

本书系由两个主要部分——焊接接头的强度計算及材料选择、焊接結構的設計原則組成。书中反映了在这个領域內的許多新成就, 并且总结了作者自己在設計、科学研究、教学等方面, 长期实践中所积累的宝贵經驗。在前一部分中, 除了讲述了各种焊接接头的特点和計算方法外, 并以較大的篇幅着重地探討了两个极为重要的問題: 焊接接头的靜載脆断强度和疲劳强度。在这两章中, 詳細地論述了影响脆断和疲劳强度的設計、工艺和材料等因素, 以及解决上述問題的措施和方向。在后一部分中, 按各种焊接結構的特点, 作者把結構分为板結構、桁架結構、封閉結構、箱格結構和薄壳結構等几大类, 来分別地加以論述。在介紹各类結構的計算理論和方法的同时, 作者十分強調指出, 一个好的設計師, 除了应掌握正确的計算方法外, 还必须能正确地进行設計, 即选择合理的結構和接头形式。在本书中, 列举了大量的生动的例子, 借以帮助讀者按照焊接結構的特点正确地进行設計。正象作者所說的, 一个成功的焊接結構, 是設計与工艺密切結合的結果。在本书中, 作者对結構的工艺性也給予了很大的重視; 除了在各个章节中經常提到這個問題外, 还專門編写了“焊接結構生产”一章, 集中地論述了設計与工艺之間的相互关系。

本书不但对从事焊接結構設計的人員是一本可貴的参考书, 而且, 由于它提供了許多与工艺有关的因素对結構的工作性能 (如疲劳、脆断等) 的影响, 以及改进工艺对降低結構成本的关系等方面的資料, 所以对从事工艺工作的人員也有很大的参考价值。在最近召开的全国焊接专业教材編审小組會議上, 各校代表一致认为, 本书不但对我国在焊接方面工作的科学技术人員有很大帮助, 而且, 从其內容及体系的安排上来看, 对焊接专业的大学生基本上也是合适的。所以會議决定, 讓我們尽快的整理出版。

专家手稿譯出后, 曾由当时听課的學員們分章分节地几次整理校对过, 以后又陸續地由教研室一些教师进行了部分的校閱, 并在 1961 年 5 月份进行了集中的总审和謄清。由于大部分工作都是在专家返国后进行的, 有些問題不能向作者直接請教, 并且, 由于条件所限, 书稿整理完毕后, 也未經作者本人过目; 此外总审時間比較緊迫, 整理人員的水平有限, 因此, 問題和缺点在所难免。恳切地希望讀者提出各方面的意見, 以便我們今后作进一步的修訂。

最后还要說明一点, 按照专家原来的意見, 在許用应力一节中要补充我国自己的标准, 但由于目前我們还没有这种标准, 一般是采用苏联的有关資料; 而这些資料在有关的书籍中已有介紹; 因此, 这一节就暫缺, 留待以后再作补充。

哈尔滨工业大学焊接教研室

1961 年 5 月

目 次

前言	1
----------	---

第一編 焊接种类

第二編 焊接接头的强度計算及材料的选择

第一章 导言	8
--------------	---

第二章 静载荷下熔化焊焊缝的强度和計算	9
---------------------------	---

第一节 对接焊缝	9
----------------	---

第二节 角焊缝	13
---------------	----

第三节 鉚焊缝、槽焊缝和鉚穿焊缝	17
------------------------	----

第四节 簡單接头形式	18
------------------	----

1. 用盖板加强的对接焊缝	18
---------------------	----

2. 受軸向力和力矩的角焊缝	18
----------------------	----

3. 型钢的角焊缝联接	19
-------------------	----

4. 悬臂的角焊缝联接	21
-------------------	----

5. 圓形孔周界的角焊缝联接	24
----------------------	----

6. 圓断面悬臂的联接	25
-------------------	----

7. 板梁	25
-------------	----

8. 角鋼的联接	26
----------------	----

第五节 实例	26
--------------	----

1. 悬臂的联接	26
----------------	----

2. 悬臂联接的实例	27
------------------	----

3. 焊缝尺寸的估計	29
------------------	----

第六节 計算角焊缝的新方法	29
---------------------	----

第七节 焊接接头剛度的意义	35
---------------------	----

第八节 許用应力	37
----------------	----

第三章 静载荷下压力焊焊缝的强度和計算	37
---------------------------	----

第一节 对接焊缝	37
----------------	----

第二节 点焊缝、凸焊缝和滚焊缝	37
-----------------------	----

1. 焊点的尺寸与强度	37
-------------------	----

2. 点焊接头的强度	41
------------------	----

3. 点焊接头的計算和許用应力	43
-----------------------	----

4. 凸焊接头	45
---------------	----

5. 滚焊接头	45
---------------	----

第四章 內应力的影响	45
------------------	----

第一节 內应力的产生及其大小	45
----------------------	----

第二节 静载荷下及材料塑性变形性能很好时內应力的影响	51
----------------------------------	----

第三节 內应力的消除方法	54
--------------------	----

第四节 設計原則	55
----------------	----

第五章 变载荷下焊接接头的强度和計算	59
--------------------------	----

第一节 基本概念	59
----------------	----

1. 疲劳限	59
--------------	----

2. 耐久强度	60
---------------	----

3. 加载方法的影响	60
------------------	----

4. 試驗机	64
--------------	----

5. 实际使用时的疲劳限	65
--------------------	----

第二节 影响疲劳限的因素	66
--------------------	----

1. 基本金屬	66
---------------	----

2. 焊缝金屬	68
---------------	----

3. 焊接接头	68
---------------	----

4. 內应力	71
--------------	----

5. 提高疲劳限的措施	73
-------------------	----

第三节 接触焊接头	76
-----------------	----

1. 对接接头	76
---------------	----

2. 点焊、凸焊和滚焊接头	77
---------------------	----

第四节 計算方法	78
----------------	----

第五节 試驗結果举例	81
------------------	----

1. 板結構	81
--------------	----

2. 节板与梁的翼板的联接	84
---------------------	----

3. 桁架梁	86
--------------	----

第六章 脆断	88
--------------	----

第一节 焊接結構的特点	88
-------------------	----

1. 基本金屬的影响	88
------------------	----

2. 温度应力	88
---------------	----

3. 联接剛度	89
---------------	----

4. 应力分佈	89
---------------	----

第二节 产生脆断的危險性	90
--------------------	----

1. 塑性变形与脆断	90
------------------	----

2. 产生脆断的条件	92
------------------	----

第三节 实际經驗	96
----------------	----

第四节 脆断研究的現状	99
-------------------	----

1. 冲击試驗	99
---------------	----

2. 临界温度	101
---------------	-----

3. 确定临界温度的試驗实例	102
----------------------	-----

4. 結構中实际破断的产生和扩展	106
------------------------	-----

5. 試驗結果举例	108
-----------------	-----

第五节 目前科学研究工作的实际成果	112
-------------------------	-----

1. 材料質量的影响	112
------------------	-----

2. 焊缝及热影响区的影响	113
---------------------	-----

3. 內应力的影响	113
-----------------	-----

4. 材料厚度的影响	113
------------------	-----

5. 結構設計的影响	113
------------------	-----

6. 生产过程的影响	114
------------------	-----

7. 目前科学研究工作的概要成果	114
------------------------	-----

第六节 鋼种的选择	115
-----------------	-----

4	第七章 材料可焊性	118	第八章 結束語	121
---	-----------------	-----	---------------	-----

第三編 焊接結構的形式和設計原則

第九章 焊接結構的形式和設計	
原則	123
第一节 設計原則	123
第二节 焊接結構的种类	124
第三节 焊縫的設計	125
1. 熔化焊接頭	125
2. 接觸焊接頭	133
第四节 焊縫的繪制及在圖紙上焊縫的表示方法	139
1. 焊縫的標記原則	139
2. ГОСТ 制中焊縫在圖紙上的標記符號	147
第五节 元件的設計	156
第十章 板結構	159
第一节 板結構的应用範圍	159
第二节 板梁和框架	161
1. 焊接板梁的断面	161
2. 梁的外形	163
3. 根据力矩的分佈确定梁的断面	165
4. 加肋	165
5. 梁的对接	166
6. 軸綫弯曲的梁和框架轉角的设计与計算	167
7. 經濟断面的选择	168
第三节 板結構实例	180
1. 安設300吨吊車和吊車梁的重型車間框架	180
2. 水压机及剪床机架	182
第十一章 桁架結構	187
第一节 桁架結構的应用	187
第二节 結構元件	188
第三节 管子桁架結構	193
第四节 鋸齒合成梁	198
1. 制造	198
2. 計算	198
3. 实例	199
4. 应用	201
5. 鋸齒合成梁的計算举例	201
第十二章 封閉結構、箱形結構和箱格結構	203
第一节 引言	203
第二节 扭轉理論的略述	203
1. 窄的矩形断面	203
2. 組合断面	203
3. 封閉断面	204
4. 引起縱向應力的扭轉	205
5. 实例	208
6. 非封閉形断面抗扭剛度的提高	211
7. 試驗結果	211
第三节 抗扭轉性能良好的封閉断面应用实例	213
第四节 箱格結構	214
第五节 結束語	216
第十三章 薄壳結構	216
第一节 实例	216
第二节 薄壳結構的原理	218
第三节 平板薄壁結構的計算	221
1. 引言	221
2. 加固的和自由的受压平板	221
3. 加固受压平板的共同承載寬度	221
4. 加固平板断面計算的实例	224
5. 自由板	225
6. 加固板	226
7. 自由板断面的計算实例	226
8. 压杆	227
9. 肋板对提高承載能力的影响	223
10. 实例	229
第十四章 由鑄件及鍛件組成的焊接結構及混合結構	230
第一节 鑄件和鍛件的分段	230
第二节 板料、鑄件、鍛件的联合結構	232
第三节 鋼与鋼筋混凝土的混合結構	234
第十五章 在变載荷下工作的及有脆断危險的結構	237
第一节 基本原則	237
第二节 实例	240
1. 板梁	240
2. 角焊縫和对焊縫	243
3. 桁架結構	246
4. 合理結構形狀的选择	246
第十六章 焊接結構生产	249
第一节 材料的訂購和驗收	249
第二节 生产工序的确定	250
第三节 备料	251
第四节 裝配	253
第五节 焊接	254
第六节 校正、热处理和制成	257
第七节 安裝	257
第八节 檢驗	259
第九节 加載試驗	262

第一編 焊 接 种 类

焊接是把金属联成一个不可分离的整体的过程，这一整体是在热或在热与压力同时作用下形成的。根据需要，有时采用相同或相似成分的，并能够与基本金属形成冶金状态結合的填充材料。根据捷克斯洛伐克国家标准 1235—1939 “金属焊接”援引的这个定义，当然，既不完全准确，又不包罗尽致，然而却比較簡短而正确地描述了主要焊接方法的基本特征。

我們可以从各种不同的角度，来系統地排列各种焊接及其方法，但总的說来，可以将焊接划分为两大类：熔化焊和压力焊。

熔化焊时，接头是在沒有压力及鍛打的条件下，靠工件的局部熔化形成的。熔化焊与钎焊的区别在于：熔化焊时处于熔化状态的不仅有填充材料，而且也有基本金属，而钎焊时却只有填充材料（钎焊料）处于熔化状态。

压力焊时，接头是在压力或鍛打的作用下形成的。只有某些金属（如鋁），不需加热亦可进行焊接。一般要在联接件焊接处加热，使接触面呈糊状，施加压力或鍛打是产生冶金状态的結合，即晶体成长的条件。对許多种必需采用压力的重要焊接方法，在焊接处金属也部分地或全部地熔化；这样，就象熔化焊时那样，焊缝是由处于液态部分金属熔合而成。在閃光电阻对接焊时，联接部分的表面处于熔化状态；在凸焊的磨片上可以看出，凸焊点内部的金属曾处于液体状态。

因此，就不能认为压力焊的特点是：在压力的作用下得到冶金状态的联接；但是压力的作用是必要的，这是属于工艺特点。如果再詳細分类的話，則可分为：熔化焊、压力焊和压力熔化焊。在第二类 and 第三类之間有很多相似之处，因此可把它們列入同一类。

也可以根据用来加热，或者正确地說，用来熔化焊接处的金属的热源来区分焊接种类。应当把一切可能产生或者传导热的方法都考虑在內，如摩擦、超声波、热空气、加热爐、电感应等。但焊接时主要的热源为：气体火焰，如汽化煤油，氢、乙炔、丙烷等；这些气体都与空气（一般与氧气）混合而燃燒；另外，还有其他化学热（如鋁热剂）以及被焊工件与电极之間的电弧热和工件之間的电阻热等。根据热是以怎样的方式傳遞給焊件或填充材料，还可以进一步区分热源。这样，在电弧焊时，电弧可能在电极之間或在电极与焊件之間燃燒。根据这一特点可分为以下三种基本方法：第一种是电极只提供电弧燃燒的可能，而不参加填充焊缝的过程，如非熔化电极焊、中性电极焊（如碳弧焊）；第二种为电极也熔化并提供填充金属；第三种为电弧既在两电极之間燃燒，又在此二电极与焊件之間燃燒，并且电极本身也熔化，組成焊缝金属的一部分（如三相电弧焊）。

对熔化焊來說，根据是否可以采用填充金属进行焊接，以及采用什么形式把填充金属置于接头或堆焊面上，还可进一步地区分为：填充金属直接熔化于接头內，将其置于接头中，以及采用液态的填充金属。

某些苏联作者（如 K. K. 赫列諾夫），把金属焊接分为化学焊接（如鍛焊、水煤气焊、鋁热剂焊、气焊等）和电焊（如电弧焊和接触焊等）。

另一些作者（如 Г. И. 鮑戈金-阿列克謝耶夫），把焊接分为以下几类：

表1 熔化焊的概况

热 源	方 法	防止空气侵 害的方法	填充材料	名 称	基 本 金 属						表4所示的接头种类							焊接材料之厚度			工作方法								
					铝及铝合金	低合金钢	合金钢	灰 铸铁	铝 及其合金	铜 及其合金	A	B	C	D	E	F	G	最小	最 常 见	最 大	手 工 焊	半 自 动 焊	自 动 焊						
熔池中的液体金属	—	—	液体金属	铸焊	○	○	○	○	○	○	○	2	—	—	—	—	—	2	10	无限制	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	焊渣	反应形成之金属	铝热焊	○	○	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	2	10	无限制	—	+	+	—	—	—	—	—	—
	氧-乙炔-氢-丁烷焰	左焊; 右焊; 双焊柱立焊; 单焰焊嘴或多 道焰焊嘴	无特殊防护	气焊	○	○	○	○	○	○	○	2	—	1	2	—	—	—	0.3	1	3	+	+	+	—	—	—	—	—
有保护气体的 焊嘴			—		○	○	—	—	—	—	2	1	1	1	1	1	0.3	3	20	+	+	+	—	—	—	—	—	—	
直流或交流电 弧	用不熔化电极	无特殊防护, 保 焊条药皮, 保 护气体。	无填充材料; 从电极上熔下 的金属; 钎焊中 熔化的金属; 从电极上熔下 的金属。	电弧焊	—	—	—	—	—	—	—	3	2	3	4	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	用熔化电极				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
电弧与气体分 子的分解	用不熔化电极	保护气体	填充材料; 从 电极上熔下的 金属	原子焊	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
碳电极的电阻 热	—	无特殊保护; 熔剂	无填充材料	电阻焊 (即Weibla焊)	—	—	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—	—	0.3	3	2	+	—	—	—	—	—	—	—
电弧与氧乙炔 焰	用熔化电极	火焰	由电极熔下的 金属	电弧气焊	○	—	○	—	—	—	—	3	—	1	—	—	—	—	3	5	20	+	—	—	—	—	—	—	—
感应涡流	—	—	无填充材料	高频电流焊	○	—	○	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	0.2	0.5	—	—	+	—	—	—	—	—	—

見 表 2

見 表 2

见表2

见表2

表 2 电 弧 熔 化 焊

热 源	方 法	电 极	电 极 数 量	电弧存在之区域	防止空气侵害之方法	填充材料	名 称	电 流	基 本 金 属						表 4 所示之联接种类							焊接材料厚度			工作方法																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
									低合金钢	合金钢	铝及其合金	铜及其合金	灰 铸 铁	A	B	C	D	E	F	G	最 小	普 通	最 大	手 工	半 自 动	自 动																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
电 弧	无焊条	炭 极	1	联接件之间	无防护,或在螺栓末端有焊剂	无填充材料	螺栓的焊接	=	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—</

表 2 电 弧 熔 化 焊 (續)

热 源	方 法	焊 条 数	电 弧 燃 烧 区	防止空气侵 害之方法	填充材料	名 称	电 流	基 本 金 属						表 4 所示的连接种类							焊接材料之 度			工作方法		
								低 合 金 钢	合 金 钢	铝 及 其 合 金	铜 及 其 合 金	灰 鑄 铁	A	B	C	D	E	F	G	最 小	通 常	最 高	手 工 方 法	半 自 动 焊	自 动 焊	
电 弧	熔 化 电 极 (焊条)	1	在焊条与 工件間	无保护, 保护 气体	由焊条熔下的 金属	斯拉維揚諾夫 电弧焊	=	○	—	—	—	—	2 3 4 5 6	1 2 3	1 2	1 2 3 4 5	1 2	1 2	1 2	1.0	5 10	+	a	+		
		1和 1以上	在焊条与 工件間	熔剂層	由焊条熔下的 金属	熔剂層下自动 电弧焊	≈	○	—	○	—	—	2 3 4	1 2 3	1 2	1 3 4	1 2	—	—	1.5	—	—	a	+		
		1和 1以上	在焊条与 工件間	惰性气体	由焊条熔下的 金属	熔化电极电弧 焊	=	—	—	—	—	—	2 3 4	1 2 3	1 2	1 2 3 4 5	1 2	—	—	1	—	—	a	+		
		1	在焊条与 工件間	由药皮产生的 熔渣和气体	由焊条熔下的 金属	电弧焊 (带药 皮焊条)	≈	○	—	—	—	—	2 3 4	1 2 3	1 2	1 2 3 4 5	1 2	1	—	0.8	—	+	d	+		
电 弧	帶 皮 的 鋼 質 或 金 属 焊 条	2—4	焊条束与 工件之間	由药皮产生的 熔渣和气体	由焊条熔下的 金属	伏洛金焊条束 电弧焊	≈	○	—	—	—	—	3 4	1	1 2	1 3 4	1 2	—	—	5	—	+	—	—		
		2	在焊条与 工件及焊 条之間	由药皮产生的 熔渣和气体	由焊条熔下的 金属	米哈依洛夫三 相电弧焊	△	○	—	—	—	—	3 4	1	1 2	1 2 4 5	1 2	—	—	5	—	+	—	+		
		2	在焊条与 工件及焊 条之間	溶剂層	由焊条熔下的 金属	溶剂層下的三 相电弧焊	△	○	—	—	—	—	3 4	1	1	1 3 4	1 2	—	—	10	—	—	—	+		

1) 符号的意义:

= 直流电

~ 交流电

△ 交流三相联接

○ 使用最广泛

○ 可以用, 使用较少

— 不能进行, 不能使用

2) 半自动焊接法:

a) 自动机保持电弧的长度, 并将焊条移近焊缝。

焊条沿焊缝的纵向移动由手工完成。

b) 自动焊机接通与切断电流, 移动焊条。

c) 由焊机迅速接通与切断电流 (由振动焊条焊接)。

d) 躺焊, 焊条装在台架上。

e) 焊机使焊条作纵向移动, 电弧靠手工调节。

3) 实际上不属于此表中, 因为焊接热是由原

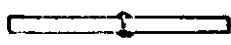
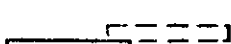
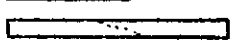
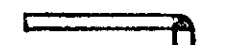
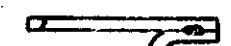
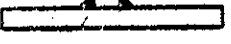
子结合成分子释放出来的。

4) 特殊的保护气体包围电弧。

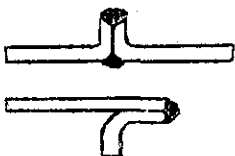
表 3 压力焊

压力与冲击 之来源	热源	电流的输入	工作方法	名称	基 本 金 属						如表 4 所示之联接种类							焊接材料断面面积 (毫米 ²)或厚度 (毫米)			工作方法		
					灰 鑄 铁	銅 及 其 合 金	鋁 及 其 合 金	合 金 鋼	低 合 金 鋼	A	B	C	D	E	F	G	最 小	普 通	最 高	手 工 焊	机 器 焊	自 动 焊	
鏈; 气鏈	鍛鉄爐; 爐	—		鍛焊, 火焰中的焊接	○	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	30	1000	6000	+	+	—
	水煤气火焰	—		水煤气焊	○	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—	—	5	10—30	50	—	+	—
由夾緊設備产生的压力	鋁热反应时的液态金屬	—	無填料或有 填料	鋁热剂压焊	○	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	30	1000	8000	—	+	—
	氧炔焰	—	由熔化或無 熔化的	火焰压力焊	○	—	—	○	—	—	1	—	—	—	—	—	—	30	1000	2000	—	+	—
压床产生的压力	感应电	—	—	高频电流压力焊	○	—	—	○	—	—	1	—	—	—	—	—	—	1	5	20	—	+	—
	無热源	—	—	冷压力焊	—	—	○	—	—	—	—	4	3	6	—	—	—	0.2	1	2	—	+	—
夾头产生压力	电流通过接触面时产生的电阻热或者闪光焊时发出的热	夾 头	挤 压	电阻对接焊	一般沒限制, 可以有各种組合						1	—	—	—	—	—	—	0.1	100	3000	—	+	+
	棒狀电极产生的压力	通过电极接至局部地区	閃 光	电阻对接闪光焊							—	—	—	—	—	—	—	0.1	1000	30000	—	+	+
盤狀电极产生的压力		通过电极接至局部地区	單点或双点施焊	点 焊							—	4	3	6	—	—	—	0.1	2	12	+	+	+
平板电极产生的压力		电流集中在突出点	間断焊或連續焊	液 焊							—	5	3	6	—	—	—	0.1	1	4	—	+	+
				凸 焊	—	—	—	—	—	—	—	4	3	6	—	—	—	0.1	3	20	—	+	+

表 4 基本接头种类

	基本接头种类	实 例	焊 缝	电 弧 焊	气 焊	电 阻 焊
A	对 接		对接缝	—	—	○
			T形焊缝	○	○	—
			V形焊缝	○	○	—
			X形焊缝	○	○	—
			形状平整的焊缝	—	—	○
			卷边焊缝	○	○	—
B	搭 接		角焊缝	○	—	—
			铆焊角焊缝	○	—	—
			铆穿角焊缝	○	—	—
			槽焊角焊缝	○	—	—
			点焊角焊缝	—	—	○
C	角 接		滚焊角焊缝	—	—	○
			角焊缝	○	○	—
			对接焊缝	○	—	—
			点焊角焊缝	—	—	○
D	T 形		滚焊角焊缝	—	—	○
			角焊缝	○	—	—
			角焊缝	○	○	—
			角焊缝	○	—	—
			对接焊缝	○	○	—
			穿角焊缝	○	○	—
			点焊角焊缝	—	—	○
			滚焊角焊缝	—	—	○
			角焊缝	—	—	○

續表

	基本接头种类	实 例	焊 縫	电 弧 焊	气 焊	电 阻 焊
E	十 字 形		角焊縫	○	—	—
			对角焊縫	○	—	—
F	封 边 焊		T 形焊縫	○	○	—
			T 形焊縫	○	○	—
G	堆 焊		表面堆焊縫	○	○	—
			边缘堆焊縫	○	○	—

化学焊（气焊，铝热剂焊等）；

电焊（电弧焊）；

电化学焊（气电焊）；

机械化学焊（压力气焊和压力铝热焊等）；

机械电焊（接触焊）；

冷焊。

另一个基本分类特征，是保护被焊处或熔化金属免受大气影响的方法。所有的基本焊接方法，都可以不采用特殊的保护方法，或者在保护介质中进行。保护介质是由气体膏状物或焊剂在焊接过程中形成的。这些介质，有的是由药皮或药心带到焊接处，有的是直接加进去的。

如果考虑到上述列举的特点，可能是在各种情况的联合运用下体现出来的，并且其中许多特点还会产生许多变态，那么就不难理解，将所有目前实际采用的，甚至即使只在理论上才是可能的方法，来系统的加以分类，是如何的困难。

下面着重介绍一下捷克斯洛伐克的一般分类方法。在表 1~3 中所列举的是实际中采用的焊接分类和焊接方法。这种分类只是一个粗略的方向，有关的细节，读者都可以在各种焊接工艺手册里找到。

某些焊接种类和方法是以发明者的名字命名的，这种荣誉对于象斯拉夫扬诺夫(Н. Г. Славчнов)和别那尔道斯(Н. Н. Бенардос)这样的焊接科学的奠基者，是理所应得的，但不可用公司或广告的名称。

接头是根据焊件间的接触面、开坡口的方法以及坡口的形状来区分的。应当把接头名称（对接、搭接、角接、T形接头、十字接头等）与焊缝名称（根据焊接面所构成的形状：I、V、X、鉚穿焊缝等）区分开。表 4 是接头的概况。某些焊接方法可以有很多种接头，而每一种接头只适用于一定种类的焊接。表 1~3 在这方面至少可以给出一个粗略的方向。

第二編 焊接接头的强度計算及材料的选择

第一章 导 言

焊接接头的承载能力决定于焊缝本身（即焊缝金属及由焊缝到基本金属的过渡区）和基本金属的热影响区的机械性能。理想的情况是焊接接头与其周围的金属有相同的性能，主要指有相同的塑性和强度。实际上，熔化焊时，对低碳鋼材料來說，焊缝金属的塑性要比基本金属高一些；对高强度鋼或非鉄金属來說，焊缝的强度和塑性要比基本金属低一些。試驗証明，采用比基本金属强度高并且具有足够塑性的焊缝金属，对接头的承载能力并没有特別不利的影响。至目前为止，对于相反的情况，即对焊缝金属强度低于基本金属的試驗还不多。

采用强度較低而塑性較高的焊接材料（如用高强度材料制的奥氏体焊条），在某些情况下是有利的，因为由于焊缝本身的塑性变形，可以使由应力集中所引起的超載得到均衡，这样就防止了脆性过渡区域。此时接头的强度，比焊接材料或焊缝金属的强度似乎还要高些，因为焊缝周围金属的强度高，限制了焊缝的自由收縮，这样焊缝的强度好象提高了。

如果焊接材料或焊缝金属的塑性低于基本金属（如用光焊条焊的焊缝），則接头塑性变形能力很低，常因不能平衡局部的应力集中而首先破断。

研究焊接接头的时候，还应考虑到焊接热对基本金属的影响。对于鋼或鋁，它們本身强度的提高可以用热处理或冷加工的方法来达到（如冷拉管、冷軋板）。焊接这些材料时，由于焊接热的影响，通过上述方法所获得的良好性能可能降低。当然，接头的强度还与工艺方法密切相关，因此焊接接头的設計和計算不只是力学家的事，而且也是工艺师的事。

在考虑焊接接头的承载能力时，需要考虑到焊接接头与铆接接头的根本区别。对于铆接結構或螺釘結構來說，铆釘或螺釘实际上仅仅是一个联接元件；可以根据平衡条件求出在元件上的作用力，根据这种作用力可求出所需要的尺寸。

与铆釘不同，焊接接头是結構的一个組成部分，它同样也承受所有由外載荷或內应力对基本金属所引起的所有弹性与塑性变形。焊缝在这兒有两个作用：一个是作为联接元件；另一个是同时作为結構的一部分。但是，这样一个事实，有时常被遺忘掉，而在錯誤的条件下，进行錯誤的計算，还自以为是正确的。

第二章 靜載荷下熔化焊焊縫的強度和計算

第一节 对 焊 縫

假若对接焊縫沒有缺陷，焊縫质量良好，并且焊后将焊縫加工到与焊件的平面等高，則受外力后焊縫中的应力分布与基本金属一样。因此計算基本金属的公式，也完全适用于計算这种焊縫。虽然我們知道，在焊縫到基本金属的过渡处，焊縫正面或背面的加强高都会引起集中应力（如图 2-1 所示），但是在靜載荷的情况下，应力不均匀对接头的承載能力没有什么影响。因此在計算的时候可以完全将加强高忽略不計。

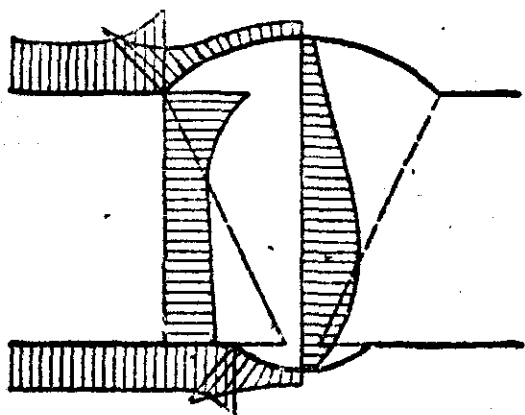


圖 2-1 对接焊縫中的应力分佈

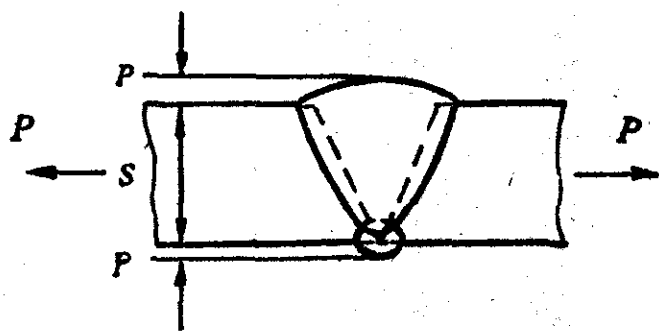


圖 2-2 加强高較大的对接焊縫

当加强高較大时，沿增强断面($S \sim 2p$)（图 2-2）的高度上，应力分布是不均匀的。可以认为，由于加强高的影响，焊縫中的应力由

$$\sigma_0 = \frac{P}{b \cdot S}$$

降低到

$$\sigma_1 = \frac{P}{b(S+p)}.$$

但正像我們在平均应力情况下所考虑到的那样，無論如何也不能降低到

$$\sigma_2 = \frac{P}{b(S+2p)}. \quad (2-1)$$

如前所述，在一般情况下我們总是把加强高的影响忽略不計。在用强度較低的焊条来焊接强度較高的基本金属时，按公式(2-1)来計算，也許能考虑到加强高的影响。但問題并不那么簡單，即当焊縫金属的强度 σ_s 小于基本金属的强度 σ_m 时，即 $\sigma_s < \sigma_m$ ，則焊接接头的强度 σ_p 要比 σ_s 大些，即 $\sigma_p > \sigma_s$ 。因为当焊接間隙比較窄时，由于焊縫的橫向变形受到强度較高的基本金属的限制，表面上看来，好像能得到屈服限及强度限較高的焊縫金属。

因此計算对接焊縫，与計算基本金属时采用的公式可以相同。例如当拉伸时（见图 2-3）

$$\sigma = \frac{P}{S \cdot l} = \frac{P}{S \cdot b} \quad (2-2)$$

式中 l ——焊缝的长度;
 b ——焊件的宽($b=l$)。

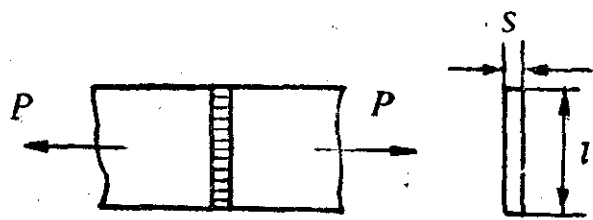


圖 2-3 受拉伸时对接焊缝計算簡圖

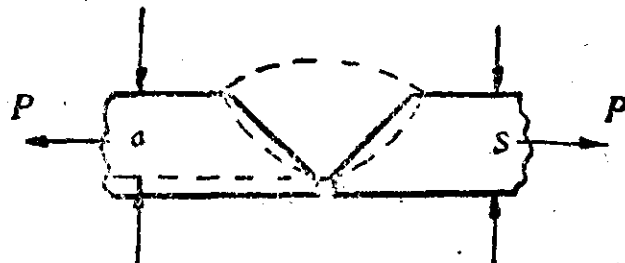


圖 2-4 未焊透的对接焊缝

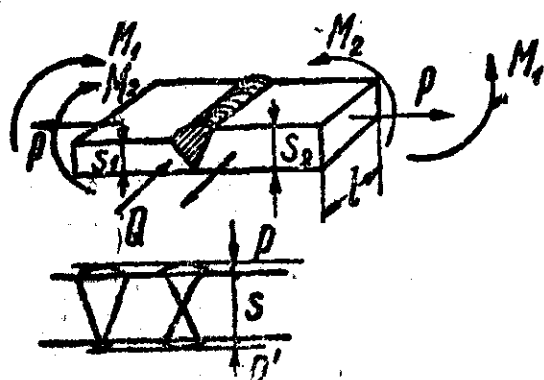


圖 2-5 对接焊缝的受力情况

上式也說明，車間一定要关心焊缝的始端和末端的质量。但遺憾的是，在这些地方我們还經常可以發現一些缺陷，而这些缺陷会严重地威胁着結構的承載能力。我們不能认为計算时采取 $l < b$ ，或者給焊缝长度的减小注上允許偏差的作法是正确的。因为由于焊缝两端质量不良所形成的缺口的不良影响，远远超过焊缝长度 l 减小的影响。未焊透（見图 2-4）的缺陷的影响也是一样，在这兒只考虑厚度

$a < S$ ，同样是不正确的。

根据图 2-5 所示，在受拉伸和压缩时为

$$\sigma = \frac{P}{S_1 \cdot l} \quad (2-3)$$

受剪时为

$$\tau = \frac{Q}{S_1 \cdot l} \quad (2-4)$$

受板平面內的弯曲时为

$$\sigma_1 = \frac{6 M_1}{S_1 \cdot l^2} \quad (2-5)$$

受垂直板面的弯曲时为

$$\sigma_2 = \frac{6 M_2}{S_1^2 \cdot l} \quad (2-6)$$

如果法向应力($\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$)和切应力 τ 同时发生作用，則应計算折合应力

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (2-7)$$

当受力情况較复杂时，例如当同时存在法向应力 σ_x ——沿焊缝方向的， σ_y ——垂直焊缝方向的，以及切力 τ_1 时，对焊缝也需計算折合应力：

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_1^2} \quad (2-8)$$

对于对接焊缝，許用应力常常取得比基本金属小一些；对于縱向焊缝，其意外缺陷的不良影响要比橫向焊缝小得多，因此焊缝强度的降低对承載能力没有什么影响。在这种情

况下如何計算斜接接头呢？

根据瑞士联邦研究所的研究，并經過試驗証实的理論（这个理論已由国际标准制定委员会建議作为焊接接头計算基础），其計算步驟如下：

假設 $\sigma_{\perp}$ ——与焊縫方向垂直的法向应力；

$\sigma_{\parallel}$ ——与焊縫方向平行的法向应力；

$\tau_{\parallel\perp}$ ——切应力。

折合应力不能按

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp}\sigma_{\parallel} + 3\tau_{\parallel\perp}^2} = \sigma_{dov}$$

来計算。因为在不同应力方向其强度也不相同，因此每一项都应引入一个修正系数 α ，而根据下式計算：

$$\sigma_s = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\perp}}{\alpha_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\parallel}}{\alpha_{\parallel}}\right)^2 - \frac{\sigma_{\perp}\sigma_{\parallel}}{\alpha_{\perp}\alpha_{\parallel}} + 3\left(\frac{\tau_{\parallel\perp}}{\alpha_{\parallel\perp}}\right)^2} = \sigma_{dov}. \quad (2-9)$$

式中的修正系数是：

$$\alpha_{\perp} = \frac{\text{橫向对焊縫的抗拉（或抗压）强度}}{\text{基本金属的抗拉强度}};$$

$$\alpha_{\parallel} = \frac{\text{縱向对焊縫的抗拉（或抗压）强度}}{\text{基本金属的抗拉强度}};$$

$$\alpha_{\parallel\perp} = \frac{\text{对接焊縫的抗剪强度}}{\text{基本金属的抗剪强度}}.$$

在上述修正系数的公式中，通常将强度用許用应力来代換。按照捷克計算鋼結構及鋼桥的規定，受拉力时 $\alpha_{\perp} = 0.85$ （当能保証特殊优质的焊縫时 $\alpha_{\perp} = 1.0$ ）。

但在焊縫只焊了工件厚度的一部分，或焊縫的强度較低，而基本金属的强度較高等情况下，系数 $\alpha_{\perp}$ 也可以取得更小一些。我們要考虑到，焊接接头的强度一般比焊縫金属要高一些。

对受压力的对焊縫，系数 $\alpha_{\perp}$ 一般可以采取較高的数值： $\alpha_{\perp} = 1.0$ 。

对于縱向焊縫，即或焊縫强度很低，或只是部分地焊透，具有縱向焊縫的試件几乎与沒有焊縫的試件有相同的强度。因此通常取 $\alpha_{\parallel} = 1.0$ ，但基本金属受焊接影响較大的情况除外。

剪切修正系数 $\alpha_{\parallel\perp}$ ，通常与 $\alpha_{\perp}$ 相等或更大一些： $\alpha_{\parallel\perp} = \alpha_{\perp}$ ；

或

$$\alpha_{\parallel\perp} = \frac{\alpha_{\perp}}{0.85}.$$

根据鋼結構与鋼桥的計算規定，取 $\alpha_{\parallel\perp} = 1.0$ 。用这种方法計算时，通常都是把 σ_s 与基本金属的許用应力 σ_{dov} 来作比較。假若取接头的疲劳限与基本金属的疲劳限之比作为修正系数，則上述計算也可适用于变載荷。

从公式(2-9)可以求出如图 2-6 所示的斜对接焊縫的許用載荷。

如果把力化为垂直力

$$N = P \cos \varphi,$$