

特殊钢压力加工

薛懿德 高 崇 主编

TESHUGANG
YALJIAGONG

冶金工业出版社

T93
2000590

特殊钢压力加工

薛懿德 高 崇 主编

北 京
冶金工业出版社
2000

1000005

内 容 提 要

本书研究了特殊钢压力加工工艺过程, 轧辊孔型设计和压力加工设备的—般特点, 以及特殊钢的加热与冷却过程。引证了国内外特殊钢大量的工艺性能参数及变形方面的数据。还对金属压力加工技术的新进展, 对超塑性加工、控制轧制与控制冷却以及钢的连铸连轧基本概念和应用作了详细阐述。

本书可供冶金和机械制造厂及科研院所工程技术人员使用, 也可作为高等院校相关专业辅助教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

特殊钢压力加工/薛懿德, 高崇主编, —北京: 冶金工业出版社, 2000. 6

ISBN 7-5024-2499-7

I. 特… II. ①薛… ②高… III. 特殊用途钢-金属压力加工 IV. TG3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 68715 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 王成蓓 美术编辑 李 心 责任校对 栾雅谦 责任印制 牛晓波

北京源海印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2000 年 6 月第 1 版, 2000 年 6 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 15.625 印张; 416 千字; 485 页; 1·2000 册

32.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64044283

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《特殊钢压力加工》编辑委员会

主 编	薛懿德	高 崇	
副主编	张庆才	高 潮	王占学
编 委	倪国政	司 玲	王群骄
	徐德祥	张文明	罗凤山
	郭庆丰	吴艳芳	

前 言

所谓特殊钢，一般指那些成分、组织、生产工艺特殊，具有特殊物理、化学及工艺性能的钢。特殊钢主要包括合金钢，通常也把碳素结构钢、碳素工具钢和纯铁包括在内，其钢号、规格比合金钢要多。

在军工、航天、原子能、机械、船舶、石油、化工、能源、轻工等工业部门以及人们的生活用品方面，都可见到特殊钢材的应用。因此，特殊钢是军工和国民经济各部门不可缺少的原材料，且应用越来越广泛。

特殊钢冶炼后，一般经模铸浇成钢锭或连铸成钢坯。然后，根据各种特殊钢的工艺特点，采用相应的各种压力加工工艺措施，使其成为有用的特殊钢材。

冶金生产中，特殊钢压力加工工艺过程是特别复杂的。为了得到优质的特殊钢产品及保证压力加工设备的高生产率，必须了解特殊钢生产的一切特点。

很久以来，从事特殊钢压力加工生产与科研的有关人员都渴望找到这方面的著作供参考。但是国内外大多是一些单一钢种或某特钢牌号的研究论文。国内虽有几本书籍，但要么是20世纪50年代的译著，时代久远，资料已经陈旧；要么是大学选修教材，受学时及篇幅限制，很多重要内容及数据资料不能编进去，实用性和可操作性较差。

根据国内特殊钢生产与科研开发的需要，编委会会同有关专家和教授在建国50年来生产、研究特殊钢的经验和国内外大量文献资料的基础上编著了此书。本书第1~3章由薛懿德编写，第4章由王群骄编写，最后由王占学、高崇和薛懿德对全书进行了校阅和修改。

建国以来，我国的特殊钢科研与生产有了很大发展，在工艺

技术及装备方面取得了长足进步。当前，钢铁生产工艺技术正处于革命性变革的阶段，我国也正在运用高新技术改造钢铁工业，目的是将我国的特钢企业建成具有“一流的工装、一流的产品、一流的管理、一流的服务”的现代化企业。为此，特钢生产企业将淘汰落后的平炉、小电炉和小型横列式轧机，而代之以具有世界先进水平的“四位一体”特殊钢短流程生产线。

目前在特殊钢生产中，我国普遍应用的还是传统的设备和工艺。对于许多牌号特殊钢及其生产的某些个别环节，工艺过程至今尚未定型，这是由于尚未充分地研究这些钢的工艺性能及特点。或者说，在许多场合下尚不具备生产它们所需要的条件。本书在提高我国特殊钢生产工艺、技术装备水平等诸多方面均有较高参考价值。

本书在编著和出版过程中得到许多单位和个人的大力支持和无私援助，尤其是黑龙江省冶金设计院任喜武院长、哈尔滨轧钢厂杨伟义处长、大连钢厂李祖清高级工程师。在此一并致以衷心感谢和崇高敬意。

编著此书对于我们来说，还是有一定困难的，在各方面难免存在错误和疏漏，恳请读者不吝指正。



作者简介

薛懿德，高级工程师，1962年毕业于东北工学院（现名为东北大学）特殊钢压力加工专业。先后在北满钢厂（现名为北满特殊钢股份有限公司）、舞阳钢铁公司等单位从事轧钢及特殊钢研究等科技工作，对我国核潜艇用钢和海洋平台用钢研制等国家重大科技攻关项目做出重大贡献，荣获国家级重大科技成果奖多项，科技论文和译著颇丰。1992年获国家级突出贡献科技专家称号，享受政府特殊津贴。现任哈尔滨钢铁公司兼哈尔滨轧钢厂总工程师，黑龙江省冶金设计院技术顾问。



作者简介

高崇，教授级高级工程师，1983年毕业于鞍山钢铁学院冶金系钢铁冶金专业，先后在北满特殊钢股份有限公司(原齐齐哈尔钢厂)电炉分厂及厂办、企管处等部门工作，长期从事电冶金工艺实践和理论研究以及新产品开发等技术工作，取得丰硕成果，多次获省部级奖励，亲自主持北满特钢后50万t钢技术改造工程，做出突出贡献。

曾任电炉分厂厂长、公司总经理助理、副总经理等职，现任北满特殊钢股份有限公司总经理、党委书记。

目 录

1 特殊钢压力加工一般特点

1.1	特殊钢的组织因素及压力加工工艺特点	1
1.2	轧制特殊钢轧机特点	6
1.2.1	轧制特殊钢传统轧机	6
1.2.2	现代化特殊钢轧机	14
1.3	轧制和锻造前特殊钢的加热	19
1.3.1	加热的第一个阶段	19
1.3.2	加热的第二个阶段	25
1.3.3	钢在轧制前的加热温度	38
1.4	轧制和锻造后特殊钢的冷却	44
1.4.1	冷却裂纹和白点的形成原因	44
1.4.2	防止产生裂纹和白点的冷却制度	51
1.5	轧制特殊钢的轧辊孔型设计	68
1.5.1	初轧坯及钢坯的轧制	68
1.5.2	型钢的轧制	72
1.6	轧制特殊钢某些参数的计算	86
1.6.1	合金钢加热时间的确定	86
1.6.2	在均热炉中热装时钢锭温度的确定	87
1.6.3	摩擦系数的确定	87
1.6.4	轧制合金钢宽展的确定	90
1.6.5	轧制合金钢时变形抗力的确定	90
1.6.6	初轧机生产率确定	92

2 特殊钢的轧制及锻造

2.1	合金结构钢轧制	94
-----	---------------	----

2.1.1	一般概念	94
2.1.2	工艺性能	95
2.1.3	工艺参数	99
2.1.4	工艺特点	105
2.1.5	轧制工艺过程	112
2.2	滚珠轴承钢的轧制	127
2.2.1	一般概念	127
2.2.2	工艺性能	132
2.2.3	工艺参数	136
2.2.4	工艺特点	140
2.2.5	轧制工艺过程	144
2.3	合金工具钢的轧制	157
2.3.1	一般概念	157
2.3.2	工艺参数——变形抗力	158
2.3.3	工艺特点	159
2.3.4	轧制工艺过程	163
2.4	高铬工具钢的轧制与锻造	174
2.4.1	一般概念	174
2.4.2	工艺性能及钢的特点	177
2.4.3	工艺参数	180
2.4.4	压力加工工艺流程	181
2.5	高速钢的轧制与锻造	186
2.5.1	一般概念	186
2.5.2	钢的组织	186
2.5.3	工艺性能	188
2.5.4	工艺参数	191
2.5.5	工艺特点	192
2.5.6	压力加工工艺流程	203
2.6	不锈钢(耐酸)钢的轧制	235
2.6.1	一般概念	235

2.6.2	钢的组织	236
2.6.3	工艺性能	239
2.6.4	工艺参数	263
2.6.5	工艺特点	269
2.6.6	轧制工艺过程	280
2.7	特殊耐酸合金的轧制和锻造	300
2.7.1	一般概念	300
2.7.2	合金的组织	302
2.7.3	工艺参数和工艺性能	304
2.7.4	合金生产工艺流程	321
2.8	耐热钢与合金的轧制和锻造	328
2.8.1	一般概念	328
2.8.2	钢的组织	329
2.8.3	工艺性能	329
2.8.4	工艺参数	331
2.8.5	工艺特点	335
2.8.6	压力加工工艺过程	340
2.9	热强钢及合金的轧制和锻造	349
2.9.1	一般概念	349
2.9.2	工艺性能	350
2.9.3	工艺参数	352
2.9.4	工艺特点	354
2.9.5	压力加工工艺过程	358
2.10	高锰钢轧制和锻造	362
2.10.1	一般概念	362
2.10.2	钢的组织	363
2.10.3	工艺性能	363
2.10.4	压力加工工艺过程	365
2.11	弱磁钢的轧制	368
2.11.1	一般概念	368

2.11.2	工艺性能	368
2.11.3	工艺特点	370
2.11.4	轧制工艺过程	371
2.12	永磁钢轧制和锻造	373
2.12.1	一般概念	373
2.12.2	工艺特点	374
2.12.3	压力加工工艺过程	375
2.13	电工钢轧制	379
2.13.1	一般概念	379
2.13.2	工艺性能	380
2.13.3	工艺特点	384
2.13.4	生产变压器钢工艺方式	386

3 精密合金的轧制与锻造

3.1	特殊磁性合金的轧制与锻造	392
3.1.1	一般概念	392
3.1.2	合金塑性	393
3.1.3	压力加工工艺过程	395
3.2	高电阻钢与合金的轧制和锻造	397
3.2.1	一般概念	397
3.2.2	钢与合金的组织	398
3.2.3	工艺性能	399
3.2.4	工艺参数	405
3.2.5	工艺特点	405
3.2.6	压力加工工艺过程	410
3.3	膨胀合金的轧制与锻造	418
3.3.1	一般概念	418
3.3.2	工艺性能	419
3.3.3	工艺特点	420
3.4	恒弹性合金的轧制和锻造	423

3.4.1	一谈概念	423
3.4.2	工艺性能	424
3.4.3	压力加工工艺过程	425

4 金属压力加工技术的新进展

4.1	超塑性加工	428
4.1.1	基本概念及分类	428
4.1.2	力学特性	429
4.1.3	T8钢的恒温超塑性	432
4.1.4	在工业上的应用	435
4.2	控制轧制与控制冷却	437
4.2.1	控制轧制的概念及分类	437
4.2.2	强韧性能及影响因素	439
4.2.3	强韧性能的定量关系式	444
4.2.4	控轧控冷主要工艺参数的确定	446
4.2.5	轧后控制冷却方式的选择	447
4.2.6	轴承钢的控制轧制与控制冷却	453
4.2.7	专用钢板控制轧制与控制冷却	463
4.3	钢的连铸—连轧	467
4.3.1	连铸—连轧的概念、分类及特点	467
4.3.2	实现连铸—连轧的关键技术	468
4.3.3	连铸坯质量缺陷分析	470
4.3.4	型、棒、线材一体化直接轧制	473
4.3.5	板带材的连铸—连轧	478
4.3.6	钢水的直接铸轧	480
参考文献		485

1 特殊钢压力加工一般特点

1.1 特殊钢的组织因素及压力加工工艺特点

一般在合金钢与合金中都有比普碳钢更多的合金元素。这些合金元素有的与基体形成固溶体，有的形成新的合金化合物，使其组织与普碳钢不同。通常加入的合金元素有 Cr、Ni、W、Mo、Mn、Si 等。这样使合金钢具有许多与普通碳钢不同的特点。其中某些特点可使生产这些钢的工艺过程复杂化。

许多合金钢具有较高的变形抗力、较低的开始变形温度、较窄的变形温度范围、较低的塑性、较高的应力敏感性，尤其是由温度变化引起的应力敏感性。

一些合金钢有形成白点及产生冷却裂纹、析出恶化钢材质量的过剩相（渗碳体等）、形成以后用热处理不能矫正的粗晶粒（单相钢）、表面脱碳等倾向。

另外一些合金钢往往具有较高的开始再结晶温度及较低的再结晶速度。还有些具有宽展大、摩擦系数低类型的钢。

优质合金钢在轧件表面粗糙度及其尺寸精度方面有较高的要求。此外，对某一牌号的合金钢而言，应具有完全一定的性能。

特殊钢特点如下：

(1) 许多钢具有较高的变形抗力，这与钢的化学成分及组织所决定的本质特征有关。

通常多相钢具有较高的变形抗力。亦即在变形的温度时，在钢的组织中有碳化物、硅化物、金属间化合物及其他类型相过剩相。这些钢一般有较高的变形抗力。钢的变形抗力随奥氏体合金化的增加而提高。

由碳化物形成元素钨和钼组成的钢，当其含量达到一定量时，

可提高钢的变形抗力。

许多钢的变形抗力不仅由其特征,而且还由变形温度来决定。众所周知,变形温度上限根据过烧温度来确定,此温度低于金属熔化温度 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。钢本身合金化程度越高,钢熔化温度也越低。钢的变形抗力取决于实现变形的温度。变形温度越低,变形抗力越大。降低变形温度上限,就不可避免地提高钢变形抗力。

除变形温度上限外,经常需确定的还有变形温度下限。当钢具有较高开始再结晶温度时,确定终轧(锻)温度要稍高于再结晶温度。金属在低于其再结晶温度轧制或锻造时产生较高的变形抗力,这与在此温度钢发生加工硬化有关。

对于个别一些牌号钢(多半是单相的)要选择尽可能低的变形温度下限,这样可保证钢有均匀细小的组织。

单相钢(例如铁素体钢)热处理时不能发生再结晶。钢的组织直接取决于变形温度及变形程度,并且取决于再结晶过程。再结晶时温度越高,所得到的晶粒越大;反之,则相反。为实现较低温度变形必然会引起钢变形抗力升高。

当降低终轧温度防止在组织中析出过剩相,例如当轧制和锻造高碳钢避免形成碳化物网等情况时,钢的变形抗力升高。

因此,由各种原因造成提高变形抗力是合金钢热压力加工中的一个特点。

应当指出,除某些钢这一特点之外,许多合金钢变形抗力近似一般碳钢的变形抗力。尽管只有某些牌号钢提高变形抗力,但必须考虑到所有牌号合金钢通常都在同一设备上变形。为实现某些具有高变形抗力的钢的变形,设备能力可能会出现不足。

因此,对这些钢可采用小压下量多轧制道次的工艺,但这样可能会恶化轧材质量。

(2)很多合金钢具有较低塑性,亦即具有较低金属不破坏连续性变形能力。具有这种低塑性的许多合金,其变形或多或少要产生破坏连续性。这些合金属于难变形类合金。

钢的塑性取决于钢的性质、变形时应力状态特点、变形温度

及变形速度条件。

钢的塑性在很大程度上决定于化学成分。在变形的温度下形成各种成分过剩相的那些化学元素对塑性有很大影响。这些相以夹杂物、夹层及薄膜形式存在于金属之中，使塑性变形过程极难实现。

应力状态特点对金属塑性有很大影响。虽然金属在轧制及自由锻造条件下的应力状态被看作相当于各向不均匀压缩，但实际上是比较复杂的。由于不均匀变形的结果，应力状态在变形金属的各个部分是不同的，包括拉应力状态在内。拉应力状态降低金属塑性。这样使低塑性合金钢难于变形。

金属实现变形的温度—速度条件对塑性有很大影响。特别是温度条件有极大影响。

在大多数情况下，随金属温度的升高其塑性亦提高，同时金属变形抗力减小。由于这些原因，通常希望在尽可能高的温度下实现变形，同时考虑出现金属过烧的危险性。因此，确定金属合理的变形温度对合金钢压力加工十分重要。

应当指出，大多数工业用的合金钢具有正常的塑性，如果正确遵守工艺规程的话，在这样的塑性下能够获得质量合乎要求的轧件。

轧制低塑性钢与合金时，金属表面可能会产生某种程度裂纹形式的缺陷。对此，应尽可能清除这些缺陷，否则只能报废。

(3)当变形温度上限比较低及下限比较高时，变形温度范围变窄而且在个别情况下达到 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。变形温度范围这样窄的钢，其压力加工特别复杂。除保证加热温度较为准确外，应以相当高的速度实现变形过程，使温度在变形过程中不降至允许的温度之下，只有在一定的生产条件下，才能满足上述要求。这种变形温度范围很窄的钢最好在等温过程中加工。在连轧机上可适当地轧制这样的钢，因为在连轧机上轧件端部温度降低很少或者甚至升高。

(4)因为脱碳严重降低钢的质量，所以钢加热应在避免脱碳的

条件下进行，同时保证产生最少的氧化铁皮也是很重要的，

在钢加热时，加热炉的温度制度，特别是炉气状态起重要作用。

产生氧化铁皮和脱碳过程是相互联系的。脱碳开始时随加热时间而增加，而后因氧化铁皮的形成而终止，因为，氧化铁皮层阻碍脱碳气体往金属表面渗透。

(5)许多钢具有较高热应力敏感性。这些钢需要特别谨慎地加热，因为快速加热可能使钢锭和初轧坯形成裂纹，其中多半是横裂纹，这些裂纹导致形成内裂（穿孔）。往均热炉和加热炉中冷装料时可以观察到这种现象。

钢锭应力取决于钢锭浇注条件特别是随后冷却条件。许多合金钢具有较低导热性，钢中合金元素含量越高，导热性越低。

(6)为保证得到优质钢材，轧制时必须严格遵守规定的终轧温度。如钢中析出非希望的过剩相，更应采取正确的终轧温度。若形成所谓的“渗碳体网”或者热处理中无法矫正的粗晶粒，终轧温度应当尽可能低些。在这两种情况下，终轧温度应当是尽可能较低些。

往往终轧温度尽可能低的钢具有很高的开始变形温度，亦即这些钢具有较宽的变形温度范围。在轧制这种钢材时，为避免轧材质量恶化，金属变形工艺过程必须减缓。常常用轧最后一道前延迟轧制来达到，因而降低了轧制温度。然而，这样降低了轧机生产率，在轧机上这样的工序事先没有考虑到。为不降低轧机生产率，通常降低开轧温度，这并非所希望的。因为随温度降低，提高变形抗力，并且可能降低金属塑性。

在某些情况下，金属变形后需快速冷却，为避免产生热应力裂纹，金属在冷却后还要进行专门的热处理。上述所有这些均使钢的轧制生产过程复杂化了。

(7)应力敏感性高、产生冷却裂纹倾向性及白点敏感性是许多合金钢的特点。

为防止钢中形成白点尤其形成裂纹，许多合金钢变形后要按