

鍋爐制造工艺学

刘正武 孙宗禹 古家金編
雷善达 林家蘭

科学技術出版社

鍋爐制造工艺学

刘正武 孙宗禹 雷善达

林家蘭 古家金

編

科学技術出版社

內 容 提 要

本書系根据苏联中等技术学校鍋爐制造專業的“鍋爐制造工艺学”大綱，結合上海动力机器制造学校的实际教学情况編写而成。

本書取材較新穎，內容叙述也很全面，对鍋爐制造的各个过程，如：金屬材料在鍋爐制造时所进行的工艺試驗；完成鍋爐制造的各基本工序及設備以及鍋爐机組各元件的制造工艺等，都有詳細的介紹。

本書除了可供中等技术学校作教本外，也可作为鍋爐制造厂的中級技术人員参考。

鍋 爐 制 造 工 艺 学

編 者 刘正武 孙宗禹 雷善达
林家蘭 古家金

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海南京西路 400 号)

上海市書刊出版业营业登记证出字第 100 号

大众文化印刷厂印刷 新华書店上海发行所总經售

*

統一書号：15119·699

开本 850×1168 耗 1/32·印張 11 3/4·字數 287,000

1958 年 7 月第 1 版

1958 年 7 月第 1 次印刷·印數 1—2,300

定价：(10) 2.00 元

序

本書系参考苏联中等技术学校鍋爐制造專業的“鍋爐制造工艺学”大綱編写而成。全書共分三篇：第一篇“鍋爐制造中所用的金属材料”，叙述了鋼在鍋爐工作过程中所产生的各种現象、有关金属材料的化学成分和机械性能以及在鍋爐制造时所进行的工艺試驗；第二篇“鍋爐制造的基本工序”叙述了完成各工序的方法和設備；第三篇“鍋爐机組元件的制造工艺”叙述了鍋爐鍋筒(包括电弧焊接的、电渣焊接的、鍛制的和軋制的)、联箱、蛇形管和水牆管、空气預热器、鍋爐構架和閥件的制造。

本書所采用的金属材料牌号完全是苏联的牌号。但为了讀者的查对方便，在本書最后附表中，列出了本書上常用的鋼材符号对照表(即我国重工业部頒标准和苏联国定标准鋼材符号对照表)。

本書編写者：第一篇 孙宗禹和刘正武；第二篇 刘正武、孙宗禹、雷善达、林家蘭和古家金；第三篇 刘正武和雷善达。全書由陈之航同志負責校閱。

最后，因为教学上的需要，本書虽曾作为教材試教过，但由于編写者的知識和实际經驗不足，書中不当之处在所难免，希讀者多加指正，以便改进。

刘正武、孙宗禹、雷善达、林家蘭、古家金

1957年1月25日于上海

目 录

序

緒論	1
----------	---

第一篇 鍋爐制造中所用的金屬材料	5
------------------------	---

第一章 工作条件对鍋爐鋼的影响	5
-----------------------	---

1-1 对鍋爐鋼的要求	5	1-6 球形化	12
1-2 时效	6	1-7 石墨化	13
1-3 再結晶	7	1-8 热脆和回火脆化	14
1-4 蠕变	9	1-9 腐蝕	15
1-5 松弛	12	1-10 受热疲劳	18

第二章 鍋爐制造中所用的鋼和鉄	19
-----------------------	----

2-1 化学成分对鍋爐鋼性質的影响	19	2-3 鍋爐鋼板和管子	38
2-2 制造鍋爐元件所用的鋼	26	2-4 生鉄	45

第三章 鍋爐材料的試驗和驗收	49
----------------------	----

3-1 材料試驗和驗收对鍋爐制造的意义	49	3-2 鍋爐制造中材料試驗的主要方法	50
		3-3 鍋爐材料的工艺試驗	51

第二篇 鍋爐制造的基本工序	56
---------------------	----

第四章 鋼材的矯正	56
-----------------	----

4-1 鍋爐制造中矯正的意义	56	4-3 局部加热矯正	59
4-2 手工矯正	58	4-4 机器矯正	60

第五章 划綫	65
--------------	----

5-1 鍋爐制造中划綫的意义	65	5-3 鍋爐主要零件的划綫	68
5-2 鍋爐零件的放样	67		

第六章 金屬的切削	73
-----------------	----

6-1 金屬切割的意義和種類	73	6-3 火焰切割	79
6-2 金屬的機械切割	75		

第七章 邊緣加工.....84

7-1 邊緣加工的意義和種類	84	7-3 火焰邊緣加工	89
7-2 機械的邊緣加工	84	7-4 手工的邊緣加工	93

第八章 孔加工.....95

8-1 孔加工的意義和種類	95	8-4 鍋筒管孔的加工過程	104
8-2 鍋爐製造中的孔加工方法	96	8-5 端頭孔加工	109
8-3 孔加工的设备	102		

第九章 鋼板和型料的彎曲.....110

9-1 鋼板的彎曲	110	9-3 爐胆火筒的製造	122
9-2 瓦月片的彎制	121	9-4 型鋼的彎曲	126

第十章 鍛和模壓(模鍛).....128

10-1 封頭的模鍛	129	10-4 壓力機功率的確定	136
10-2 封頭模子尺寸的確定	134	10-5 水壓機設備	137
10-3 水壓機上模子的安裝	135		

第十一章 彎管.....140

11-1 彎管原理及種類	140	11-3 機器彎管	145
11-2 手工加熱彎管	142	11-4 彎管後的質量檢查	161

第十二章 擴管.....162

12-1 擴管過程	163	12-3 擴管質量	167
12-2 擴管器的構造	164		

第十三章 鉚接和斂縫.....168

13-1 鉚釘接合的種類和鉚前的裝配	168	13-4 鉚接設備和工具	172
13-2 鉚釘	169	13-5 鉚接質量	175
13-3 鉚接過程	171	13-6 斂縫和斂釘	176

第十四章 焊接.....177

14-1 焊接的種類	177	14-3 半自動焊接設備	185
14-2 自動焊接裝置	180	14-4 焊接缺陷和缺陷產生之原因	188

第三篇 鍋爐機組主件的製造工藝.....189

第十五章 焊接鍋筒的制造 189

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| 15-1 鍋筒制造的标准化.....189 | 15-8 鍋筒的环縫焊接.....213 |
| 15-2 鍋筒縱縫的装配.....190 | 15-9 封头和管接头以及鍋筒圓柱
部分的装配和焊接.....219 |
| 15-3 鍋筒圓柱平部分的縱縫焊接.....195 | 15-10 焊接鍋筒的热处理.....222 |
| 15-4 焊后鍋筒筒壳的矯圓.....202 | 15-11 鍋筒的水压試驗.....224 |
| 15-5 鍋筒焊縫的X射綫檢查.....205 | 15-12 鍋筒内部零件的装配及其出
厂前的准备.....225 |
| 15-6 矯圓后筒壳的端部加工.....206 | |
| 15-7 鍋筒环向焊縫的装配.....207 | |

第十六章 电渣焊接鍋筒 227

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 16-1 鍋筒筒壳的准备和装配.....227 | 16-3 鍋筒的环縫装配和焊接.....232 |
| 16-2 筒壳的縱縫焊接.....229 | |

第十七章 鍛制鍋筒和軋制鍋筒的制造 235

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 17-1 鍛制鍋筒的制造过程.....236 | 17-2 軋制鍋筒的制造过程.....239 |
|------------------------|------------------------|

第十八章 联箱的制造 241

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 18-1 联箱的用途及其毛坯.....241 | 18-9 联箱的热处理.....255 |
| 18-2 在鍋爐制造厂中管子的檢查
和驗收.....242 | 18-10 联箱的水压試驗.....256 |
| 18-3 联箱的划綫.....245 | 18-11 联箱的焊接管接头、管孔和
手孔的加工.....256 |
| 18-4 切割联箱的端头.....246 | 18-12 联箱的修飾和油漆.....259 |
| 18-5 联箱端部焊接前的边緣加工.....248 | 18-13 联箱手孔盖的制造.....259 |
| 18-6 联箱的装配和焊接.....249 | 18-14 联箱封头(盖子)的制造.....265 |
| 18-7 管接头孔的加工.....252 | 18-15 手孔盖馬(卡板)的制造.....267 |
| 18-8 联箱管接头的装配和焊接.....254 | 18-16 方形联箱的制造.....268 |

第十九章 过热器和鋼管式省煤器蛇形管的制造 272

- | | |
|--------------------------------|---------------------------|
| 19-1 蛇形管元件的弯曲.....275 | 19-5 蛇形管的焊接.....281 |
| 19-2 在弯管机上弯曲蛇形管的精
度.....275 | 19-6 对焊机上的管子夾紧裝置.....284 |
| 19-3 弯曲后蛇形管元件的端部
切割.....277 | 19-7 蛇形管对接焊縫的热处理.....285 |
| 19-4 焊前管端的准备.....280 | 19-8 焊接蛇形管的檢驗和校正.....285 |
| | 19-9 蛇形管的試驗.....287 |
| | 19-10 蛇形管运出前的准备工作.....288 |

第二十章 水牆管、沸水管、連接管和給水管的制造 289

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 20-1 管子的檢查.....289 | 20-3 管子的焊接.....293 |
| 20-2 管子的准备.....289 | 20-4 对接焊縫的热处理和焊接質 |

量的檢查·····	295	接到管子上·····	297
20-5 在鍋爐範圍內水牆管和其他 鍋爐管子的彎曲·····	295	20-7 水牆管的水壓試驗·····	299
20-6 彎曲後管端加工和將零件焊		20-8 運去安裝前管子的準備·····	299
第二十一章 管式空氣預熱器管組的製造·····		300	
21-1 管組的管子加工·····	300	21-5 受熱管的裝配·····	304
21-2 管板的製造·····	301	21-6 運走前管組的準備·····	306
21-3 管組支架的製造·····	303	21-7 管式空氣預熱器觀管的製造·····	306
21-4 空氣預熱器的管組裝配·····	304		
第二十二章 鍋爐構架的製造·····		309	
22-1 構架元件製造工藝的組織·····	309	22-5 構架元件的修飾·····	320
22-2 構架零件的加工·····	310	22-6 大型鍋爐構架元件的裝配和 焊接主要的工藝順序·····	320
22-3 零件的組合·····	313		
22-4 鍋爐構架元件的裝配和焊接·····	313		
第二十三章 閥件的製造·····		322	
23-1 閥件的材料与毛坯·····	322	造·····	333
23-2 閥件製造精度的要求·····	323	23-6 緊固零件(螺栓和螺帽)·····	343
23-3 閥件生產的特點·····	324	23-7 閥件的填料和襯墊·····	346
23-4 閥體的製造·····	327	23-8 閥件的裝配·····	350
23-5 閥件執行啟閉機構零件的制		23-9 閥件的試驗·····	355
附表·····		363	
參考文獻·····		366	

緒 論

动力工业是社会主义工业化的一项先行工业，根据苏联的统计：劳动生产率的提高是与用电量成正比地增加。工业产量每增加10%，就必须相应地增加发电量14~16%，因此，要加速我国社会主义工业化，就必须迅速发展动力机械制造工业。由于我国目前的石油开采尚比较薄弱，水利建设费时较长，而煤炭产量是很多的，故火力电站的发展在动力工业中目前仍占有重要的地位。锅炉是火力电站的主要设备之一，为了要发展电力工业，就需要发展锅炉制造工业。同时，锅炉对于一切工业设备的直接带动与间接加热、烘干和蒸发等；农业机械的排涝、灌溉等；交通运输业的机车、轮船等；化学肥料工业和冶金工业的制造水煤气等和房屋的暖气工程等方面均有重大作用。因此，我们就不难理解锅炉制造工业在国民经济中的作用与研究锅炉制造工艺学的重要性。解放后，无论在经济恢复时期，以及在第一个五年计划中，锅炉制造工业均放在重要的地位。在社会主义工业化迅速发展的情况下，培养锅炉制造方面有高度技术水平的干部，就有其重要的意义。

旧中国的锅炉制造工业，和整个动力工业面貌一样，是处在一个极端落后的状态中。所谓空地芦苇棚加上铜头和铁墩，就是一个冷作厂。由于帝国主义的掠夺、官僚资产阶级的壟断及封建势力的阻碍，所有的锅炉都是国外进口，根本没有什么锅炉制造工业，一般冷作厂只是修修配配，敲敲打打；并且型式陈旧；管理混乱，谈不到什么工艺改进。解放后，由于党和政府的英明正确领导，由于苏联、捷克等兄弟国家的无私援助，锅炉制造工业已有了迅速

的发展,从根本上改变了过去极为落后的面貌。在第一个五年計劃中,已經新建及扩建現代化鍋爐厂各一个:哈尔滨鍋爐厂及上海鍋爐厂;同时,对各省市原有的鍋爐厂和鉄工厂,也进行了改造和改建。我国在1955年已經制成了第一台40吨/时, 450°C , 39大气压的中压鍋爐,配6000瓩, 435°C , 35大气压的中压汽輪机。1956年已經試制75吨/时, 450°C , 39大气压的中压鍋爐,配12,000瓩的中压汽輪机。1958年哈尔滨鍋爐厂將要制造130吨/时, 500°C , 80大气压以及更大的高压鍋爐,配25,000瓩汽輪机。在最近生产大跃进中,上海机械、重工业工程技术人员已經提出了到1962年要制造50,000瓩汽輪机及发电机、开关和230吨大型鍋爐等全套設備。只要主要設備如: $\Phi 300 \times 30$ 厚导管弯管机,5,000吨水压机和 $\Phi 6$ 公尺立式車床能得到解决,則在第三个五年計劃中,我国亦能制造440吨/时乃至650吨/时的鍋爐配10万瓩、15万瓩汽輪机的成套設備。同时,即使將來大量发展原子能发电站,鋼板制成的原子反应堆的圓柱形体、热交換器、蒸发器以及冷凝器等亦需制造。因此,随着社会主义事业的发展,我国的鍋爐制造工业是有其广闊燦爛的前途。

在苏联,鍋爐制造工业是有着很大成就的。1954年,苏联的火力发电站已有47%的鍋爐是属于90个大气压以上的大型高压鍋爐。現在各种型式的高蒸汽参数鍋爐,已經在苏联成批地生产着。最近已制造完成650吨/时, 600°C , 200大气压的直流鍋爐,配20万瓩汽輪发电机。1960年以前將完成800吨/时, 650°C , 300大气压配30万瓩汽輪机的直流鍋爐。最近瑞士苏尔周(Sulzer)公司代美国設計了一套908吨/时, 650°C , 352大气压配45万瓩的大型直流鍋爐。

从蒸汽动力机械的技术发展史,也可以看出,鍋爐制造的技术水平也是在不断地提高的,并且現在还在繼續技术革新,不断地提高。以前立式和臥式爐胆鍋爐的工作压力一般为7个大气压

(至多 8~10 个大气压);火管和水管鍋爐的工作压力一般为 10 个大气压(至多 15~20 个大气压)。当时,鍋爐主要是依靠有經驗的工人用手工劳动来制造的。鉚接和錘击板边曾是鍋爐制造中的主要工艺。由于鍋爐的工作压力不高,材料还是熟鉄和軟鋼的,所以用錘击鉚接还是正确可靠的。后来动力鍋爐的工作压力提高到 25~30 个大气压,錘击和鉚接就发生了很多不妥当的缺点,甚至在制造过程中发生极大的工艺和質量事故。这种鍋爐使用不久后,鉚縫上就发现有裂縫。由于鍋爐的工作压力較高,并用优質鋼或合金鋼的鋼板厚度較大、强度增加,用錘击使这种鋼板变形是很困难的;在鉚接时,要將这种鋼板夾牢对准,也是更艰巨的工作;同时,为了保証鉚接接縫的紧密,需要加很大的压力,这样,就使得鋼板内部在冷态下产生很大的内应力,而鉚接的鍋爐結構不但錘印累累,質量不好,并且又不可能采取退火热处理的方法来消除局部应力与内应力,这些就是鉚縫在鍋爐运行时会产生裂縫的主要原因。由此可見,要提高鍋爐的工作压力,必須根本改变旧的鍋爐制造工艺,即在鍋爐制造中采用焊接和冲压的工艺。如制造焊接鍋筒来代替鉚接鍋筒,利用冲压来代替錘击。

在五十年前,苏联已掌握了水煤气焊接技术,在特种焊接机上能够焊接厚达 80 公厘的低碳鋼板。此后,在鍋爐制造中开始采用了电弧焊接。巴頓更发明了熔剂层下自动和半自动焊接,現在已十分可靠和广泛地采用于低碳鋼和低合金鋼的焊接。近四年来,又研究和掌握了电渣焊接工艺,1958 年上海电焊机厂已試制成功能焊 150 公厘厚鋼板的自动电渣焊机。这样,使高压鍋爐的制造工艺又向前发展了一大步。同时,对鍋筒与封头的制造,又出現了油压預弯、輾軋鍋筒、全鍛鍋筒和模压封头等工艺。焊接工艺的应用,也使得鍋爐制造中可以不受无縫鋼管厂所能生产的管子長度尺寸的限制,而能得到很長的管子,用以制造大型直流鍋爐。

現代化的蒸汽鍋爐是向着大型与高蒸汽参数的方向发展,因

此提高鍋爐制造技術水平是迫不及待的，鍋爐制造必須相適應地向着操作機械化、設備自動化與生產綫流水化的方向發展。

培養鍋爐制造工藝學這方面的專門技術幹部，最先是在蘇聯實行的。蘇聯科學工作者們和工程師們等的工作為“鍋爐制造工藝學”這門課程奠定了穩固的基礎，並創立了這門科學。本書主要是根據蘇聯的科學工作者的成就和我國工廠中工程技術人員的工作為基礎，僅有一小部分是參考國外雜誌的資料。本書只比較扼要地闡明一些實際應用的鍋爐制造工藝問題，有許多地方只達到一般必要的說明程度為止。書中所列關於生產率和定額數據，只是一般資料，不應作為絕對極限數字。

“鍋爐制造工藝學”是各門技術課程中的年輕課程之一。1954年在我國工業專門學校里，才開始有這門工藝學的課程，當時關於這方面的教科書是一本也沒有，只是參考1954年蘇聯“鍋爐制造工藝學”的教學大綱，編出講義，經過三年來的不斷修改與試教，編著成本書。如果本書能運用於今後培養鍋爐制造工艺的專門技術人員及實際運用於鍋爐制造廠或其工廠設計方面時，則就達到了編者們最大的目的。

第一篇 鍋爐制造中所用的金屬材料

第一章 工作条件对鍋爐鋼的影响

1-1 对鍋爐鋼的要求

蒸汽鍋爐的主要元件都是在很不利的条件下工作的。它們在鍋爐运转时处于高温、高压和負荷經常变化的情况下,此外还可能受到水、蒸汽或烟气的腐蝕作用;同时,在制造时,为了获得这些元件必需的几何形狀和尺寸,鋼材还必须承受各种形式的加工工艺。因此,对于鍋爐鋼提出了很高的要求,特別在制造高温高压鍋爐时,更为重要。

用来制造蒸汽鍋爐主要元件的鋼应滿足下列要求:

1. 高的机械性能;
2. 对时效的傾向要小;
3. 高的抗蠕变性能;
4. 抵抗組織結構变化的稳定性要高;
5. 抵抗工作介質腐蝕的性能要高;
6. 高的抗疲劳性能;
7. 当温度剧烈变化后的不可淬硬性;
8. 良好的可焊性;
9. 加工时能承受各种不同变形的性能。

这些要求都是根据鍋爐元件的工作条件而提出的,在下面將分別地进行討論。

1-2 時效

時效就是鋼的強度極限、屈服極限、蠕變極限、硬度和塑性、特別是衝擊韌性在一定時間內自發改變的現象。

鋼的時效有兩種形式：

1. 簡單時效或稱弥散硬化

它是隨着時間的增加，由於某些溶解於鐵的晶格中的元素（氮、碳及其他）在鐵中的溶解量降低、從固溶體中析出、在鋼中形成了高度分散的硬粒而引起的硬化現象。

大家知道，在不同溫度時， α -鐵中溶解的碳量是不同的。在 $700\sim 720^{\circ}\text{C}$ 時，它溶解的碳量約為 0.04% ，而當室溫時，降低為 0.008% 。因此，如果鋼在熱軋或熱處理之後經過快速冷卻，過剩的碳便來不及從固溶體中析出，以致在室溫時得到了過飽和的 α -鐵固溶體。自然，在 α -鐵固溶體中過剩的碳，也會慢慢地由晶格處擴散出來，而形成碳化物。這樣，就提高了鋼的強度和降低了鋼的塑性。關於氮、氧等其他元素的析出，也具有同樣的情況。

2. 機械時效

它是金屬因冷加工硬化而引起的時效現象。

冷加工硬化後的金屬，具有歪曲的晶格，其歪曲的程度可由硬化的程度而定。在這樣的晶格中存在着內應力，其溶解氮、碳以及其他元素的含量會減少。所以，在受冷加工硬化金屬中的過飽和成分，將逐漸地通過擴散作用由晶格中析出，而以高度分散微粒的狀態分布於鋼中，此即所謂機械時效。當溫度為 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 時，加工硬化金屬的時效過程最為強烈。

鋼的機械性能，隨時效過程而異。

在第一期（開始的一百小時）內，析出的微粒是非常分散的，因而使鋼的強度極限、屈服極限、蠕變極限和硬度提高，而塑性和衝擊韌性降低。

在第二期內,高度分散的微粒开始凝聚,因而,其包围滑移面的数量减少,且此时在固溶体中合金元素的含量將較原来貧乏,因此,便使鋼的强度极限、屈服极限、特别是蠕变极限降低。当鍋爐鋼的工作温度超过 350°C 时,极易发生第二期。

为了減輕时效硬化,可用下列方法:

1. 提高鋼中碳、鉍、鋁以及某些其他合金元素的含量。
2. 仔細的除掉溶解于鋼中的气体,特别是氮气。

适当的热处理(如淬火或正火之后經回火),会提高鋼抵抗时效硬化的稳定性。

1-3 再結晶

再結晶是經冷加工的金屬,在超过一定温度时所发生的結晶結構和机械性能改变的过程。

金屬在冷的状态下受到外界载荷的作用而变形时,会引起其晶格的一部分对其他部分的平面滑移;而且,在滑移时靠近滑移面处的晶格被歪曲了,因而在晶粒中存在着内应力;同时,也由于滑移时晶粒的部分碎裂,而会降低金屬的紧密性。

当外载荷作用时,金屬内部的晶格是沿着阻力最小的晶面滑移的,同时,在滑移面的附近,也形成了許多破碎的晶粒(图 1-1)。此时,由于滑移面上摩擦力的不断增大,而使滑移过程停止。为了沿着强度較大的

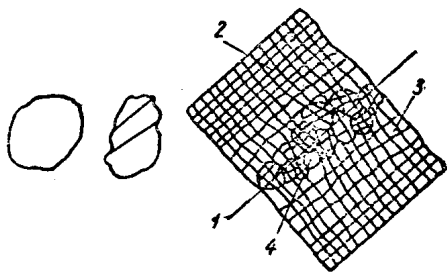


图 1-1 滑移面附近金屬結構的变化

- 1—滑移面; 2—正常的晶格;
3—变形后的晶格; 4—晶粒的碎片

滑移面重新发生滑移,必須加大外界载荷。由此可見,随着金屬永久变形的增加,其强度极限、屈服极限以及硬度提高了,而其塑性將由于滑移面的逐渐减少而降低。也就是說,金屬被强化了。

這一金屬性能改變的過程，即謂之冷加工硬化。

由於晶格滑移面數量的增加以及在晶格中產生了一定的內應力，因此經過冷加工硬化後金屬的內能，較未經冷加工硬化金屬的內能大大地增加了。自然，這種結構就有向內能較小的新結構恢復的趨勢。

當溫度升高時，經過冷加工後金屬的原子活動性增加了，整個體系的能量也有很大的增長。此時，能量的增加將引起金屬結構的改變——形成新的結晶而使金屬的內能降低，這個過程即謂之再結晶。經過再結晶的金屬，消除了硬化而恢復了原有的機械性能。

再結晶溫度視金屬的硬化程度而定。如硬化程度增加，則其再結晶溫度降低，但到某一範圍時，硬化程度再增加，再結晶溫度也不改變了。純金屬的再結晶溫度可由 A. A. Боваров 所提出的公式決定之（溫度以絕對溫度計算）：

$$T_{\text{再結晶}} \approx (0.35 \sim 0.40) T_{\text{熔點}}.$$

合金的熔點溫度系數比較高。

溫度增高時再結晶的速度也增大。冷加工硬化的金屬，可經過熱處理來恢復其均勻的結構，這種操作即謂之再結晶退火（第一類退火）。鋼的再結晶退火溫度為 $600 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 。

再結晶的過程即是晶粒中心的形成以及晶粒長大的過程，並且，晶粒是在相當低的溫度下開始長大的。這個現象說明如下：在未變形的晶粒中，有細而不強的薄片，它是由氧化物和非金屬微粒所組成的。這些薄片阻礙着未硬化金屬的晶粒發生合併。但在硬化的金屬中，很多地方的薄片破碎了，因而，使部分的晶粒互相接觸，而促使粗晶粒的形成。

在金屬中，晶粒的不均勻性愈大，其再結晶進行得愈強烈。因為在這種情況下，各個晶粒之間的能量差增加了。在小的變形程度下，晶粒的大小會很不均勻，因而，在再結晶時會引起晶粒強烈的長大。

在再結晶后能形成最大品粒的变形程度,称为临界变形程度。
鋼的临界变形程度为6~8%。

1-4 蠕 变

当温度升高时,金屬的强度极限和屈服极限降低了,而其塑性
伸長率和断面縮小率却增高了。但在 $200^{\circ}\sim 300^{\circ}\text{C}$ 間,鋼的
极限强度却有某些程度的增高,而在 $100^{\circ}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 間,其伸長率和
断面縮小率却有某些程度的降低,当超过 300°C 时,其强度和塑性
的变化又趋正常。一般的鋼皆符合此一規律。其变化情况可見图
1-2。

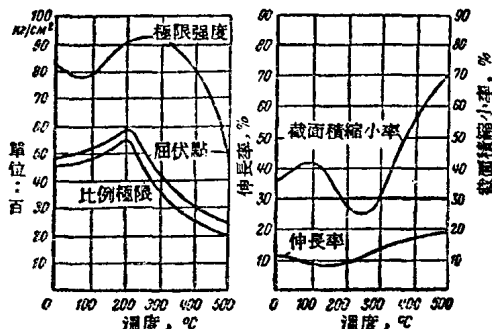


图 1-2 温度升高时鋼的机械性能的变化

当温度在 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 之間时,鋼的强度增加和塑性降低的
現象称为藍脆。当鋼材在上述温度中发生变形时,藍脆的表現將
更为显著。

蠕变是金屬在高温(大于 400°C)以及低于彈性极限应力的作
用下,慢慢地和不断地发生塑性变形的性能。当温度和应力增加
时,蠕变速度也会加大。

这个現象可用以金屬的残余变形和時間为坐标的蠕变曲綫来
表示(图 1-3)。

單位长度的残余变形 Δl 和相应的時間間隔 $\Delta \tau$ 之微商,即称
为蠕变速度。

当在金屬上加以載荷后,即发生了彈性变形(图 1-3 中 OA