

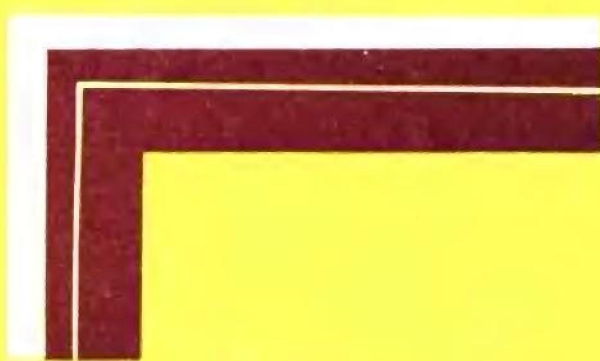
〔苏〕Ю. М. 拉赫金 A. Γ. 拉赫斯塔德特主编

机械制造中的

Ji Xie Zhi Zao Zhong De

热处理

RE CHU LI



手册

SHOU CE

机械制造中的热处理手册

[苏] IO. M. 拉赫金 主编
A.Γ. 拉赫斯塔德特

Термическая обработка
в машиностроении
Справочник

Под редакцией д-ра техн. наук проф. Ю. М.
Лахтина и д-ра техн. наук проф. А. Г.
Рахштадта
Москва

«Машиностроение» 1980

机械制造中的热处理手册

Ю. М. 拉赫金 主编
[苏] А. Г. 拉赫斯塔德特

*

上海科学技术文献出版社出版
(上海市武康路2号)

新华书店上海发行所发行
上海商务印刷厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 29.75 字数 799,000

1986年2月第1版 1986年2月第1次印刷

印数: 1—10,600

书号: 15192·415 定价: 7.40 元

《科技新书目》104-262

译 序

目前,我国机械制造业正面临着向高速、自动、精密的方向迅速发展。热处理是机械制造业发展的基础工艺,直接影响产品质量和产品的更新换代。从当前国外热处理发展趋势来看,热处理工艺正向着高度精确、高强韧化和严格控制质量的方向发展。我国的热处理生产技术水平与工业发达国家相比,还有较大的差距。本手册是由苏联一些著名学者和专家参加编写的。全书共26章,着重介绍可控气氛热处理、化学热处理、感应热处理、形变热处理、时效热处理、固溶热处理、复合热处理等工艺方法的科学原理、实验结果及其在生产中的应用效果,并按机床制造、汽车、拖拉机、农业机械制造、轴承、化工机械制造、大锻件、重型机械制造、模具、工具等先后次序,详细讨论其热处理工艺过程。讨论中,在分析工件类型、工作条件特点及其失效原因的基础上,提出用材的性能要求,并按性能要求、用途或强化方法对材料进行分类;在选定热处理工艺方法和热处理设备时,考虑到工件类型、材料成分、制造方法和生产特点;还列举大量较成熟的试验和生产数据,绘成图表,指明在各种条件下,最佳工艺方法及其适用范围;对预先热处理的类型、目的、规范、操作和检验方法、选定原则、适用范围、评定(效果)标准及其与最终热处理和性能的关系都作了较系统的论述;对于热处理冷却赋予足够重视;在缩短热处理生产周期,节省能源消耗,减少变形开裂,防止脱碳氧化等方面推荐了先进规范和有效措施。在老设备的改造和新设备的应用和发展方面也提供了宝贵的素材和重要的信息。对工艺过程自动化以及数学方法使热处理工艺最优化的应用方面也作了介绍。总之,本手册比较全面系统地反映了当前苏联在机械制造业热处理生产技术中的水平和发展方向,充分表明苏联近几年来,不仅在常用材料、常规热处理工艺、设

备、检测手段、质量控制方法和评定(效果)的标准等方面均有显著的改进和很大的发展,而且在一些科学原理和某些新工艺、新设备及单项技术研究等方面已具有较高的水平。为了配合我国机械制造热处理生产技术水平的发展,特译此书作为借鉴。本手册的序言和第1~5章由周子年同志翻译,第6~10章由陆金二同志翻译,第11~12章由蔡慰望同志翻译,第13~17章由何大智同志翻译,第18~22章由朱景环同志翻译,第23~26章和附录由史美堂同志翻译;另外,吴轮中同志审校了第15、16章,何葆祥同志审校了第19和21章,景学庸同志审校了第18和22章,全书由史美堂同志负责总审校。由于本手册篇幅大,内容新颖全面,原文文字结构严密,因此翻译此书难度较大,难免有不妥之处,请读者批评指正。

1984年7月

前 言

现代机械制造业的发展在很大程度上取决于工艺的进步。工艺过程的改进决定了生产效益和劳动生产率的增长,材料和能源的节约,以及产品质量的提高。

为了机械制造业的工艺不断地进步,需要企业的工程技术人员科学地提出解决工艺问题的方法和全面了解最先进工艺过程领域内的工业成就。近年来出版了一些在机械制造工艺学某个领域方面具有重大价值的书籍、教科书和参考书:《机械装配生产工艺学》、《切削加工工艺学》、《整体模压和板材冲压》、《铸造和焊接生产工艺学》等。但尚缺少在钢的热处理工艺方面的书籍,此书应该包括主要的理论基础和在此基础上论述在工业各个部门中所采用的具体工艺过程。

前几年,仅在热处理工艺学的个别问题上出版了一些书籍。其中有尤·姆·拉赫金和雅·德·柯甘的《钢的氮化》,克·兹·舍彼雅戈夫斯基的《机械零件的感应加热强化》,伊·斯·柯兹洛夫斯基的《齿轮渗碳》等。还出版了一些手册,其中有享有盛名的阿·阿·施梅柯夫的《热处理工作者手册》。但是,这本手册未能包括热处理工艺学的所有问题,并且需要作重大的修改,同样地《五金工人手册》第二卷也远远没有包括所有热处理工艺学。

在许多全苏科学技术会议和讨论会上工程技术界不只一次提出要求,在热处理工艺学方面出版一本具有重大价值的手册,在该手册中应从高度科学水平上来讨论工艺过程,尤其是在远景规划中考虑到当前的要求。

但是,出版这样全面的著作是十分复杂的任务。同一工艺过程在不同工业部门中可按不同方法来实施,因为工艺规范是与许多因素有关:所采用的设备、材料和生产规模等。四十五年前,

著名苏联学者恩·阿·米盖维奇成功地出版了包括《钢铁的性能、热处理和应用》三个部分的巨大著作，但是，目前在理论和工艺飞速发展情况下，这个出版任务只能由作者集体来完成。这本书以《机械制造中的热处理》手册形式出版是最合适的，由于出版这本手册的倡议者——机械制造业科学技术协会的《金属学及热处理》学组在工矿企业，科学研究所和高等院校中主要吸收了有高度技术和丰富经验的一些专家中的积极分子参加编写，而使这本书出版成为可能。

本手册中科学地介绍了有关钢件热处理工艺过程的基础材料。按各个工业部门来讨论热处理工艺过程：汽车、拖拉机和农业机械、机床制造、化工机械制造、重型和电力机械制造以及工具生产，这是由于各不相同的服役条件、不同的生产规模等原因，而使各个工业部门对同一产品提出不同的要求。

苏联工业中最广泛采用的具体工艺过程及其更进一步发展的远景方向是与现代热处理工艺学基础理论的状况相适应的。

目 录

前言	ix
第 1 章 结构强度(A.П. 古利亚耶夫著)	1
一、强度的性质	1
二、断裂	4
三、冲击韧性	8
四、线弹性断裂力学标准	11
五、耐用度	16
六、热处理和组织对强度、可靠性和耐用度的影响	18
第 2 章 钢和合金在热处理时的相变和组织转变(A.П. 古利亚耶夫著)	30
一、相变热力学	30
二、铁-碳状态图	30
三、铁-杂质、铁-合金元素状态图	36
四、相变动力学	40
五、热处理分类	41
六、钢的热处理种类	43
七、钢中组织转变	44
八、加热时钢中转变	44
九、冷却时奥氏体的转变	46
十、回火时淬火钢的转变	58
十一、合金元素对钢中组织和转变的影响	60
十二、不进行同素异构转变铁合金的热处理	65
第 3 章 热处理工艺过程的一般原则(B.Г. 沃罗勃耶夫著)	68
一、总则	68
二、完成热处理工序过程和方法的分类	69

三、热处理在生产过程中的地位和作用	79
第 4 章 钢在热处理时加热过程的工艺基础 (M.Б. 古特曼, A.Б. 阿连达尔丘克 著)	87
一、加热规范和热计算方法	87
二、炉料种类和加热计算模型的选择	89
三、薄料的加热	94
四、厚料的加热	102
五、加热精度	115
第 5 章 热处理工艺过程的设计 (B.П. 卡利宁 著)	117
一、热处理过程的设计——生产工艺准备部分	117
二、工艺过程的典型化	121
三、热处理工艺过程选择的经济基础	132
第 6 章 可控气氛 (A.A. 什梅科夫 著)	138
一、可控气氛的特性	138
二、各种类型平衡可控气氛的特性	164
三、制取可控气氛的方法与装置	174
四、工艺过程的要求及可控气氛的应用介绍	188
五、对可控气氛炉的结构及其使用的要求	192
六、可控气氛的安全操作	194
第 7 章 淬火冷却介质 (M.E. 勃兰捷尔 著)	195
一、冷却过程的定量评述	195
二、简单形状物体的冷却速度和淬透性	198
三、复杂形状物体的冷却速度	205
四、冷却介质	207
第 8 章 预先热处理工艺学 (B.A. 卡勒涅尔 著)	219
一、预先热处理的分类	219
二、预先热处理的工艺任务及其在生产中的实施途径	220
三、改善合金加工性能的预先热处理	221
四、提高成品件尺寸精度的预先热处理	234
五、提高成品件性能的预先热处理	240

六、依靠预先热处理时形成亚结构强化金属·····	243
七、以利用过剩相质点为基础的预先热处理·····	244
第 9 章 钢在热处理时的变形及其防止方法(B.Γ. 沃罗勃耶夫著) ·····	251
一、零件几何形状自发变化(自变形)的分类·····	252
二、热处理时产生自变形的原因·····	252
三、钢在淬火回火时比容的变化·····	254
四、自变形的各向异性·····	256
五、工件形状和尺寸的影响·····	257
六、被处理工件形状固定方法的理论基础·····	265
七、热处理时在应力作用下钢的相变超塑性的规律性···	268
八、变形工件的矫正·····	277
九、在残余应力作用下产生的自变形·····	280
第 10 章 钢的感应加热热处理工艺学(K.3. 舍佩利亚科夫斯基著) ·····	285
一、感应加热的物理基础和特点·····	288
二、钢在感应加热时的表面淬火工艺·····	302
第 11 章 钢的化学热处理基本工艺(Ю.М. 拉赫金, И.С. 科兹洛夫斯基著) ·····	325
一、钢的化学热处理概论·····	325
二、渗碳、碳氮共渗及氰化·····	359
三、氮化·····	386
四、渗硼·····	412
五、用金属和非金属扩散饱和钢·····	419
六、渗硅·····	437
第 12 章 工具钢的热处理(B.A. 勃罗斯特列姆著) ·····	440
一、原始(退火)状态下的工具钢的组织特点、碳化物相及金属间相·····	441
二、工具钢的预先热处理·····	448
三、工具的淬火——对淬火钢组织的要求·····	449

四、工具的回火——回火对工具钢的组织 and 性能的影响.....	458
五、工具钢最终热处理时的工艺特点.....	462
六、工具钢最终处理(磨削后化学热处理、回火)的原理及目的.....	465
七、工具钢的热处理缺陷.....	467
第 13 章 机械制造形变热处理工艺学(М.Л. 别尔恩什京, В.М. 波瓦尔 著).....	469
一、形变热处理时钢的强化机理.....	469
二、轧制强化形变热处理在机械制造中的应用.....	470
三、机械制造中零件表面形变热处理强化.....	473
第 14 章 焊接热处理工艺学基础(Л.С. 利夫希茨著).....	489
一、在焊接时热变形循环及其对焊接区残余应力和组织转变的影响.....	489
二、焊接热处理.....	499
三、焊接热处理的加热方式.....	508
第 15 章 热处理过程的自动化(Г.С. 伊奥内切夫著).....	511
一、热处理工艺过程自动化的主要形式.....	511
二、自动检测和调节系统的一次仪表.....	512
三、自动检测和调节系统的二次仪表.....	520
四、测量可控气氛碳势的仪器和装置.....	525
五、调节装置.....	526
六、执行机构.....	528
七、辐射高温计.....	530
八、自动调节系统.....	533
九、自动调节和多回路系统与自动调节的组合.....	539
十、工业机械手.....	540
十一、时间继电器.....	540
第 16 章 现代热处理炉和机组设备(Р.П. 舒宾著)	542
一、对热处理设备的主要技术要求.....	542

二、通用型热处理设备·····	559
三、热处理机组设备·····	582
四、保证自动化热处理设备工作的辅助设备·····	594
第 17 章 机床制造中的热处理工艺学(A.Я. 诺维科娃, E.3. 罗宾娜著) ·····	599
一、整体淬火·····	603
二、感应加热表面淬火·····	611
三、化学热处理·····	613
四、稳定化热处理·····	620
第 18 章 汽车制造中的热处理工艺学(B.Д. 卡勒涅尔著) ···	628
一、可控气氛·····	628
二、淬火介质·····	632
三、钢坯的热处理·····	630
四、在高度机械化和自动化生产条件下驱动桥减速器和 变速箱的零件,以及底盘小零件的热处理 ·····	643
五、标准件和连接件的热处理·····	652
六、汽车弹性构件的热处理·····	657
七、机械装配生产作业线上的热处理·····	661
第 19 章 拖拉机和农业机械制造中零件的热处理工艺学(C.C. 伊斯哈科夫著) ·····	671
一、小零件的热处理·····	671
二、扁平零件和环的热处理·····	679
三、齿轮的化学热处理·····	685
四、曲轴的热处理·····	692
五、拖拉机行走部分零件的热处理·····	696
六、整地机械零件的热处理·····	698
第 20 章 轴承工业中的热处理工艺学(И.И. 特鲁索娃著) ···	701
一、轴承钢和生产轴承零件毛坯的方法·····	701
二、轴承零件锻件的热处理·····	706
三、ШХ15、ШХ15СГ、ШХ20СГ钢制轴承零件的热处	

理.....	709
四、20X2H4A、18XIT、15Г 渗碳钢制轴承零件的化学 热处理和热处理.....	717
五、耐腐蚀钢制轴承零件的热处理.....	725
六、耐热钢制轴承零件的热处理.....	727
第 21 章 大锻件热处理工艺学的基础(Ю.А. 巴什宁著)	729
一、大锻件生产和热处理的特点.....	729
二、大锻件在热处理过程中的温度场和应力场.....	733
三、大锻件中的氢.....	745
第 22 章 重型机械制造中零件的热处理工艺学(А.А. 阿斯塔 弗耶夫, И.А. 鲍里索夫, А.А. 尤尔根松著).....	752
一、一般用途的锻件热处理.....	752
二、动力机组的大零件热处理工艺.....	764
三、锻压设备零件的热处理.....	786
第 23 章 化工机械制造中热处理工艺学(М.Б. 沙皮罗著) ...	794
一、概述.....	795
二、碳钢和低合金钢制设备及其部件的热处理.....	797
三、耐蚀钢制设备及其部件的热处理.....	798
第 24 章 仪表制造中热处理工艺学(А.Г. 拉赫斯塔德特, Л.Ш. 卡扎尔诺夫斯基, А.В. 苏波夫, О.М. 霍沃娃 著)	817
一、仪表结构零件热处理工艺学.....	817
二、仪表弹性元件热处理工艺学.....	830
三、磁性材料制零件热处理工艺学.....	850
第 25 章 模具热处理工艺学(Л.С. 克列姆涅夫, Т.Г. 萨加杰耶 娃著)	866
一、热变形模具用钢.....	866
二、冷变形模具用钢.....	867
三、大型模具热处理工艺学.....	875
四、更换的模具热处理工艺学.....	884

五、	模具处理的缺陷·····	886
第 26 章	切削工具热处理工艺学(E.A. 斯莫勒尼科夫著) ···	889
一、	切削工具用钢·····	889
二、	切削工具毛坯预先热处理·····	890
三、	工具的淬火·····	895
四、	工具的回火·····	909
五、	在热处理时工具的净化方法·····	913
六、	在热处理时工具的校直·····	913
七、	成品工具的补充热处理·····	914
附 录	结构钢(A.M. 基姆-亨金娜 著)·····	915

结 构 强 度

结构强度——结构的、冶金、工艺的和使用的诸因素的结构材料强度。它是用构件的可靠性、耐用度和经济性的主要质量指标作为表征。

因此，结构强度是强度、可靠性和耐用度相配合的综合概念。热处理是提高上述结构强度所有指标的有效方法。

一、强 度 的 性 质

施加载荷会引起变形。在开始加载的顷刻，如果不伴随相(或组织)的变化，则它只引起弹性(可逆)变形。

在达到某一应力值之后(变形的测量越粗糙，此值越大)，变形(部分的)立刻成为不可逆的(塑性变形)，此时可见金属结构及其性能都发生了不可逆的变化。

变形与应力的关系可以用所谓的拉伸图来表示(拉伸可以用其它变形方式来代替，此时不会引起带原则性的变化)，此图赋予许多有关

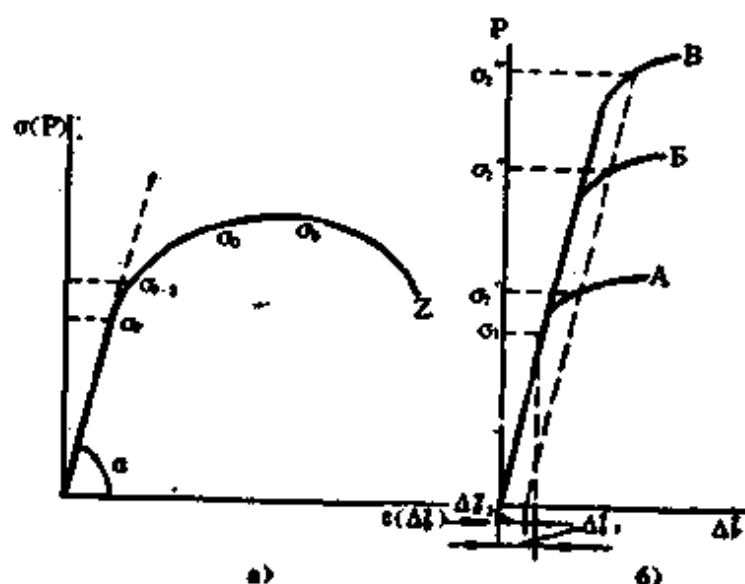


图 1-1 拉伸示意图

材料强度的信息(图 1-1a)。

在图上的纵坐标为条件应力: $\sigma = P/F_0$ (公斤力/毫米²), 式中 P 为力, F_0 为初始截面; 而横坐标为相对变形量 $\varepsilon = \Delta l/l$, 式中 Δl 为长度的增量, l 为原始长度。

直线倾斜正切角 $\operatorname{tg} \alpha = \sigma/\varepsilon = E$ 为正弹性模量(公斤力/毫米²), 它表征为材料的刚度(抵抗弹性变形的能力), 它取决于原子间相互作用力, 首先近似地与金属的熔点有关。由于合金化和热处理对熔点的影响很小, 所以正弹性模量可以看作为组织不敏感的指标。所有钢的 $E \cong 2 \times 10^4$ 公斤力/毫米², 铝合金的 $E \cong 0.7 \times 10^4$ 公斤力/毫米²。

弹性极限(或比例极限)是 σ 与 ε 之间的比例关系被破坏时的条件应力。为了达到工程上的目的(除弹性元件外), 与比例关系稍有偏差不被认为是重要的, 并且通常规定永久不可逆变形 $\varepsilon_{\text{塑}}$ 为 0.2% (有时给予其它数值)时开始塑性变形。 $\varepsilon_{\text{塑}} = 0.2\%$ 的条件应力称屈服极限(记为 $\sigma_{0.2}$), 它表示材料抵抗少量塑性变形的能力(精确地说, 此应力表示材料不能只是弹性变形的极限状态)。

$\sigma_{0.2}$ 和稍大于此值时的塑性变形是以位错运动决定的滑移(或孪生)机制来实现的。位错运动导致位错增多, 其结果是获得强化($\sigma_{0.2}$ 升高)。

应力增加到大大超过 $\sigma_{0.2}$, 并且位错相当聚积导致材料处于滑移变形能力较小的状态; 在材料中产生了不完整性(孔隙), 其数量和尺寸是按变形的更进一步发展而增大, 它并不伴随着强化。这种残余变形的形式称为破坏(деструкция), 出现破坏的应力表示为 σ_D 。

弹性和塑性(滑移和破坏)变形沿长度(在拉伸时)均匀地进行, 一直进行到还没有被局部变形取代之前。所谓的极限强度(或强度极限)发生于条件应力达最大值的点(σ_b)。

当应力大于 σ_b 时, 曲线向下, 这证实了变形(局部的)比应力增长的速度要快。由于在 σ_b 点后面(在塑性材料中)截面(局部

地)被剧烈收缩,则在最细处的真实应力 S 比条件的或名义的 σ 值要大得多($S=P/F_z$, 式中 F_z ——变形瞬时的截面)。真实应力在 Z 点(试样最终断裂时)达最大值。但是根据拉伸图所确定的在拉断瞬间的真实应力 S_K 是没有工程和物理意义的,因为 Z 点的位置取决于试验条件(拉伸机的刚度,变形速度),而几何截面 F_z 不合乎实际需要,因为破坏在缩颈部位已强烈地被发展。

用变形极限值来表征材料的塑性,即表示试样拉断时长度变化的相对延伸 δ 和断裂部位截面变化的相对收缩 ψ ($\psi = \frac{F_0 - F_z}{F_0}$)。总的延伸是由均匀伸长 δ_s 和集中伸长 δ_b 所组成,即由达到 σ_s 之前和之后的变形所组成。

因此,弹性模量 E 是刚度指标;强度指标是 $\sigma_{0.2}$, σ_B , σ_s ; 塑性指标是 δ , δ_s , ψ 。

韧性断裂材料的试样尺寸增大(称为尺寸因素)实际上不影响刚度和强度指标,但明显影响塑性指标:当试样长度(l/d 比值)增加时, δ 减小,而 ψ 却随截面绝对尺寸增加而减小。变形速度增大将使强度增高和塑性降低。

对于高强度和低塑性的材料($\sigma_s > 150$ 公斤力/毫米², $\psi < 40\%$)而言,标准拉伸试验给出不稳定的数据。

弹性模量 E 和屈服极限 $\sigma_{0.2}$ 是确定容许载荷的计算定额。根据 E 值可以确定保持一定数值的弹性变形时的应力;根据 $\sigma_{0.2}$ 值可确定不能发生残余变形的应力。

如果容许应力受弹性变形值限制(刚性结构),则强化(譬如热处理提高屈服极限或强度极限)不会导致工作应力增加和制件的质量减少。假设弹性变形不超过 $\Delta \epsilon_1$ 值(图1-16),则强度较高的B和B钢并不一定比强度较低的A钢优越。对于这三种钢计算应力等于 σ_1 。

但是,如果在给定的残余变形 $\Delta \epsilon_2$ 条件下,应力大小受到限制,则钢的强度越高,它可容许的工作应力($\sigma'_2 < \sigma''_2 < \sigma'''_2$)越大。