

机械装备工业 节能减排 制造技术

主编 单忠德



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械装备工业节能减排制造技术

主 编 单忠德

副 主 编 樊东黎 范宏义 范金辉 金泉林 龙伟民 袁松梅

编 者 (按姓氏拼音排序)

樊东黎 范宏义 范金辉 蒋 鹏 金泉林 刘 丰

刘志峰 龙伟民 单忠德 佟晓辉 杨 娟 杨立宁

袁松梅 战 丽 张密兰 等



机 械 工 业 出 版 社

本书涵盖了炼钢、铸造、锻造、焊接、热处理、表面处理、切削加工、增材制造等制造工艺技术,全面阐述了我国机械装备工业节能减排制造技术现状、趋势和未来发展,系统分析了我国机械装备工业与发达工业国家的制造技术方面的差距,以及我国机械装备工业节能减排方面存在的主要问题,详细总结了机械装备工业节能减排、绿色制造工艺技术现状及未来发展,对机械装备制造企业、科研院所、高等院校的开展节能减排、绿色制造方面的研究开发及应用推广工作具有现实指导意义。

本书可供高等院校、科研院所、企业的相关管理及技术人员和相关政府部门参考,以便对当前节能减排、绿色制造工作提供技术支持,也为全国各地各行业节能监察中心、节能服务中心、专业研究机构提供有价值的参考书和培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械装备工业节能减排制造技术/单忠德主编. —北京:机械工业出版社, 2014.6

ISBN 978-7-111-46614-7

I. ①机… II. ①单… III. ①制造业—节能—研究—中国 IV. ①F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 091721 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:牛新国 责任编辑:牛新国

责任校对:张晓蓉 封面设计:张 静

责任印制:李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·25 印张·793 千字

0001—3500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-46614-7

定价:78.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

《机械装备工业节能减排制造技术》涵盖了炼钢、铸造、锻造、焊接、热处理、表面处理、切削加工、增材制造等制造工艺技术，全面阐述了我国机械装备工业节能减排制造技术现状、趋势和未来发展，系统分析了我国机械装备工业与发达工业国家的制造技术方面的差距，以及我国机械装备工业节能减排方面存在的主要问题，详细总结了机械装备工业节能减排、绿色制造工艺技术现状及未来发展，对机械装备制造企业、科研院所、高等院校开展节能减排、绿色制造方面的研究开发及应用推广工作具有现实指导意义。

第1章综述了装备制造业绿色制造技术现状及发展、存在问题、发展机遇和挑战等。

第2章炼钢生产节能减排技术，阐述了炼钢生产技术现状、超高功率电弧炉节能降耗技术、直流电弧炉技术、强化冶炼技术、烟气余热利用及净化技术等工艺方法的节能减排技术理论基础和依据。

第3章铸造生产节能节材技术及装备，阐述了铸造工业生产现状及节能减排技术，重点论述了数字化无模铸造精密成形技术及装备、电渣熔铸技术及装备、轻合金典型铸造技术及装备等典型节能减排、绿色制造技术。

第4章锻造生产节能节材技术，阐述了锻压技术的进展，以及锻压设备、锻造加热与锻后热处理、锻压工艺节能节材等节能减排技术与装备，论述了锻压工艺数值模拟技术、高强钢和超高强钢冲压技术及装备等。

第5章焊接与切割生产节能减排技术，阐述了焊接与切割生产技术现状，电弧焊、压焊、堆焊、钎焊、高能束焊接和切割下料生产等工艺中节能减排技术以及焊接与切割生产的节能减排管理。

第6章热处理生产节能减排技术，阐述了我国热处理行业现状、生产节能措施、排放与污染的防治、热处理用材料（盐、油、油脂、硫）的回收利用、行业清洁生产技术推广方案等，推荐了热处理行业典型节能减排相关机电设备。

第7章表面处理节能减排技术，阐述了表面工程技术应用现状与发展趋势，论述了高效节能的表面前处理、涂装节能减排技术、热喷涂（焊）节能减排技

术、转化膜节能减排技术和电镀节能减排技术，为表面处理节能减排提供了基础工艺技术和方法。

第8章切削加工节能减排技术，阐述了切削加工节能减排技术国内外研究及应用现状，对于式切削、微量润滑切削、低温微量润滑切削、氮气低温冷却润滑切削、水蒸气作冷却润滑剂的切削等加工技术的内涵、特点、目标和机理等进行了详细论述。

第9章增材制造与快速制造技术，阐述了增材制造技术的定义、原理、工艺过程和特点，论述了增材制造技术的国内外现状，对增材制造技术的应用领域及市场进行了分析，分析了增材制造技术未来发展将面临的问题、关键和发展方向。

本书是机械工业出版社于2013年出版的《装备制造业节能减排技术手册》第三篇的单行本，是一本机械装备行业的节能减排、绿色制造工艺技术方面的综合性工具书，对装备制造业的相关节能减排技术、数据和方法进行了梳理、归纳、总结和分析。为突出本书的指导性、先进性和实践应用性，在本书的编写过程中，汇集了相关研究和工程应用领域的最新资料，对企业、科研院所以及高等院校等进行节能减排工艺和方法的研究、技术改进和革新提供基础理论和技术指导。

本书可供高等院校、科研院所、企业的相关管理及技术人员和相关政府部门参考，以便对当前节能减排、绿色制造工作提供技术支持，也为全国各地各行业节能监察中心、节能服务中心、专业研究机构提供有价值的参考书和培训教材。

值此本书出版之际，谨向全体编审人员及参与编写工作的有关单位表示诚挚的感谢。由于本书内容面广，难免有些不当之处，希望广大读者给予批评指正。

编 者

2014年1月27日

目 录

前言

第1章 装备制造业技术现状及发展 1

- 1 装备制造业是制造业的重要组成部分 2
- 2 我国装备制造业面临的挑战与机遇 3
 - 2.1 装备制造业目前存在的问题 3
 - 2.2 我国装备制造业面临的发展机遇 4
 - 2.3 装备制造业的发展趋势 5
- 3 装备制造业典型基础制造工艺 6
- 4 装备工业节能减排技术现状 8
- 5 装备制造业节能减排技术发展趋势 10
 - 5.1 数字化制造融入装备设计及制造过程 10
 - 5.2 新材料开发促进机械装备减量化 11
 - 5.3 零部件毛坯制造趋向近净成形 12
 - 5.4 零部件制造过程推进清洁生产 13
 - 5.5 装备制造短流程生产减少资源消耗 15
 - 5.6 装备关键工序引入节能化技术 15
 - 5.7 无废弃物制造促进资源循环利用 16
 - 5.8 机械装备规格与产品制造相匹配 17
 - 5.9 工业自动化、智能化提高装备及生产线效率 17
 - 5.10 机械装备再制造、回收再使用获得推广应用 19

参考文献 19

第2章 炼钢生产节能减排技术 23

- 1 炼钢生产的现状 24
 - 1.1 转炉炼钢 24
 - 1.2 电弧炉炼钢 25
 - 1.3 炉外精炼 26
- 2 超高功率电弧炉节能降耗技术 28
 - 2.1 超高功率电弧炉概述 28
 - 2.2 电弧炉合理供电技术 29

- 2.3 降低电极消耗技术 32
- 2.4 电弧炉短网节电技术 35
- 2.5 水冷炉壁炉盖技术 37
- 2.6 高阻抗电弧炉技术 40
- 3 直流电弧炉技术 40
 - 3.1 直流电弧炉设备 41
 - 3.2 直流电弧炉特征 42
 - 3.3 新型直流电弧炉 43
- 4 强化冶炼技术 44
 - 4.1 优化炉料结构技术 44
 - 4.2 氧气燃料助熔技术 45
 - 4.3 电弧炉二次燃烧技术 46
 - 4.4 泡沫渣冶炼技术 48
 - 4.5 电弧炉底吹搅拌技术 49
 - 4.6 偏心炉底出钢技术 50
- 5 烟气余热利用及净化技术 51
 - 5.1 烟气余热利用技术 52
 - 5.2 电弧炉烟气净化技术 58
- 6 电弧炉炼钢节能减排技术的发展 60
 - 6.1 电弧炉炼钢节能减排技术应用 60
 - 6.2 电弧炉炼钢节能减排技术展望 61

参考文献 62

第3章 铸造生产节能节材技术及装备 65

- 1 铸造工业生产现状及节能减排 66
 - 1.1 我国铸造行业基本概况 66
 - 1.2 铸造型砂回收再利用 67
 - 1.3 铸造型砂绿色化 68
 - 1.4 铸造回炉料及金属废屑回收再利用 69
 - 1.5 铸造绿色制造工艺及装备 69
- 2 数字化无模铸造精密成形技术及装备 71
 - 2.1 数字化无模铸造精密成形加工方法 71

2.2 数字化无模铸造精密成形关键技术·····	73	5.1 概论·····	133
2.3 数字化无模铸造精密成形设备·····	75	5.2 冲压工艺数值模拟·····	135
2.4 数字化无模铸造精密成形技术及设备应用·····	79	5.3 锻造工艺数值模拟·····	140
3 电渣熔铸技术及装备·····	81	5.4 热锻微观组织预测·····	149
3.1 电渣熔铸方法·····	81	6 高强度冲压技术及装备·····	159
3.2 电渣熔铸关键设备·····	82	6.1 高强度/超高强度冲压常用材料·····	159
3.3 电渣熔铸特殊工艺技术简介·····	83	6.2 高强度/超高强度冲压模具材料·····	160
3.4 电渣熔铸技术的典型应用·····	84	6.3 高强度/超高强度冲压模具结构设计·····	161
4 轻合金典型铸造技术及装备·····	86	6.4 热冲压模具加工制造·····	164
4.1 重力铸造·····	86	6.5 高强度/超高强度冲压工艺·····	166
4.2 压力铸造·····	87	6.6 高强度/超高强度冲压压力机·····	168
4.3 半固态铸造·····	89	6.7 超高强度热冲压生产线用加热炉·····	170
5 铸造技术未来发展趋势·····	90	6.8 冷热冲压自动化生产线·····	171
5.1 铸造向轻量化、精确化方向发展·····	90	参考文献·····	172
5.2 铸造向绿色化、清洁化方向发展·····	91	第5章 焊接与切割生产节能减排技术·····	177
5.3 铸造向高效化、柔性化方向发展·····	91	1 焊接与切割生产的现状·····	178
5.4 铸造向自动化、智能化方向发展·····	91	1.1 国外焊接切割生产节能减排状况·····	179
参考文献·····	91	1.2 我国焊接与切割生产现状·····	180
第4章 锻造生产节能节材技术·····	93	1.3 焊接与切割生产节能减排存在的主要问题·····	181
1 概论·····	94	1.4 焊接与切割生产节能减排技术发展趋势·····	182
1.1 综述·····	94	2 电弧焊节能减排技术·····	183
1.2 国内技术进展·····	96	2.1 弧焊电源节能减排技术·····	183
1.3 发展建议·····	97	2.2 焊条电弧焊节能减排技术·····	184
2 锻压设备的节能减排·····	97	2.3 埋弧焊节能减排技术·····	184
2.1 锻压设备的能耗·····	97	2.4 气体保护焊节能减排技术·····	186
2.2 蒸/空模锻锤电液技术改造·····	100	2.5 特种电弧焊节能减排技术·····	187
2.3 摩擦压力机改造与节能型螺旋压力机·····	102	3 压焊节能减排技术·····	189
2.4 锻压设备的振动与噪声控制·····	104	3.1 电阻焊设备节能减排技术·····	189
3 锻造加热与锻后热处理的节能减排·····	109	3.2 摩擦焊节能减排技术·····	190
3.1 锻造加热炉节能措施·····	109	4 堆焊节能减排技术·····	192
3.2 锻造余热热处理技术及应用·····	111	4.1 堆焊材料与工艺节能减排技术·····	192
3.3 非调质钢的应用与推广·····	115	4.2 堆焊技术的典型应用·····	193
4 锻压工艺节能、节材的工艺措施·····	118	5 钎焊节能减排技术·····	194
4.1 自由锻·····	118	5.1 钎焊材料节能减排技术·····	194
4.2 模锻·····	121	5.2 节能减排的钎焊工艺及应用·····	203
4.3 冲压·····	127	6 高能束焊接节能减排技术·····	209
5 锻压工艺数值模拟技术·····	133	6.1 电子束焊接节能减排技术·····	209

6.2 激光焊接节能减排技术·····	211	6 热处理行业节能机电设备(产品)推荐	
7 切割下料生产节能减排技术·····	213	目录·····	260
7.1 火焰切割节能减排技术·····	213	参考文献·····	265
7.2 激光切割节能减排技术·····	214	第7章 表面处理节能减排技术 ·····	267
7.3 等离子弧切割节能减排技术·····	216	1 表面工程技术应用现状与发展趋势·····	268
8 焊接与切割生产的节能减排管理·····	217	1.1 表面工程技术内涵及分类·····	268
参考文献·····	217	1.2 表面工程技术的节能减排特点·····	269
第6章 热处理生产节能减排技术 ·····	219	1.3 表面工程技术的应用状况及发展	
1 概论·····	220	方向·····	270
1.1 我国热处理行业现状·····	220	2 高效节能的表面前处理·····	272
1.2 热处理能源与利用·····	220	2.1 除油工艺·····	273
1.3 热处理生产对环境的影响·····	220	2.2 除锈技术·····	274
1.4 热处理生产节能潜力·····	222	3 涂装节能减排技术·····	275
2 热处理生产节能措施·····	222	3.1 减排涂料及涂装技术·····	275
2.1 提高加热温度·····	222	3.2 节能型涂料及涂装技术·····	277
2.2 缩短加热时间·····	224	3.3 常用涂装工艺·····	279
2.3 降低加热温度·····	226	3.4 节能减排涂装技术·····	280
2.4 以局部加热代替整体加热·····	228	4 热喷涂(焊)节能减排技术·····	281
2.5 省略或简化热处理工序·····	230	4.1 喷涂技术·····	281
2.6 余热利用·····	231	4.2 热喷涂节能减排新技术·····	291
2.7 减少热损失·····	233	5 转化膜节能减排技术·····	292
2.8 充分利用燃烧废热·····	233	5.1 磷化技术·····	292
2.9 气体燃料的热化学重整·····	236	5.2 钝化技术·····	295
2.10 热能综合利用的渗碳、淬火、		5.3 微弧氧化技术·····	299
清洗、回火生产线·····	237	6 电镀节能减排技术·····	301
2.11 优化燃烧过程·····	238	6.1 镀膜技术替代电镀技术·····	301
2.12 向管理要能源·····	238	6.2 电刷镀技术·····	302
3 热处理排放与污染的防治·····	240	6.3 电镀废水处理方法·····	305
3.1 热处理生产的排放和污染·····	240	6.4 电镀工艺节水技术·····	309
3.2 热处理有害废物排放的极限·····	241	参考文献·····	310
3.3 清洁热处理工艺·····	243	第8章 切削加工节能减排技术 ·····	313
3.4 清洁的热处理设备·····	246	1 切削加工节能减排技术现状·····	314
3.5 节能清洁的工艺材料·····	255	1.1 切削加工节能减排技术内涵·····	314
3.6 污染的治理·····	257	1.2 切削加工节能减排技术具体实现	
4 回收利用·····	258	途径·····	314
4.1 工件带出盐的回收·····	258	2 干式切削加工技术·····	316
4.2 油水分离回收·····	258	2.1 干式切削加工技术的内涵、特点和	
4.3 工件表面切削油脂的利用·····	258	目标·····	316
4.4 燃料中硫的回收·····	258	2.2 干式切削加工技术的国内外研究及	
5 热处理行业清洁生产技术推广方案·····	258	应用现状·····	317

2.3	干式切削加工刀具	319
2.4	干式切削加工机床	331
2.5	典型应用案例	333
2.6	干式切削加工技术的发展趋势	336
3	微量润滑切削加工技术	337
3.1	微量润滑切削加工技术简介	337
3.2	微量润滑切削加工技术国内外研究现状	337
3.3	微量润滑切削加工技术存在的问题	340
3.4	MQL 装置的设计	341
3.5	微量润滑切削加工技术对铣削力的影响	342
3.6	微量润滑切削加工技术在企业中的应用	343
4	低温微量润滑切削加工技术	345
4.1	低温微量润滑系统	345
4.2	低温微量润滑切削加工技术在切削难加工材料上的应用	346
4.3	低温微量润滑切削加工技术在企业中的应用	348
5	氮气低温冷却润滑切削加工技术	353
5.1	氮气低温冷却润滑系统	353
5.2	氮气低温冷却润滑作用机理	355
5.3	氮气低温冷却润滑应用实例	357
6	水蒸气作冷却润滑剂的切削加工技术	358

6.1	水蒸气作冷却润滑剂切削加工技术的内涵、特点和目标	358
6.2	国内外研究及应用现状	359
6.3	典型设备	359
6.4	未来发展	360

参考文献	360
------	-----

第9章 增材制造与快速制造技术

1	增材制造与快速制造技术概述	368
1.1	增材制造技术定义	368
1.2	增材制造技术原理	368
1.3	增材制造工艺过程	369
1.4	增材制造技术特点	369
2	增材制造技术国内外现状	370
2.1	典型增材制造工艺的现状 & 发展	371
2.2	基于增材制造的金属件制造工艺	377
2.3	增材制造技术典型研究	380
3	增材制造技术的应用领域及市场分析	381
3.1	增材制造技术应用领域	381
3.2	增材制造产业链构成	383
3.3	增材制造市场状况	383
4	增材制造技术未来发展	385
4.1	增材制造技术面临的问题	385
4.2	增材制造技术需要攻克的关键技术	385
4.3	增材制造技术未来发展方向	386
参考文献	387	

第 1 章

装备制造业技术现状及发展

- 1 装备制造业是制造业的重要组成部分
- 2 我国装备制造业面临的挑战与机遇
- 3 装备制造业典型基础制造工艺
- 4 装备工业节能减排技术现状
- 5 装备制造业节能减排技术发展趋势

1 装备制造业是制造业的重要组成部分

装备制造业是为国民经济和国防建设提供生产技术装备的制造业的总称,它是制造业的核心组成部分。装备制造业担负着装备国民经济各行业的重任,没有优质的装备,很难生产出优良的产品,其技术水平的高低直接影响各行业的竞争能力。因此,建立起强大的装备制造业,不但是提高综合国力的重要基础,同样,也是实现工业化的根本保证。

装备制造业又称装备工业,是为满足国民经济各部门发展和国家安全需要而制造各种技术装备的产业总称。按照 2011 年《国民经济行业分类》(GB/T 4754—2011)标准,其产品范围包括机械、电子和兵器工业中的投资类制成品,分属于金属制品业、通用装备制造业、专用设备制造业、交通运输设备制造业、电器装备及器材制造业、电子及通信设备制造业、仪器仪表及文化办公用装备制造业,7 个大类 185 个小类。

工业发达大国所走过的历程表明,没有装备制造业,国家难以完成工业化的任务。没有发达的装备制造业就无法实现经济、国防的现代化。当前工业发达国家 60% 的社会财富和 45% 的国民收入是由制造业创造的,美国 68% 的财富是由制造业创造的。美国、日本、德国机械工业产值中生产资料(不包括军品、家用耐用消费品及轿车在内)所占比重分别为 75.1%、70%、73.6%。而我国装备制造业占全国各项工业指标的比重仅为 20%~25%。我国装备制造业对外出口占外贸出口总值的 25.5%,从业人数占总人数的 21.9%。

例如,德国装备制造业具有完整和高水准的装备制造业体系。无论是从模具制造、数控机床,还是到动力装置和机械传动,德国制造业都始终保持着世界领先的水平。以德国的机床制造业为例,德国机床制造业生产的机床达 4000 多种,其重型机床和专用机床尤其值得称道,主要为汽车、轨道车辆、电器、航空航天等高科技行业提供生产设备。

2012 年 2 月 14 日,美国奇点大学瓦德瓦教授在华盛顿邮报撰文“当我们将人工智能、机器人和数字制造技术相结合,将会发生一场制造业的革命;它使得美国企业家在本地建厂开工,生产出各种各样的产品。这样,中国还如何能与我们竞争?美国注定要重新获得制造业的领导权,而很快就该轮到中国去担忧

了”。美国总统奥巴马在 2012 年国情咨文中 5 次提到,认为是把制造业迁回来的大好机会,并采取了有力的措施。英国、法国等国家也采取了类似举措。

装备制造业主要包括以下四个方面的内容:

(1) 基础制造工艺与技术,如铸造、锻压、热处理、焊接、表面处理、材料保护、自动控制等制造的基础共性工艺与技术。

(2) 重要的基础设备,即制造装备的装备,如数控机床、工业机器人、加工中心、大规模集成电路等。

(3) 重要的基础零部件,如液压、气动、轴承、密封、刀具、低压电器、微电子和电力电子器件、仪器仪表等。

(4) 重大成套技术装备和高端装备,主要应用于国民经济各部门和军工生产。如矿产资源的井采及露天开采设备;大型火电、水电、核电成套设备;超高压交、直流输变电成套设备;石油化工成套设备;金属冶炼轧制成套设备;民用飞机、高速铁路、地铁及城市轨道交通车、汽车、船舶等先进交通运输设备;污水、垃圾及大型烟道气净化处理等大型环保设备等。

目前,我国装备制造业已经能够生产出一批具有世界水平的产品,例如,大秦线 10000t 的重载列车装备;三峡工程的 700MW、转轮直径 10m 混流式水发电机组;秦山二期工程的 60 万 kW 压水堆核电机组;60 万 kW 亚临界火电机组、浙江华能玉环电厂 1 号机组——国产百万千瓦超超临界燃煤机组(见图 1-1);500kV 交流输变电成套设备;2000 万 t/年大型露天矿成套设备;宝钢三期工程 250t 氧气转炉、1450mm 板坯连铸机、1420mm 冷连轧机和 1550mm 冷连轧机;年产 52 万 t 大型尿素成套设备;4 万 m³/h 大型空分设备;数控机床的品种已经达到 1500 种,基本覆盖了重型机床、高精度机床、特种加工机床等领域。制造的煤直接液化加氢反应器,外径 5.5m,壁厚 337mm,长 62m,重 2050t,年产成品油 500 万 t。



图 1-1 首台国产百万千瓦超超临界燃煤机组

这些设备都是我国自主研发的,标志着我国装备工业取得了很大成就。国家建设所需装备的2/3由国内装备制造业提供,装备制造业规模大体居世界第五位,初步实现了“用中国装备装备中国”。

2 我国装备制造业面临的挑战与机遇

装备制造业不仅是高技术的载体,也是高技术发展的动力。近年来,先进的制造技术不仅创造了更先进的生产方式和更高的生产效率,而且其对传统的制造技术进行着系统的改造。在当今世界上,高度发达的装备制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合实力和科技水平的重要标志,成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。尤其是高端装备制造业,如智能装备、高速列车、海洋工程装备、超临界发电设备和特高压输变电设备、干支线和通用飞机、大型石化装备、特种机器人、国防军工装备、现代大型农业机械等。

装备制造业是推进产业升级的重要手段,装备制造业具有产业关联度强、技术密集度高的特点,通过装备制造业,如汽车制造业、冶金、建材装备行业、机械制造业以及电子通信、设备制造业等产业的发展,推动第一、第二、第三产业的结构调整,发展产业集群,延伸产业链。同时,在发展装备制造业的过程中,可以发挥高科技产品对传统产品的渗透,可以带动传统产业的升级。例如,以美、德、日等发达国家跨国公司为主体的装备制造领先企业掌握着核心关键技术,处于世界领先水平,占据产业链高端位置。发达国家提出“再工业化”“低碳经济”等新的发展理念后,装备制造业进入新一轮占领技术制高点的竞争时代,技术发展趋势以大型、智能、精密、高效、清洁为主要特征。“高端装备制造业”是七大战略性新兴产业之一,提出了重点发展航空航天、海洋工程和高端智能装备。

2.1 装备制造业目前存在的问题

我国装备制造业目前的实力还不能适应国民经济发展的要求,同发达国家装备制造业相比,还有较大差距。如产品水平低、效益差,产品市场占有率低,自主创新能力较弱,部分产品及制造过程中能耗大,污染严重等。尤其是我国重大技术装备的成套能力弱,制造业共性技术与工艺、基础零部件、基础设备等是制约装备制造业发展的主要因素。目前装备制造业中存在的问题主要表现在以下几个方面。

智能装备是工业现代化、产业升级的基石,我国急需提升装备的智能化水平。工业现代化所需的各类装备和设施,离不开智能化,如大型飞机、重型船舶柴油机、百万千瓦级核电设备、火电设备及大型水电设备、大型石油化工设备等设备中都需要智能设备。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》中其他15个国务院重大专项的实施,大都需要智能装备为其提供装备支撑。航天工业发展要大批高精度、特种加工数控机床等智能化装备。

高端装备是高新技术产业发展的基石,我国急需高新技术装备。目前,我国劳动生产率较低、能源消耗大、污染比较严重。如制造业的能耗占全国一次能耗的63%,单位产品的能耗高出国际水平20%~30%。虽然我国创造的国内生产总值只有世界的4%,但耗用的钢铁、煤炭、水泥却分别占世界消费量的30%、31%和40%。

数字化、智能化等新兴技术推动我国装备向高端制造发展,急需提升装备层次和创新水平。我国目前装备产品以低端为主,附加值不高,增加值率仅为26%左右,比美国、日本以及德国分别低22%、22%和11%。我国制造业每年产生约55亿t无害废物和7亿t有害废物;所有造成环境污染的排放物中70%来源于制造业。产业结构不合理,技术创新能力薄弱,生产效率低,产品附加值不高。我国尚不能自主生产大型民用飞机、深水海洋石油装备。90%的高档数控机床、机器人和工厂自动控制系统依赖进口。科学仪器和精密测量仪器对外依存度达70%。绿色制造、智能制造和服务型制造是高端制造的重要标志。宽带网、物联网、云计算、智能电网等技术和应用的实现,预示着全球的工业结构、制造业的发展方式和发展模式将发生转变。智能装备为生物制造、环保装备、新能源汽车等提供重要支撑。

装备关键零部件发展滞后,我国急需解决主机“空壳化”问题。高端主机和成套设备所需的关键零部件、元器件和配套设备大量进口。海洋工程装备的大多数配套设备依赖进口。为高档数控机床配套的高档功能部件70%需要进口。大型工程机械所需30MPa以上液压件全部进口。占核电机组设备投资1/4的泵阀主要依赖进口。

现代制造服务业发展缓慢,价值链的高端缺位。我国装备制造业的发展过度依赖单机、实物量的增长,而为用户提供系统设计、系统成套和工程承包、维修改造、回收再制造等服务业未能得到培育,绝大多数企业的服务收入所占比重低于10%,并且是处于

价值链低端的加工装配环节。我国出口额最多的机电产品近 5000 个海关税目中,出口单价高于进口单价的产品税目仅占 11%,其中专用设备不到 6%。要实现我国装备制造业由大变强,必须解决三大问题,即发展高端装备、关键零部件、价值链的高端,而这三者均属高端装备制造业范畴。

目前,对许多重大技术装备,我国尚不具备研发与制造能力,仍主要依靠进口。第三次全国工业普查显示,在全国大中型企业 1180 种主要专业设备中,达到先进水平的仅占 26.1%。而且越是重要、高档、技术附加值高的装备,进口越多,自给率越低。我国机床消费占世界机床消费总量 24%,连续多年成为世界机床第一消费大国,但不是制造技术强国,大量高端数控装备依赖进口。其主要原因包括:①技术引进主要是使用权,而无知识产权,或者是引来“产权”,没有引来“知识”,常常存在重复引进、却对消化吸收重视不够;②大中型企业的自主开发与创新能力相对薄弱;③装备制造业基础制造技术、工艺、装备落后。总之,我国装备制造业总体状况为:自主开发能力薄弱、专业化的配套体系尚未形成、装备的批量化制造水平低和关键部件依赖进口。

2.2 我国装备制造业面临的发展机遇

在《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》中,确立了“提高装备设计、制造和集成能力”“积极发展绿色制造”“用高新技术改造和提升制造业”的发展思路,努力突破核心制造技术,提高重大技术装备研发设计、核心元器件配套、加工制造和系统集成整体水平;进而着力推进制造业信息化,有效利用资源、能源,减轻环境负担,大幅度提高产品档次、技术含量和附加值,全面提升制造业规模产品制造能力、重大装备制造能力和高技术装备制造能力,从而提升制造业整体技术水平和国际竞争力。

在世界经济全球化的今天,虽然绝大多数基础制造装备与成套装备,可以花钱购买,但对于我国这样的发展中大国来说,企业只有掌握了关键的基础制造装备与成套装备制造的核心技术,才能牢固地占有国内市场,才能不断地开拓国际市场,在竞争中立于不败之地。世界装备制造业发展势头迅速,例如韩国产业资源部在对 24 个主要经济领域的 200 家大企业进行调查后发现,韩国企业 2006 年的设备

投资达到 507 亿美元,比 2005 年增加 16.1%。其中,非制造业部门的设备投资增长 26.3%,制造业的投资增幅 12.7%。而汽车、石化、钢铁等行业的设备增幅将最大。我国装备制造业主要市场需求表现在以下六个方面。

1. 基础材料及制造装备的需求量大 一个国家制造业水平的高低,很大程度上取决于其基础制造装备水平的高低。基础制造装备不仅需求量大,而且对装备的技术水平的要求越来越高,如飞机制造业中的大台面多坐标数控龙门铣床、高速加工中心等。对于这样的高档专用设备,目前主要依赖进口,但这类设备是西方国家对华禁运的重点。

2015 年我国新材料产业总产值要达到 2 万亿元,年均增长率超过 25%。重点支持高强轻型合金材料、高性能钢铁材料、功能膜材料、新型动力电池材料、碳纤维复合材料、稀土功能材料新材料。新一代信息功能材料和生物医药、节能环保、绿色建材等行业材料也有望获得重大工程项目支持。新材料“十二五”期间的发展目标为自给率达 70%,重大工程项目支持的每个子行业都有望通过 5~10 年时间形成千亿元至万亿元产值规模。“十二五”末,新材料行业产值有望达数万亿元。

2. 汽车零部件及民用航空的市场潜力巨大 据统计,全球 100 家最大的汽车零部件供应商,年销售额合计达到 5000 亿美元。其中,有 97 家企业的年销售额超过 10 亿美元,是名符其实的“小型巨人”。近年来,我国汽车产业以年均 30% 以上的速度迅猛发展,但是国内零部件的发展一直跟不上整车的发展速度,国内零部件企业存在规模小、成本高、技术含量低、研发能力不足等劣势。

根据《民用航空工业中长期发展规划(2013—2020 年)》,到 2020 年民用飞机产业营业收入超过 1000 亿元。C919 大型客机、ARJ21 涡扇支线飞机、新舟涡桨支线飞机、大型灭火和水上救援飞机、直十五中型直升机、高端公务机等完成研制并产业化;大型客机发动机研制取得重要进展;形成主要航空材料和基础元器件国内保障能力;实施大型飞机重大专项、支线飞机和通用飞机产业化工程、民用飞机产业化基础支撑计划以及航空质量提升计划四个重大工程和计划。

3. 大型、成套装备的需求旺盛 我国汽车、能源装备、医疗器械、铁路运输设备、船舶制造业、通用仪器仪表等子行业表现出较高景气度以及全国农业机械化将继续保持较快的发展态势。大量复杂曲面

零件加工需要多轴联动、高速、高效龙门加工中心等。航空发动机零件精度高、形状复杂,需要高精度、大转矩高刚度、多轴联动数控机床。

4. 重大基础制造装备需求高质量关键部件 重大基础制造装备是衡量一个国家工业实力的重要标志。重大基础装备的大型零部件大量采用大型铸、锻、焊件,如大型火力发电机组中汽轮机高、中、低压转子、汽轮机缸体、水轮机大轴、转轮体、大型轧钢机、核反应堆压力壳、轰炸机用镍基合金涡轮盘等,广泛应用于能源、电力、军工、冶金、化工、交通、造船、航空、航天等国民经济的重要行业中。

根据我国核电发展规划,到2020年核电装机容量将达到3600万~4000万kW,平均每年新增2~3套百万kW核电机组。据预测,全世界对核电大锻件的年需求量约15万t。一套百万千瓦压水堆核电机组核岛部分的锻件由压力容器、蒸汽发生器和稳压器的壳体及管板、主管道锻件构成,因此,核电铸、锻、焊件市场十分广阔。

2015年我国将成为世界第一大造船国,单船吨位从万吨级发展到可以承制30万t级以上的超大油轮、液化气船、滚装船以及自卸船等多种船型。随着船舶工业成为了我国能够参与国际竞争的为数不多的行业之一,成为了我国机电产品出口的重要行业。船舶工业的加速发展,船用铸锻件的需求将逐年增加。船用曲轴、舵杆、艉座、锚系、齿轮、机用汽缸盖等大型铸锻件,不但数量需求增长较快,有较大的市场份额,而且需求已向大型化方向发展。

5. 国家大型工程建设拉动装备制造业 未来10年,我国基础设施建设将处于前所未有的高速发展阶段,将新建铁路1万余km,新建城市地铁、公路建设、水利建设以及“西气东输”“南水北调”等巨大工程。这些均将形成对大型工程、建筑机械(装备)的巨大市场需求。

2013年1~5月,铁路固定资产投资为1576.10亿元,比上年同期增加279.56亿元,同比增加21.6%;其中,基本建设投资1322.85亿元,比上年同期增加268.03亿元,同比增加25.4%。根据《中长期铁路网规划》,到2015年,全国铁路营业里程将达到12万km以上,其中高速铁路1.6万km以上,西部铁路5万km以上,复线率和电气化率分别达到50%、60%。以高速铁路为骨架、总规模5万km的快速铁路网基本建成,总规模7万km的区际大能力通道布局成网,繁忙干线实现客货分线运输。

6. 国家出台政策,加快发展节能环保产业 2013年8月国务院印发《关于加快发展节能环保产业的意见》,提出了近3年促进节能环保产业加快发展的目标:到2015年,我国节能环保产业总产值要达到4.5万亿元,产值年均增速保持在15%以上,产业技术水平显著提升,为实现节能减排目标奠定坚实的物质基础和技术保障。明确了当前促进节能环保产业加快发展的四项重点任务。一是围绕重点领域,促进节能环保产业发展水平全面提升。加快发展节能、环保、资源循环利用技术装备,提高技术水平;创新发展模式,壮大节能环保服务业。二是发挥政府带动作用,引领社会资金投入节能环保工程建设。加强节能技术改造,实施污染治理重点工程,推进园区循环化改造,加快城镇环境基础设施建设,开展绿色建筑、交通行动。三是推广节能环保产品,扩大市场消费需求。继续实施并调整节能产品惠民政策,实施能效“领跑者”行动计划,完善环保产品认证制度,开展再制造“以旧换再”,拉动节能环保产品消费。四是加强技术创新,提高节能环保产业市场竞争力。重点支持企业技术创新能力建设,加快掌握重大关键核心技术,促进科技成果产业化转化,推动国际合作和人才队伍建设。对于缓解资源环境瓶颈制约、扩大有效需求、转变经济发展方式、促进产业转型升级、增强发展内生动力,推动加快生态文明建设做出贡献。

2.3 装备制造业的发展趋势

目前我国装备制造企业数量多,但规模小,设备数量多,但先进设备所占比例小,特别是智能化、集成化、柔性化设备更少,企业制造技术水平、产品质量和生产效率急待提高。难以实现快速化、精密化、数控化、绿色化、智能化装备生产是制约我国制造技术发展的重要因素。世界制造技术与装备未来发展典型特征如下:

(1) 产品开发制造过程向无模化、快速化方向发展。随着企业产品更新换代加快,市场竞争更加激烈,产品关键零部件的开发制造周期将制约企业发展,尤其是面对单件、小批量产品的客户化定制成为未来的主要供货模式,如何快速、高质量、低成本地把零部件制造出来成为挑战。为此,急需开发和推广数字化无模铸造技术与装备、数字化无模碾压成形技术与装备等。

(2) 装备制造技术向精密化、高精化方向发展。为实现节能节材和高质量,铸锻件成形制造向近净成形、净成形发展,进一步减少加工余量。例如铸锻件整体精密成形技术与装备、轻合金精密成形技术与装

备、高强度/超高强度材料精密成形技术与装备等。

(3) 装备制造技术向数控化、智能化制造方向发展。为提高产品制造柔性化和产品质量与效率，手工制造、机械化制造向数控化制造、自动化制造、智能化制造发展，信息技术大大促进和提升装备制造技术水平。例如，数控伺服控制成形技术与装备，可实现精确成形和高效制造；金属件无模数控成形等特种数控技术可实现快速制造，降低成本，提高制造水平。

(4) 装备制造技术向清洁制造、绿色制造方向发展。节能、节材、清洁成形技术是未来发展重要趋势，制造过程和装备使用等均需清洁化、绿色化。绿色制造是装备制造技术的发展方向。高强钢/复合材料/轻合金等轻量化材料零部件制造、模具再制造技术、锻件短流程制造技术、无污染润滑工艺、无废弃物制造等，可实现低耗和洁净化生产。

(5) 与高新技术相互融合，装备发展日新月异。结合新材料发展、信息、计算机、传感器等高新技术发展，装备开发及推广应用周期缩短。极端装备制造是制造技术发展的重要领域，微型装备制造可实现进一步减少能源、材料消耗。

高端装备制造业是战略性新兴产业培育的重要支撑，高度发达的装备制造业是实现工业化的必备条件，是衡量国家国际竞争力的重要标志，是决定国家在经济全球化进程中国际分工地位的关键因素。尤其是随着高端装备制造业的发展，装备制造业智能化、绿色化的发展趋势明显，为制造技术提出了更多的要求与需求，必须以更高的质量、更快的开发速度、更清洁的生产方式等满足高端装备制造。

装备制造技术向高速化、精密化、智能化、柔性

化、绿色化、生物化、信息化、成线化方向发展。发展先进制造、绿色制造、智能制造及高端装备制造业等，已经成为国家发展规划优先主题，成为战略性新兴产业。智能装备产业是继汽车、计算机之后出现的新的新型大型高技术产业，智能装备将成为推动世界经济发展的重要力量，是我国抢占新一轮发展制高点的根本途径和重大选择！

3 装备制造业典型基础制造工艺

经过多年发展，我国装备制造业已经形成门类齐全、规模较大、具有一定技术水平的产业体系，成为国民经济的重要支柱产业。我国已经成为装备制造业大国，但产业大而不强、自主创新能力薄弱、基础制造水平落后、低水平重复建设、自主创新产品推广困难等问题依然突出。

装备制造业的基础工艺众多，根据工业和信息化部发布的《机械基础件、基础制造工艺和基础材料产业“十二五”发展规划》，基础制造工艺是指机械工业生产过程中量大面广、通用性强的铸造、锻压、热处理、焊接、表面工程和切削加工及特种加工工艺。该规划在发展重点部分中提出，围绕重大装备和高端装备配套需求，重点发展 6 类基础制造工艺中 15 项标志性基础制造工艺。基础制造工艺领域，重点发展 6 类先进、绿色制造工艺，降低能源、材料消耗，改善环境，提高产品质量和效率。从以上重点发展的基础制造工艺中，提出 50 项先进绿色制造工艺作为推广的重点（见表 1-1），同时选择 15 项标志性基础制造工艺作为开发的重点（见表 1-2）。

表 1-1 50 项重点推广的先进绿色制造工艺

序号	推广工艺名称	序号	推广工艺名称
1	数字化无模铸造精密成形技术	11	高效感应电加热技术
2	低温球铁、等温淬火球铁、蠕铁、轻金属等金属液净化与处理技术	12	高速充叠铆工艺
3	钢水炉外精炼（AOD、VOD）技术	13	模块化、可重构成形系统
4	消失模、V 法真空干砂负压铸造技术	14	高效复合成形技术
5	废砂（树脂废砂、水玻璃废砂与黏土废砂）再生技术	15	伺服压机冲压成形工艺
6	铸造工艺参数的数值模拟与优化设计技术	16	连续精冲压成形技术
7	铸件余热自退火工艺	17	少无切削制齿工艺
8	大功率高效黏土砂连续式混砂技术与装备	18	大型件件冷辗扩技术
9	长寿命冷、温锻模具设计制造技术	19	粉末冶金锻造及半固态锻造技术流动控制技术
10	冷、温精密锻造技术	20	清洁环保润滑技术

(续)

序号	推广工艺名称	序号	推广工艺名称
21	多丝窄间隙埋弧焊技术	36	镀锌层三价铬钝化技术
22	高效双丝熔化极气体保护焊技术	37	低铬酸镀硬铬和三价铬镀铬技术
23	压焊（电阻焊、摩擦焊）技术	38	微弧氧化工艺
24	高能束（激光、电子束、等离子）焊接/切割技术	39	电镀精准控制工艺
25	氧-丙烷切割技术	40	纳米金属陶瓷电沉积技术
26	水下焊接与切割技术	41	钢铁件室温氧化及磷化工艺
27	近净成形焊接新技术	42	水溶性涂料涂装工艺
28	频谱谐波振动消除应力技术	43	自泳涂料涂装技术
29	可控气氛热处理技术	44	粉末涂料涂装技术
30	真空热处理技术	45	超音速火焰热喷涂技术
31	晶体管电源感应热处理技术	46	水基切削技术
32	等离子体热处理（渗氮、碳、金属）技术	47	激光精密加工技术
33	化学热处理催渗技术	48	真空清洗干燥技术
34	智能型精密控制淬火冷却技术	49	基于中央控制技术的制造工艺系统
35	低压渗碳高压气淬技术	50	机械加工过程模拟仿真技术

表 1-2 15 项标志性基础制造工艺

序号	工 艺 名 称	发 展 目 标
1	定向凝固铸造技术	研究定向凝固工艺，目标产品是大功率重型燃气轮机用定向结晶高温合金叶片，叶片尺寸 $\geq 350\text{mm}$
2	热风长炉龄冲天炉及其熔炼工艺技术	研究开发生产率在 15~50t/h 系列外热风、水冷长炉龄（12 周以上）热风冲天炉及其熔炼工艺，使铸铁件生产过程高效、连续、质量稳定、节能降耗
3	高紧实度黏土砂自动造型技术	开发 100 型/h 以上，型砂相对密度 1.6 以上，设备故障率 $\leq 3\%$ 的湿砂有箱自动造型技术，满足提高铸造机械化、自动化的需求
4	板材管材精密成形技术	开发板材成形模具智能化 CAD/CAE 系统，成形材料扩展到钛合金、高温合金、轻合金、高强度钢等；目标产品：汽车车身覆盖件。开发管材成形技术，管材内高压 600MPa，材料抗拉强度 780MPa，直径与厚度比达到 180，壁厚少于 2mm；目标产品：排气管、重载卡车后桥桥壳。开发大口径厚壁无缝钢管成形工艺，目标产品：超临界、超超临界火电、第三代核电用的耐高压大口径厚壁无缝钢管
5	冷/温精密成形技术	开发冷/温精确成形机理与新成形方法，长寿命模具技术。实现冷/温精确成形锻件占模锻件总量的 10%~12%，目标产品：轿车等速万向节、变速箱齿轮等
6	大型复杂结构件精密体积成形技术	开发超大型钢锭材料成分纯净度与组织控制技术，大锻件内部缺陷形成机制与控制技术，大锻件模拟技术。提高材料利用率 5%~10%，降低能源消耗 10%~15%，目标产品：航空航天发动机涡轮盘
7	热精锻成形技术	开发精密制坯技术、自动润滑技术、生产线自动化技术。材料消耗平均降低 3%~5%，热模锻件公差 13 级，平均能耗降低 10%，目标产品：汽车前后桥锻件、螺杆锻件
8	激光及激光电弧复合焊接技术	掌握激光及激光电弧复合焊接技术，目标产品：200mm 以上厚钢板焊接，焊接尺度在 100 μm 量级，空间分辨力在几十微米尺度的微连接
9	搅拌摩擦焊技术	建立 0.3~50mm 厚度范围内轻合金材料搅拌摩擦焊接性能数据库、工艺规范和技术标准，目标产品：大厚度铝合金结构件、航空发动机整体叶盘

(续)

序号	工 艺 名 称	发 展 目 标
10	化学热处理催渗技术	开发化学热处理(渗氮、渗碳)催渗技术工艺规范和技术标准,控制软件、催渗剂,保证 0.3mm 以上至 2.0mm 以下渗碳层的热处理节能 30%以上
11	精密可控热处理技术	开发精密可控热处理技术、渗碳和渗氮控制软件、远程控制和远程故障诊断技术,使齿轮和轴承等内在质量和表面性能高、无变形和脱皮
12	铝、镁合金、钛合金件表面处理与强化技术	开发铝、镁合金微弧氧化工艺技术,使铝、镁合金制品表面氧化膜层大于 300μm,显微硬度超过 3000HV,绝缘电阻大于 100MΩ,耐磨损、耐腐蚀、绝缘性能有较大改善。开发钛合金化学镀镍渗铝工艺技术,使 650℃耐高温钛合金制品经化学镀镍(层厚 20μm)后,大幅度提高抗氧化性能
13	纳米颗粒复合电刷镀技术	开发电刷镀 Ni-SiC 复合镀层技术,修复磨损失效的零件,改善零件表面性能,大幅度提高零件硬度
14	超精密加工技术	开发微量切削机理、精密测量技术和误差补偿技术,目标产品是芯片、磁盘、光盘、磁鼓、制导用激光反射镜、导航用陀螺仪、卫星姿态控制用半球体以及多种球面和非球面微光学元件等精密关键零件
15	低温与微量润滑切削技术	开发微量润滑系统及低温微量润滑复合系统,针对不同工件材料及切削工艺提供微量润滑和低温微量润滑条件下的刀具匹配方案,优化切削参数,建立相应的切削规范和切削数据库,实现高速切削的绿色化

“三基”规划中提出重点发展的 6 类基础制造工艺如下:

(1) 铸造工艺。包括定向凝固铸造工艺,热风长炉龄冲天炉及其熔炼工艺技术,数字化模拟技术,高紧实度黏土砂自动造型生产线技术,快速无模砂型铸造工艺,铝、镁、钛等特种合金铸造工艺,复合材料铸造工艺,半固态铸造工艺,高温、低温、高强韧度材料(球墨铸铁、等温淬火球铁、蠕墨铸铁、轻质合金)高精度铸造工艺。

(2) 锻压工艺。包括大型薄壁结构件整体成形工艺,多工位冷、温锻工艺,高速精密锻工艺,大型复杂结构件精密体积成形工艺,大型环件冷辗扩工艺,板材管材精密成形工艺,高强钢板热成形工艺,曲轴、风电主轴及阀门全纤维近净成形技术,汽车铝合金精密锻造工艺,螺旋伞齿轮锻-磨联合制造工艺,精冲工艺。

(3) 焊接工艺。包括激光及激光电弧复合热源焊接工艺,搅拌摩擦焊工艺,高精度及大厚度切割工艺,高效电弧焊工艺,等离子喷焊工艺,近净成形焊接新技术。

(4) 热处理工艺。包括化学热处理催渗工艺,精密控制加热和淬火工艺,齿轮和轴承精密可控热处理工艺,超大型零件真空热处理工艺,大型轴类和管类零件感应淬火热处理工艺,大型全纤维炉衬无料盘可控气氛连续加热炉热处理工艺,连续真空热处理工

艺,大型薄板件压淬热处理工艺,深冷热处理工艺。

(5) 表面处理工艺。包括铝合金、镁合金、钛合金件表面处理与强化工艺,纳米颗粒复合电刷镀工艺,纳米陶瓷涂层工艺,等离子、激光、电子束表面强化工艺,低铬酸镀硬铬、镀锌后低铬钝化等绿色电镀工艺。

(6) 切削加工及特种加工工艺。包括高速/超高速切削加工工艺,复合加工工艺(车铣复合、铣磨复合等),复合材料切削工艺,超精密加工工艺(轴系精度 0.02~0.05μm),超大零件切削加工工艺,微量润滑切削工艺,干式切削工艺,“三束”(电子束、离子束、激光束)加工工艺,电火花加工工艺,超声加工工艺,增量制造工艺,粉末冶金零件的精密成形工艺。

4 装备工业节能减排技术现状

制造业已发展成为我国国民经济的重要组成部分,工业增加值占国内生产总值(GDP)的 35.75%。我国已是世界制造大国,工业增加值居世界第四位,约为美国的 1/4、日本的 1/2,与德国接近。2020 年我国制造业的发展目标是进入世界制造强国行列,成为世界制造中心之一。

铸造、锻造、焊接、热处理、切削、表面工程是我国机械制造业的主体,是汽车、电力、石化、造船、机械等支柱产业发展的基础。据统计,全世界 75%的钢材经塑性加工,45%的金属结构用焊接得以成形。汽