

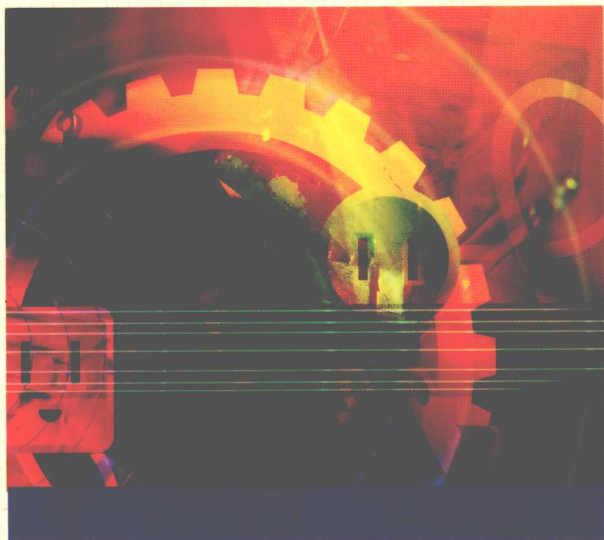
职业技能鉴定培训读本

高级工

电 焊 工

吉化集团公司 组织编写

孙景荣 王丽华 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

职业技能鉴定培训读本（高级工）

电 焊 工

吉化集团公司 组织编写

孙景荣 王丽华 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电焊工/孙景荣, 王丽华主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 8

职业技能鉴定培训读本 (高级工)

ISBN 7-5025-6046-7

I. 电… II. ①孙…②王… III. 电焊-焊接工艺-职业技能鉴定-教材 IV. TG443

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 085304 号

职业技能鉴定培训读本 (高级工)

电 焊 工

吉化集团公司 组织编写

孙景荣 王丽华 主编

责任编辑: 周国庆 刘 哲 周 红

责任校对: 王素芹

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京彩桥印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 15¼ 字数 488 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6046-7/TH·227

定 价: 31.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前言

在科技突飞猛进、知识日新月异的今天，国际经济和科技的竞争越来越围绕人才和知识的竞争展开。工程技术是科学技术和实际应用之间的桥梁。随着社会和科学技术的发展，工程技术的范围不断扩大，手段日益丰富更新，但其强烈的实践性始终未变。在工程技术人才中，具有丰富实际经验的技术工人是不可或缺的重要组成部分。近年来技术工人队伍的严重缺乏，已引起广泛重视。为此，教育部启动了“实施制造业和服务业技能型紧缺人才培养工程”。从2002年下半年起，国家劳动和社会保障部实施“国家高技能人才培养工程”，并建立了“国家高技能人才（机电项目）培养基地”。这是落实党中央、国务院提出“科教兴国”战略方针的重要举措，也是我国人力资源开发的一项战略措施。这对于全面提高劳动者素质，培育和发展劳动力市场，促进培育与就业结合，推行现代企业制度，深化国有企业改革，促进经济发展都具有重要意义。

《劳动法》第八章第六十九条规定：“国家规定职业分类，对规定的职业制定职业技能标准，实行职业资格证书制度，由经过政府批准的考核鉴定机构负责对劳动者实施职业技能考核鉴定”。《职业教育法》第一章第八条明确指出：“实施职业教育应当根据实际需要，同国家制定的职业分类和职业登记标准相适应，实行学历文凭、培训证书和职业资格证书制度”。职业资格证书是表明劳动者具有从事某一职业（或复合性职业）所必备的学识和技能的证明，它是劳动者求职、任职、开业的资格凭证，是用人单位招聘、录用劳动者的主要依据，也是境外从业与就业、对外劳务合作人员办理技能水平公证的有效证件。

根据这一形势，化学工业出版社组织吉化集团公司、河北科技大学、天津大学、天津军事交通学院等单位有关人员，根据2000

年3月2日国家劳动和社会保障部部长令（第6号）发布的就业准入的相关职业（工种），组织编写了《职业技能鉴定培训读本（高级工）》（以下简称《读本》），包括《工具钳工》、《检修钳工》、《装配钳工》、《管工》、《铆工》、《电焊工》、《气焊工》、《维修电工》、《仪表维修工》、《电机修理工》、《汽车维修工》、《汽车维修电工》、《汽车维修材料工》、《摩托车维修工》、《车工》、《铣工》、《刨插工》、《磨工》、《镗工》、《铸造工》、《锻造工》、《钣金工》、《加工中心操作工》、《热处理工》、《制冷工》、《气体深冷分离工》、《防腐蚀工》、《起重工》、《锅炉工》等29种，以满足高级工培训市场的需要。本套《读本》的编写人员为生产一线的工程技术人员、高级技工，以及长期指导生产实习的专家等，具有丰富的实践和培训经验。

这套《读本》是针对高级技术工人和操作工而编写的，以《国家职业标准》和《职业技能鉴定规范》为依据，在内容上以中级作为起点，但重点为高级，注重实践性、启发性、科学性，做到基本概念清晰，重点突出，简明扼要，对基本理论部分以必须和够用为原则，突出技能、技巧，注重能力的培养，并从当前高级技工队伍素质的实际出发，努力做到理论与实际相结合，深入浅出，通俗易懂；面向生产实际，强调实践，书中大量实例来自生产实际和教学实践；在强调应用、注重实际操作技能的同时，反映新知识、新技术、新工艺、新方法的应用和发展。

本书是《电焊工》。依据《国家职业标准》的要求，主要介绍了金属学基础知识及焊接冶金、焊接电弧、焊接设备、电焊条和焊丝、电焊工操作技术、金属材料的焊接、异种金属的焊接、焊接应力与强度、焊接接头的检测及试验、焊接接头的质量保证及管理、焊接结构生产、焊接安全及卫生等内容。并着重描述了焊接领域最新技术应用和发展趋势，旨在使广大焊接工作者了解和掌握运用焊接新技术，适应生产发展需要，有利于新时期国民经济建设。

本书可作为高级电焊工的培训教材，也可供企业技术工人提高专业知识和工作技能参考。

本书由孙景荣、王丽华主编，其他编写人员还有李响、王巍。

全书由周国顺、王殿奎主审。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有缺点、错误，敬请读者指正。

编者

2004 年 5 月



录

第 1 章 金属学基础知识及焊接冶金	1
1.1 金属学基础知识	1
1.1.1 钢的热处理	1
1.1.2 金属材料的力学性能	3
1.2 焊接冶金及接头组织	6
1.2.1 焊接冶金基础知识	6
1.2.2 焊接区气体与金属的作用	7
1.2.3 焊缝金属的合金化	10
1.2.4 焊接结晶及焊接接头组织	13
第 2 章 焊接电弧	17
2.1 焊接电弧的本质与特性	17
2.1.1 焊接电弧的导电机理	17
2.1.2 焊接电弧的静特性	22
2.2 焊接电弧的引燃	23
2.2.1 接触引弧	23
2.2.2 高频及脉冲引弧	24
2.3 焊接电弧的功能	24
2.3.1 焊接电弧的产热功能	24
2.3.2 焊接电弧的产力功能	26
2.4 磁场对电弧的作用	28
2.4.1 自身磁场对电弧的作用	28
2.4.2 外加磁场对电弧的作用	29
2.5 电弧的熔滴过渡	29
2.5.1 熔滴的作用力	29
2.5.2 熔滴过渡的主要形式及特点	30
第 3 章 焊接设备	32
3.1 焊接设备的分类与焊机型号含义	32

3.2 弧焊电源	36
3.2.1 电弧的静特性	37
3.2.2 弧焊电源的外特性	38
3.2.3 弧焊电源的动特性	39
3.3 电弧焊机	40
3.3.1 电弧焊机的分类	40
3.3.2 交流弧焊机	40
3.3.3 弧焊整流器	40
3.3.4 晶闸管直流弧焊机	42
3.3.5 逆变弧焊机	44
3.4 钨极氩弧焊机	48
3.5 CO ₂ 气体保护焊机	50
3.6 埋弧自动焊机	52
3.6.1 埋弧自动焊机概述	52
3.6.2 MZ-1000 型埋弧自动焊机的构造及原理	54
3.7 电弧焊机的使用维护及故障排除	56
3.7.1 手工电弧焊机的使用维护	56
3.7.2 电弧焊机常见故障的排除	57
第4章 电焊条和焊丝	62
4.1 电焊条的分类及型号、牌号表示方法	62
4.1.1 电焊条的分类	66
4.1.2 焊条型号及牌号的表示方法	67
4.2 焊条的保管和使用	77
4.3 常用国产焊条的特点及用途	78
4.4 电焊条消耗量的估算	102
4.4.1 焊条消耗定额的估算	102
4.4.2 焊条消耗定额有关参数的计算	103
4.5 焊丝	106
4.5.1 国产焊丝的分类及牌号编制	106
4.5.2 常用焊丝牌号及用途	106
4.5.3 有色金属焊丝及铸铁焊丝	106
第5章 电焊工操作技术	112
5.1 手工电弧焊	112
5.1.1 接头和坡口形式	112

5.1.2	焊缝形式	116
5.1.3	焊缝代号	117
5.1.4	操作技术	120
5.1.5	焊接工艺参数及选择	128
5.1.6	各种位置焊接的基本操作	136
5.2	埋弧自动焊	153
5.2.1	埋弧自动焊的特点及应用	153
5.2.2	埋弧自动焊的电弧调节	154
5.2.3	埋弧自动焊的焊接材料	155
5.2.4	埋弧自动焊的工艺参数	155
5.2.5	埋弧自动焊的操作技术	158
5.3	气体保护电弧焊	160
5.3.1	气体保护电弧焊概述	160
5.3.2	二氧化碳气体保护焊	161
5.3.3	氩弧焊	171
5.4	电渣焊	175
5.4.1	电渣焊的特点	175
5.4.2	电渣焊的焊接材料	175
5.4.3	电渣焊设备	176
5.4.4	电渣焊工艺	176
第6章	金属材料的焊接	178
6.1	铸铁的补焊	178
6.1.1	铸铁的焊接性	178
6.1.2	铸铁的补焊	179
6.1.3	手工电弧补焊铸铁的方法	179
6.1.4	复杂铸铁件的补焊工艺	181
6.2	铜及铜合金的焊接	182
6.2.1	铜及铜合金的焊接性	182
6.2.2	铜及铜合金的焊接方法	182
6.3	铝及铝合金的焊接	185
6.3.1	铝及铝合金的焊接性	185
6.3.2	铝及铝合金的焊接方法	187
6.4	镍及镍合金的焊接	191
6.4.1	镍及镍合金的焊接性	192

6.4.2 镍及镍合金的焊接方法	193
6.5 钛及钛合金的焊接	195
6.5.1 钛及钛合金的焊接性	195
6.5.2 钛及钛合金的焊接方法	196
第7章 异种金属的焊接	199
7.1 碳钢与普通低合金钢的焊接	199
7.1.1 焊接材料的选用	199
7.1.2 焊接工艺	200
7.2 异种普通低合金结构钢的焊接	201
7.2.1 异种低合金钢材料	201
7.2.2 异种普通低合金结构钢的焊接方法	201
7.3 黑色金属与奥氏体不锈钢的焊接	203
7.3.1 奥氏体不锈钢与珠光体钢的焊接	204
7.3.2 奥氏体不锈钢与珠光体耐热钢的焊接	211
7.3.3 奥氏体不锈钢与铁素体钢的焊接	212
7.4 耐热钢与其他黑色金属的焊接	213
7.4.1 珠光体耐热钢与低碳钢的焊接	213
7.4.2 珠光体耐热钢与马氏体耐热钢的焊接	214
7.4.3 铁素体耐热钢与其他黑色金属的焊接	216
7.5 钢与有色金属的焊接	217
7.5.1 钢与铜及其合金的焊接	217
7.5.2 钢与镍及镍合金的焊接	220
7.5.3 钢与铝的焊接	225
7.5.4 钢与钛及钛合金的焊接	228
第8章 焊接应力与强度	230
8.1 应力集中概念	230
8.2 焊接应力的产生因素及分类	231
8.3 各种焊接接头的应力分布	232
8.3.1 对接接头的应力分布	232
8.3.2 搭接接头的应力分布	233
8.4 应力集中对焊缝强度的影响	235
8.5 焊接残余变形	236
8.5.1 焊接变形的种类	236
8.5.2 影响焊接变形的因素	238

8.5.3 防止焊接变形的措施	239
8.5.4 矫正焊接变形的的方法	243
8.6 焊接接头的力学性能	247
8.6.1 静载下焊接接头的力学性能	247
8.6.2 交变载荷下焊接接头的强度	250
8.7 焊接接头的许用应力	252
8.7.1 许用应力概念	252
8.7.2 焊接接头的许用应力	253
8.8 静载下焊接接头的强度计算	254
8.8.1 对接接头的强度计算	254
8.8.2 搭接接头的静载荷强度计算	257
8.8.3 T形接头(丁字接头)静载强度计算	260
第9章 焊接接头的检测及试验	262
9.1 焊接材料质量评定试验	262
9.1.1 电焊条的质量评定试验	262
9.1.2 焊剂质量评定试验	279
9.1.3 焊丝质量评定试验	285
9.2 可焊性试验(焊接性试验)	286
9.2.1 可焊性的定义及分类	286
9.2.2 焊接性的间接试验方法	287
9.2.3 焊接性的直接试验方法	295
9.3 焊接产品质量检验	310
9.3.1 焊缝的无损检验	310
9.3.2 钢制压力容器产品焊接试板的力学性能试验	320
9.3.3 焊接接头耐晶间腐蚀试验	327
9.3.4 焊接容器致密性试验方法	331
第10章 焊接接头的质量保证及管理	335
10.1 焊接工艺评定	335
10.1.1 焊接工艺评定的目的	335
10.1.2 焊接工艺评定的程序	336
10.1.3 焊接工艺评定的规则	339
10.1.4 试验要求和结果评价	353
10.1.5 焊接工艺规程的编制	363
10.2 焊接生产的定额管理	365

10.2.1	焊接材料消耗定额	365
10.2.2	劳动工时定额	373
10.3	焊工技术培训及考核	374
10.3.1	焊工考试的重要性	375
10.3.2	锅炉压力容器压力管道焊工考试内容及方法	375
10.3.3	焊工考试具体要求	385
10.3.4	考试结果评定	386
10.3.5	持证焊工的管理	393
10.4	焊接、加工设备的合理使用	398
10.4.1	备料设备的合理使用	398
10.4.2	焊接设备的合理使用	404
10.4.3	热处理设备的选用	405
10.4.4	无损检测设备的选用	405
10.5	焊接接头形式的合理选用	406
10.5.1	焊接接头的工艺性及选用	406
10.5.2	层状撕裂的接头选取	415
第 11 章	焊接结构生产	418
11.1	焊接结构设计原则	418
11.1.1	设计焊接结构应满足的基本要求	418
11.1.2	焊接结构设计的基本原则	418
11.1.3	焊接结构设计时钢材的选择	419
11.2	焊接结构材料准备	420
11.2.1	材料的存放	420
11.2.2	钢材矫正	421
11.2.3	表面清理	422
11.2.4	划线、放样、号料	423
11.2.5	切割下料	423
11.2.6	坡口与边缘加工	424
11.3	焊接结构生产的装配	425
11.3.1	焊接结构装配方法	425
11.3.2	装配焊接顺序	425
11.3.3	装配质量的检查	426
11.4	焊接结构生产	426
11.4.1	焊接工艺的选择	426

11.4.2	定位焊	427
11.4.3	各种长度焊缝的焊接方法	428
11.4.4	梁、柱及桁架的焊接	429
11.4.5	立式储罐的焊接	432
11.4.6	管道焊接	434
11.4.7	堆焊	438
第 12 章	焊接安全及卫生	445
12.1	焊接作业的危险因素和有害因素	445
12.1.1	焊接作业的危险因素	445
12.1.2	焊接作业的有害因素	445
12.2	防止触电的安全技术	447
12.2.1	安全电压的概念	447
12.2.2	防止触电的安全措施	448
12.2.3	触电急救	448
12.3	手工电弧焊安全技术	449
12.3.1	防止电弧光伤害	449
12.3.2	防止火灾与爆炸	449
12.3.3	防止有毒气体和烟尘中毒	451
12.4	埋弧焊的安全技术	453
12.5	手工钨极氩弧焊的安全技术	453
12.6	二氧化碳气体保护焊	454
12.7	等离子弧焊及等离子切割	454
12.8	焊接劳动保护	455
12.8.1	改善安全卫生条件的焊接技术措施	455
12.8.2	个人防护	456
12.8.3	登高作业安全措施	459
12.8.4	罐内作业及其他闭塞性场所焊接作业的安全	460
附录		462
参考文献		469

第 1 章 金属学基础知识及焊接冶金

1.1 金属学基础知识

1.1.1 钢的热处理

1.1.1.1 钢的固态相变

所谓固态相变，即是钢在加热和冷却过程中，其金相组织产生的各种不同转变。

(1) 加热时的转变 从铁碳平衡状态图中可以看出，亚共析钢当加热温度超过 A_3 线时，珠光体中的铁素体与渗碳体首先形成奥氏体，但晶粒很细小，所形成的奥氏体晶粒将珠光体外的铁素体吸收，如图 1-1 所示。

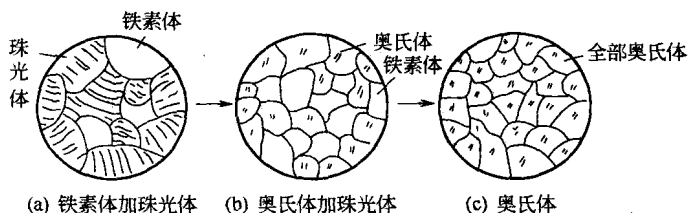


图 1-1 温度稍高于 A_3 线时，亚共析钢的转变示意

当加热温度超过 A_3 线很多时，比如低碳钢加热到 $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上，并停留较长时间，奥氏体晶粒便会长大起来，且从粗大的晶粒中析出针状铁素体，形成魏氏组织，提高了强度，降低了塑性和韧性。这些都是在焊接中所不愿发生的。

(2) 冷却时的转变 当温度降至 A_3 线以下时，亚共析钢将沿

着奥氏体晶粒边界首先析出铁素体。这时，奥氏体中的含碳量就增高了，当奥氏体中的含碳量高至 0.8% 时，渗碳体和铁素体就会产生各自间的小片状晶粒，形成珠光体。而铁素体和珠光体颗粒，却与原来奥氏体晶粒相差不多，如图 1-2 所示。

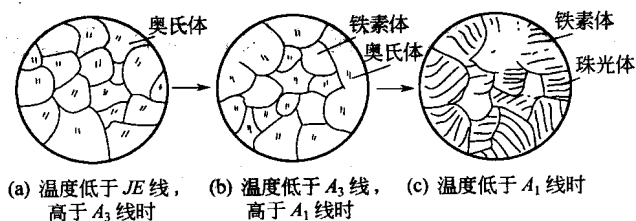


图 1-2 温度低于 A_3 线时，亚共析钢的转变示意

冷却时的转变是奥氏体的分解。冷却速度越慢时，奥氏体便在原晶粒大小的基础上，分解为铁素体和珠光体。所希望的是珠光体颗粒小，而片状组织又不太细。这样会提高强度、塑性和韧性。而冷却速度越快时，奥氏体来不及分解为珠光体和铁素体，而形成了又脆又硬的淬火组织，称为马氏体。

1.1.1.2 钢的热处理

将钢加热到某一温度，在该温度下保持一定时间，然后按一定的冷却速度冷却到室温，这一过程称为热处理。加热温度的高低、保温时间的长短、冷却速度的快慢，将对钢的组织变化产生很大的影响。焊接时，焊缝热影响区受热循环的作用，实际上就是受了一次热处理。常用的热处理方法有以下几种。

(1) 退火 将钢加热到 A_1 或 A_3 线以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，并保温一定时间，然后缓慢均匀地冷却到室温，或冷却到 A_1 线以下的某一温度，并保持一定时间后，再在空气中冷却，这一过程叫做退火处理。退火可以降低硬度，细化晶粒和消除内应力。焊接结构常用退火的方法来消除焊接应力。其加热温度在 A_1 线以下，一般为 $600 \sim 650^\circ\text{C}$ ，保温时间按 $4 \sim 5 \text{ min/mm}$ 计算（但不少于 1 h），然后在炉中或空气中冷却。

(2) 正火 钢加热到 A_3 或 A_{cm} 线以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，并保温一定

时间，然后在空气中冷却，这一过程叫正火。正火可以细化晶粒，提高钢的强度和硬度。由于在空气中冷却得快，正火后钢的晶粒较退火时更细，强度和硬度也都比退火时高。

(3) 淬火 对于亚共析钢，淬火时加热温度应高于 A_3 线以上 $30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，并要在此温度下保温一定时间，使钢的组织全部转变为奥氏体，然后在油中或空气中急冷，这一过程叫做淬火。由于冷却速度太快，奥氏体来不及分解为铁素体+珠光体，而生成淬火组织。含碳量较高的钢，其淬火组织为马氏体。马氏体是碳溶于体心立方晶格中的固溶体，呈白色针状，硬而脆。

在焊接含碳量高的钢时，热影响区容易出现这种组织，促使产生冷裂纹。在焊接有淬火倾向的钢时，常采用预热和焊后保温缓冷等措施，其目的就是为避免产生这种既硬又脆的马氏体组织。

(4) 回火 淬火后的钢常采用回火来恢复一些塑性和韧性，其加热温度低于 A_1 线。按回火的温度可分为低温回火和高温回火两种，低温回火的加热温度是 $150\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，高温回火的加热温度则在 $450\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。它与消除焊接应力退火的温度差不多，因此，有时也把消除应力退火称为消除应力回火。回火的保温时间一般在 $1\sim 4\text{ h}$ ，在空气或油中冷却。

在实际生产中，常对一些淬火的零件进行立即回火处理，这种连续热处理过程叫做调质处理。调质可使钢获得综合的力学性能。

1.1.2 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能，即受外力时所反应的性能。它是衡量金属材料极为重要的指标。金属材料的力学性能主要包括：拉伸性能、弯曲性能、冲击值、硬度等。

1.1.2.1 拉伸性能

它是指金属材料在拉力作用下所反映出来的能力。可采用拉力试验来测定，可得出以下数据。

(1) 抗拉强度 将单位面积的金属拉断时，所要的最大拉力叫做抗拉强度，用 σ_b 表示，其计算公式为

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F} \quad (1-1)$$

式中 σ_b ——抗拉强度，N/mm²；

P_b ——试样拉断时的最大拉力，N；

F ——试样的原始横断面积，mm²。

(2) 屈服极限 材料受拉时，当拉力不再增加，仍存在变形的现象叫屈服。即抵抗微量变形的能力。用符号 σ_s 表示，其计算公式为

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F} \quad (1-2)$$

式中 σ_s ——屈服极限，N/mm²；

P_s ——试样拉断时的最大拉力，N；

F ——试样的原始横断面积，mm²。

(3) 延伸率 试样拉断后，伸长的长度值与原始长度的百分比称为延伸率。用符号 δ 表示，其计算公式为

$$\delta = \frac{L_1}{L} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 δ ——延伸率，%；

L_1 ——受拉后的长度，mm；

L ——试样的原始长度，mm。

(4) 断面收缩率 试样拉断后，断口处截面积的减缩值与原始截面积的百分比称断面收缩率。用符号 Ψ 表示，其计算公式为

$$\Psi = \frac{F - F_1}{F} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 Ψ ——断面收缩率，%；

F ——原始截面积，mm²；

F_1 ——受拉后断口处的截面积，mm²。

延伸率和断面收缩率是评定金属性能好坏的重要指标， δ 和 Ψ 越大，则塑性越好，良好的塑性是金属材料进行塑性加工和焊接的必要条件。