

黄嘉璇 吴 剑 主编

耐腐蚀铸锻材料 应用手册



机械工业出版社

TG 17-62
H 74

耐腐蚀铸锻材料应用手册

黄嘉琥 主编
吴 剑

6135/18

钢铁研究
院图书馆
藏书之章

320581



机械工业出版社

本手册系统介绍了国内外耐蚀铸铁、不锈钢以及镍、铜、铝、钛等耐蚀合金的标准牌号、化学成分、耐蚀性能、力学性能；耐蚀材料在通用机械（即流体工程机械）为主的机械设备中的应用技术；铸锻材料的各种腐蚀类型、耐腐蚀对策、腐蚀试验方法和腐蚀失效分析技术；着重介绍了在硝酸、硫酸、盐酸、磷酸、醋酸、碱、尿素、氢、硫化氢、氟化氢、海水、油田污水、地热水等典型的工程介质条件下，耐腐蚀铸锻材料的实际应用技术。

本手册可供耐腐蚀机械设备的科研、设计、制造与应用部门的工程技术人员使用，也可供大专院校有关专业的师生参考。

耐腐蚀铸锻材料应用手册

黄嘉琰 吴 剑 主编

*

责任编辑：王正琼 版式设计：吴静霞

封面设计：郭景云 责任校对：熊天荣

责任印制：王国光

*

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证出字第 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 787×1092¹/₁₆·印张 41¹/₄·插页 2·字数 1014 千字

1991年 5 月北京第一版·1991年 5 月北京第一次印刷

印数 0,001—1,600·定价：32.40 元

*

科技新书目：238-002

ISBN 7-111-02363-3/TG·565

序 言

耐腐蚀铸锻材料绝大部分应用于通用机械,包括泵、阀门、风机、压缩机、冷冻机、分离机械、管件以及其它化工机械设备等。通用机械广泛应用于石油、化工、轻工、纺织、食品、医药、电站、船舶等工业部门。这些机械所接触到的流体介质种类繁多,且多具有一定的腐蚀性,因而相当多的过流部件必须采用专门的耐腐蚀金属材料制造,如不锈钢、耐蚀铸铁、镍合金、铝合金、铜合金、钛合金等。这些耐蚀过流部件大多采用铸件和锻件作为毛坯。因此,耐腐蚀铸锻材料对于通用机械行业具有重要意义。

铸锻材料与轧材不同,轧材主要由冶金部门生产,向机械部门供应;铸锻材料主要由机械部门自行生产。同样,耐腐蚀铸锻材料也主要由通用机械行业自行生产和应用。因此,通用机械行业也就理所当然地承担着耐腐蚀铸锻材料的科研和开发任务。

耐腐蚀铸锻材料和轧材相比具有许多特点:铸件及部分锻件材料具有和轧材完全不同的牌号、性能、成分与标准;铸锻材料的工艺性能主要是铸造性能与锻造性能,而不象轧材那样主要为冷热变形性能和焊接性能;耐腐蚀铸锻材料的使用性能主要是耐腐蚀性能,而对力学性能,尤其是塑性、韧性往往要求不高,因而耐蚀铸锻材料可以比轧材加入种类更多、含量更高的合金元素,以获得更好的耐腐蚀性能;轧材多在焊后状态使用,而通用机械的过流部件所用的耐腐蚀铸锻件一般均为中、小件,可以在进行了比较理想的热处理以后使用,从而使材料的耐腐蚀性能得到更加充分的发挥。耐腐蚀铸锻材料与轧材既有区别又有联系,在耐腐蚀材料中是自成体系的独立领域。

轧材是等截面材料,其形状尺寸已形成较固定的规格系列;铸锻件多系异型件,其形状尺寸比较复杂。在国内材料紧缺的情况下,许多轧材可以通过进口解决,但铸锻件却很难进口,必须靠自己解决。用轧材制造容器等非定型设备时,材料由冶金部门生产供应,设备图纸由使用部门设计,设备由机械部门制造,材料、设计、制造分别由三个部门承担,相互之间常常不易得到很好的协调。而通用机械产品的材料生产、设备设计、设备制造基本上都在通用机械制造部门内进行,并且常常在同一个工厂内进行,因此材料技术可以更好地与设备设计、制造紧密结合,这也是发展耐腐蚀铸锻材料技术的有利条件之一。

应当看到,在通用机械行业中,设计和制造工艺方面已经具备了较强的技术基础,而材料方面的技术力量则比较薄弱,大部分通用机械厂还没有专门的材料技术人员和部门。由于材料技术是更为基础性的共性技术,因此应当进一步把通用机械行业的力量组织起来,充分发挥学会、协会和研究所的行业技术作用,尽快提高通用机械行业中的耐腐蚀铸锻材料技术,包括材料生产技术和材料应用技术,以提高通用机械产品的技术水平和质量。

国内外有关耐腐蚀材料的手册已有不少,但其实际内容均以轧材作为主体,铸锻材料只作为陪衬,关于耐蚀铸锻材料的内容很少。本手册针对机械产品,特别是通用机械产品的特点,对使用量大面广的耐蚀铸锻材料进行了专门论述。并且从实际应用出发,对机械产品常遇到的13类服役环境的特征、可能出现的腐蚀问题及相应的耐腐蚀材料的选用进行了阐述,这是本手册区别于其它材料手册的明显特点。

另外,本手册对机械产品的腐蚀失效问题,从失效发生的条件、失效的类型及其特征、失效分析的方法和手段以及防止失效的途径等方面进行了较为系统的阐述。这是本手册的另一突出特点。

本手册力图反映近年来国内外的科学技术成果,尤其是国内在铸锻耐蚀材料的科研、生产及应用方面所取得的较为成熟的成果和经验。

机械电子工业部对用于机械产品的耐腐蚀铸锻材料的技术工作十分重视。1967年部科技司即责成通用机械研究所组织有关单位进行了行业调查,编写了《通用机械耐腐蚀材料应用》(由化工部上海化工设备设计中心站出版发行);现在,又将本手册的编写工作纳入了国家“七五”计划,作为机械工业基础技术的攻关项目之一,由合肥通用机械研究所和上海材料研究所共同负责编写。编写工作始终在部科技司和第三装备司的领导和支持下进行。

可以期望,这本手册的出版将对机械行业材料技术水平的提高,以及对机械产品,特别是通用机械产品上水平、上等级、提高质量起到一定的促进作用。

中国机械工程学会流体工程学会 理事长 王昌庆
机械电子工业部合肥通用机械研究所所长

1989年9月

编 者 的 话

耐腐蚀铸锻材料主要由通用机械厂自行生产,并用来制造机械设备,因而耐腐蚀铸锻材料的研制与开发主要是机械部门特别是通用机械部门的任务。耐腐蚀铸锻材料在牌号、成分、工艺、性能、标准等方面也已形成体系。因此由机械部门编写专门的耐腐蚀铸锻材料应用手册乃是机械工业基础技术的重要内容之一。为此,在国家“七·五”攻关项目中,将此手册的编写任务列为机械工业基础技术的重要内容。项目编号为“75-51-02-02/06”。

本手册编写过程中曾对许多使用单位和制造单位进行了走访和书面调研,得到了热情支持。本手册的编写工作还得到了合肥通用机械研究所和上海材料研究所的领导和有关同志的热心关怀和大力支持,在此一并表示衷心感谢。

本手册在编写中尽量吸取国内外的先进技术成果,尤其注意吸取国内科研、生产与应用方面的技术成果与经验。有些内容引自非正式出版物,按规定未在参考文献中列出,请原作者见谅。

本手册中力图采用法定计量单位。但由于文中所引用的某些材料标准的计量单位尚未更改,在这种情况下,仍然保留了标准中所用的非法定计量单位。此外,所引用的国外标准、数据与图表仍保留了原用计量单位。

关于耐腐蚀铸锻材料的化学成分、力学性能,属于国内标准的列入了正文中;属于国际和国外标准的如ISO、ASTM、JIS、DIN、BS、NF、ГОСТ列于附录中。

希望本手册能对耐腐蚀铸锻材料应用技术水平的提高与普及起到促进作用。能对从事于耐腐蚀铸锻材料的生产单位、耐腐蚀设备的科研、设计、制造与使用单位以及高等院校的科技人员有所裨益。

本手册的编写任务在机械电子工业部科学技术司和第三装备司领导下,由合肥通用机械研究所和上海材料研究所共同承担。具体编写的人员与分工如下:

黄嘉琥——第一篇、第二篇的第一、三、四、五、六章、第四篇的第一、三、五、六、七、八、十章、附录。

吴剑——第二篇的第二章、第三篇的第一、二、四章、第四篇的第四、九、十三章。

阎永京——第三篇的第三章。

沈忠良——第四篇的第十一、十二章,第五篇的第一章(二)、第二章(三,四)。

傅逸芳——第四篇的第二章、第五篇的第一章(一)、第二章(一,二)。

全书由黄嘉琥、吴剑主编。由柳曾典、吴明达同志审核。

由于编著人员水平所限,错误与不足之处在所难免,恳望读者批评指正。

编者

1989年10月

目 录

第一篇 综 述

第一章 概况	1
一、腐蚀的危害	1
二、耐蚀金属材料	2
三、耐蚀铸锻材料	3
第二章 耐蚀铸锻材料的特点	7
一、产品特点	7
二、生产特点	8
三、腐蚀特点	9
四、工艺特点	11
五、成分特点	12
六、组织特点	15

第二篇 材 料

第一章 耐蚀铸铁	17
一、耐蚀铸铁的构成	17
二、高硅铸铁	17
三、铝铸铁	21
四、高铬铸铁	22
五、高镍奥氏体铸铁	24
六、低镍铬铸铁	25
七、其它低合金耐蚀铸铁	25
第二章 不锈钢	28
一、概述	28
二、牌号、成分与力学性能	33
三、组织结构与耐蚀性能	33
四、物理性能	79
五、工艺性能	79
六、耐热不锈钢	87
第三章 镍合金	102
一、概述	102
二、耐蚀性能	116
三、工艺性能	128
第四章 铜合金	131
一、概述	131
二、耐蚀性能	143

三、工艺性能	147
第五章 铝合金	151
一、概述	151
二、耐蚀性能	163
三、工艺性能	166
第六章 钛合金	173
一、概述	173
二、耐蚀性能	181
三、工艺性能	201
四、钛铸锻件的生产	205

第三篇 腐 蚀

第一章 腐蚀概论	208
一、材料腐蚀的定义	208
二、材料腐蚀问题在机械设备中的重要性	208
三、机械设备常见的腐蚀类型	208
四、影响机械设备腐蚀的因素	209
第二章 腐蚀类型	222
一、全面腐蚀	222
二、晶间腐蚀	222
三、点腐蚀	225
四、缝隙腐蚀	231
五、磨耗腐蚀	234
六、空泡腐蚀	235
七、应力腐蚀开裂	236
八、腐蚀疲劳	244
第三章 腐蚀试验方法	249
一、全面腐蚀试验	249
二、晶间腐蚀试验	255
三、点腐蚀试验	260
四、缝隙腐蚀试验	263
五、电偶腐蚀试验	266
六、应力腐蚀试验	268
七、腐蚀疲劳试验	279
八、磨耗腐蚀试验	282
九、高温腐蚀试验	289

第四章 腐蚀失效分析	299	第九章 硫化氢	421
一、腐蚀失效分析的目的和意义	299	一、硫化氢的腐蚀特性	421
二、腐蚀失效分析的步骤及其内容	299	二、影响硫化氢腐蚀的因素	422
三、腐蚀失效分析的手段和方法	301	三、材料选用	425
四、几种局部腐蚀类型间的区别	303	第十章 氟化氢和氢氟酸	429
第四篇 应 用		一、工业过程	429
第一章 硝酸	306	二、高温氟化氢气体用材	429
一、工业过程	306	三、无水氟化氢用材	430
二、硝酸腐蚀	306	四、含水氢氟酸用材	431
三、耐蚀材料	308	第十一章 海水	435
四、硝酸设备用铸锻件材料	315	一、海水特性	435
第二章 硫酸	317	二、海水腐蚀类型	436
一、工业过程	317	三、耐蚀材料	440
二、腐蚀特性及影响因素	320	第十二章 油田污水	445
三、合金元素对耐腐蚀性能的影响	323	一、油田污水的特性	445
四、耐蚀材料	326	二、油田污水的腐蚀类型	445
五、材料选用	345	三、油田污水注水设备用材	446
第三章 盐酸	349	第十三章 地热水	448
一、工业过程	349	一、地热水的特性	448
二、盐酸腐蚀	349	二、地热流体的腐蚀	449
三、耐蚀材料	349	三、地热能利用系统设备用材	452
第四章 磷酸	360	第五篇 生 产	
一、工业过程	360	第一章 耐蚀铸锻材料的生产	455
二、腐蚀类型	361	一、铸件材料的生产	455
三、材料选用	366	二、锻件材料的生产	461
第五章 醋酸	375	第二章 耐蚀通用机械的生产	466
一、工业过程	375	一、阀门	466
二、醋酸腐蚀	375	二、泵	471
三、耐蚀材料	376	三、风机	476
第六章 碱	387	四、离心机	479
一、工业过程	387	附录 耐蚀铸锻材料的国际标准	
二、耐蚀材料	387	和国外主要标准	
第七章 尿素	394	附表1 国际标准 ISO	484
一、工业过程	394	附表2 美国标准 ASTM	496
二、尿素甲铵溶液的腐蚀	394	附表3 日本标准 JIS 等	544
三、设备耐蚀铸锻件用材	398	附表4 联邦德国标准 DIN	563
第八章 氢	401	附表5 英国标准 BS	583
一、氢对金属的作用	401	附表6 法国标准 NF	603
二、抗氢钢	409	附表7 苏联标准 ГОСТ	618
三、抗氢钢在工业装置中的应用	415		

第一篇 综 述

第一章 概 况

一、腐 蚀 的 危 害

腐蚀的危害是非常严重的。它所造成的经济损失超过地震、水灾、火灾、风灾等自然灾害经济损失的总和。许多工业国家都对腐蚀所造成的直接经济损失情况进行了专门的调查。1971年英国因材料腐蚀所造成的直接经济损失为13.65亿英镑,占当年国民经济生产总值的3%。1978年美国因材料腐蚀所造成的直接经济损失为700亿美元;1982年为1260亿美元,占当年国民经济生产总值的4%〔1〕。1976年日本因材料腐蚀造成的直接经济损失为4万亿日元,占当年国民经济生产总值的3%〔2〕。1976年联邦德国因材料腐蚀造成的直接经济损失为92亿美元。近年来,我国因材料腐蚀的直接经济损失估计每年约为300亿元人民币〔3〕。我国国家科委腐蚀学科组第三分组对国内部分流程工业企业进行腐蚀调查的结果表明,因腐蚀引起的直接经济损失大约占这些企业总产值的4%。

腐蚀所造成的间接经济损失比直接经济损失还要大得多。例如化工厂一台关键设备因腐蚀而停车往往会引起全厂停产,造成严重的经济损失,而相对来说,该台设备本身的价值则是微不足道的。除经济损失外,因腐蚀事故而造成的环境污染和人身伤亡等更是难以用经济数字衡量的。

本手册中的耐腐蚀铸锻材料绝大部分应用于流程工业(化工、石油、轻工、纺织、食品、湿法冶金等)中的通用机械(即流体机械)产品中。这些机械设备在使用初期一般可以达到设计要求,但在运行过程中,接触腐蚀介质的零、部件由于受到腐蚀的作用,会逐渐改变体积、形状以及所用材料的性能,造成设备失效。例如:腐蚀会减小受载件的截面积造成过载失效,如阀门的阀体因腐蚀减薄壁厚,致使强度不足而失效;腐蚀会损伤密封元件而造成密封失效,如阀门的密封面因腐蚀造成内漏,泵的机械密封件因腐蚀而使介质外漏量超过允许值等;腐蚀会使设备所用材料变质而失效,如氢腐蚀会使材料脆化,应力腐蚀会使零、部件脆裂等;腐蚀会使高速旋转件因动平衡破坏而失效,如离心机转鼓因腐蚀不均匀不能保持动平衡而失效;腐蚀会使设备使用性能下降而失效,如油田污水泵会因叶轮腐蚀而降低效率、提高能耗,甚至不得不提前报废。由此可见,设备的腐蚀失效形式是多种多样的。

为了保证机械设备长期安全可靠地运转,在设备的设计、制造、安装、检验过程中,人们可以用材料的化学成分分析、材料的力学性能检测、设备性能试验、密封试验、设备的强度试验、超载试验、旋转件的动平衡试验等来测量与控制设备的质量。而设备的耐腐蚀性能却很难在设备使用以前进行确切的检测,只能在长期运转中表现出来。因此人们事先只能通过材料的模拟腐蚀试验、样机的运转试验以及在生产中所积累的类似设备的应用经验来控制与

改善设备的耐腐蚀性能。由于影响腐蚀的因素很多,因而使得控制设备的耐腐蚀性能常常要比控制设备的其它性能更加困难。这就使得腐蚀失效成了机械设备最重要的失效形式之一。

对机械设备失效事故的调查统计表明,在许多流程工业中,腐蚀失效事故占有所有失效事故的一半以上。如美国杜邦公司对1968年到1971年四年中的设备失效事故所作的调查表明,在685起失效事故中,腐蚀失效占55.2%,其余为纯机械失效。世界上每平方米钢铁表面每年的腐蚀量达700g以上。据统计,1974年日本钢铁腐蚀量达400万t,占全年钢产量的3%左右。因腐蚀而失效的机械设备所报废的钢铁重量则更大。如美国每年达4000万t,占全年钢产量的40%左右^[4]。苏联的统计表明,因腐蚀而失效的钢铁设备重量占全年钢产量的1/3左右^[5]。估计,全世界每年因腐蚀而失效的钢铁设备达1亿t左右。显然,腐蚀所造成的损失是巨大的。人们一直在采用各种措施,尽量减轻设备的腐蚀。其中,采用耐腐蚀性能更好的金属材料来制造设备仍然是当前提高机械设备耐腐蚀性能的基本措施。

二、耐蚀金属材料

通常,人们习惯于把金属材料分为耐蚀的金属材料和不耐蚀的金属材料,其实,这只是一个笼统的、相对的概念。任何金属材料在某一介质中都具有一定的耐蚀性能。通常在工程中首先按照金属材料在介质中的全面腐蚀(或叫均匀腐蚀、一般腐蚀)的腐蚀率来衡量耐蚀性。如苏联将耐蚀性分为十级,也有的国家分为三级。在具体的使用条件下,应当选用哪种耐蚀等级的金属材料,这不但与材料的耐蚀性有关,而且还与材料的经济性、对设备的寿命要求、零件更换难易、零件失效所引起的损失大小等因素密切相关。在不考虑其他因素的情况下,一般把腐蚀率低于 0.1mm/a 的材料称为耐蚀材料。常用材料在不同温度与浓度的介质中的耐蚀性多已根据试验结果制成了腐蚀图。腐蚀图一般也用 0.1mm/a 的等腐蚀线来划分耐蚀区 and 不耐蚀区。要注意,腐蚀率超过 0.1mm/a 的材料并非就不能用。尤其是通用机械中的许多过流零、部件更是如此。例如泵的叶轮,由于铸造工艺的要求,其厚度往往较厚,超过了强度要求,腐蚀裕度较大;叶轮失效后可以更换备件,不必更换整台泵;在更换备件时常常可用备用泵运转,不会影响生产。这时,叶轮用材可以允许较高的腐蚀率,如 $0.1\sim 1\text{mm/a}$,甚至更高。因此,叶轮可以采用比较便宜易得的材料,以取得更好的综合经济效益。在许多不太严重的腐蚀条件下,采用了耐蚀性欠佳的普通铸铁制造叶轮,虽然几个月就需更换一次叶轮,但经济上还是合算的。

就介质而言,人们并不把所有的介质都称为腐蚀介质。例如空气、淡水、油脂等,虽然这些介质也具有一定的腐蚀性,但并不将其称为腐蚀介质。一般仅把腐蚀性较强的介质,如酸、碱、盐等溶液称为腐蚀介质。同样,只有在腐蚀介质中常具有较好耐腐蚀性能的金属材料才被称为耐蚀金属材料。习惯上把普通铸铁、碳素钢、低合金高强度钢称为不耐蚀的金属材料,而把许多高合金铸铁、不锈钢、镍合金、铝合金、铜合金、钛合金等称为耐蚀金属材料。必须指出,所谓不耐蚀的金属材料并不是在所有的腐蚀介质中都不耐蚀。例如普通铸铁,在常温浓硫酸中具有较好的耐蚀性,甚至比有些不锈钢还好。所谓耐蚀的金属材料也不可能在任何介质条件下都会有很好的耐蚀性。例如被称为耐蚀材料的18-8铬镍不锈钢,在含氯离子的水中很容易产生点腐蚀和应力腐蚀,有时甚至还不如碳素钢的耐局部腐蚀性能好。至于在一些强腐蚀性的介质中,只有某些专门的金属材料才能耐蚀。

本手册中所提到的腐蚀是指狭义的腐蚀概念，即由于介质对金属材料的化学和电化学反应而导致金属材料失效，并不包括介质对材料的单纯物理作用所导致的失效，如钢的氢脆、机械磨损等。绝大部分腐蚀是电化学腐蚀，即在电解质液相中的腐蚀。只有少数是非电解质中的化学腐蚀，如金属的高温氧化、钢的氢腐蚀等。耐热钢具有优良的抗高温氧化性能。习惯上把高合金耐热钢也列入耐蚀金属材料之中，但不能把低合金的珠光体热强钢看作为耐蚀金属材料。许多低合金热强钢，如铬钼钢，同时也具有良好的抗氢腐蚀性能，有时称为抗氢钢。但是一般并不把这些低合金抗氢钢看作是耐蚀金属材料。抗大气腐蚀用的低合金钢已形成专门的体系和标准，但也并不将其列入耐蚀金属材料之中。因为这类钢仅在弱腐蚀性的大气中具有优于普通碳素钢的耐蚀性，而在稍强的腐蚀介质中是不能耐蚀的。

在耐蚀金属材料的应用中，有时主要并不是发挥这些材料的优良的耐蚀性能，而是发挥这些材料的其它性能。例如：奥氏体不锈钢用于低温设备主要是发挥其优良的低温韧性；铜合金用于换热设备和电工设备主要是发挥其优良的导热性能和导电性能；铝合金和钛合金用于飞机构件主要是利用其相对密度小的性能；镍基合金用作透平发动机主要是利用其优良的高温强度等。可见，耐蚀金属材料也并不都是被应用在腐蚀介质中的。

三、耐 蚀 铸 锻 材 料

金属材料坯料的成形方法有热成形和冷成形两种。热成形可以分为铸造、锻造、轧制（锻造和轧制有时统称为压力加工或热变形）、焊接、粉末冶金等。它们生产的坯料分别称为铸件、锻件、轧件、焊件、粉末冶金件等。焊接是在铸件、锻件、轧件的基础上进行的拼接与再加工。绝大部分焊件是用轧件进行焊接的，而铸焊结构和锻焊结构的工件则相对较少。粉末冶金是一种特殊的成形手段，有较大的局限性。因此最基本的坯料还是铸件、锻件和轧件。本手册主要介绍铸件和锻件所用的耐蚀金属材料。由于铸件的热成形和锻件、轧件的热成形相比区别很大，因此大部分情况下，铸件有其特殊的材料牌号、成分、性能以及相应的标准。锻件和轧件的热成形原理比较接近，因此有的锻件和轧件有不同的材料牌号、成分、性能和标准，有的锻件和轧件则采用同一标准来确定牌号、成分和性能。以锻件、轧件形式生产的耐蚀金属材料一般也能以铸件的形式生产。但是，有些耐蚀金属材料只能以铸件的形式生产，如高硅铸铁、高铬铸铁、Hastelloy D合金等，它们的热变形性能很差，只能生产铸件而不能生产成锻件和轧件。

本手册中所讨论的铸件和锻件是指耐蚀金属材料在使用状态时的铸件和锻件。锻件一般以铸锭、锻坯或轧坯（有时是轧材）作为坯料；轧件一般以铸锭、锻坯作为坯料。这里讨论的铸件并不包括铸锭这种半成品，锻件也并不包括锻坯或轧坯等半成品。

本手册中的耐蚀铸锻材料主要介绍了耐蚀铸铁、不锈钢、镍合金、铝合金、铜合金、钛合金。还有一些耐蚀金属材料，如锆合金、铅合金等，因为很少用作耐蚀铸锻材料，所以本手册未作系统介绍。

不锈钢是最重要的耐蚀金属材料。不锈钢中大部分以轧材的形式使用，铸锻件的产量比轧材少。由表1-1-1中可见，美国不锈钢铸件产量约占不锈钢锭产量的0.5%。由于轧制不锈钢的收得率约为50%，因此不锈钢的铸件与轧材的比例约为1%。如果还考虑耐热钢铸件，那么，不锈钢耐热钢铸件所占比例还要高一些。从表1-1-2中可见，日本不锈钢耐热钢铸件约占

表1-1-1 美国不锈钢产量

项 目	1981年	1982年	1983年	1984年	1985年
不锈钢铸件产量(t)	8279	4480	6089	5935	6168
不锈钢锭产量(10 ⁴ t)	158.2	171.9	159.1	160.8	152.7
铸件与铸锭比例(%)	0.52	0.40	0.38	0.37	0.40

表1-1-2 日本不锈钢耐热钢铸件产量^(9.7)

年 份	钢 类	铸 件		锻 件		轧 材		合计产量 (t)
		产量(t)	比例(%)	产量(t)	比例(%)	产量(t)	比例(%)	
1974	不 锈 钢	24537	1.57	12803	0.82	1527913	97.61	1565253
	耐 热 钢	25219	45.98	3617	6.58	26016	47.43	54852
	不锈钢耐热钢	49756	3.07	16420	1.01	1553929	95.92	1620105
1975	不 锈 钢	15579	1.24	8687	0.69	1234179	98.07	1258445
	耐 热 钢	22300	48.16	1949	4.20	22116	47.64	46365
	不锈钢耐热钢	37879	2.90	10636	0.82	1256295	96.28	1304810
1980	不 锈 钢	23000	—	—	—	—	—	—
	耐 热 钢	24000	—	—	—	—	—	—
	不锈钢耐热钢	47000	—	—	—	—	—	—

不锈钢耐热钢材的3%，不锈钢耐热钢锻件约占1%（1974~1975年）。另据统计，1984年日本不锈钢耐热钢锻件约占不锈钢材的2%。这样，日本不锈钢耐热钢铸件约占不锈钢耐热钢材产量的5%。耐热钢锻件产量不多，耐热钢铸件产量大致和不锈钢铸件相当。从表1-1-3中可见，英国70年代不锈钢铸件产量占不锈钢锭产量的比例超过10%。看来各国不锈钢耐热钢铸锻件的产量在整个不锈钢耐热钢材中所占的比例并不尽相同。近年来世界年产不锈钢耐热钢锭约1000万t，轧材约600万t。不锈钢耐热钢铸锻件的产量大约为20余万吨。我国1985年不锈钢耐热钢锭产量28万t，轧材约15万t，不锈钢耐热钢铸锻件的产量在万吨以上。

表1-1-3 英国不锈钢耐热钢铸件产量

项 目	1971年	1972年	1973年	1974年
钢锭(t)	164241	197089	240887	226288
铸件(t)	33891	29198	35977	32327
合计(t)	198132	226287	276864	258615
铸件比例(%)	17	13	13	12.5

1980年世界铜合金铸件的产量为79.7万t，占整个铸件产量的0.9%。一些国家铜合金铸件的产量列于表1-1-4。1951年到1980年的30年中，日本铸件总产量增加了7倍，而铜合金铸件增加不足4倍。近年来铜合金铸件的产量实际上在下降，美国1964年铜合金铸件的产量为45万t，而1975年则为23.6万t；1973年日本铜合金铸件的产量为12.3万t，而1982年则为9.2万t。铜合金铸件产量下降的趋势估计还会继续。铜合金铸件中青铜铸件占大部分，1951~1980年间，日本青铜铸件产量占铜合金铸件量的65%~71%，黄铜铸件占7.5%~18%。铜合金锻件用量不很多。

1980年世界铝合金铸件产量273.8万t，占铸件总产量的3.1%。此外，铝的压铸件产量

表1-1-4 几个国家铜合金铸件产量(10⁴t)⁽⁸⁾

国 别	1966年	1967年	1968年	1969年	1970年	1971年	1972年	1973年	1974年	1975年	1976年
美 国	50.4	48.3	48.4	42.6	37.5	35.2	38.2	39.0	33.2	23.2	24.9
英 国	7.7	6.9	7.4	7.4	7.3	7.2	6.9	7.1	7.1	6.7	—
联邦德国	7.8	7.3	8.9	9.9	9.9	9.1	9.9	9.5	8.0	7.3	7.9
法 国	4.1	4.0	4.0	4.2	4.3	4.0	4.0	4.2	4.2	3.7	—
日 本	10.7	9.5	10.0	10.6	11.7	11.0	10.8	12.3	11.7	8.8	8.9

约为370万 t，这两项之和约为643.8万 t。铝合金铸件（不包括压铸件）的产量约为有色金属铸件产量的一半左右。世界铝合金铸件产量列于表1-1-5中。

表1-1-5 世界铝合金铸件产量(10⁴t)⁽⁸⁾

年 份	1966	1968	1972	1973	1974	1975	1980
铝合金铸件产量	145	158	210	253	231	255	273.8

表1-1-6列出了美国钛合金铸锻件近年来的产量。实际上，近年来由于钛合金铸造技术的提高，1 t 钛铸件可以取代6~7 t 钛轧材使用，因此钛铸件的产量正在不断增加。1980年美国钛铸件的产量为178 t，1986年即达499 t。由表1-1-6可见，美国钛锻件的产量约占钛材产量的一半，钛铸件只占钛材产量的2.6%。这是由于美国的许多新型飞机大量采用钛合金，钛材产量的80%用于航空工业，而且飞机上使用钛锻件较多的缘故。民用钛材则不同，1980年世界民用钛材中锻件约占12%，铸件约占2%。日本、苏联、联邦德国、英国和我国等主要钛材生产国约有80%~90%的钛材用于民用。因而钛锻件所占比例比美国低得多。在世界上近年年产近10万 t 的钛材产量中，钛铸锻件的产量约为2万 t。

表1-1-6 美国钛合金铸锻件产量⁽⁸⁾

年 份	钛 锭 (t)	钛 材 (t)	锻 件 (t)	铸 件 (t)	锻件:钛材 (%)	铸件:钛材 (%)
1971	—	—	—	78.1	—	—
1972	18144	11458	6170	—	53.86	—
1973	26309	13181	6200	115	43.04	0.87
1974	32659	15824	6729	—	42.52	—
1975	21773	14608	6350	—	43.47	—
1976	—	—	—	217	—	—
1980	—	—	—	177.8	—	—
1984	36255	20328	—	243	—	1.20
1985	32103	19899	—	400	—	2.01
1986	32342	19051	—	499	—	2.62

参 考 文 献

- 〔1〕 Staehle R. W., \$70 Billion Plus or minus \$21 Billion, Corrosion, Vol. 34, No. 6, (1978)
- 〔2〕 すが国にすける腐食損失調査報告書, 防食技術, Vol. 26, No. 7 (1977)
- 〔3〕 韩绍昌等, 国内外耐蚀铸铁的研究与发展概况, 机械工程材料, No. 3, p1~10(1988)
- 〔4〕 兰州化工机械研究所情报室防腐组, 国外腐蚀和防腐蚀情况, 化工机械, No. 1, p. 73~81 (1975)
- 〔5〕 国外腐蚀及防腐蚀情况, 上海化工设计院石油化工设备设计建设组 (1972)
- 〔6〕 上海材料研究所, 机械工程材料, 第一机械工业部科技情报研究所, p346 (1981)
- 〔7〕 上海材料研究所, 工程材料, 机械工业出版社 (1987)
- 〔8〕 中国有色金属工业总公司钛技术开发中心, 钛工业进展, No. 2 (1988)

第二章 耐蚀铸锻材料的特点

一、产品特点

(一) 生产部门

耐蚀金属的轧材主要由冶金部门生产，而铸锻材料主要由机械部门生产。轧材是冶金部门的成品，提供给机械部门作为原材料。而铸锻材料一般并不是机械部门的成品，只是中间在制品。机械部门将铸锻材料的毛坯加工装配成机械设备后才成为成品，提供给使用机械设备的部门。机械部门既是铸锻材料的生产部门，又是铸锻材料的使用部门，铸锻材料的生产和使用之间一般并没有经过流通环节，这样就减少了材料生产与使用的脱节现象。它们之间的关系仅属于机械部门（多数是在一个工厂内）的内部协调问题。因此，铸锻材料的生产可以更加密切地直接为机械设备服务，铸锻材料的新牌号比轧材更容易得到推广应用。

(二) 产品类型

耐蚀铸锻材料绝大部分用于通用机械产品。例如离心泵的叶轮、导叶、泵壳、泵盖等一般采用铸件；往复泵的缸体、联箱一般采用锻件；齿轮泵的齿轮采用铸件或锻件；低压阀门的阀体、阀盖一般采用铸件；高、中压阀门的阀体、阀盖采用锻件；离心机的转鼓采用铸件或锻件；离心式压缩机和冷冻机的叶片、叶轮等采用锻件或铸件；风机（如氧化氮鼓风机）的机壳和叶轮有时采用铸件或锻件；轴类常采用锻件。当然，耐蚀铸锻材料还可用于其它设备或零部件，如塔器、容器、封头、管件、船用推进器等。间接法生产浓硝酸的硝酸浓缩塔采用高硅铸铁，这是由于不能将高硅铸铁进行轧制与锻造，只能以铸件使用。这种用铸件制造塔器和容器的情况并不很多。要求耐腐蚀的厚壁高压容器有些也采用锻件（或锻焊件），但只有在容器较小时才采用整体耐蚀锻件材料。如有的水溶液全循环流程尿素生产中的第一反应器、改良C法流程尿素合成塔前的混合器等。为了节省耐蚀材料，较大的耐蚀厚壁容器多采用耐蚀材料作为容器内壁衬里、堆焊或复合层的形式，这样可以用普通的非耐蚀材料制造壳体，以取得更好的技术经济效果。耐蚀材料用作衬里和复合层一般都用轧材。耐蚀铸锻材料用于容器、塔器的情况并不多。高温高压的临氢容器要求整个筒体都用抗氢钢，在采用锻造或锻焊结构的筒体时使用抗氢钢锻件。这种临氢容器在所有容器中所占比例也不多。因此，耐蚀铸锻材料的生产、应用和技术与通用机械行业的发展密切相关。

(三) 产品尺寸

耐蚀铸锻材料绝大多数都用来制造中小型的零、部件，而且以小型零、部件居多。这是由于通用机械所用的耐蚀零、部件基本上都是小件或中件。较大的容器、塔器、热交换器多采用轧材焊接结构，很少用铸锻材料。

(四) 产品性能

耐蚀材料一般要经过适当的热处理才能较好地发挥其耐蚀性能。耐蚀材料的铸件、锻件和轧材毛坯一般也都尽量进行适当的热处理后才投入设备制造。但在设备制造过程中，轧材大多要经过成形和焊接，制成的容器、塔器、热交换器等设备往往不能再进行整体设备的最

终热处理，这些设备只能在焊后状态和冷热变形状态下使用，显然不具有最佳耐蚀性能的状态。耐蚀铸锻件在设备制造过程中大多不再进行变形与焊接，即使进行焊接，由于多为中小件，也有可能再进行最终热处理。因此，耐蚀铸锻材料可以在具备最好的耐蚀性能和综合性能的状态下应用，这样就能更加充分地发挥材料耐蚀性能的潜力。

二、生 产 特 点

（一）熔炼容量

铸锻材料多为机械部门自产自用，耐蚀铸锻件又多为小件或中件，因而机械厂所配置的耐蚀铸锻材料熔炼设备的容量一般均比生产轧材的冶金厂所配置的要小。如不锈钢的熔炼设备，特殊钢厂一般都用容量为几十吨的电弧炉或精炼炉，而机械厂则多用几十公斤到几百公斤的感应电炉、0.5~5 t 的电弧炉。又如钛轧材生产厂的熔炼设备一般为几吨的真空自耗炉，而铸钛的熔炼设备则为几十公斤到几百公斤的凝壳炉（现在国内最大的凝壳炉为500kg）。

（二）熔炼技术

原则上讲，生产轧材的熔炼技术和生产铸锻材料的熔炼技术是一致的，但是实际上却有区别。现在世界上不锈钢轧材的熔炼多采用炉外精炼技术^[2]，75%采用AOD法（氩氧脱碳精炼法）熔炼，10%采用VOD法（真空脱碳精炼法）。国外铸锻材的熔炼也在向精炼技术发展。我国各特殊钢厂近年来也都设置了VOD炉和AOD炉，基本上都用来生产不锈钢轧材。但国内机械厂用来生产不锈钢铸锻件的熔炼炉基本上都还是感应电炉和电弧炉，仅大连耐酸泵厂最近安装了一台3 t 的VOD炉。此外个别重型机器厂也有精炼炉，但并非以生产耐蚀材料为主。绝大部分通用机械厂都还没有精炼炉。因此近期不锈钢铸锻件的生产仍将建立在感应炉和电弧炉的熔炼设备基础上。日本不锈钢的熔炼技术发展了简易化真空熔炼和AOD法等炉外精炼装置（产量少、品种多）。我国机械部门是否应当发展炉外精炼设备来生产不锈钢铸锻件，这还是一个值得研究的问题。

（三）生产批量

由于通用机械中用的耐蚀铸锻件多系中小件，从熔炼来说不宜单件生产；又由于通用机械的通用性和系列化程度较高，一般都要求批量供应。这样，耐蚀铸锻件就形成了批量生产的特点。为了利于批量生产，耐蚀铸锻件的生产厂一般都根据产品的技术要求和本厂的生产条件，将本厂经常生产的耐蚀铸锻材料编成系列，尽量用系列中的材料去满足绝大部分产品的要求，只有在特殊情况下才生产系列外的材料。因此，在耐蚀材料的应用方面，铸锻材料的选用与轧材有些不同。容器和换热器选用耐蚀轧材时，往往一台设备的材料需用量就能形成足够的订货批量，即使一些零料也可以从轧材厂解决，因此机械产品选用轧材时受批量的限制较少，主要根据机械产品的应用要求来选择材料的品种。而在选用耐蚀铸锻材料时，要考虑需要多台机械产品才能形成一种耐蚀材料熔炼生产的批量。在选用耐蚀铸锻材料时，不但要考虑耐蚀性能与经济性，而且所选材料牌号应当尽量集中，并应尽量选用机械厂或机械产品现已制订的耐蚀材料系列中的牌号，这样才便于订货与生产，也便于易损件补充备件。有时所选的材料并非对每台设备技术上最合理（如可能用材偏高），但由于牌号集中，便于批量生产，可以得到更好的综合经济效益。因此，往往是从机械厂的现有材料系列中选用

最合适的铸锻材料。机械厂的耐蚀铸锻材料系列中，牌号越少就越便于批量生产和管理，但是，为了满足各种腐蚀条件的使用要求，又应当把耐蚀铸锻材料系列中的牌号订得多一些为好。显然，这两个方面是矛盾的。因此，合理地制订机械厂的耐蚀铸锻材料系列是一项技术经济性很强的工作。

三、腐 蚀 特 点

(一) 晶间腐蚀

晶间腐蚀是指金属材料的晶界优先受到了腐蚀。不锈钢的晶间腐蚀问题尤其突出。不锈钢在用焊接、热成形等热加工方法处理时，在敏化温度范围内停留一段时间后会产生产晶间腐蚀敏感性，若在具有晶间腐蚀能力的腐蚀介质中使用，会使不锈钢产生晶间腐蚀。不锈钢铸锻件多系中小件，能够进行比较理想的热处理，可获得最佳的耐晶间腐蚀性能。铸锻件的壁厚一般不会太薄，刚性较大，热处理后的变形量不很大，而且多数铸锻件可以在热处理后进行机加工，因此铸锻件一般都能进行热处理。而轧材的焊接件，如容器、热交换器等，即使有大的热处理炉可以进行热处理，也会因为壁厚，刚度小，在热处理过程中容易产生过大的变形而不宜进行热处理。奥氏体和奥氏体—铁素体不锈钢的铸锻件一般均在固溶化热处理后的状态下使用，在机械制造过程中不再受到敏化，因此没有晶间腐蚀敏感性，使用时就不会产生晶间腐蚀。据石油、化工厂的统计，在设备腐蚀失效事故的各种腐蚀类型中，晶间腐蚀约占4%~9%，这主要发生在用轧材焊接的容器、热交换器上。通用机械所用的不锈钢铸锻件则极少产生晶间腐蚀。当然，有相当多的不锈钢铸件由于有铸造缺陷而需要进行焊补，如果在焊补后没有进行适当的热处理（如在机械加工中发现的缺陷在焊补后常常无法再进行热处理），就会产生一定的晶间腐蚀敏感性，有可能在使用中产生晶间腐蚀。有的机械厂在生产不锈钢铸锻件中，如果冶炼、铸造和热处理工艺都很稳定，可以确保抗晶间腐蚀性能，也不必每批铸锻件都进行繁杂的晶间腐蚀倾向检验，只需在厂内定期抽检，以确保工艺稳定即可。但轧材的焊接件不能免检，必须逐台设备进行晶间腐蚀倾向检验。

(二) 点腐蚀

奥氏体不锈钢、铝合金等与含氯离子的介质接触时，容易产生点腐蚀。在石油、化工厂的腐蚀失效类型统计中，点腐蚀约占20%~25%。流动不畅的含氯离子的介质中容易形成氯离子的集聚和浓缩的条件，促使点腐蚀的生成。耐蚀铸锻材料多用于通用机械的过流部件，介质相对于机件有较快的流速，不利于介质中氯离子的集聚和浓缩，因而耐蚀铸锻材料比轧材产生点腐蚀的可能性要小得多。

(三) 应力腐蚀

应力腐蚀开裂在石油、化工厂腐蚀失效类型中所占比例最高，据统计常常可达50%。应力腐蚀的产生有两个基本条件：一是材料对介质具有一定的应力腐蚀开裂敏感性；二是存在足够高的拉应力。导致应力腐蚀开裂的应力可以来自工作应力，也可以来自制造过程中由于变形和焊接而产生的残余应力。据统计，在应力腐蚀开裂事故中，由残余应力所引起的占80%以上，而由工作应力引起的则不足20%。因此，应力腐蚀开裂大多由残余应力引起^{〔3〕}。轧材焊接件如容器、热交换器等制造中要进行冷变形和焊接，制造后一般不进行消除应力热处理，因此，残余应力较高，容易引起应力腐蚀开裂。耐蚀铸锻件不进行冷变形，很少进行