

化工工人技术理论培训教材



化工检修焊工工艺学

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心



化学工业出版社

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工检修焊工工艺学/化学工业部人事教育司,化学工业部
教育培训中心组织编写. —北京:化学工业出版社,1997.12
化工工人技术理论培训教材
ISBN 7-5025-1940-8

I. 化… II. ①化… ②化… III. 化工设备-检修-焊接-
工艺-技术培训-教材 N. TQ050.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 20563 号

化工工人技术理论培训教材

化工检修焊工工艺学

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

责任编辑:程树珍

责任校对:王安达 麻雪丽

封面设计:于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京云浩印制厂印刷

北京云浩印制厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 363 千字
1997 年 12 月第 1 版 1997 年 12 月北京第 1 次印刷

印 数:1—6000

ISBN 7-5025-1940-8/G · 546

定 价:21.50 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要,提高工人的技术理论水平和实际操作技能,我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划 and 教学大纲》的要求,组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中,遵循了“坚持标准,结合实际,立足现状,着眼发展,体现特点,突出技能,结构合理,内容精炼,深浅适度”的指导思想,以“等级标准”为依据,以“计划和大纲”为蓝图,从有利于教师教学和方便工人自学出发,力求教材内容能适应化工生产技术和现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容,在编制教学计划和划定大纲时,在充分理解等级标准的基础上,吸取了国外职业教育的成功经验,对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解,作为理论教学的基本单位,称之为“单元”。在计划和大纲中,168 个工种按五个专业大类(及公共课)将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动,把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起,分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册:《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共 7 册:《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应(一)》、《有机化学反应(二)》、《有机化学反应(三)》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共 43 册:《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表(一)》、《化工分析仪表(二)》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材 6 册:《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共 11 册:《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共 20 册:《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写作》、《标准化基础知识》和《化工生产管

理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材,尚是一种尝试,由于我们经验不足和教材编审时间的限制,部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意,为此建议:

一、各单位在组织教学过程中,应按不同等级的培训对象,根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求,以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外,还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况,制订相应的教学方案,确定相应的教学内容,以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题,可及时与我们联系,也可与教材的编者或出版单位联系,使教材中的问题得到及时更正,以利教学。

本套教材的组织编写,得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助,在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司

化学工业部教育培训中心

1996年3月

内 容 提 要

本书系化工工人技术理论培训教材之一。该书分为初级、中级、高级三部分。初级部分介绍了化工设备焊接结构的基本知识、化工设备检修中常用的焊接方法、碳钢和低合金钢的焊接工艺及化工检修管理的基本知识等内容；中级部分讲述了焊接过程的基本理论、焊接应力及变形理论、化工设备常用钢种的焊接工艺、埋弧焊的原理、工艺及焊接质量管理等知识；高级部分介绍了异种钢焊接工艺、堆焊工艺及焊补技术。此外，还介绍了焊接接头性能试验方法和焊接质量检验等内容。

目 录

化工检修焊工工艺学(初级)(专 004)	1
第一章 化工设备焊接结构基本知识	2
第一节 化工典型设备的焊接结构	2
第二节 化工设备的选材特点	3
第三节 常见化工设备的失效形式	8
第二章 化工检修常规焊接方法	10
第一节 手弧焊在检修中的应用	10
第二节 气焊和气割在检修中的应用	13
第三节 气体保护焊在检修中的应用	17
第四节 等离子切割	30
第五节 碳弧气刨	37
第三章 碳钢的焊接	43
第一节 碳钢在化工设备上的使用	43
第二节 碳钢的气割	46
第三节 碳钢的气焊	51
第四节 碳钢的手弧焊	59
第四章 低合金钢的焊接	74
第一节 低合金钢概述	74
第二节 低合金钢在化工设备中的应用	84
第三节 低合金钢结构的焊接特点	88
第四节 低合金钢的手弧焊	91
第五章 化工设备检修作业	103
第一节 化工检修的分级管理	103
第二节 化工检修的安全作业	106
第三节 化工检修的质量标准	110
第四节 化工检修的焊接操作	115
化工检修焊工工艺学(中级)(专 004)	119

第一章 焊接过程基本理论	120
第一节 焊接与焊接热源	120
第二节 焊接热循环过程	126
第三节 焊接熔池的结晶过程	132
第四节 焊接热影响区	138
第二章 化工设备特殊用钢的焊接	146
第一节 耐热钢的焊接	146
第二节 不锈钢的焊接	170
第三节 低温用钢的焊接	183
第四节 耐蚀钢的焊接	187
第五节 铝材和钛材的焊接	192
第三章 焊接应力与焊接变形	206
第一节 焊接应力与焊接变形理论	206
第二节 焊接结构的残余应力和残余变形	213
第三节 残余应力与化工设备的失效	220
第四节 减少残余应力与残余变形的对策	222
第四章 化工设备的备件制造	228
第一节 典型化工设备制造	228
第二节 焊接工艺评定	236
第三节 焊接工艺规程编制	240
第四节 容器焊工考试	243
第五章 埋弧焊在备件制造中的应用	253
第一节 埋弧焊原理及其设备	253
第二节 埋弧自动焊规范参数调节	258
第三节 埋弧自动焊焊接坡口设计及焊材选用	270
第四节 筒节内外环缝埋弧焊工艺	273
化工检修焊工工艺学 (高级) (专 004)	278
第一章 焊接接头质量的综合技术指标	279
第一节 焊接接头常规力学性能试验	279
第二节 焊接接头的抗蚀性试验	287
第三节 焊接接头的耐热性能试验	295
第二章 化工设备异种钢材的焊接	301
第一节 异种钢焊接性能分析	301

第二节 异种钢焊接工艺	306
第三章 化工设备金属材料的堆焊	327
第一节 金属材料堆焊在化工设备上的应用	327
第二节 堆焊焊接材料	330
第三节 金属材料堆焊工艺	350
第四章 金属结构的补焊技术	361
第一节 金属材料补焊技术的应用	361
第二节 应用补焊技术排除焊接缺陷	362
第三节 应用补焊技术修复金属构件	368
第五章 焊接质量检验	386
第一节 焊缝的外观质量检验	386
第二节 焊缝的无损探伤质量检验	389

化工检修焊工工艺学
(初 级)
(专 004)

北 京 石 油 化 工 学 院	马宏泽	编
太原化学工业集团公司化工厂	马宏伟	编
太 原 工 业 大 学	杨世杰	审

参与编审本单元教材的人员

李文堂、熊昭义、于志先、朱心玲、周应文、沈刚、张伯平。

在教材编审过程中得到太原化学工业集团公司有关领导何玮、李铁瑞和公司教委副主任方岩威等同志的支持和关心，谨致谢意。

第一章 化工设备焊接结构基本知识

第一节 化工典型设备的焊接结构

压力容器是一种典型的化工设备，其结构型式多种多样，如塔、换热器、贮罐、管道等，大多数是由各种圆柱形、圆锥形、球形壳体、封头、接管和管接头等所组成。这些零部件通常采用冷加工或热加工成型后，用焊接方法制造，是一种典型的焊接结构。在压力容器中，焊接接头的主要形式有对接、角接、搭接等，在不锈钢衬里的容器中还有塞接接头。对接接头的强度可与母材相等，受力也均匀，故重要焊缝一般采用对接形式。角接头多用于管接头与壳体的连接，搭接接头多用于受压部件与受压壳体的连接。

压力容器拼装时，其接头型式按受力情况和所处位置大致分为图 1-1-1 所示的 A、B、C、D 四种类型。

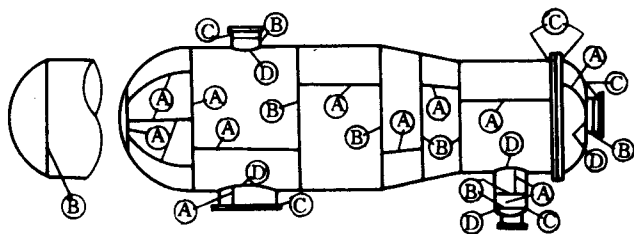


图 1-1-1 压力容器焊接接头型式分类示意图

A 类和 B 类为对接接头。A 类接头如筒体纵缝、球体的纵缝和环带焊缝等；B 类接头如筒体环缝等。A、B 类接头要求全焊透。从焊缝的受力情况来看，A 类接头所受的工作应力比 B 类接头高一倍。A 类接头和 B 类接头都是压力容器中的重要焊缝。

C 类接头为角接接头，如法兰、管板等的焊缝，对于高压容器焊缝

要求全焊透。C类接头所承受的工作应力一般较小。

D类接头由于处于应力集中部位,弹性应力集中系数大致在1.5~2.5范围内,焊缝在较高应力或较高应变状态下工作。同时,焊接时刚性拘束较大,容易产生缺陷。D类接头也是压力容器中的重要焊缝。

以下分别对压力容器中的各种焊缝作一说明。

1. 主体的焊接接头

主体的焊接接头主要是筒体和封头的纵、环缝。它们原则上选用对接接头,开坡口时其坡口尺寸应符合GB 985—88《气焊、手工电弧焊及气体保护焊坡口形式与尺寸》及GB 986—88《埋弧焊坡口形式与尺寸》。焊接工艺应符合JB/Z 105—73《钢制压力容器焊接规范》。

2. 接管的焊接接头

接管焊缝大多为角焊缝,其焊透性差,探伤困难。焊缝质量的好坏对容器的使用寿命是关键,接头设计时应注意下述几点。

(1) 有条件双面焊时尽量采用双面焊,厚度大于20mm时,用双面坡口。

(2) 对需预热焊接的钢,接管与壳体的焊接尽量从外侧焊。要求全焊透时,采用带垫板结构。

(3) 无法双面焊时,可采用氩弧焊打底,单面焊双面成型。

3. 钢凸缘与管嘴的焊接接头

对不承受脉动载荷的容器,凸缘与壳体可采用角焊缝,压力较高时,应采用对接焊缝连接凸缘。

4. 法兰与接管的焊接结构

这类焊缝有对接、角接两种形式,工作压力 $P_s \leq 2.5\text{MPa}$ 时可采用角接,工作压力较高时采用对接接头。

焊后对焊缝的检查可分为外观质量检查和内部质量检查,具体方法见本书的最后一章“焊接质量检验”。

第二节 化工设备的选材特点

为了适应化工生产的高温、高压、强腐蚀的特点,化工设备用材必须具备较好的耐蚀性、耐磨性和耐疲劳性。其次是常温强度和焊接

性要好。故化工设备用材种类繁多，除一般机械制造业常用的金属及其合金外，还广泛采用非金属材料、复合材料等。为了设计出高效率的合理设备，化工设计工程师必须正确选材、合理用材。而要做到这一点，还必须了解化工工艺和设备制造上对材料的要求，熟悉掌握材料特别是常用钢材的基本性能。

一、化工设备常用金属材料的基本性能及化工设备选材

(一) 力学性能

材料在外力作用下表现出来的性能叫材料的力学性能，它的主要指标有强度、弹塑性和硬度等。

1. 强度

金属材料的强度是指金属在外力作用下正常工作，不发生破坏，也不发生塑性变形，则称其具有足够的强度。常用的判据有屈服极限 (σ_s)、抗拉强度 (σ_b)；变载条件下用疲劳极限 (σ_{-1} , σ_0)。设计构件的许用应力 $[\sigma]$ 就是根据它们确定的。

2. 材料的弹性、塑性

材料在外力作用下改变其形态和尺寸，当外力卸除后，材料又回复到原始形态和尺寸，这种特性称为弹性。一般来说，材料在弹性范围内，应力和应变成正比，其比例常数即为弹性模量，所以材料的弹性判据用弹性模量表示。

材料的塑性是指材料受到载荷作用时产生残余变形的性能。常用的塑性判据是伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 。在化工设备制造选材时还常用屈强比 γ 来衡量材料的塑性好坏。

$$\gamma = \sigma_s / \sigma_b \quad (1-1-1)$$

γ 越小表示 σ_s 与 σ_b 差值越大，材料的塑性好，当 $\gamma \geq 0.7$ 时，金属材料的应力集中现象开始严重起来，所以化工设备选材要求钢材的 $\gamma < 0.5$ ，伸长率 $\delta \geq 15\%$ 。

3. 金属材料的韧性

金属材料在受力产生断裂前吸收变形能量的能力称为韧性。金属的韧性通常随加载速度的提高、温度的降低、应力集中程度的加剧而减小。材料抗冲击性能的好坏常用冲击韧度 a_k (J/m^2) 来表示。对于

承受波动或冲击载荷作用的零件及低温使用的容器，设计选材时必须考虑这一抗冲击性能，大多数金属材料（除铜、铝和镍铬不锈钢外）在低温下 α_k 值降低，所以低温容器所用材料 $\alpha_k \geq 3000 \text{J/m}^2$ 为宜。

4. 硬度

硬度是材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。是衡量金属软硬的判据。材料的硬度有多数不同的试验测量方法，结构设计中常用的布氏硬度（HB）和洛氏硬度（HR）是通过相应的硬度试验测定的。

（1）布氏硬度试验 布氏硬度试验是用一定直径的钢球或硬质合金球，以相应的试验力 F （N）压入试样表面，经规定保持时间后卸除试验力，用测量的表面压痕直径计算硬度的一种压痕硬度试验。布氏硬度值是用球面压痕单位面积上所承受的平均压力表示的硬度值。

（2）洛氏硬度试验 洛氏硬度是通过洛氏硬度试验测定的，其中又据试验标尺不同，有 HRA、HRB、HRC 三种洛氏硬度。

布氏硬度与洛氏硬度在数值上有如下近似关系。

$$\text{HBS} \approx 10\text{HRC} \quad (1-1-2)$$

据实验知，材料的硬度和强度有一定的近似关系。所以人们常用硬度试验代替材料的拉伸试验，以获得材料的强度指标数据。钢材的硬度与强度极限有下列的近似关系。

低碳钢： $\sigma_b = 0.36\text{HBS}$ ；

高碳钢： $\sigma_b = 0.34\text{HBS}$ 。

在化工机械设计中，常用硬度表示对相互接触的配对材料耐磨性能的要求。例如，列管换热器的管板要比管子硬度高 50HBS；在齿轮传动中，小轮要比大轮硬度高 20~50HBS。

5. 材料在高温和低温下的力学性能

一般金属材料的力学性能随温度升高会发生显著的变化。如图 1-1-2 所示，是碳钢的力学性能随温度变化的情况。由图明显看出，当温度超过 350℃ 以上时，强度降低，塑性提高（图中 μ 为泊松比）。

值得注意的是，不但温度影响材料性能，而且工作应力的大小和作用时间的长短也会影响材料的性能。材料在高温定值静应力作用下，

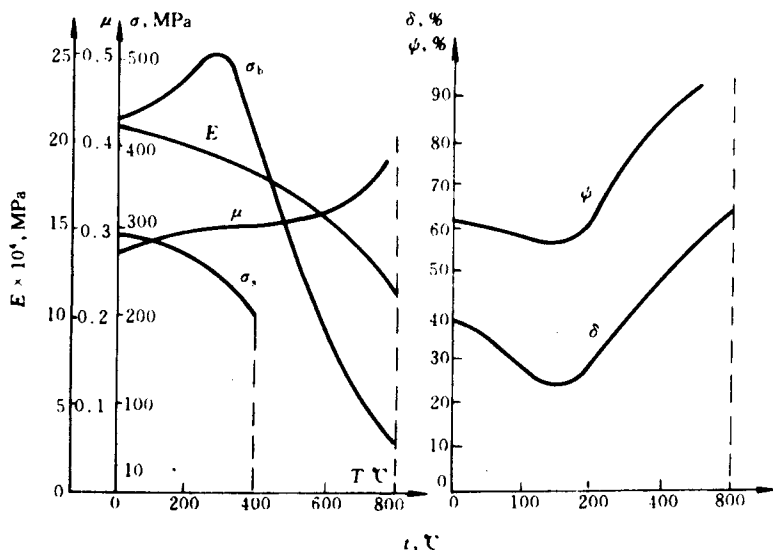


图 1-1-2 碳钢力学性能随温度的变化^[2]

应变随着时间的延长而增加，这种现象称作蠕变。材料在高温下抵抗蠕变的能力，用材料的蠕变极限 σ_n 来表示 (t 为工作温度， n 为变形速度或变形量百分比)， σ_n 是材料在定温 t 下经 10 万小时内产生的变形量为 1% 时的最大应力。

有时构件的总变形不变化，但因蠕变变形的增加，而引起总变形中的弹性变形随着时间的延长而减少，因而应力随时间而降低，这种现象称应力松弛。例如蒸汽管路上法兰螺栓常因应力松弛，使其拉应力随时间增长而显著减小，最后引起法兰泄漏。

材料在低温下，机械强度往往升高，而它的冲击韧性值则陡降，材料由塑性转变为脆性，这种现象称为材料的冷脆性。由于材料的冷脆性，使得化工设备在低温下操作时，产生脆性破坏，这种破坏在破裂前往往不产生明显的塑性变形，所以有较大的危险性。在设计和使用低温设备时，应重视这一冷脆现象。

(二) 材料的耐腐蚀性能

材料抵抗水、大气和化学介质等对其腐蚀破坏的能力叫材料的耐

腐蚀性。金属材料的耐蚀性指标常用腐蚀速率来表示，一般认为，介质对材料的腐蚀速率在 $0.1\text{mm}/\text{年}$ 以下时，该材料属耐腐蚀。

在化工生产中，设备的腐蚀问题是主要矛盾。它直接关系到设备的使用寿命、产品产量、质量和环境污染等。所以必须针对腐蚀特点，合理选择材料；在设备设计中，对零部件尺寸要根据设备预期使用年限和腐蚀速率大小，留有一定的腐蚀裕度。

(三) 材料的物理性能

材料的物理性能主要指：导热系数 (λ)、线膨胀系数 (α)、密度 (ρ)、熔点和导电性等。常用金属材料的物理性能指标，可见有关手册。

(四) 材料的加工工艺性能

化工设备的加工方法与一般机械制造业一样，主要有切削、焊接、锻铸加工等。将材料具有这些加工的可能性统称为加工工艺性。化工设备制造业中常用的板材，一般塑性好的，其切削性能、焊接性能和冷冲压性能都好。

二、化工设备设计选材原则^[2]

化工设备设计选材，在满足总体性能指标的要求前提下，具体还要从以下几点考虑。

1. 为降低成本，节约金属，按强度设计的中高压设备全部采用普通低合金金属制造。

2. 对于压力在 1.6MPa 以下的低压和常压设备，常按普通低合金钢进行强度计算，板材厚度减少 15% 以上者可采用普通低合金钢，否则用碳素钢制造。

3. 接触腐蚀性介质的设备，尽量采用低镍、无镍不锈钢或复合钢板制造。

4. 低温用钢尽量采用普通低合金钢，温度在 -100°C 以下时，尽量采用高锰铝钢代替 18-8 型不锈钢和有色金属。

5. 工作温度在 $<500^\circ\text{C}$ 的中温条件下，尽量采用含钼、铝的耐热钢代替 Cr-Mo 耐热钢。

6. 对于以刚度决定壁厚的外压设备，可用价格便宜的普通碳素钢。

第三节 常见化工设备的失效形式

化工设备的失效，是作用于设备上的载荷（外因）同设备本身的承载能力（内因）相互作用的结果。这里所说的“载荷”是广义的，它包括机械负荷、环境介质（化学的、物理的负荷）、温度（热的负荷）等。设备的承载能力取决于其材质（成分、组织、结构等）、几何形状及尺寸，以及在加工制造过程中所产生的各种缺陷。各种内外因素的作用机理相当复杂，例如介质对材料的腐蚀；金属在受力时发生弹性、塑性变形，产生强化；温度促成金属组织的变化等等。而且，有时这多种作用同时存在并相互影响，如应力腐蚀等。当这些作用发展到一定程度时，设备不能完成其应有的功能，这就表现为各种形式的失效。

化工设备中常见的失效形式有以下几种^[3]。

(1) 变形过量失效 有弹性变形过量和塑性变形过量，整体变形和表面变形，室温变形和高温变形（蠕变），还有简单受力时的变形和失稳情况下的变形过量等等。

(2) 磨损过量失效 有磨粒磨损、粘着磨损、腐蚀磨损、微振磨损、疲劳磨损、冲击磨损等。

(3) 腐蚀失效 有均匀腐蚀、局部腐蚀、缝隙腐蚀、点蚀、化学腐蚀、电化学腐蚀、物理腐蚀、大气腐蚀、海水腐蚀、土壤腐蚀、生物腐蚀、磨损腐蚀、冲蚀、气蚀，此外还有晶间腐蚀、应力腐蚀、氢腐蚀……等等。

(4) 断裂失效 有过载断裂、蠕变断裂、冲击断裂、脆化（低温、辐射、应力集中、异金属脆化……）所致的断裂、疲劳断裂、应力腐蚀断裂、腐蚀疲劳断裂、氢损伤导致的断裂……等等。

(5) 工艺裂纹和其他缺陷 工艺裂纹指发生于工艺加工过程中的局部断裂，如铸造热裂纹和冷裂纹；锻造加热、冷却或变形不当所致的裂纹；热处理的各类淬火裂纹；磨削裂纹等。工艺裂纹也属于断裂，但不能算是失效。它是在服役阶段之前已经发生和形成了的。对产品的用户而言，这些裂纹是产品的本质缺陷。它们往往是设备、构件发生失效的萌发点。对制造厂家而言，裂纹分析属于废品分析范畴。