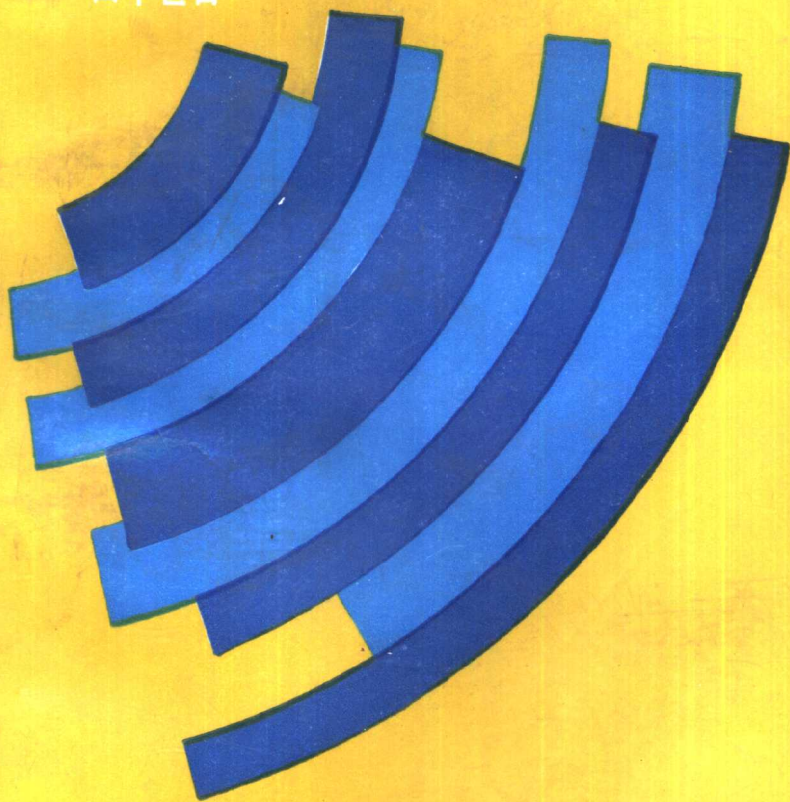


高强钢焊接实践

〔日〕 稻垣道夫 著
田中甚吉



机械工业出版社

>> >811
9201429

高强钢焊接实践

〔日〕 稻垣道夫 著
田中甚吉

郭希烈 译
张文钺



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书由日本焊接协会监编，稻垣道夫和田中甚吉两位工学博士编写。全书共分七章，主要介绍了高强钢的发展现状及其焊接性、焊接方法和焊接材料的选择以及接头设计和焊接施工工艺、焊接质量管理、试验和无损检测等。内容系统全面，理论与实际结合，叙述简明扼要并有许多实例和具体数据，是一本实践性很强的高强钢焊接专著。它对于我国应用和发展高强钢焊接技术很有参考价值。

本书可供焊接专业工程技术人员及技术工人使用，亦可作为焊接专业师生的参考书。

高張力鋼溶接の実際

著者 稻垣道夫
田中甚吉

発行所 廣濟堂産報出版(株)

1984年10月 初版発行

* * *

高强钢焊接实践

〔日〕 稻垣道夫 著
田中甚吉

郭希烈 译
张文钺

*

责任编辑：方婉莹 版式设计：王颖

封面设计：肖晴 责任校对：熊天荣

责任印制：尹筱伦

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32·印张 8·字数 170 千字

1992年5月北京第1版·1992年5月北京第1次印刷

印数 0,001—3,200·定价：6.80 元

*

ISBN 7-111-02933-X/TG·643

译 者 的 话

本书是日本广济堂产报出版的《焊接实践丛书》(共四卷)的第四卷。全书大致分为三部分,第1、2章为第一部分,是介绍高强钢的发展现状和基本知识。第3、4、5、6章为第二部分,是叙述和讨论高强钢焊接的有关问题,也是本书的核心内容,这部分主要介绍了高强钢的焊接性(包括焊接热影响区的组织、硬度、冷裂纹、热裂纹、再热裂纹、层状撕裂以及焊接接头的性能等)、高强钢焊接方法和焊接材料的选择、高强钢焊接接头设计和焊接施工工艺,最后还介绍了焊接质量管理、焊接试验和有关无损检测的知识。这部分内容简明扼要、系统全面,并有许多具体数据可直接用于工程施工。本书的第三部分,即第7章,是列举高强钢建造各种大型焊接结构的工程实例。通过这些工程实例(船舶、海洋工程结构、桥梁、贮槽、球罐、耐压水管和高层建筑框架等),可以系统掌握高强钢焊接的要领。因此本书是一本实践性很强的参考书。

为了便于读者使用、查阅,译者在书末编入了中日化学成分近似的钢号对照表、中日焊条牌号对照表以及本书所涉及的主要日汉技术名词对照表。

本书由北京铁道科学研究院郭希烈研究员翻译第1、3、5、7章,由天津大学张文钺教授翻译第2、4、6章、发刊词、前言和索引,然后相互审校。

限于译者的翻译和业务水平,译稿难免有不妥和错误之处,敬希读者批评指正。

译者

1990年12月

《焊接实践丛书》发刊词

技术图书编辑委员会委员长 稻垣道夫

焊接技术是工业生产的基础技术，现在几乎各工业部门为了制造和维修结构及产品构件，都广泛地应用着焊接。可以说离开焊接、工业生产将难以想象。

回顾过去，日本焊接协会以谋求焊接启蒙和普及为使命，30多年来一直开展焊接图书的发行工作。这对于日本摆脱战败的困境，进行产业复兴以及在资源贫乏的日本开拓技术立国的道路，起了很大的推动作用。

最初，在协会内部附设一个部门，承担出版工作，虽经多方努力，但成效甚微。后来这个部门独立于协会之外，成立了产报出版股份公司，从而扩大了出版业务。针对这一情况，日本焊接协会对焊接图书的发行又从旁予以全力协助与指导。

现代工业技术正在激烈地变革，也包括焊接技术在内，所有的技术都是相互关联的，这就是形成尖端技术势态。在这种醒目的革新之际，日本焊接协会为适应这种形势，于1982年1月确立了焊接图书发行的管理体制，设置了《技术图书编辑委员会》，进一步明确了发行系列图书。

在这种思想指导下，该编辑委员会经过认真地规划、审议，编辑了《焊接实践丛书》，本书就是其中的一卷。

本书以在焊接现场担任指导工作的工长、监督员和骨干技术人员为读者对象，本书水平正好与1966~1971年以《焊

接技术丛书编辑委员会》名义编辑的、通称为《重点丛书》的水平相当。

然而，本丛书由日本焊接协会委任《技术图书编辑委员会》监编，所以《焊接实践丛书》就是以满足 WES 8103 二级焊接技术人员和 WES8107 电弧焊作业指导者的具体需要为目的而编写的。本书在展望今后焊接技术的同时，密切结合现状，以新的观点编写而成。无疑，本书的问世，将会对日本焊接界起重要的作用。

前 言

本书是在日本焊接协会出版委员会技术图书编辑委员会规划监编之下，按照新的《焊接实践丛书》编写计划编写的单行本，以中厚板（6~100mm）抗拉强度为50~100 kgf/mm²⊖ 高强钢的焊接为主要内容，针对从事焊接生产技术人员必需的技术要点加以编写的。

本书是为担任焊接生产的监查人员和负责指导工作的具有WES8103二级焊接技术员及具有WES8107焊接生产指导人员提供高强钢焊接中必需的业务知识和技术，同时也可作为系统的、实际施工中的业务指导书。

使用高强钢的范围在逐年扩大，结构正向着大型化、多样化和复杂化的方向发展，对钢材和焊接质量的要求也在日益提高。为了制造满足上述要求的焊接结构，已经开发了新的高强钢冶炼技术（如TMCP钢）和高质量、高可靠性的焊接施工技术（如脉冲MIG焊），并且已得到应用，这是以往的工艺方法难以得到的特性和优良的焊接性。

制造高质量的焊接产品和焊接结构，应掌握高强钢的特性、焊接性和焊接技术的基本事项，这对焊接施工是非常重要的。本书在论述制钢技术和焊接施工技术发展情况的同时，对焊接高强钢时应该预先了解的基本事项也进行了具体的、深入浅出的阐述。

在概论中，在说明焊接产品和焊接结构的完好性、可靠性和安全性的同时，还强调了经济性，并说明选择钢材和焊接施工方法是至关重要的。

⊖ 1kgf/mm² = 9.80665MPa, 下同。——译者注

在本书高强钢的种类和特征一章中，介绍了近年来炼钢技术及钢材特征，并且还介绍了在使用上应注意的事项。

在**高强钢焊接性**一章中，以焊接热作用而产生的淬硬、焊接裂纹和焊接热影响区的韧性变化为中心，对于选择焊接施工条件的基本知识进行了必要的说明。

在**焊接方法和焊接材料**一章中，以**高强钢**的实用为主要内容，对它的特征和应用注意事项也作了叙述。

在**焊接施工**一章中，按照标准的制造流程，对焊接接头设计、组装及定位、预热、焊接、后热、修补和焊接区的加工等各项程序中的基本事项都作了详细的论述。此外，对焊后热处理、焊接变形、安全卫生和施工计划等，作为管理者应该预先掌握的有关事项，也作了概要的论述。焊接施工各项程序的作业标准，虽然根据钢种而不同，但书中对一些重要的地方都具体列出了标准数据。

在**质量保证**一章中，说明了保证质量的意义和焊接管理方法，并举例说明试验和检测的顺序，以及具体要求的数据。

在**焊接产品制造举例**一章中，选取了各产业部门有代表性的6种产品结构，针对它们的特点作了具体的阐述。

如上所述，本书对于**高强钢**焊接领域应知的基本内容都作了说明。但为了更深刻地理解，最好阅读与本书有密切关系的《焊接实践丛书2》中的《结构用钢的焊接实践》及《焊接全书》中的《高强钢、低温钢的焊接》。

在本书编写之际，第七章中的举例，曾得到酒井铁工所的松浦十四彦、日本钢管的三村道夫、安藤政明、原沢秀明、宫田隆文、溝渕理巨等人的大力协助，在此表示感谢。此外，对于本书中所引用和参考文献的各位作者也表示谢意。

著者 1984年6月

目 录

译者的话

《焊接实践丛书》发刊词

前言

1 概论	1
1.1 钢材的选择	1
1.2 焊接工艺的选定	5
2 高强钢的种类和特征	11
2.1 高强钢的定义和历史	11
2.2 高强钢的分类和标准	13
2.2.1 分类	13
2.2.2 标准	13
2.3 高强钢的制造方法	22
2.3.1 制造过程概要	22
2.3.2 钢性能变化的简介	22
2.3.3 控轧简介	25
2.4 高强钢的性能	28
2.4.1 化学成分	28
2.4.2 拉伸性能	29
2.4.3 缺口韧性	33
2.4.4 加工性	35
2.4.5 疲劳特性	37
2.4.6 其它特性	39
3 高强钢的焊接性	42
3.1 焊接性和热影响区的组织	42

3.1.1	什么是焊接性	42
3.1.2	焊接热影响区的组织	42
3.1.3	影响冷却条件的因素	47
3.2	高强钢的接合性 (狭义的焊接性)	49
3.2.1	焊接热影响区的硬度	49
3.2.2	焊接冷裂纹	52
3.2.3	热裂纹	69
3.3	接头性能	71
3.3.1	拉伸性能	71
3.3.2	缺口韧性	72
3.3.3	断裂特性	78
3.3.4	疲劳强度	81
3.3.5	焊后热处理的影响	83
4	焊接方法和焊接材料	86
4.1	手工电弧焊	87
4.1.1	原理和特征	87
4.1.2	焊接材料的种类和焊接条件	87
4.1.3	使用上的注意事项	90
4.2	自动埋弧焊	94
4.2.1	原理和特征	94
4.2.2	焊接材料的种类及焊接条件	95
4.2.3	应用上的注意事项	99
4.3	金属极气体保护焊	99
4.3.1	原理及特征	99
4.3.2	焊接材料的种类及焊接条件	101
4.3.3	应用上的注意事项	102
4.4	自保护电弧焊	111
4.4.1	原理及特征	111
4.4.2	焊接材料的种类及焊接条件	111

X

4.5 气电立焊	112
4.5.1 原理和特征	112
4.5.2 焊接材料的种类及焊接条件	112
4.6 电渣焊	113
4.6.1 原理和特征	113
4.6.2 焊接材料的种类及焊接条件	113
4.7 TIG焊	114
4.7.1 原理和特征	114
4.7.2 焊接材料的种类及焊接条件	115
4.8 其它焊接法	116
4.9 焊接用电源	116
4.9.1 焊接电源的特征	116
4.9.2 脉冲重叠的电源	119
5 焊接接头设计和焊接工艺	120
5.1 焊接接头设计和构件加工	120
5.1.1 焊接接头的型式和载荷传递	120
5.1.2 焊接符号	121
5.1.3 设计上的注意要点	121
5.1.4 构件加工	125
5.2 组装和定位	126
5.2.1 组装和焊接用夹具	126
5.2.2 定位焊	129
5.2.3 夹具固定焊	132
5.3 预热工艺	133
5.3.1 预热温度的选定	133
5.3.2 预热工艺	137
5.4 焊接工艺	140
5.4.1 焊接条件	140
5.4.2 焊接顺序	141

5.4.3	熔敷顺序	142
5.4.4	清根	147
5.4.5	焊接材料的处理	148
5.4.6	天气的考虑	148
5.4.7	其它注意事项	149
5.5	后热处理	149
5.6	焊接区的整修	152
5.6.1	正式焊接区的整修	152
5.6.2	夹具卸除的整修	153
5.7	缺陷的补修	154
5.7.1	缺陷的发生及其影响	154
5.7.2	缺陷的补修方法	155
5.8	焊后热处理	157
5.8.1	焊后热处理的适用范围	157
5.8.2	焊后热处理的方法	158
5.9	防止焊接变形的措施	158
5.9.1	焊接变形的种类和特征	159
5.9.2	防止焊接变形的措施	165
5.10	安全卫生	169
5.10.1	事故种类和措施	170
5.10.2	安全卫生教育	172
6	质量保证和试验及检验	174
6.1	质量保证和焊接管理	174
6.1.1	质量保证	174
6.1.2	质量保证的方式	175
6.1.3	焊接管理	177
6.2	焊接质量保证的步骤	180
6.2.1	焊接质量管理	182
6.2.2	资格认定	182

Ⅱ

6.2.3 确认试验	184
6.2.4 焊接接头的质量	184
6.3 焊缝的试验及检验	186
6.3.1 焊前试验及检验	187
6.3.2 焊接过程中的试验及检验	189
6.3.3 焊后试验及检验	192
6.3.4 无损检测	194
6.3.5 成品检验	199
7 使用高强钢的焊接产品和结构的生产举例	201
7.1 船舶	203
7.2 海洋结构	207
7.3 桥梁	210
7.4 贮槽	213
7.4.1 球形贮槽	213
7.4.2 石油贮槽	215
7.5 耐压水管	217
7.6 建筑框架	222
日汉技术名词对照表	224
附录	234
中、日化学成分近似的钢号对照表	234
中、日焊条牌号对照表	235
参考文献	238

1 概 论

焊接技术是根据许多材料和焊接方法中，择其优者加以组合，生产焊接产品和焊接结构的技术。日本的焊接技术，是围绕着低碳钢和高强钢，作为焊接结构用钢而发展起来的。

最近从确保资源、能源和人类的福利等立场出发，对于焊接构件和焊接结构的日益大型化或复杂化，就必须要求高性能，重视健全性、可靠性和安全性。因而使用优质的低碳钢和高强钢及相应的焊接技术就显得非常重要。所以焊接技术人员、焊接管理人员、焊工以及与焊接有关的无损探伤检查人员，在材料与焊接方法的组合中，应把低碳钢和高强钢的焊接作为最基础的焊接技术。

1.1 钢材的选择

高强钢是属低碳低合金的结构用钢，考虑了焊接性、缺口韧性，它的静强度在常温附近比低碳钢要高，通常抗拉强度为 50kgf/mm^2 以上，屈服强度约为 30kgf/mm^2 以上。这里所说的常温是指比 -10°C 高的大气温度。而焊接性的定义是指“用某种焊接方法焊接母材时，是否能获得满意的接合，焊接接头能否获得产品和结构的使用要求”而言的。

焊接性可分为①工艺焊接性（或称接合性），②使用性能的焊接性。这里①的定义是一种狭义的焊接性，广义来讲，它包含着②的使用性能。所以母材的焊接性，并非是材料的

固有性质，而是与焊接方法相组合有关。对于高强钢来讲，母材强度和焊接性同等重要。在工艺焊接性中要重视焊接裂纹和淬硬性，在使用焊接性中，重要的是接头的基本静强度和缺口韧性等。

高强钢的种类，可以大致分为经过淬火回火的调质钢和非调质钢。非调质钢又可分为通常的轧制钢、控轧钢和正火钢等。一般非调质钢是常温抗拉强度在 60kgf/mm^2 (HT 60) 级以下的钢材。调质钢则为 HT60 级以上。根据这种调质、非调质的区别，两种钢材的强度、焊接性、焊接工艺和接头性能有着很大的不同，因而对高强钢的选择，这种区别是重要的。高强钢除去根据轧制、热处理方法分类之外，还有按照所添加的元素、静强度、缺口韧性、板厚和用途等进行分类。本书是以板厚约 6mm 以上的中厚钢材为主要对象。

应用高强钢的目的，是减轻产品和结构的重量，节约材料和缩短焊接工时。使产品和结构不但经济，而且可以提高生产效率和性能。但是使用强度高和板厚大的高强钢时，其焊接性一般就会成问题，缺口敏感性也有增大的倾向，所以这种焊接产品和结构的可靠性和安全性，就成为重要的课题。

关于高强钢的用途，除去常温条件下使用之外，根据使用温度和环境条件，有低温用，中、常温用（约 400°C 以下），高温用（蠕变区域），还有应加以强调的如耐候性、应力腐蚀裂纹、氢脆、氢蚀等的耐蚀性、耐磨性等。作为高强钢使用的具体例子，有船舶、海洋结构、建筑、桥梁、球形贮槽、石油贮槽和耐压水管等。

对于高强钢的选择，要以有关高强钢的日本工业标准 (JIS)，日本焊接协会标准 (WES) 等为基础，并考虑结

构和产品的设计思想, 生产、检查方法, 使用环境载荷条件, 防止破损事故措施等要求事项。

焊接结构使用高强钢时, 多数问题是母材和焊接接头的脆性破坏。由于 JIS 等标准按钢材的缺口韧性进行分类, 所以应当规定钢材的缺口韧性要求。WES3001 (焊接用高强钢板“HW”) 标准, 规定了使用温度在 -10°C 以上的缺口韧性要求值。关于规定缺口韧性的要求, 目前尚没有一致的结论, 主要是根据过去的经验和判断。

作为必须定性考虑的因素有①设计因素: 结构的形状尺寸和重要程度; ②生产因素: 接头形式、板厚、焊接区形状、焊接时的拘束、操作环境、焊接管理、弯曲加工; ③使用因素: 使用温度和应力、长期的载荷和短期的变动载荷、应变速度; ④损害因素: 破损断裂事故的影响、灾害结果的预测等。还有根据断裂力学的评价, 对于所定的应力来推断最低使用温度方法的开发。日本有 WES3003 (低温结构用钢板判断基准“LT标准”), 在 -10°C 以下的低温使用时, 可以采用某些评价方法来推测最低使用的可能温度。

关于高强钢的焊接性, 特别是接合性, 在这些标准中, 规定了制造方法、化学成分、碳当量 (C_{eq}), 还有焊接裂纹敏感性系数 (P_{CM})。日本焊接协会在如图 1.1 所示焊接用高强钢, 在有关标准体系的原有思路, 近年来加以修正和作成了新的推荐标准。也就是把过去的 WES3001 和 3002 合并, 采用 P_{CM} 值, 将焊接性分为 A 级和 B 级。A 级为适用于一般焊接结构的旧 WES3002 水平, 按照调质、非调质 (包含控轧钢) 的区别, 规定了 P_{CM} 的上限值。B 级是适用于焊接操作环境恶劣和接头的拘束条件苛刻的结构, 由于要求具有良好的焊接性, 所以规定了调质钢 P_{CM} 的上限值。B 级

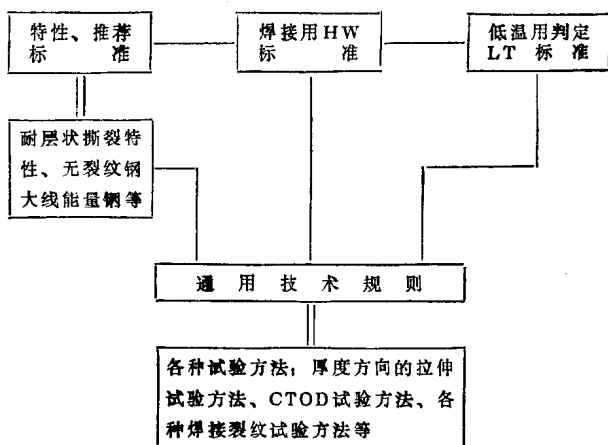


图1.1 WES焊接用高强钢板的标准体系

P_{CM} 的上限值，比各钢种A级的低0.02~0.03%。这个数值，从实验式推算预热温度，相当于20~40°C的差别。

WES3009（焊接裂纹敏感性低的高强钢板：CF标准）相当于图1.1所推荐的标准，也就是所说的无裂纹钢，虽然预热温度低，也不产生焊接冷裂纹，对于HW46和HW50钢进行了规定，使它们尽量降低C量和 P_{CM} 值（两钢种的C量在0.09%以下， P_{CM} 值在0.20%以下）。

这个标准除HW钢板以外，国内外各种标准所规定的屈服强度为46kgf/mm²级和50kgf/mm²级的钢板，是否能够广泛适用，也是所关注的问题。把WES3001分开已作为别的标准，但是实际应用上两个标准并用。进一步对于作为相类似的标准使用的钢板，除去WES3001的HW标准之外，也可以考虑JIS SM58、SPV46、SPV50和ASTM A-537 II级等钢板。