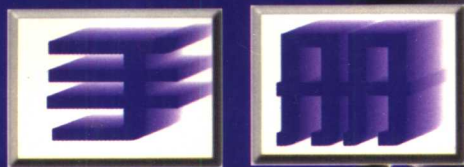


# 低合金钢

---

# 焊接基本数据

---



王永达 谢仕柜 主编

冶金工业出版社

# 低合金钢焊接基本 数据手册

王永达 谢仕柜 主编

北京·  
冶金工业出版社  
1998

## 内 容 简 介

本手册是作者在收集了低合金钢焊接科技攻关成果中有关资料及其它文献资料基础上编写而成的。手册详细地介绍了国产低合金钢中常用的 18 个钢号的主要技术条件、生产工艺、加工工艺、钢材的物理性能、力学性能、焊接性能、焊接材料、焊接工艺以及焊接接头的各种性能等,给出了工程所需的基本技术数据;此外,还介绍了其它 23 个钢号的技术条件、工艺性能、热处理制度、焊接性能、配用焊接材料及钢的物理和基本力学性能等有关数据资料。

本手册为从事低合金钢研究、生产和应用部门的工程技术人员,以及从事低合金钢焊接结构设计、制造、安装、修复和使用部门的焊接工作者提供了一本实用的工具书,对有关高等院校师生也有参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

低合金钢焊接基本数据手册/王永达等主编. —北京:冶金工业出版社,1998.5

ISBN 7-5024-2033-9

I. 低… II. 王… III. 低合金钢-焊接-数据-手册  
IV. TG457.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 23796 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)  
北京昌平新兴胶印厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销  
1998 年 5 月第 1 版,1998 年 5 月第 1 次印刷  
850mm×1168mm 1/32;26.875 印张;718 千字;817 页;1-1500 册  
52.00 元

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 《低合金钢焊接基本数据手册》

## 编辑委员会

刘嘉禾	谢仕柜
兰德年	陈良材
周文英	王永达

## 序

随着科学技术的进步和工程领域的拓宽,普通碳素钢已不能满足使用部门提出的日益多样和严格的要求,低合金钢应运而生。60年代以后,节约资源的呼声越来越高,这时冶金生产工艺有了许多重大革新,使用合金元素更少的微合金钢有了突飞猛进的发展。低合金钢和微合金钢不仅填补了碳素钢和合金钢的空档,而且正在上下扩展,逐步占领传统碳素钢和合金钢的应用领域。以低合金高强度钢为例,在工业发达国家其产量已占钢总产量的15%左右,并且成为建造和生产舰船、工程机械、石油管线、高压容器、汽车构件等主要钢种。我国政府对低合金钢的发展给予了很大重视,在“六五”和“七五”两个五年计划期间,国家组织了有关专家从材料、工艺和应用等方面展开的科技攻关,研究开发了许多国家急需的新品种,通过“八五”攻关,现在低合金钢产量已占钢总产量的18%,虽然其中低合金钢筋和低合金钢轨占了很大比重,上面提到的可焊接低合金高强度钢与国外相比还有很大差距,但许多领域已进行了探索,有些已立足于国内。随着生产设备现代化改造的逐步实现,工程设备自行设计制造能力和国产化率的提高,今后低合金钢将会有很大的发展。

焊接是工程结构和机械部件的基本组合方式。低合金高强度钢除了强度和综合性能优于普通碳素钢外,良好的焊接性是它得以大量推广应用的重要因素。焊接性能的好坏是评价钢材使用性能的主要标志之一。钢材和与之配套的焊接材料和相应焊接工艺,是低合金高强度钢工程应用中的基本要素,三者密不可分,只有配套发展才能充分发挥其使用价值。因此,在新材料的研制中,对焊接材料和焊接工艺的研究都是同时进行的。在技术攻关过程中,对钢的焊接性、焊接材料与焊接工艺进行了大量系统的试验研究,积累了丰富的焊接基本性能数据。

为了使人们有效、合理、方便地使用新材料,曾经出版了许多材料手册和焊接手册。已出版的材料手册,侧重于材料的基本性能和服役性能,涉及加工使用性能的内容很少,即便列入了焊接性能,也不系统,缺少各钢号的完整的资料;已出版的焊接手册则偏重于焊接材料、焊接工艺和焊接结构,缺少对材料本身的系统介绍和焊接性能的完整数据。这对低合金钢的应用与推广,无疑是一大不足。

新编的这本手册不仅收集汇总了国产常用低合金钢号的系统焊接性能数据,还补充了各钢号的全面性能数据,这在材料手册和焊接手册中还是少见的,这样有利于对各钢号的全面系统了解,也便于查阅使用。

我相信,本手册的出版,将对我国低合金钢的推广应用和有效合理选用起到有益作用,并对工程结构和机械部件的更新换代、技术进步助一臂之力,对于科研、设计和制造使用部门的技术人员来说,本手册将是一本有用的工具书。

刘嘉禾

# 前 言

低合金钢是国民经济各个领域中使用最为广泛的一种材料，广大工程技术人员，特别是焊接工作者，迫切希望能有一本汇集国产低合金钢有关焊接基本数据的工具书，以便为焊接设计、焊接生产、保障焊接结构质量提供技术指导与参考。

在“六五”、“七五”期间，针对我国当时生产状况及国民经济发展的需要，国家科委和冶金工业部组织了全国各有关科研、设计、生产、使用部门以及某些高等院校和中国科学院等单位，在国家科委攻关局原负责人廖予群和冶金工业部钢铁司原司长杨栋同志的具体领导下，对国产常用的低合金钢的焊接性、焊接材料及焊接工艺进行了联合攻关，做了系统的试验研究，完善了各常用钢号焊接基本数据。1990年12月该课题通过了国家验收和专家鉴定，并得到了较高的评价。

为把这一科研成果转化为生产力，使之产生社会效益，原项目及其技术负责人杨栋、谢仕柜、兰德年、陈良材、曾乐、周文英等，组织力量，并取得了冶金工业部科技司的支持与批准，成立了编辑委员会，编写本手册。

全书共分19章，第1章至第10章、第13章至第18章是在原科技攻关成果汇编的基础上，又根据鉴定会资料重新加以整理、修正和补充编写而成的；第11章和第12章是根据何长虹高级工程师提供的“八五”期间的科技攻关成果资料编写的。前18章均为各常用钢号的焊接基本数据。第19章为前18章未包括的其它常用钢号的基本数据资料，魏真明高级工程师参加了本章的资料收集与编写工作。本书由王永达、谢仕柜主编。

本手册在编辑过程中得到了有关领导的指导和支持，得到了原各专题负责人及各专题参加单位的有关同志的大力支持与协助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编委水平所限,不足之处在所难免,恳请读者、专家、学者批评指正。

本书第1章至第10章、第13章至第18章各钢号的原科技攻关负责人及其攻关成果汇编者:

第1、2章 张寅;第3章 于俊川;

第4、5章 杨克;第6章 陆宗菁;

第7、8章 梁东图;第9、10章 王录田;

第13~16章 陆宗菁;第17章 邓金生;

第18章 徐彦生

编辑委员会





ISBN 7-5024-2033-9



9 787502 420338 >

ISBN 7-5024-2033-9  
TG · 226 定价 52.00 元

# 目 录

## 1 船板用 E32 钢焊接基本数据

<b>1.1 钢板性能</b> .....	(1)
1.1.1 化学成分 .....	(1)
1.1.2 钢板力学性能 .....	(1)
1.1.3 钢板冲击韧性 .....	(2)
1.1.4 钢板落锤试验(NDT) .....	(2)
1.1.5 钢板断裂韧性(COD) .....	(3)
1.1.6 E32 钢金相组织 .....	(3)
1.1.7 E32 钢低温冲击断口形貌 .....	(3)
1.1.8 E32 钢物理参数 .....	(4)
1.1.9 E32 钢板冷加工性能 .....	(4)
1.1.10 E32 钢板热加工性能 .....	(5)
1.1.11 E32 钢板耐海水腐蚀性 .....	(7)
<b>1.2 配套焊条</b> .....	(7)
1.2.1 牌号 .....	(7)
1.2.2 熔敷金属化学成分 .....	(7)
1.2.3 熔敷金属力学性能 .....	(8)
<b>1.3 钢板焊接性能</b> .....	(8)
1.3.1 焊接条件 .....	(8)
1.3.2 焊接接头常规力学性能 .....	(9)
1.3.3 E32 钢焊接连续冷却转变特性 .....	(10)
1.3.4 焊接性试验 .....	(13)
1.3.5 焊接接头落锤试验(NDT) .....	(16)
1.3.6 焊接接头动态撕裂试验(DT) .....	(18)
1.3.7 焊接接头低周疲劳试验 .....	(19)

- 1.3.8 焊接接头基本断裂韧性(COD) ..... (25)
- 1.3.9 焊接接头耐海水腐蚀试验..... (28)
- 1.3.10 焊接接头应变时效性能 ..... (31)
- 1.3.11 焊接接头金相组织及断口形貌 ..... (33)

## 2 船板用 E36 钢焊接基本数据

- 2.1 钢板性能**..... (39)
- 2.1.1 钢板化学成分..... (39)
- 2.1.2 钢板力学性能..... (39)
- 2.1.3 钢板冲击韧性..... (40)
- 2.1.4 钢板落锤试验(NDT) ..... (41)
- 2.1.5 钢板断裂韧性(COD) ..... (41)
- 2.1.6 E36 钢奥氏体连续冷却转变曲线(CCT)..... (41)
- 2.1.7 E36 钢变形过冷奥氏体连续冷却转变曲线  
(变形 CCT) ..... (42)
- 2.1.8 E36 钢金相组织及断口形貌..... (43)
- 2.1.9 E36 钢物理参数..... (44)
- 2.1.10 E36 钢板冷加工性能 ..... (44)
- 2.1.11 E36 钢板热加工性能 ..... (45)
- 2.1.12 E36 钢板耐海水腐蚀性能 ..... (47)
- 2.2 配套焊条**..... (47)
- 2.2.1 牌号..... (47)
- 2.2.2 熔敷金属化学成分..... (47)
- 2.2.3 熔敷金属力学性能..... (48)
- 2.3 钢板焊接性能**..... (48)
- 2.3.1 焊接条件..... (48)
- 2.3.2 焊接接头常规性能..... (49)
- 2.3.3 焊缝金属(E36+YTW507R)  
奥氏体连续冷却转变特性..... (52)
- 2.3.4 E36 钢焊接连续冷却转变特性 ..... (53)

2.3.5	焊接性试验	(56)
2.3.6	焊接接头落锤试验(NDT)	(61)
2.3.7	焊接接头动态撕裂试验(DT)	(62)
2.3.8	焊接接头低周疲劳试验	(65)
2.3.9	焊接接头基本断裂韧性(COD)	(69)
2.3.10	焊接接头耐海水腐蚀性能试验	(71)
2.3.11	焊接接头应变时效性能	(74)
2.3.12	焊接接头金相组织及断口形貌	(77)

### 3 船板及平台用 WFG-E40 钢焊接 基本数据

3.1	暂行技术条件(节选)	(82)
3.2	生产工艺流程	(83)
3.3	钢板性能	(83)
3.3.1	钢板化学成分	(83)
3.3.2	钢板力学性能	(84)
3.3.3	钢板系列冲击试验	(85)
3.3.4	钢板落锤试验(NDT)	(87)
3.3.5	钢板动态撕裂试验(DT)	(87)
3.3.6	钢板断裂韧性(COD)	(88)
3.3.7	钢板深缺口宽板拉伸试验	(88)
3.3.8	钢板疲劳裂纹扩展速率及寿命的测定	(89)
3.3.9	钢板显微组织、夹杂物及硫印	(91)
3.3.10	WFG-E40 钢奥氏体连续冷却转变 曲线(CCT)	(93)
3.3.11	WFG-E40 钢的物理参数	(94)
3.3.12	钢板海水腐蚀性能试验	(94)
3.3.13	钢板应变时效敏感性试验	(95)
3.3.14	钢板冷加工性能试验	(97)
3.3.15	钢板热加工水火弯板工艺	(97)

<b>3.4 配用焊接材料</b> .....	(98)
3.4.1 焊条.....	(98)
3.4.2 焊丝与焊剂.....	(98)
<b>3.5 钢板焊接性能</b> .....	(99)
3.5.1 焊接接头常规力学性能.....	(99)
3.5.2 消应处理后的接头性能.....	(101)
3.5.3 焊接接头金相组织与断口形貌.....	(101)
3.5.4 WFG-E40 钢焊接连续冷却转变特性.....	(105)
3.5.5 WFG-E40 钢埋弧焊焊缝金属连续冷却转变特性.....	(106)
3.5.6 焊接性试验.....	(108)
3.5.7 焊接接头落锤试验(NDT).....	(114)
3.5.8 焊接接头疲劳试验.....	(114)
3.5.9 焊接接头基本断裂韧性(COD).....	(117)
3.5.10 焊缝及热影响区动态撕裂试验.....	(117)
3.5.11 焊缝及热影响区应变时效敏感性试验.....	(118)
3.5.12 焊接试板中心缺口宽板拉伸试验.....	(118)
3.5.13 焊接试板爆炸膨胀试验.....	(120)
3.5.14 焊接接头耐海水腐蚀试验.....	(120)

## 4 平台用转炉 Z 向钢 D36 焊接 基本数据

<b>4.1 钢板技术条件</b> .....	(121)
4.1.1 化学成分(熔炼分析).....	(121)
4.1.2 力学性能.....	(121)
4.1.3 钢中非金属夹杂物.....	(121)
<b>4.2 钢板生产工艺流程</b> .....	(121)
<b>4.3 钢板性能</b> .....	(122)
4.3.1 钢板化学成分.....	(122)
4.3.2 钢板力学性能.....	(123)

4.3.3	钢板冲击韧性 .....	(124)
4.3.4	钢板落锤试验(NDT) .....	(125)
4.3.5	钢板断裂韧性(COD) .....	(126)
4.3.6	微观组织与夹杂物 .....	(127)
4.3.7	钢板破断口试验 .....	(128)
4.3.8	钢板动态撕裂试验(DT) .....	(128)
4.3.9	钢板低周疲劳与腐蚀疲劳性能 .....	(129)
4.3.10	钢板疲劳裂纹扩展速率( $da/dN$ ) .....	(130)
4.3.11	钢板应变时效敏感性试验 .....	(131)
4.3.12	钢板冷加工成形条件 .....	(131)
4.3.13	顶端淬火试验 .....	(131)
4.3.14	D36 钢奥氏体等温转变曲线(TTT) .....	(132)
4.3.15	D36 钢奥氏体连续冷却转变曲线(CCT) .....	(133)
4.3.16	物理参数 .....	(133)
<b>4.4</b>	<b>配套焊接材料 .....</b>	<b>(134)</b>
4.4.1	焊条 .....	(134)
4.4.2	焊丝与焊剂 .....	(136)
<b>4.5</b>	<b>钢板焊接性能 .....</b>	<b>(136)</b>
4.5.1	手工焊焊接接头常规性能 .....	(136)
4.5.2	埋弧焊焊接接头常规性能 .....	(141)
4.5.3	D36 钢焊接连续冷却转变曲线(SH-CCT) .....	(144)
4.5.4	焊接性试验 .....	(144)
4.5.5	焊接接头落锤试验 .....	(152)
4.5.6	焊接接头疲劳裂纹扩展速率( $da/dN$ ) .....	(153)
4.5.7	焊接接头耐海水腐蚀性能试验 .....	(155)

## 5 平台用电炉 Z 向钢 WFG-36Z 焊接 基本数据

<b>5.1</b>	<b>技术条件(暂) .....</b>	<b>(157)</b>
<b>5.2</b>	<b>生产工艺流程 .....</b>	<b>(158)</b>

<b>5.3 钢板性能</b> .....	(158)
5.3.1 钢板化学成分 .....	(158)
5.3.2 钢板力学性能 .....	(160)
5.3.3 钢板系列冲击 .....	(164)
5.3.4 钢板落锤试验(NDT) .....	(165)
5.3.5 钢板断裂韧性(COD)( <i>T-L</i> 向) .....	(167)
5.3.6 钢板动态撕裂试验(DT) .....	(168)
5.3.7 钢板 <i>T-L</i> 向宽板拉伸试验 .....	(171)
5.3.8 钢板 <i>T-L</i> 向疲劳裂纹扩展速率 及门坎值测定 .....	(171)
5.3.9 钢板的显微组织及夹杂物 .....	(172)
5.3.10 WFG-36Z 钢奥氏体连续冷却转变曲线 .....	(173)
5.3.11 WFG-36Z 钢的物理参数 .....	(174)
5.3.12 钢板海水腐蚀性能试验 .....	(174)
5.3.13 钢板应变时效敏感性试验 .....	(175)
5.3.14 钢板冷加工性能试验 .....	(175)
<b>5.4 配用焊接材料</b> .....	(177)
5.4.1 焊条 .....	(177)
5.4.2 焊丝与焊剂 .....	(180)
<b>5.5 钢板焊接性能</b> .....	(180)
5.5.1 手工焊焊接接头常规性能 .....	(180)
5.5.2 埋弧自动焊焊接接头常规力学性能 .....	(190)
5.5.3 WFG-36Z 钢焊接连续冷却转变特性 .....	(192)
5.5.4 焊接性试验 .....	(192)
5.5.5 焊接接头落锤试验(NDT) .....	(203)
5.5.6 母材和 HAZ 低周疲劳裂纹扩展 速率( $da/dN$ ) .....	(204)
5.5.7 焊接接头耐海水腐蚀性能试验 .....	(207)

## 6 15MnVN 钢焊接基本数据

<b>6.1 钢材的主要技术条件</b> .....	(209)
6.1.1 钢号和化学成分的规定 .....	(209)
6.1.2 力学性能的规定 .....	(209)
6.1.3 执行标准 .....	(210)
<b>6.2 生产工艺</b> .....	(210)
6.2.1 冶炼 .....	(210)
6.2.2 热加工 .....	(210)
6.2.3 热处理 .....	(210)
<b>6.3 钢板性能</b> .....	(210)
6.3.1 钢板化学成分 .....	(210)
6.3.2 钢板常规力学性能 .....	(211)
6.3.3 钢板低温拉伸性能 .....	(212)
6.3.4 钢板高温拉伸性能 .....	(212)
6.3.5 钢板系列温度冲击性能 .....	(212)
6.3.6 不同板厚、不同状态下钢板的力学性能 .....	(214)
6.3.7 钢板无塑性转变温度(NDT) .....	(214)
6.3.8 钢板断裂韧性(COD) .....	(215)
6.3.9 无量纲 COD 与应变关系曲线 .....	(216)
6.3.10 钢板疲劳性能 .....	(216)
6.3.11 钢板应变时效敏感性 .....	(217)
6.3.12 钢板冷热加工性能 .....	(219)
6.3.13 钢的临界点 .....	(219)
<b>6.4 配用焊接材料</b> .....	(220)
6.4.1 一般可配用的焊接材料 .....	(220)
6.4.2 推荐选配的焊接材料 .....	(220)
<b>6.5 钢板的焊接性</b> .....	(220)
6.5.1 15MnVN 钢焊接 HAZ 连续冷却转变特性 .....	(220)
6.5.2 焊接冷却时间( $t_{8/5}$ )和 HAZ 粗晶区的组织、	



	硬度及性能关系的实测数据 .....	(222)
6.5.3	焊接冷裂纹敏感性试验 .....	(228)
6.5.4	层状撕裂敏感性试验 .....	(231)
6.5.5	再热脆化倾向试验 .....	(233)
6.5.6	热应变脆化倾向试验 .....	(234)
<b>6.6</b>	<b>焊接工艺基本参数</b> .....	(237)
6.6.1	推荐的焊接工艺基本参数 .....	(237)
6.6.2	推荐的焊后热处理规范 .....	(238)
<b>6.7</b>	<b>焊接接头性能</b> .....	(238)
6.7.1	焊缝金属化学成分 .....	(238)
6.7.2	焊缝金属拉伸性能 .....	(239)
6.7.3	对接接头拉伸与弯曲性能 .....	(239)
6.7.4	对接接头的冲击韧性 .....	(240)
6.7.5	接头系列冲击 .....	(240)
6.7.6	接头冲击强度 .....	(241)
6.7.7	焊接接头疲劳性能( <i>S-N</i> 曲线) .....	(242)
6.7.8	焊接接头断裂韧性(COD) .....	(243)

## 7 18MnMoNb 钢焊接基本数据

<b>7.1</b>	<b>主要技术条件</b> .....	(247)
7.1.1	钢号和化学成分的规定 .....	(247)
7.1.2	力学性能的规定 .....	(247)
7.1.3	执行标准 .....	(248)
<b>7.2</b>	<b>热加工及缓冷工艺</b> .....	(248)
7.2.1	热加工工艺 .....	(248)
7.2.2	缓冷工艺 .....	(248)
<b>7.3</b>	<b>热处理</b> .....	(248)
7.3.1	常用的热处理制度 .....	(248)
7.3.2	推荐的热处理制度 .....	(249)
<b>7.4</b>	<b>钢板性能</b> .....	(249)