

新版钢铁技术讲座

4

钢材加工

日本钢铁协会编

上海科学技术出版社

新版钢铁技术讲座

第 4 卷

钢 材 加 工

日本钢铁协会 编

简光沂 译

万 永 杨国枢 胡本芙 校

上海科学技术出版社

内 容 提 要

日本“新版钢铁技术讲座”共5卷:1. 炼铁与炼钢;2. 钢材生产;3. 钢材的性能与试验;4. 钢材加工;5. 铸铁与铸钢。

本书为讲座的第4卷。介绍钢材的二次加工方法。内容共分八篇:(一)序论:1. 定义和范围,2. 温度和应变速度对塑性加工的影响,3. 金相组织对塑性加工性的影响,4. 加工性的试验方法;(二)钢材加工法的种类:1. 绪论,2. 冲压加工,3. 塑性加工中的润滑,4. 轧制成形,5. 弯曲加工,6. 旋压加工,7. 旋锻和胀凸加工,8. 墩锻和顶锻,9. 冲裁和剪切,10. 拉拔加工,11. 其他加工方法;(三)锻造:1. 自由锻造,2. 模锻,3. 试验与检验;(四)粉末冶金:1. 绪言,2. 成型,3. 烧结;(五)焊接和热切割:1. 绪论,2. 钢材的焊接法和热切割法,3. 钢材的可焊性;(六)钢材的热处理:1. 绪论,2. 热处理的种类,3. 热处理钢的性能和组织变化,4. 热处理和质量效应;(七)表面处理:1. 绪论,2. 表面处理的方法,3. 预处理,4. 电解抛光和化学抛光,5. 涂料和涂覆,6. 火焰喷涂,7. 热浸镀,8. 气相镀膜,9. 电镀,10. 其他金属涂层,11. 搪瓷,12. 重防蚀;(八)机械加工:1. 绪论,2. 切削加工,3. 砂轮磨削加工,4. 利用磨粒的加工。

本书内容广泛,适用面广;取材较新,理论联系实际,说理清楚。本书可供冶金专业、机械制造专业的工程技术人员、技术工人参考;也可供有关专业的高等院校师生参考。并可选作有关专业的业余工大、中专学校教材。

上海钢铁研究所潘健武同志参加了本书译稿的审校工作。

新版钢铁技术讲座

钢 材 加 工

第 4 卷

日本钢铁协会 编

简光沂 译

万 永 杨国枢 胡本美 校

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

本书由上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张19.75 字数462,000

1982年5月第1版 1982年5月第1次印刷

印数: 1-5,800

统一书号: 15119·2178 定价:(科四) 1.85 元

6/10/17

序

日本钢铁协会于1959年(昭和34年)以钢材用户为对象,以讲述材料的正确选择及合理使用为目的,出版了一套钢铁技术讲座,共五卷。在刚出版的时候,日本钢铁工业的粗钢产量仅为1663万吨,勉强达到法国的水平。但1963年则达到了3400万吨,超过英国、西德跃居世界第三位。以后又取得了举世共知的惊异发展,今天日本粗钢产量已超过1亿吨,成为居世界领先地位的钢铁生产国之一。

在这钢铁工业的发展时期,我们认为作为一本珍贵的参考书,本书的出版不仅对钢铁工业的同行们,就是对其他有关企业来说,也是有所裨益的。

然而,如上所述,此后钢铁技术的发展是惊人的,原来讲座的内容在目前已显得陈旧落后了,有关读者也迫切希望能修订讲座内容。因此,为满足读者的要求,现邀请活跃在第一线的科技工作者重新执笔,修订内容,作为新版钢铁技术讲座出版,共五卷。

日本钢铁工业还面临着许多难题,为解决这些难题,今后钢铁产业界及钢铁材料用户仍须共同努力。我们确信,本书的出版对今后钢铁技术的发展和普及对钢铁的新认识,也是大有帮助的。

本书用途广泛,不仅可供从事于钢铁工业的技术工作者参考,而且可供钢材用户及专科学校作教学材料或贵重的参考书使用。若进而能对日本各工业部门的发展有所帮助的话,则更感荣幸了。

最后,在本讲座发行之际,谨向以编辑委员长东京大学松下教授为首的各位编辑委员及作者们致意,对他们的共同努力,表示衷心的感谢!

日本钢铁协会会长 小林佐三郎

1976年9月

序

本书为50年代后期出版的五卷《钢铁技术讲座》的新版,是为适应70年代的需要而重新修订出版的。这期间,关于钢铁科学技术的惊人发展暂且不谈,但就我国钢铁工业在世界经济中所起的作用,以及在进入80年代将要承担的责任来说,也许是应该正视的现实。

本书初版的问世,是当时日本钢铁协会会长益沢正一先生,及钢铁技术讲座编辑委员长伊藤正夫领导有关人士共同努力的结果。我们的先辈为我们树立了关于钢铁材料“实用参考书”的样板。去年以来,由于有关方面的迫切要求,决定对书稿进行修订,但出版宗旨依然不变,即以钢材用户为对象,以讲述材料的正确选择和合理使用为目的,为了适应当前社会节约资源和能源的需要,力求使工业界人士对钢铁加深认识,同时也考虑使本书能作为高等工业专科学校或大学教科书使用。

内容编排方面,第1~4卷的标题与初版相同,但第5卷则根据铸钢、铸铁的现状作了改动。第1卷的重点在于掌握钢铁生产的全貌,叙述炼铁技术的发展、直接炼铁、从平炉到转炉的变迁、连续铸钢、钢的特殊处理等。第2卷叙述钢铁成品化过程中的压延和表面加工。第3卷介绍关于钢铁性能的系统概念。第4卷则以钢材二次加工为中心进行讲述。总之,本书以避免高深的理论,讲述通俗易懂的内容为宗旨。

值得庆幸的是,由于得到各专业委员会主编、编委们的积极协助,以及第一线的各位执笔者的共同努力,本书出版计划进行得很顺利。在本书发行之际,协会编辑及地人书店有关人员,无不感到喜悦。

《新版钢铁技术讲座》编辑委员长 松下幸雄

1976年9月

目 录

第一篇 序 论

東京工業大学 中村正久

第一章 定义和范围.....1	1. 拉伸试验15
第二章 温度和应变速度对塑性加工的影响.....1	2. 弯曲试验18
第三章 金相组织对塑性加工性的影响.....7	二、板成形性试验19
一、金相组织对冷加工的影响7	1. 液压胀凸成形试验19
1. 热轧钢材7	2. 深冲性能试验(埃里克森试验)20
2. 冷轧钢板10	3. 纯胀形试验21
3. 冷轧钢板的组织与机械性能的关系11	4. 杯突深冲试验21
4. 调质轧制的影响12	5. 圆锥模杯突试验22
二、热加工性12	6. 扩孔试验22
第四章 加工性的试验方法15	三、热加工性试验23
一、基础试验15	1. 高温拉伸试验23
	2. 压缩试验23
	3. 弯曲试验24
	4. 楔形试验及旋锻试验24
	5. 热扭转试验25

第二篇 钢材加工法的种类

工学院大学 赤松泰輔

第一章 绪论26	第五章 弯曲加工46
一、钢材加工法的分类26	一、弯曲加工的分类46
第二章 冲压加工29	二、弯曲零件的特性47
一、冲压加工的分类29	三、弯曲模的种类51
二、圆筒和方筒的深冲加工31	四、弯曲所要求的载荷53
三、关于深冲中的皱纹33	五、管材的弯曲加工53
四、胀凸成形加工33	✓第六章 旋压加工56
五、薄板冲压成形区的划分34	一、旋压加工的分类56
六、划线、圆(或矩形)试验36	二、旋压加工法56
第三章 塑性加工中的润滑39	三、旋压加工法的优缺点58
一、润滑的分类39	四、热旋压加工58
二、塑性加工用润滑剂40	第七章 旋锻和胀凸加工59
三、深冲中润滑的作用41	一、旋锻59
四、深冲中润滑的机理42	二、胀凸加工60
第四章 轧制成形44	第八章 锻锻和顶锻62
一、现状44	一、冷锻的实践62
二、成形轧辊的设计45	二、冷锻用材料65

三、锻锻及其他加工力	65	第十一章 其他加工方法	75
第九章 冲裁和剪切	66	一、爆炸成形等加工方法	75
第十章 拉拔加工	72	二、螺纹和齿轮的滚轧成形	77

第三篇 锻 造

株式会社日本製鋼所 阪部喜代三

第一章 自由锻造	79	1. 模锻用锻锤	94
一、锻造机械和辅助设备	80	2. 模锻用锻压机	97
1. 自由锻造用锻锤	80	3. 顶锻(锻粗)机	98
2. 自由锻造用锻压机	80	二、锻造辅助机械	99
3. 自由锻锤和锻压机的特性	82	三、锻造附属设备	99
4. 锻造用加热炉	83	1. 间歇式加热炉	100
二、自由锻造的基本方法和锻压比	83	2. 推料机式连续加热炉	100
1. 实心(延伸)锻造	83	3. 转底式连续加热炉	100
2. 展宽锻造	84	4. 可动炉床式连续加热炉	100
3. 锻锻	85	5. 感应式连续加热炉	101
4. 空心锻造及扩孔锻造	85	四、模锻的基本方法	102
5. 锻压比	85	五、模锻用锻模	102
三、锻造效果	86	1. 锻锤用锻模	103
1. 锻造的变形过程	86	2. 锻压机用锻模	104
2. 变形量和材料的机械性质	87	3. 锻锻机用锻模	104
四、锻造操作	89	六、模锻操作	104
1. 加热	89	1. 切断	105
2. 锻造工艺	90	2. 加热	105
3. 锻造后的冷却	92	3. 锻造	105
第二章 模锻	93	4. 切边和矫正	106
一、锻造机械	94	第三章 试验和检验	106

第四篇 粉末冶金

東京大学工学部 鈴木 寿

第一章 绪言	107	第三章 烧结	109
第二章 成型	107	一、普通烧结法	109
一、铁粉的制造方法	107	二、热等静压烧结法和烧结锻造法	109
1. 还原法	107	1. 热等静压烧结法	109
2. 雾化法	107	2. 烧结锻造法	110
二、粉末冶金	108	三、烧结零件	110
1. 金属模成型	108	1. 一般制品	110
2. 其他成型法	109	2. 特殊零件	111

第五篇 焊接和热切割

金属材料技術研究所 稲垣道夫

第一章 绪论	112	二、焊接工程学	112
一、焊接技术的特点	112	三、焊接技术的课题	113

第二章 钢材的焊接法和热切割法.....115

- 一、焊接法的种类.....115
- 二、焊接法的选择.....118
- 三、焊接和热切割的热能.....120
 - 1. 电弧热.....120
 - 2. 电阻热.....124
 - 3. 等离子体.....125
 - 4. 熔渣的电阻热.....127
 - 5. 利用高频电流发热.....127
 - 6. 利用电子束发热.....128
 - 7. 利用摩擦发热.....129
 - 8. 利用气体燃烧发热.....130
 - 9. 铝热剂反应热.....131
 - 10. 其他热能的利用.....131
- 四、焊接方法的进步.....132
 - 1. 熔焊法.....134

2. 加压焊和钎焊法.....139

五、热切割法.....140

- 1. 气割.....140
- 2. 电弧切割.....141
- 3. 等离子切割.....142
- 4. 水下切割及水下焊接.....142

第三章 钢材的可焊性.....144

- 一、母材的选择.....144
- 二、结构钢.....146
 - 1. 结构钢的种类.....146
 - 2. 结构钢的电弧焊接热循环.....149
 - 3. 结构钢的可焊性.....155
- 三、不锈钢及其他钢种.....164
 - 1. 不锈钢的可焊性.....164
 - 2. 异种钢材的焊接.....167
 - 3. 高温合金的可焊性.....169

第六篇 钢材的热处理

名古屋工业大学 保田正文

第一章 绪论.....170

- 一、热处理的必要性和目的.....170
- 二、铁和钢的相变.....171
- 三、扩散.....172
- 四、冷却转变.....173
- 五、热处理加热时间.....175
- 六、氧化、脱碳及其预防.....179
 - 1. 氧化和脱碳.....179
 - 2. 氧化和脱碳的防止.....182

第二章 热处理的种类.....188

- 一、扩散退火.....188
- 二、正火和退火.....188
 - 1. 正火.....188
 - 2. 退火.....189

三、淬火.....195

四、固溶热处理.....199

五、稳定化热处理.....200

六、回火和时效.....201

1. 回火.....201

2. 时效、发蓝、沉淀硬化.....203

3. 形变热处理.....205

七、表面硬化热处理.....208

1. 高频表面淬火和火焰表面淬火.....208

2. 渗碳淬火和渗碳渗氮淬火.....210

3. 氮化法和软氮化法.....212

第三章 热处理钢的性能和组织变化.....214**第四章 热处理和质量效应**.....220

一、质量效应和淬透性.....220

二、残余应力、淬火变形及淬裂.....223

第七篇 表面处理

新日本製鉄株式会社 佐藤秀之

第一章 绪论.....226**第二章 表面处理的方法**.....227**第三章 预处理**.....228

- 一、机械净化法.....229
- 二、酸洗.....229
- 三、脱脂.....230

四、化学镀膜处理.....231

第四章 电解抛光和化学抛光.....233**第五章 涂料和涂覆**.....233

- 一、涂料.....233
- 二、涂料的种类.....233
- 三、按展色剂划分的涂料种类.....234

四、颜料	234	三、镀镍	245
五、涂料的干燥硬化及涂层的形成	236	四、镀铬	246
六、涂覆方法	236	五、无锡薄钢板(铬酸处理)	246
七、金属印刷(镀锡铁皮印刷)	238	六、镀锡	247
第六章 火焰喷镀	239	七、镀锌	248
一、火焰喷镀法及其特点	239	第十章 其他金属镀层	248
二、喷镀装置	239	一、扩散渗镀法	248
三、喷镀膜	240	二、金属包覆法(双金属法)	249
四、用途	240	三、化学镀层	249
第七章 热浸镀	240	第十一章 搪瓷	250
一、热浸镀及其特点	240	一、搪瓷的种类和用途	250
二、热镀锌	241	二、搪瓷的特性	251
1. 浸镀作业	241	三、搪瓷用钢板	251
2. 镀锌层	242	四、搪瓷釉	254
三、热镀铝	242	五、搪瓷加工	255
四、热镀铅	243	六、搪瓷缺陷	257
五、热镀锡	243	第十二章 重防蚀	257
第八章 气相镀膜(气相沉积涂层)	243	一、重防蚀的概念和目的	257
一、气相镀膜及其种类	243	二、重防蚀法的概要	258
二、真空沉积(真空镀膜)	243	三、耐蚀钢材	258
三、溅射	243	四、利用金属涂覆层的重防蚀	259
四、化学气相镀膜	244	五、重涂覆法	261
第九章 电镀	244	六、有机系涂覆法	262
一、电镀方法	244	七、无机系涂覆法	263
二、镀铜	244	八、电防蚀法	264

第八篇 机械加工

三菱金属工業株式会社 中村裕道

第一章 绪论	266	1. 粗加工	277
第二章 切削加工	266	2. 半精加工	278
一、切削抗力	266	3. 精加工	278
二、切削温度	267	4. 刀头形状的设计	278
三、刀具的磨损及刀具寿命特性	268	六、铣削加工	280
四、刀具材料	270	1. 端面铣刀的刀刃形状及其特点	282
1. 高速钢刀具	270	2. 铣刀的切削条件	282
2. 高韧性硬质合金	272	3. 铣削加工的实例	283
3. 超微粉硬质合金	272	七、钻孔加工	285
4. TiC系硬质合金刀具	272	1. 钻头	285
5. 表面喷涂硬质合金	273	2. 深孔加工	285
6. 铸造碳化物	274	3. 铰孔	287
7. UCON合金	274	八、镗孔	288
8. 陶瓷刀具	275	第三章 砂轮磨削加工	289
五、车削加工	276	一、砂轮	289

二、平面磨削法	292
三、外圆磨削法	292
四、无心磨削法	293
五、内圆磨削法	293
六、轧辊磨削	294
七、电解磨削	294
第四章 利用磨粒的加工	296

一、研磨	296
二、抛光	296
三、液体喷射抛光	297
四、喷丸硬化	297
五、喷砂清理	298
六、滚筒清理	298
参考文献	299

第一篇 序 论

第一章 定义和范围

将钢材制成所需形状的加工方法(或称二次加工法)有塑性加工法、机械加工法、焊接法及铸造法等,这些方法均涉及到制造零件、机械及结构件的工程学领域。本书将介绍上述加工法中的前三种和热处理方法以及产品表面处理方法。

塑性加工方法是指利用钢的塑性变形改变其形状的加工法,也包括将不需要的部分从坯料切除的方法。机械加工法是将不需要的部分切削掉的方法,可以认为,切屑部分是处于承受强烈的塑性加工而产生断裂的状态。焊接是将一个个零件熔合起来的方法。因此,上面三种方法也分别称之为非切削加工、切削加工和焊接加工。加工技术人员任务就是确定加工方法,选择加工装置、操作以及对坯料、工序和制品的管理等。为了控制坯料和制品材质,选择加工规范,必须研究解决诸如加工动力,变形应力和坯料变形限度等整个加工过程的各种影响因素。

钢材加工方法种类繁多,在以下各章节中将详细加以论述,而在本章内将主要讲述有关塑性加工法的各个方面。要以一种观点把这些为数众多的加工法加以分类是不可能的。现将各种分类方法介绍如下:(a) 冷加工和热加工,(b) 切削加工和非切削加工,(c) 按坯料和产品的形状分类(板、棒、丝等),(d) 加工中的应力状态(单一应力和复合应力),(e) 应力的形式(拉伸、压缩、剪切等),(f) 变形区域的大小(局部,整体),(g) 稳定变形和非稳定变形,(h) 应变速度的大小,等等。

塑性加工有两个主要目的。第一,从上述分类可知是为了获得所需形状和尺寸的坯料或产品,第二,是改变第二相的分布,细化晶粒,或通过应变硬化等来调整零件的机械性质。前者是本书将要讲述的主要内容;后者大部分已编入本讲座第2卷(一次加工法)中。然而,由于本卷中讲述的钢材二次加工的是产品及其制造,所以对最终的材质进行特别严格的控制是十分必要,而且具有重要的意义。

第二章 温度和应变速度对塑性加工的影响

如果把塑性加工性按通常的定义为:材料可以进行变形,而不产生裂纹或发纹;或者定义为变形的难易程度,那么温度就是首要的因素了。

图1-1示出了取屈服强度或抗拉强度作为钢铁(体心立方晶格)的衡量变形抗力的大小,取延伸率或断面收缩率作为衡量延性的大小时,这些性质随温度变化的情形。以绝对温度 T_mK 表示所研究材料的熔化温度时,温度轴则可用其倍数表示的比温度来表示。故而对于不同的材料亦可以用一致的温度轴进行比较。

面心立方晶格的金属和合金其强度从低温向高温单调降低, 而延性提高; 与此相比, 体心立方晶格的铁出现具有特征性的三个区域的变化。低于 $0.2T_m$ 时, 强度向 0K 急剧升高, 屈服强度比抗拉强度增加得更快, 最后产生脆性断裂。而且, 发生脆性断裂的同时, 还常常产生变形孪晶。

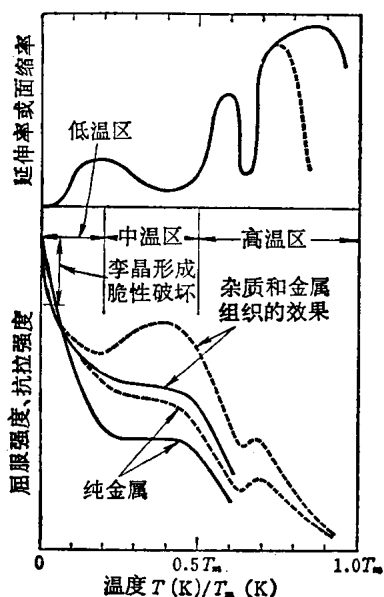


图 1-1 钢铁(体心立方晶格)的屈服强度(实线)、抗拉强度(虚线)及延伸率, 断面收缩率(延性)随温度的变化
 T_m 为熔化温度(K)

当性质随温度敏感地发生变化的时候, 随着变形速度的增加, 会起到与低温时同样的作用。因此, 在该区域变形所需要的应力很高, 需用大功率的加工机械, 而且, 如果增加变形速度, 即使用加工速度大的高效率机械就可能产生脆性断裂, 因而不适于塑性加工。在这个区域的加工必须选用足够高的温度, 例如室温或高于室温的温度。如果温度稍稍升高, 到达图 1-1 的中温区, 则变形所需的应力几乎与温度无关。

上述低温和中温区域内的变形所需要的应力, 可以作为热激活过程来处理。这个问题也同样地适用于下面讲到的热变形, 由于该区域存在着比高温场合更简单的条件, 故想详细地加以叙述。

武内详细地研究了纯铁单晶的屈服强度在该温度区域内改变变形速度时的变化, 其测量结果示于图 1-2。此图取应变速度为变数。所谓应变速度是指单位时间

(秒)的应变变化, 若设标距为 l 的试样在 Δt 时间内仅变化了 Δl , 则应变速度 $\dot{\epsilon}$ 可定义为:

$$\dot{\epsilon} = (\Delta l / l) / \Delta t = \Delta l / (l \Delta t) \quad (1-1)$$

若设试验机的十字夹头以速度 v 运动, 在标点内产生了均匀应变, 则因 $\Delta t = \Delta l / v$, 故应变速度则为:

$$\dot{\epsilon} = (\Delta l / l) / (\Delta l / v) = v / l \quad (1-2)$$

图 1-2 的屈服应力是如何随温度和应变速度而变化的这个问题可以按图 1-3 来考虑。

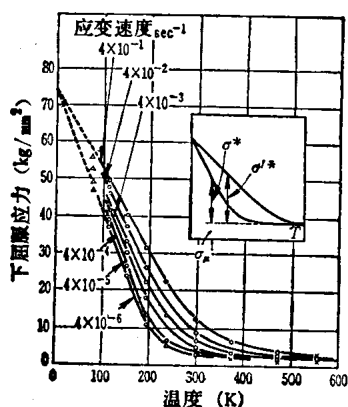


图 1-2 纯铁单晶的屈服应力随温度和应变速度的变化。○: 下屈服强度; ×: 比例极限应力; △: 0.1% 屈服强度 (110) 取向晶体^[1]

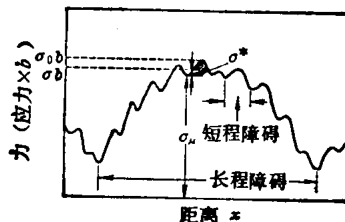


图 1-3 位错运动的障碍。 x 是位错运动方向上所取的距离。 b 是柏格斯矢量的大小, σ 、 σ_{μ} 、 σ^* 表示应力

在第3卷第一篇第四章中已经阐述过的叫做位错的晶格缺陷,由很小的应力在晶体中运动,从而导致材料发生塑性变形。图中对于位错运动的长程障碍,就是在宽达数十个原子间距以上的范围内存在的障碍物,例如析出相等即属此列。所谓短程障碍是指只相当于一个原子间距范围内存在的障碍物。前者,无论温度提高或应变速度减慢,对位错运动所需要的应力都无影响,被称作变形应力的非热成分,即为图1-2中间所示的应力 σ_μ 。可是,由于图1-3的短程障碍大致只有一个原子间距大小,故当温度一升高,原子的热振动便增大,它若在位错附近产生,就能使位错运动。

现假设在施加外力 σ ,位错处于图中 $\perp$ 的位置上,为了使位错越过图中短程能垒峰并沿 x 的正方向运动,就必须克服影线部分的能垒,达到这一点,只需应力 σ^* 就够了,而越过后边影线的部分,则可借助于晶格由温度而取得的热能来越过此短程能垒障碍峰。

因此,屈服应力 σ 应为:

$$\sigma = \sigma_\mu + \sigma^* \quad (1-3)$$

而且,由图1-2定出的 σ 的大部分应力可以看成是 σ^* 。故把 σ^* 叫做屈服应力中的热能贡献部分。

通常,在变化的温度和速度之间有称之为阿雷尼厄斯的方程式成立,这里,应变速度与其相应关系,可表述如下:

$$\dot{\varepsilon} = A \exp(-U/kT) \quad (1-4)$$

式中, A 是常数; U 称为激活能的常数,取决于变化的性质,单位是 eV^* ; k 是玻尔兹曼常数**; T 是绝对温度。这个关系常用来分析材料各种变化速度随温度而灵敏变化的问题。虽然位错越过短程障碍只运动了一个原子间距,但总的都需要称之为 U_0 的能量,然而,如图1-3所示,如果由屈服应力的热成分 σ^* 提供能量,则其部分能量认为是:

$$U = U_0 - f(\sigma^*) \quad (1-5)$$

式中, U_0 是外加应力不起作用时的激活能***; f 是 σ^* 的函数。

现试使用图1-2实验值推导(1-4)和(1-5)的关系。因为是由图上读取数值的,故不难想像其误差相当大。

首先,由于应力是受到外力供给的能量而产生的力,所以选在下屈服应力****相等之处,按应变速度的对数和绝对温度的倒数的关系作图,即可得到图1-4。因为应力相等时,该关系呈直线,故能满足(1-4)式。其次,所求得该图直线的斜率相当于(1-4)式的 U 为表观激活能。因此,求 U 和 σ^* 的关系时,因呈直线(如图1-5所示),故(1-5)式

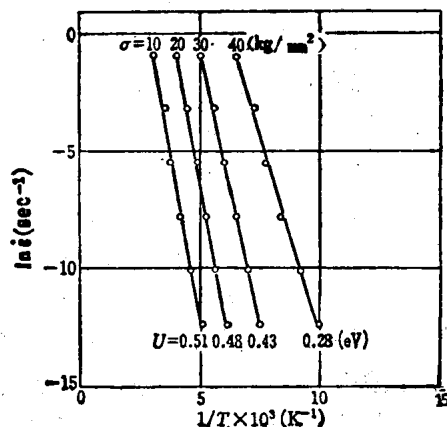


图1-4 利用图1-2的数据读取应力的实验值,按式(1-4)所作的曲线图

式的 U 为表观激活能。因此,求 U 和 σ^* 的关系时,因呈直线(如图1-5所示),故(1-5)式

* 电子伏特,是1个电子通过1伏特的电位差的电场时所做的功, $1\text{eV} = 3.83 \times 10^{-20}\text{cal} = 1.603 \times 10^{-12}$ 尔格。

** $k = 3.30 \times 10^{-24}\text{cal/K/原子} = 0.863 \times 10^{-4}\text{eV/K/原子}$ 。

*** U_0 是图1-3的短程能垒障碍的总面积,可是,因为该图是作为应力-距离曲线描绘的,所以,正如以前介绍过的,要把纵轴作为作用位错的力 σ_0 乘以伯格矢量。这样一来,应力-距离曲线所描出的面积就是这部分能量。

**** 如图1-2示意图所示,以下屈服应力减去 σ_μ 的 σ^* 为应力。

的关系可表示为:

$$U = U_0 - U^* \sigma^* \quad (1-6)$$

式中, U_0 是应力不起作用的激活能, 为图 1-3 σ_μ 上部分峰的面积, 按图 1-5 则约为 0.62 电子伏特。式 (1-6) 的 U^* 叫做激活体积, 是图 1-5 的直线的斜率, 由图求出得 1.12×10^{-22} 厘米³, 但若把铁的伯格矢量的大小设为 $b = 2.3 \times 10^{-8}$ 厘米, 其值为 $8b^3$ 左右。

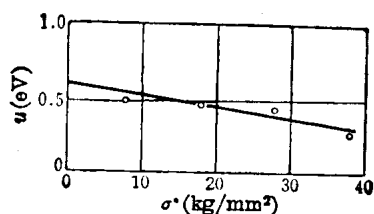


图 1-5 从图 1-4 求出各条直线的斜率作为激活能 U , 求 U 与 σ^* 关系的曲线

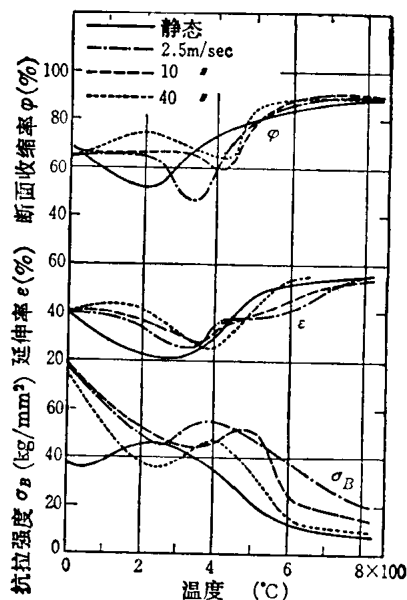


图 1-6 拉伸速度对蓝脆性的影响。软钢 (0.15% C), 应变速度, 静态: 1.5×10^{-3} 秒⁻¹, 2.5 米/秒, 70 秒⁻¹, 10 米/秒, 2.8×10^2 秒⁻¹, 40 米/秒, 1.14×10^3 秒⁻¹

然后, 我们再看图 1-1, 在处于中温区的钢中, 由于含有许多杂质或合金元素, 其作用是在变形过程中引起动态时效硬化和析出, 结果往往导致强烈的加工硬化。在这种情况下, 它与低温侧和高温侧的变形相比较, 延性下降。在钢铁中人们把这个现象叫做蓝脆性, 一般把上述的动态时效叫做波特万-勒夏特利埃效应, 在许多合金中都发现有这种效应存在。对于钢铁, 由于碰巧存在着氧化成蓝色的区域, 故赋予上述的名称, 但因并非脆性断裂, 温度变形能力小而加工硬化大, 所以在该温度区域内进行塑性加工, 便可获得高强度的材料。

图 1-6 示出在这个温度区域进行拉伸试验时改变拉伸速度的情况。若把抗拉强度最大, 延伸率、断面收缩率最小时的速度看作是最急剧产生蓝脆性的条件, 它将随拉伸速度的增大而变到高温, 但实验中在 40 米/秒的高速变形时之所以变到低温, 是因为试样发热的缘故。因为蓝脆性亦随变形速度而变化, 所以可以与低温变形同样地作为热激活过程来处理。同时, 由于变形速度而使蓝脆性上升到 550°C 左右, 断裂前的能量减少, 故若利用得当, 就能够用低动力进行切割和切削。

人们把 $0.5 T_m$ 以上的温度叫做热变形区。这个温度区域的变形方式适用于所有金属。

温度 $0.5 T_m$ 相当于金属材料的再结晶温度。所以, 如果在这个温度范围内实现塑性变形, 则当温度很高时, 在变形过程中就会因再结晶和恢复而软化, 即使在温度较低时, 在变形后的高温中同样会发生再结晶和恢复而发生软化。前者叫做动态再结晶, 后者叫做静态再结晶, 再结晶和恢复等的软化过程统称为恢复。

图 1-7 以轧制为例, 示出了这些过程的情况。材料通过辊缝沿轧向延展, 晶粒也变成伸长的形状, 但一通过轧辊之后, 过一段时间便产生再结晶, 继而产生晶粒长大。

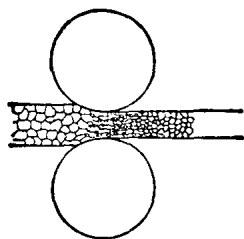


图 1-7 材料在热轧过程中的变形和再结晶

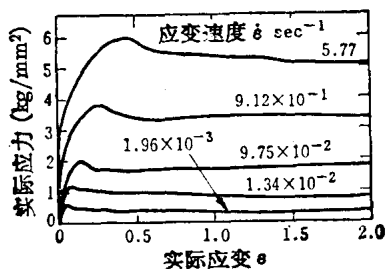


图 1-8 0.06%C 软钢在 1200°C 扭转变形时的实际应力-实际应变曲线

所以, 这个温度范围的塑性加工的变形抗力小而变形能力大, 故有可能一下子施以大的变形量, 进行效率极高的加工。

图 1-8 以软钢为例, 示出应变速度对在该温度范围内的变形应力-应变曲线的影响。在这种情况下, 由于在拉伸试验中存在着局部收缩而不能进行大的变形, 所以常利用能很好表现大变形部分的空心圆筒扭力试验。在热变形过程中, 变形应力就是这样地容易受到应变速度的影响, 应变速度越大, 变形应力就越大, 这个倾向在高温时越加明显。

图 1-9 就同样的软钢对室温和高温进行了比较, 示出了在各种应变时变形应力和应变速度的关系。如前所述, 在室温变形时, 正如屈服强度那样, 应变小时应力对应变速度的依赖性大, 而大的应变的变形应力对应变速度的依赖性就小些。与此相比, 热变形在整个应变范围内对应变速度的依赖性都大, 若设应力为 σ , 应变速度为 $\dot{\epsilon}$, 则这些关系可以写成:

$$\sigma = G \dot{\epsilon}^m \quad (1-7)$$

把 m 值叫做应变速度硬化指数, 如图 1-10 所示, 直到再结晶都无多大的变化, 但一超过这个温度, 就随温度的升高而大致呈直线地增大。

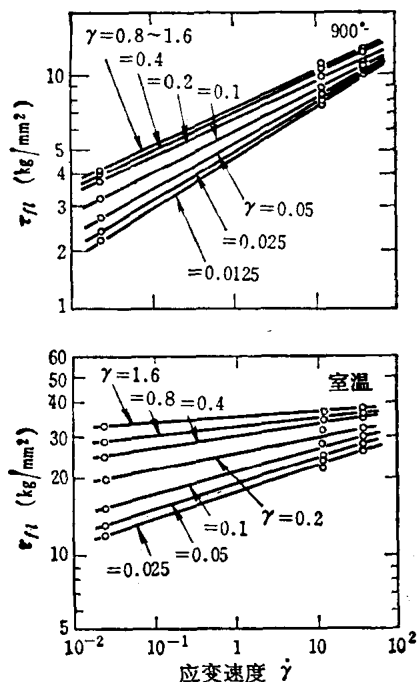


图 1-9 0.06%C 软钢的变形抗力 τ_{II} (扭转) 与应变速度的关系 (室温和 900°C 之比较), γ 是剪切应变

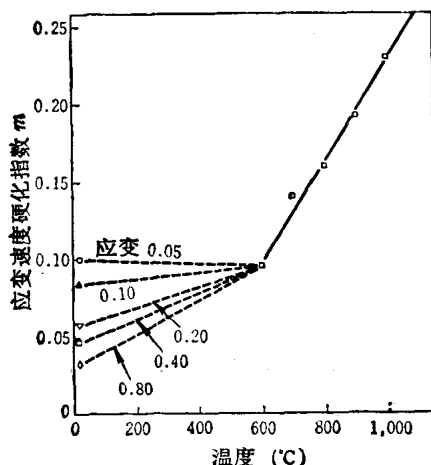


图 1-10 应变速度硬化指数随温度的变化 (0.2%C 软钢)

Conrad^[3] 对下列一般变形方程式进行了探讨。

$$\dot{\epsilon} = \sum_i A_i(\bar{\sigma}, T, s) \exp \left[\frac{-\Delta H_i(\bar{\sigma}, T, s)}{RT} \right] \quad (1-8)$$

式中, A_i 是几种可能的变形机制的频率系数, 通常, 它是应力 $\bar{\sigma}$; 温度 T 是与钢的组织 and 结构有关的参数 s 的函数; ΔH_i 是激活能, 同样取决于 $\bar{\sigma}$, T 及 s ; R 是气体常数。结构参数 s 的数值取决于与位错、溶质原子、原子空位及晶界等变形有关的结构, 晶格缺陷的数量和分布。具体地确定式 (1-8) 的形式是困难的。但也作过半解析的和数值求解的大量尝试^[4]。那是因为必须确定变形抗力的值 $\bar{\sigma}(T, s, \dot{\epsilon})$, 用以决定和控制塑性加工的动力。

将式 (1-8) 进一步简化, 也可用把右边指数 $\exp$ 项移到左边所得的 Z 参数来表示:

$$Z = \dot{\epsilon} \exp(\Delta H/RT) \quad (1-9)$$

Zener 和 Hollomon^[5], Trozera, Sherby 和 Dorn^[6] 考虑到结构参数 s 取决于应变 $\bar{\epsilon}$ 之后; 对这个参数进行了研究。指出, Z 值是给予变形条件的值, 此值可决定变形抗力 $\bar{\sigma}(\bar{\epsilon})$ 。 Z 一般叫做 Z - H (Zener-Hollomon) 参数。这里 $\dot{\epsilon}$ 是应变速度, ΔH 是激活能。图 1-11 为其实验结果。此图表明, 对于超低碳钢, 如果用

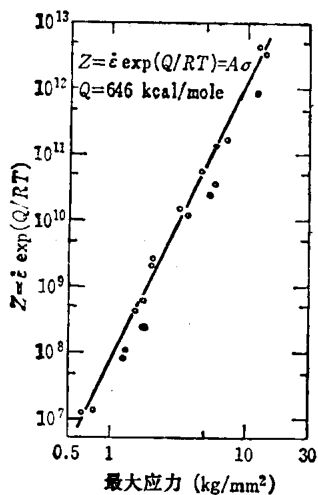


图 1-11 在 989~1350°C 下以 10^{-3} ~ 20.7 秒⁻¹ 的应变速度对 0.06%C 超低碳钢进行扭转变形时的 Z 与应力的关系。对于 ΔH , 使用铁的自扩散激活能值

式 (1-9) 的 Z 给出这样的变形条件, 即在奥氏体的温度下以宽的应变速度范围 (达到 10^5) 进行扭转变形, 则其对数和变形应力的对数可描在一条直线上。

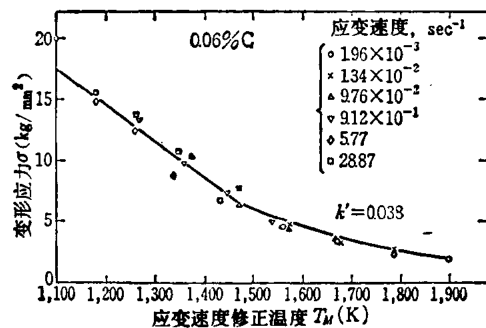


图 1-12 0.06%C 软钢的扭转变形应力和应变速度修正温度的比较

同时设变形应力为下式给出的 T_m 值的函数:

$$\bar{\sigma} = f(T_m) = f[T\{1 - k \ln(\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0)\}] \quad (1-10)$$

这个关系也常被使用。式中, T_m 是右边中括号内表示的值, 叫做应变速度修正温度, 它取决于绝对温度 T 、常数 k ; 应变速度之比 $\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_0$ 。 $\dot{\epsilon}$ 是实际应变速度, $\dot{\epsilon}_0$ 是可以任意确定的标准应变速度。若令 $k' = k(1 + k \ln \dot{\epsilon}_0)^{-1}$ 代入式 (1-10), 则 $\bar{\sigma}$ 可以由把标准状态包含在常数 k 内的更简单的方式表示之:

$$\bar{\sigma} = f(T_m) = f[T(1 - k' \ln \dot{\epsilon})] \quad (1-11)$$

图 1-12 是 0.06%C 软钢的变形应力按式 (1-11) 表示的曲线图。在应变速度和温度发生变化的一系列试验中, 变形应力可以用一条曲线表示。

对在各种变形条件下的变形应力以 Z 和 T_m 加以整理, 对于获知加工应力, 设计工具和

选择加工机械或控制过程都是很必要的。

对该项加以整理后，将各种试验和塑性加工时的变形速度列于表 1-1。由于实际加工是在比表中所列数值高得多的速度下进行的，所以希望相当于实际加工的变形速度进行试验，在第四章中还要讲述各种试验方法。

表 1-1 各种试验和塑性加工过程中变形速度的比较

加工方法	变形速度(米/秒)	加工方法	变形速度(米/秒)
拉伸试验(一般)	$6 \times 10^{-6} \sim 6 \times 10^{-2}$	锻压	3~10
水压挤压	0.03~3	爆炸成型	30~150
机械挤压	0.15~1.5	热轧	1~50
摆锤式冲击试验	3.3~6.5	冷轧	1~50

第三章 金相组织对塑性加工性的影响

塑性加工和成形所需的动力，首先取决于承受直接加工的材料变形应力，其次取决于材料和工具之间产生的摩擦。决定变形应力的因素和材料的变形极限相同，取决于材料的金相组织。

一、金相组织对冷加工的影响

1. 热轧钢材

大多数热轧钢材都是正火状态。此时机械性能首先取决于化学成分。图 1-13 所示为平均每 0.1% 合金元素或杂质成分对机械性质的影响。钢一定含有碳，它对机械性能的影响最大。由于碳含量的增加使强度提高并导致延性降低，冷加工性恶化。

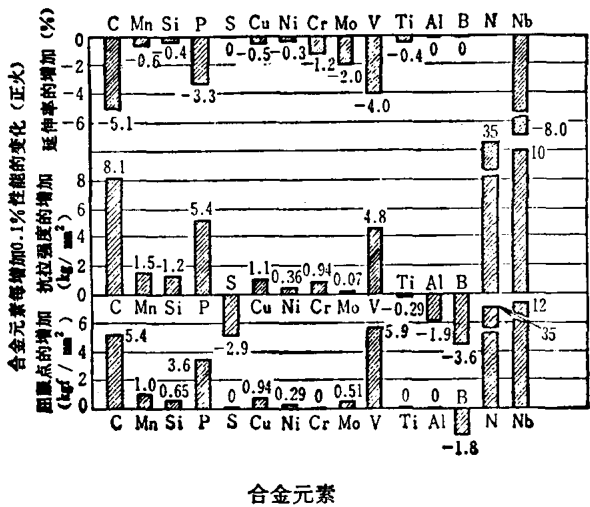


图 1-13 合金元素每增加 0.1% 时，机械性能的变化
基本成分：0.3% C，1.0% Mn，0.3% Si

适用范围 (%)

C	0~0.7
Mn	0.3~1.5
Si	0.3~2.0
P	0~0.2
S	0~0.06
Cu	0~2.0
Ni	0~1.8
Cr	0~1.0
Mo	0~0.3
V	0~0.25
Ti	0~0.4
Al	0~0.1
B	0~0.004
N	0~0.001
Nb	0~0.03

0.06% 以下的碳固溶于铁素体并使铁素体强化，而超过此含量时则使珠光体量增加，当碳量在 0.8% 以下时，强度大致随珠光体量呈直线增加，而延伸率降低。

锰也是钢中常有元素，使强度提高，这是因为它固溶于铁素体并使之强化，同时具有使