

声 明

本电子书由中国农业出版社数字出版，相关权利归中国农业出版社拥有。读者、著作权人和（或）依法可以行使著作权的权利人如有疑问，请与中国农业出版社联系：

地址：北京市朝阳区麦子店街 18 号楼

邮编：100026

电话：010-64194921 010-65005894

E-mail:lishanzhao@sina.com

中国农业出版社

全国高等农业院校试用教材

金属材料及热处理

北京农业机械化学院主编

农业专业用

农业出版社

全国高等农业院校试用教材

金属材料及热处理

北京农业机械化学院 主编

农业机械化专业用

农业出版社

前 言

本教材是根据一九七七年十二月高等农业院校教学计划会议精神，为农业机械化专业而编写的，也供农机各类专业使用。

本教材结合农机类专业的目的要求和特点，介绍有关金属学及热处理的基本原理和热处理工艺的基本知识。其主要目的是使学生在实践的基础上，了解金属材料的化学成分、组织与性能之间的关系及变化规律，并利用这些规律，改善金属的性能，合理地选择材料和使用材料。在内容和章节的安排上，先介绍金属的基本知识和热处理原理，然后按碳钢、合金钢、铸铁、有色金属的顺序依次讲述，并适当地反映了新材料、新工艺、新技术，最后还对农机典型零件的材料选择和热处理方案进行分析，使理论尽可能的结合专业实际，由浅入深，循序渐进。在叙述中，力求运用辩证唯物主义的观点，以培养学生的分析问题和解决问题的能力。

参加本教材大纲制订和审稿的有：广西农学院、山东农业机械化学院、山东农学院、内蒙古农牧学院、云南农业大学、东北农学院、甘肃农业大学、江西共产主义劳动大学、吉林农业大学、吉林农业机械化学校、北京农业机械化学院、华中农学院、华南农学院、西南农学院、西北农学院、沈阳农学院、青海工农学院、河南农学院、河北农业大学、浙江农业大学、黑龙江八一农垦大学、湖南农学院、福建农学院、新疆八一农学院。

绪论、第四、八章由北京农业机械化学院农绍华同志编写；第二、十章由福建农学院王维君同志编写；第五、六、七章由西北农学院吴希绣同志编写；第三、九章由青海工农学院徐集榆同志编写；第十、十一章由湖南农学院尹显英同志编写。参加定稿的除以上编写同志外，还有广西农学院黎悠麟同志、北京农业机械化学院管光昌、朱佩君同志、福建农学院洪亚阔同志。

在编写过程中，曾得到有关单位和同志的大力支持，并提供许多资料。在此，谨向在编写过程中给予我们热情帮助的单位 and 同志表示诚挚的感谢！

由于我们水平有限，实践经验不多，兼编写时间仓促，书中一定存在很多缺点和错误，恳请读者批评指正。

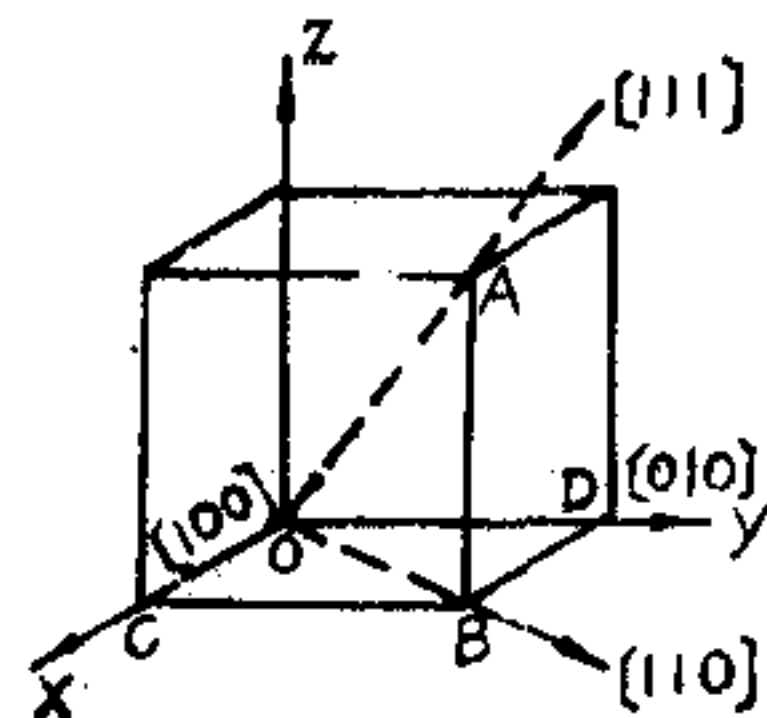
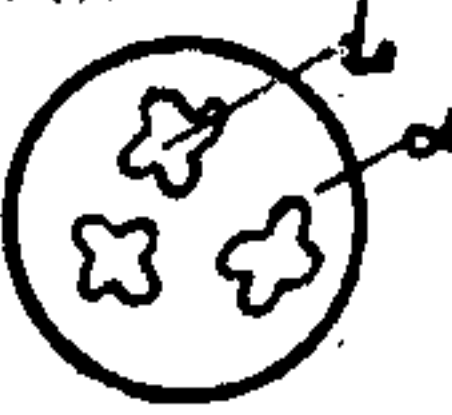
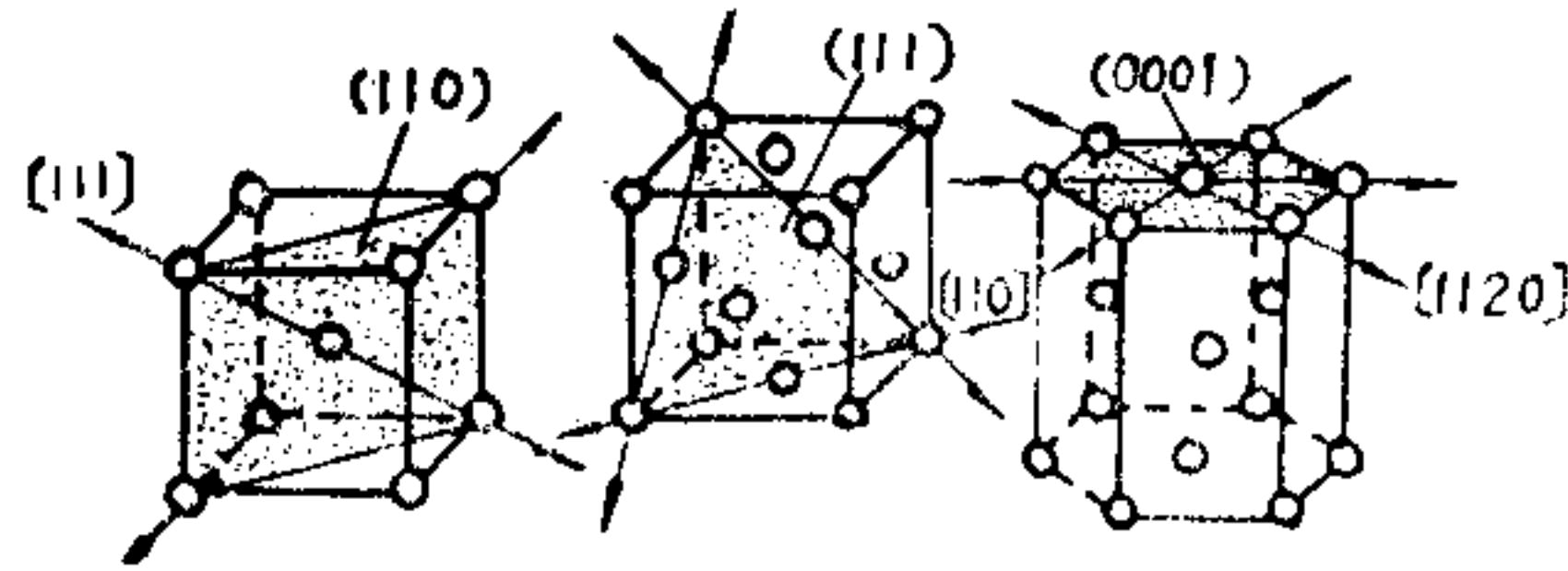
《金属材料及热处理》编写小组

1979.1.15于北京

附录 常用符号表

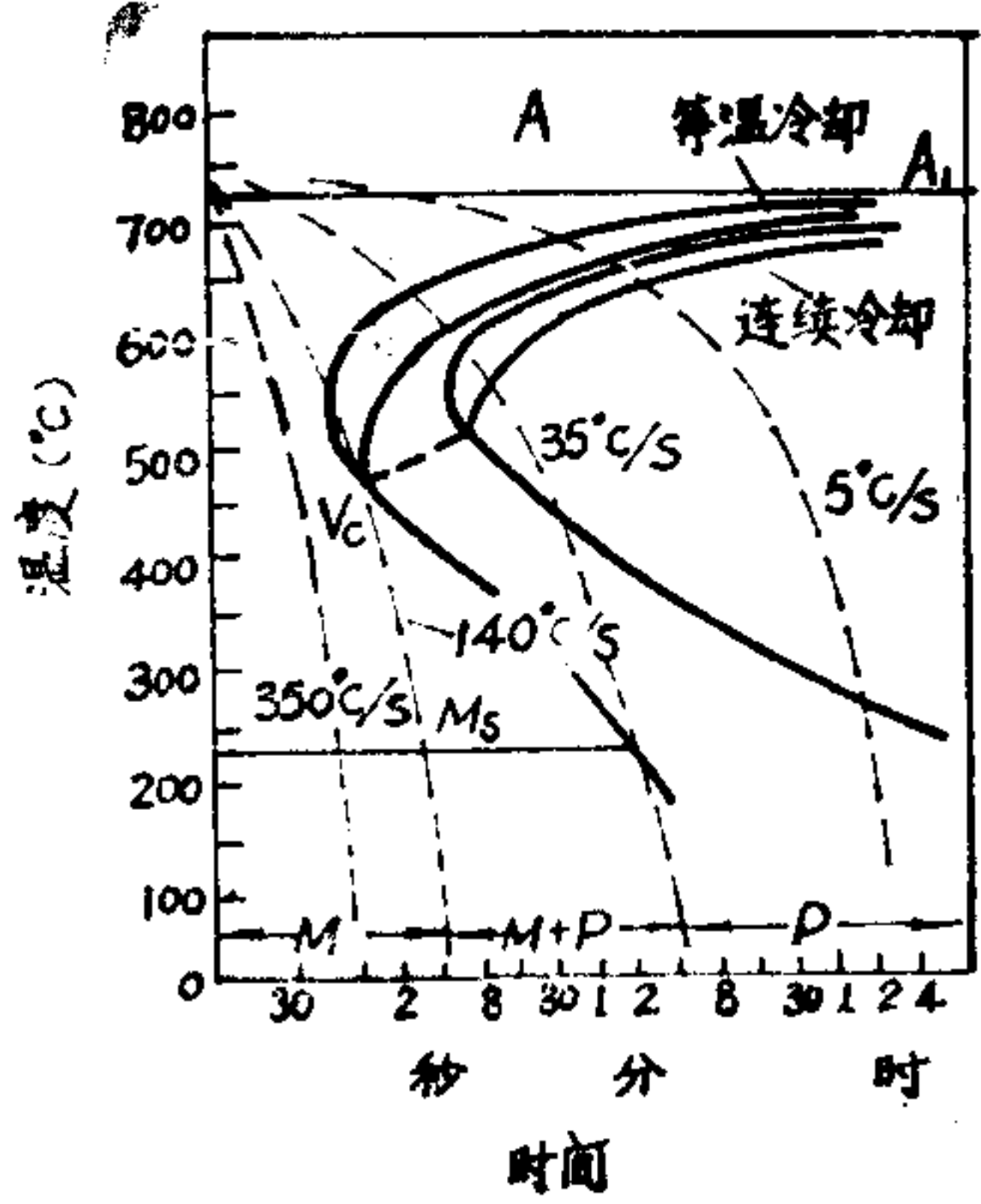
A —奥氏体	M_s —马氏体转变开始温度 ($^{\circ}\text{C}$)
A' —残余奥氏体	min—时间单位 (分钟)
$\text{\AA}$ —埃 (10^{-8}cm)	N —循环次数
A_{c1} —加热时的临界点温度 ($^{\circ}\text{C}$)	P —珠光体
A_{c3} —亚共析钢加热时的临界点温度 ($^{\circ}\text{C}$)	Re—稀土元素镱
A_{cm} —过共析钢加热时的临界点温度 ($^{\circ}\text{C}$)	S —时间单位 (秒钟)
A_k —冲击功 ($\text{kg}\cdot\text{m}$)	S —索氏体
α_K —冲击韧性 ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$)	T —温度 ($^{\circ}\text{K}$)
A_{c1} —冷却时的临界点温度 ($^{\circ}\text{C}$)	T —屈氏体
A_{c3} —冷却时的临界点温度 ($^{\circ}\text{C}$)	t —温度 ($^{\circ}\text{C}$)
B —贝氏体	Δl —变形量 (mm)
E —弹性模数 (kg/mm^2)	δ —延伸率 (%)
F —铁素体	ε —应变 (%)
f —挠度 (mm)	σ —应力 (kg/mm^2)
G —石墨	σ_{-1} —对称弯曲应力的疲劳极限 (kg/mm^2)
HB—布氏硬度	σ_b —抗拉强度 (kg/mm^2)
HRA—洛氏A标度硬度	σ_{bb} —抗弯强度 (kg/mm^2)
HRB—洛氏B标度硬度	σ_{bc} —抗压强度 (kg/mm^2)
HRC—洛氏C标度硬度	σ_e —弹性极限 (kg/mm^2)
HV—维氏硬度	σ_p —比例极限 (kg/mm^2)
K_{Ic} —断裂韧性 ($\text{kg}/\text{mm}^{\frac{3}{2}}$)	σ_s —屈服点 (kg/mm^2)
L —液相	$\sigma_{0.2}$ —屈服强度 (kg/mm^2)
L_d —莱氏体	τ —切应力 (kg/mm^2)
M —马氏体	ψ —断面收缩率 (%)
M_f —马氏体转变终了温度 ($^{\circ}\text{C}$)	

《金属材料及热处理》勘误表

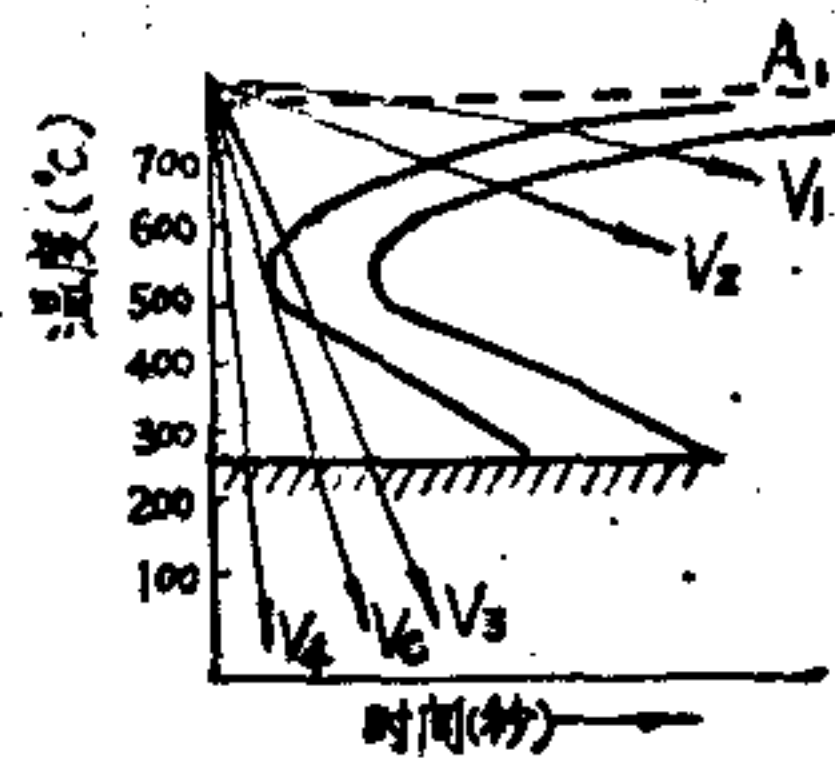
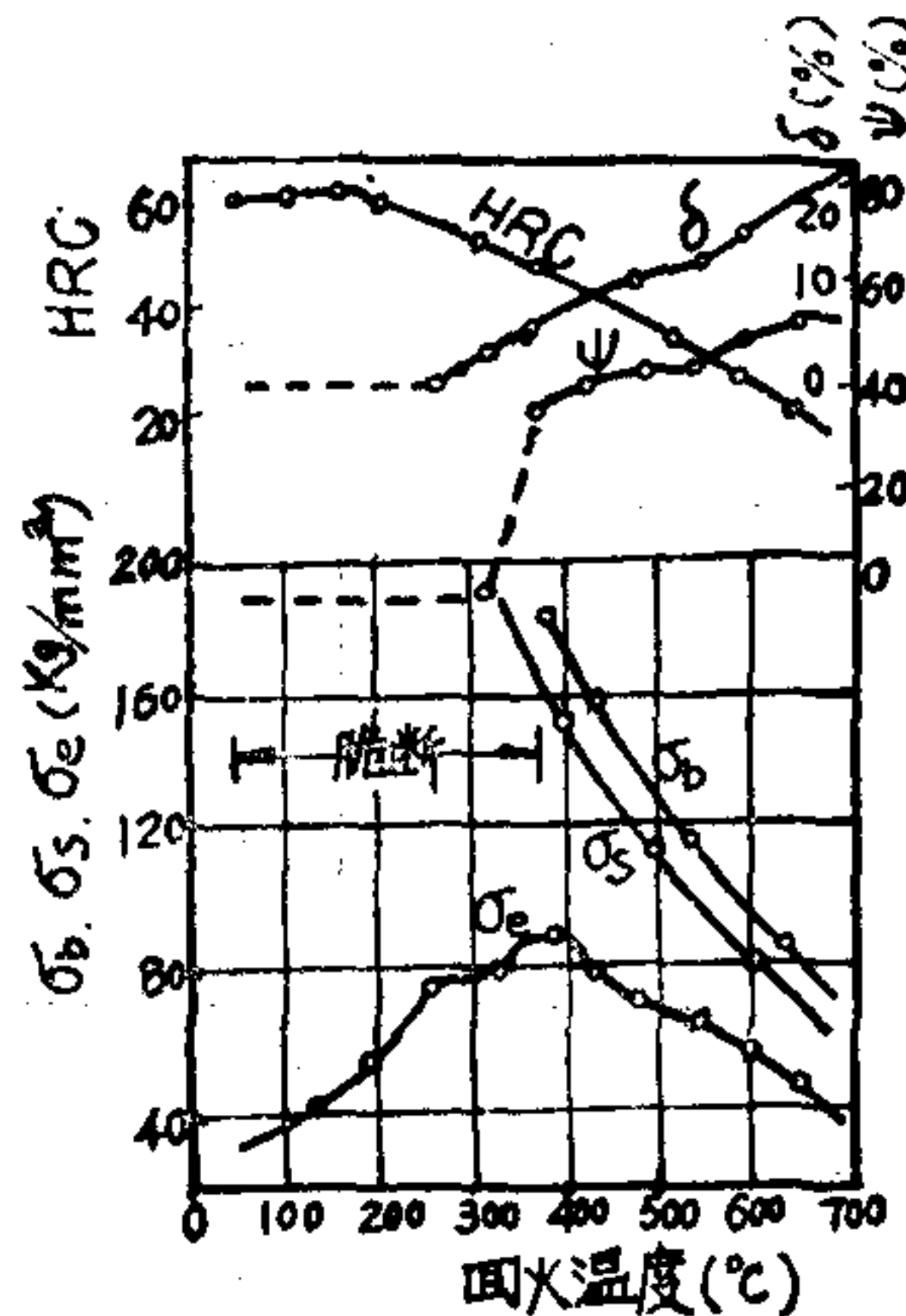
页数	行 数	误	正
9	图 1—5	δ $\delta_{\max}$ $\delta_{\min}$	σ $\sigma_{\max}$ $\sigma_{\min}$
	图 1—6	δ δ_{-1}	σ σ_{-1}
11	图 1—7	δ 2α	σ $2a$
12	第4、7、18行	d	a
13	第5行	物质	金属
14	第3、4行	T_1	T_n
15	倒数第5行	毫米	厘米
16	图 2—7	$1/s \cdot \text{mm}^3$ mm/s	$1/s \cdot \text{cm}^3$ cm/s
18	图 2—10 第10行	$[110]$ 、 $[111]$ 、 $[010]$ $[110]$	(110) 、 (111) 、 (010) (110)
18	图 2—11		
29	第4行 图 2—32	如图 2—32所示 合金Ⅱ的冷却曲线	如图 2—34所示 合金Ⅳ的冷却曲线
30	第4行 第5行 图 2—34 倒数第6行	5. 过共晶合金 (合金Ⅵ) 如图 2—34所示 合金Ⅵ的冷却曲线 匀晶状态图	5. 共过共晶合金 (合金Ⅳ) 如图 2—32所示 合金Ⅱ的冷却曲线 匀晶状态图
31	第9行 图 2—37	即表示固、液相 	即表示液相、固相 
39	图 3—1	δ	σ
41	图 3—6 18行 19行	 $(\bar{1}\bar{1})$ $(\bar{1}\bar{1})$	  $(\bar{1}\bar{1})$ $(\bar{1}\bar{1})$

(续)

页数	行 数	误	正
42	倒数第 8 行	P_r	P_r
42	倒数第 5 行 图 3—7	$\tau = \frac{P \cos \lambda \cdot \cos \alpha}{F / \cos \phi}$ 滑移面 F	$\tau = \frac{P_r \cdot \cos \lambda \cdot \cos \alpha}{F / \cos \phi}$ 滑移面 F'
46	图 3—17		$\begin{array}{c} \sigma \quad B' \quad B \quad \sigma \quad C \\ \oplus \longleftrightarrow \oplus \quad + \rightarrow \leftarrow \oplus \end{array}$
49	第 23 行	热变化	热变形
57、58		文字中所有的“浓度”	“碳浓度”
59	第 7 行 第 4 行 第 1 行	正好碳为 0.77% GS 铁素量	正好为 0.77% 碳 GP 铁素体量
61	图 4—20		
62	图 4—21		
72	第 1 行	铁的碳	铁中的碳
74		热处理 { 普遍热处理	热处理 { 普通热处理
75	图 5—2	F_B	F_P
81	图 5—10	$M + A$	$M + A'$
91	图 5—25		



(续)

页数	行	数	误	正	
92	图 5—27				
101	图 5—44		°	%	
102	图 5—46				
105	图 6—1	王求化退火	球化退火		
111	表 6—1	碳 钢	直径>50mm 直径<50mm	碳 钢	直径<50mm 直径>50mm
		合金钢	直径>50mm 直径<50mm	合 金 钢	直径<50mm 直径>50mm
117	倒数第12行 倒数第 5 行	强度、塑性下降 球状	强度下降 粒状		
161	图 8—10	0° M ₀	0% M ₀		
172		弹性比功 = $\frac{1}{2}\sigma_e$ $\epsilon = \frac{\sigma_e^2}{2E}$	弹性比功 = $\frac{1}{2}\sigma_e \times \epsilon = \frac{\sigma_e^2}{2E}$		
189	图 8—30	A %	A' %		
	图 8—31	A %	A' %		
192	表 8—12	W _i	W		
198		$L_{0.45} \xrightarrow{C'D'}$	$L_{4.5} \xrightarrow{C'D'}$		

(续)

页数	行 数	误	正
199	图 9—4		
208	第 15 行	表 9—4	表 9—3
211	表 9—5	等温淬火球铁的机械性能	等温淬火球铁和常规热处理 20CrMnTi 的机械性能对比
215	第 6 行	铝合金	形变铝合金
217	第 20 行	$(\alpha + \beta)$	$(\alpha + \text{Si})$
218	第 2 行 表 10—1	$(\alpha + \beta)$ 用途 机油汽器体精 拖拉机滤缸活塞	$(\alpha + \text{Si})$ 用途 机油滤清器壳体等 拖拉机汽缸活塞等
221	图 10—9		a、b 二个图对调
226	第 13 行	铁素加石墨	铁素体加石墨
228	第 3 行	关键是	关键之一是
238	表 11—4	高力中耕机铲	畜力中耕机铲

目 录

绪论	1
第一章 金属材料的机械性能	3
第一节 机械零件的失效形式	3
第二节 金属材料的机械性能	5
一、弹性和刚度	5
二、强度	7
三、塑性	8
四、硬度	8
五、疲劳强度	8
六、冲击韧性	9
七、断裂韧性	11
第二章 二元合金状态图	13
第一节 金属的结晶和晶体结构	13
一、纯金属的结晶	13
二、金属的晶体结构	17
三、实际金属的晶体结构	19
第二节 合金的结构	22
一、合金的基本概念	22
二、合金的基本结构	22
第三节 二元合金状态图	25
一、二元合金状态图的建立	25
二、Pb—Sb 合金状态图	26
三、二元合金状态图的基本类型	30
四、二元合金状态图的分析法	36
五、合金的性能与状态图类型的关系	37
第三章 金属的塑性变形	39
第一节 金属塑性变形的机理	39
一、单晶体的塑性变形	39
二、多晶体的塑性变形	43
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	44
一、组织的变化	44
二、性能的变化	45
三、内应力的形成	46
第三节 再结晶退火和热变形	47
一、变形金属在加热时组织和性能的变化	47

二、热变形	49
三、钢锭的热变形	49
第四章 铁碳合金	51
第一节 铁碳合金的基本知识	51
一、纯铁的性能	51
二、铁碳合金的基本组织与性能	53
第二节 铁碳合金状态图	55
一、Fe—Fe ₃ C 合金状态图分析	55
二、典型合金的结晶过程及其组织	57
三、钢铁的区分	63
四、Fe—Fe ₃ C 合金状态图的实际意义	63
第三节 碳钢	65
一、碳对碳钢组织及性能的影响	65
二、杂质对碳钢组织和性能的影响	65
三、碳钢的选用	66
四、碳钢分类和牌号	67
第五章 钢的热处理原理	73
第一节 钢在加热时的转变	74
一、奥氏体的形成过程	75
二、奥氏体晶粒的大小	77
第二节 钢在冷却时的转变	80
一、钢的奥氏体等温转变	80
二、钢的奥氏体连续冷却转变	90
三、钢的奥氏体等温转变曲线的应用	91
第三节 马氏体的转变	92
一、马氏体的晶体结构	92
二、马氏体形态	93
三、马氏体性能与淬火钢的性能	94
四、马氏体转变的特点	96
第四节 钢在回火时的转变	98
一、回火时钢的组织转变	98
二、回火转变后的组织与性能	100
第六章 钢的热处理工艺	104
第一节 钢的退火与正火	104
一、钢的退火	104
二、钢的正火	106
三、退火与正火的选择	108
第二节 钢的淬火与回火	108
一、钢的淬火工艺	109
二、钢的回火工艺	117
第三节 钢的淬透性	118
一、淬透性的概念	118
二、淬透性的测定与表示方法	119

三、影响零件淬硬层深度的因素	121
四、钢的淬透性在选材中的作用	122
第四节 提高钢的强韧性途径	123
一、位错型马氏体的扩大应用	124
二、等温淬火	124
三、奥氏体晶粒超细化和碳化物超细化	125
四、复合组织的利用	125
五、形变热处理	126
第五节 钢在热处理时的缺陷	128
一、钢的氧化与脱碳	128
二、变形和开裂	130
第六节 零件结构的热处理工艺性	132
第七章 钢的表面热处理	134
第一节 钢的表面淬火	134
一、火焰加热表面淬火法	134
二、感应加热表面淬火法	135
第二节 钢的表面化学热处理	140
一、钢的渗碳	140
二、钢的氮化	145
三、钢的氰化	149
四、其他化学热处理	149
第八章 合金钢	152
第一节 合金钢总论	152
一、概述	152
二、合金钢的分类	153
三、合金钢的编号方法	153
四、合金元素在钢中的作用	154
五、合金元素对 Fe—Fe ₃ C 状态图的影响	156
六、合金元素对热处理的影响	157
第二节 合金结构钢	162
一、对合金结构钢的性能要求	162
二、合金结构钢的合金化	163
三、合金结构钢	165
第三节 合金工具钢	180
一、刃具钢	180
二、模具钢	187
三、量具钢	191
第四节 特殊性能钢	193
一、耐磨钢	193
二、不锈钢	193
三、耐热钢	194
第九章 铸铁	196
第一节 白口铁和灰口铁	196

一、双重状态图	196
二、石墨化和铸铁的组织	199
三、灰口铁的性能	200
四、灰口铁的牌号和应用	201
五、灰口铁的热处理	202
第二节 可锻铸铁	203
第三节 球墨铸铁	204
一、球铁的组织 and 性能	205
二、球铁的牌号	208
三、球铁的热处理	209
第四节 特殊性能铸铁	212
一、耐磨铸铁	212
二、耐热铸铁	212
第十章 有色金属及粉末冶金材料	214
第一节 铝及铝合金	214
一、纯铝	214
二、铝合金	214
第二节 铜及铜合金	219
一、纯铜	219
二、黄铜	219
三、青铜	221
第三节 轴承合金	223
一、对轴承合金的性能要求	223
二、锡基轴承合金	223
三、铅基轴承合金	224
四、铜基轴承合金	224
五、铝基轴承合金	224
第四节 粉末冶金材料	225
一、粉末冶金工艺概述	226
二、粉末冶金的应用	226
第十一章 农业机械典型零件的材料选择	228
第一节 选材的基本原则	228
一、考虑材料的机械性能	228
二、考虑材料的工艺性能	229
三、考虑材料的经济性	230
第二节 典型零件的材料选择、热处理及工艺路线分析	230
一、齿轮	231
二、曲轴、连杆	233
三、犁铧及收割机刀片	236
第三节 热处理工艺的编制	239
一、编制热处理工艺的原则	239
二、设计零件与热处理的关系	240
附录 常用符号表	242

绪 论

《金属材料及热处理》是研究金属和合金的化学成分、内部构造与性能之间的关系以及利用金属内部的组织转变规律以改善材料性能的一门科学。

金属材料及热处理和其他学科如物理、化学、材料力学、压力加工、铸造、焊接、切削加工、机械零件（设计）等课程有着极密切的关系，而它本身又成为有关机械设计制造等课程的基础。

金属材料由于它具有许多优良的性能，又兼它的矿藏丰富，因而金属在现代的机械制造业、国防工业、冶金工业、交通运输、轻工业和农业机械中获得广泛的应用。如果没有金属学的基本知识，就不可能正确地选用机器零件材料。

热处理技术在机械制造中，也占有十分重要的地位。先进的热处理方法，能大幅度地提高产品的质量，使一个零件顶几个用，一台机器顶几台用。可以节约大量的钢材、燃料、电力，为国民经济和国防建设各部门提供高质量、寿命长的现代化装备。对实现四个现代化具有重要的现实意义。

农业机械的绝大部分（90%以上）零部件都是用金属材料制成的。作为一个农业机械工程技术人员，无论从事农机设计制造、运用修理，或者科学研究，会遇到材料的选择和热处理问题。一个农机工作者，若能合理地选择材料，并会考虑热处理工艺，那么就能提高零件的使用寿命，给国家创造财富。否则，就会给国家造成极大的浪费。

在目前的修造厂中，仍然有一些零件的修复工艺，如焊接修复（普通电气焊、振动堆焊、埋弧焊和等离子焊等）、金属喷涂、低温镀铁……等都碰到许多材料和金相问题，都要求具有一定的金属学和热处理方面的知识。

《金属材料及热处理》是在生产实践的基础上发展起来的一门科学，近代获得了飞跃的发展。金属的应用在我国已有悠久的历史。在公元前一千七百多年的殷商时代，铸铜技术已达到很高的水平。当时，不仅掌握了铸铜的冶炼技术，而且还能根据不同的用途配制不同的铜锡合金，并且总结了符合于现代金属学的理论文献，如《周礼考工》有如下的记载：“金（铜）有六齐，六分其金，而锡居一，谓之钟鼎之齐；五分其金而锡居一，谓之斧斤之齐；四分其金，而锡居一，谓之戈戟之齐；三分其金，而锡居一，谓之大刃之齐；五分其金，而锡居二，谓之削杀矢之齐；金锡半，谓之鉴燧之齐。”在明朝宋应星所著《天工开物》关于淬火、退火方面，有这样的记载：“凡铁槌（锤）纯钢为之。未健（淬火）之时，钢性亦软，以已健钢錾划成纵斜纹理，划时斜向入，则文方成焰（陷），划后烧红，微退冷，入水健。久用乖平，入火退去健性（退火），再用錾划。”可见当时不仅掌握淬火、

退火技术，而且知道利用预冷的办法进行淬火。

关于渗碳技术，在同一书中也有记载，可以制“针”为例，“凡针，先锤铁为细条……然后入釜慢火炒熬（退火）。炒后以土末入松木、火矢、豆豉三物罨盖，下用火蒸。留针二、三口插其外，以试火候，其外针入手捻成粉碎，则其下针火候皆足，然后开封入水健之。”这说明古代劳动人民已掌握了固体渗碳技术，文中所谈松木、火矢、豆豉三物就是渗碳剂。把针装箱后，封盖加热，渗碳之后开箱淬火。

综上所述，我国古代劳动人民在热处理工艺技术方面，已发展到相当高的水平。然而，近二、三百年来，我国由于经受封建主义、帝国主义的压迫，科学技术发展缓慢，造成解放前十分落后的状态。

建国以来，由于大力发展科学技术，我国的钢铁工业及热处理技术方面，得到较快的发展。为了适应机器制造业高速度的发展需要，钢铁生产已由一九四九年的年产十五万八千吨，到一九七八年增长为三千多万吨。并且根据我国具体情况制订了钢铁的新标准，建立了符合我国资源的合金钢系统，有力地支援祖国的社会主义建设。世界著名的南京长江大桥，就是利用我国新创造出来的普通低合金高强度钢 16Mn 建造出来的。

在热处理技术方面，也有很大的发展和成就，许多新工艺、新技术不断被应用于生产。如可控气氛热处理；真空热处理；化学热处理及新淬火剂的应用等，都得到了发展。特别是近年来，化学热处理方面的新工艺发展得更快，如辉光离子氮化、软氮化、渗硫、渗硼、碳—氮共渗、碳—氮—硼三元或多元共渗等。

一九七七年，全国科学大会以后，我国科技人员在党的号召下，进行新的长征。为了迅速改变我国材料科学及热处理的落后面貌，赶上世界先进水平，正大力培养人才，加强科学研究，学习外国先进技术，加强试验测试手段的基本建设，可以预料，我国的材料科学及热处理必将获得更快更大的发展，并在实现四个现代化中发挥更大的作用。

本书结合农机类的专业要求，力求理论结合实际，除介绍有关金属材料及热处理的基本原理之外，并对材料的选择以及新材料、新工艺和新技术作简略介绍。通过学习，了解金属和合金机械性能、化学物理性能，以及这些性能之间的关系和变化规律，从而比较合理地选择材料及热处理工艺。

第一章 金属材料的机械性能

由于金属材料具有优良的性能，故得到广泛的应用。目前生产上使用的金属材料种类繁多，如不“量材”使用就会造成浪费或产品质量低劣。因此，为了合理选用金属材料，发挥金属材料的潜在能力，达到提高产品质量的目的，了解它的性能是十分必要的。

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。所谓使用性能是指机械零件在服役条件下，金属材料表现出来的机械、物理和化学性能；所谓工艺性能是指机械零件在加工制造过程中，金属材料在所定的冷、热加工条件下表现出来的性能，如铸造、焊接、热处理、锻压、切削加工等工艺性能。材料工艺性能的好坏反映了它在冷、热加工过程中加工成型的能力，它是使用性能的综合表现。

农业机械的绝大部分零件是在常温、常压和非腐蚀性介质中服役，因此零件的设计和选材主要是以机械性能为依据。本章主要介绍金属材料的机械性能，至于工艺性能中的热处理性能，将在其他章节中讨论。

第一节 机械零件的失效形式

一部机器的正常运转是靠每个零件的正常工作来保证的。由于各个零件的服役条件（包括工作环境、应力状态以及载荷性质等）不同，因而产生损坏或失效的形式也不同。故在设计零件时，应根据零件的服役条件和失效形式，对金属材料提出不同的技术要求——热处理后的机械性能指标。这样，才能保证零件在服役条件下正常工作。

主轴和齿轮是农业机械中的重要零件，它们各自的服役条件不同，提出的技术要求也不同。

就以曲轴来说，它是曲柄连杆机构中的重要零件，它和活塞、连杆、飞轮等构成传动机构。曲轴在服役过程中要承受多种力的作用：汽缸中燃料燃烧产生的高压气体通过活塞传给曲轴的压力；活塞运动速度不均产生往复惯性力和曲轴旋转产生的离心惯性力；发动机对外作功时产生的扭转和弯曲应力；工作不平稳所带来的冲击力和振动，以及轴颈受到的摩擦力等等。为此，要求制造曲轴的材料在施以热处理后能具有抵抗各种载荷的抗力指标，即应具有良好的综合机械性能和高的抗磨能力。

齿轮的服役条件与曲轴不同，它担负着传递动力、改变运动速度和方向的任务。齿轮在服役时，齿根承受弯曲应力，齿面承受接触压应力和摩擦力，受到磨损；加上农机用齿轮的运行不平稳，齿轮还经常承受冲击载荷。因此，对齿轮应要求具有高的耐磨性、高的

疲劳强度和足够的韧性。

机械零件的质量直接关系着整台机器的正常工作，而零件的质量又与所用的材料是否恰当，热处理强化措施是否正确有密切的关系。只有对零件的服役条件进行正确分析，提出恰当的技术要求，并按此要求合理选用材料和施以热处理，才能达到所提出的技术要求，保证零件的质量，保证整台机器的正常、长期运转。否则，零件就会发生早期失效，甚至突然失效。

失效是指零件失去正常运转应具有效能。例如，割晒机的主变速箱齿轮轴，如果刚度不够，服役时就会发生永久弯曲变形而不能自由转动；变速箱齿轮如韧性不够，服役时就会因冲击而发生轮齿折断；齿面如耐磨性不够就会过度磨损，降低啮合精度，产生过大的噪音等等，这些都属于零件失效的范围。

机械零件在服役过程中常见的失效形式主要有变形、断裂和磨损三种。

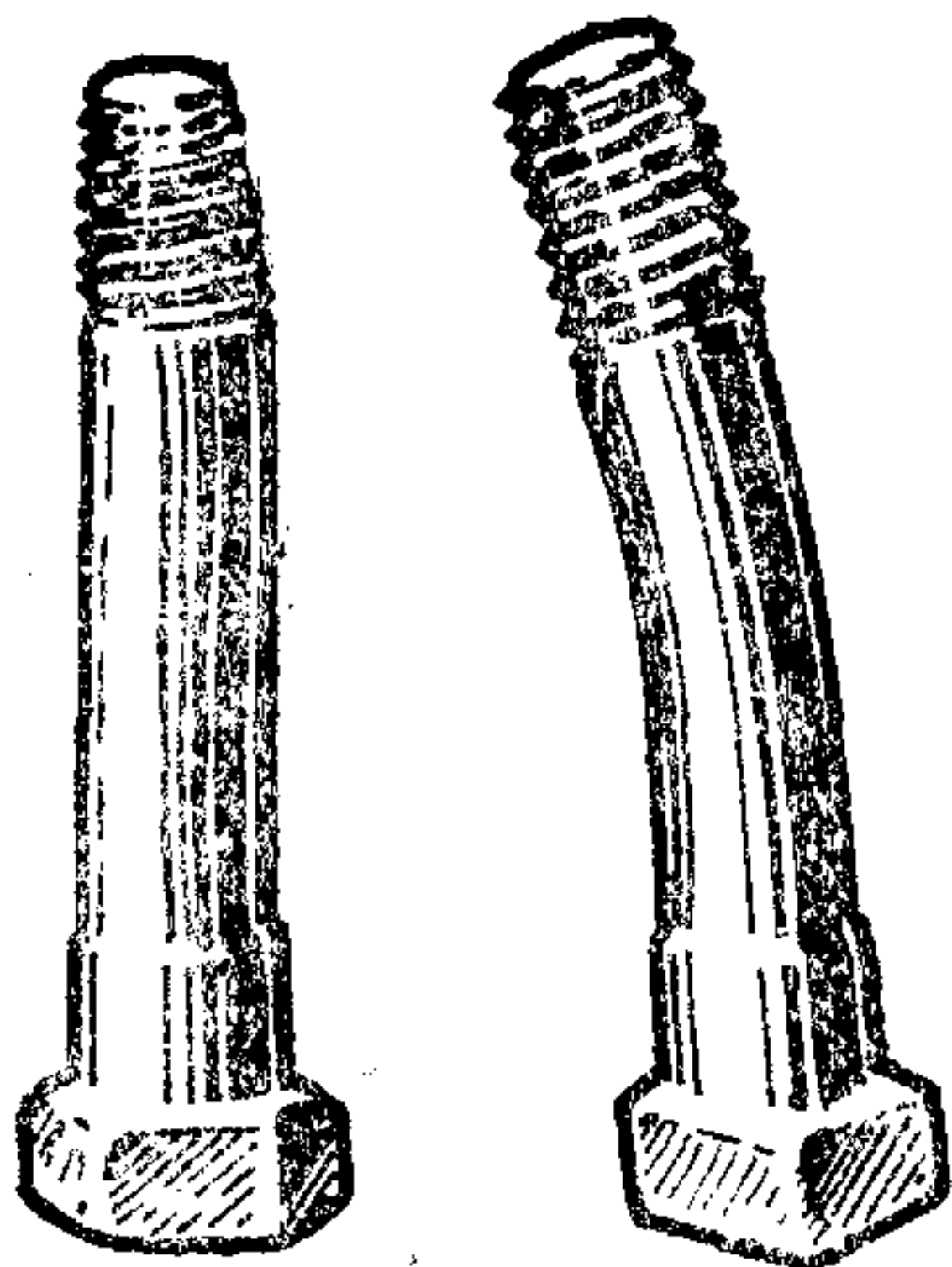


图 1—1 螺栓变形

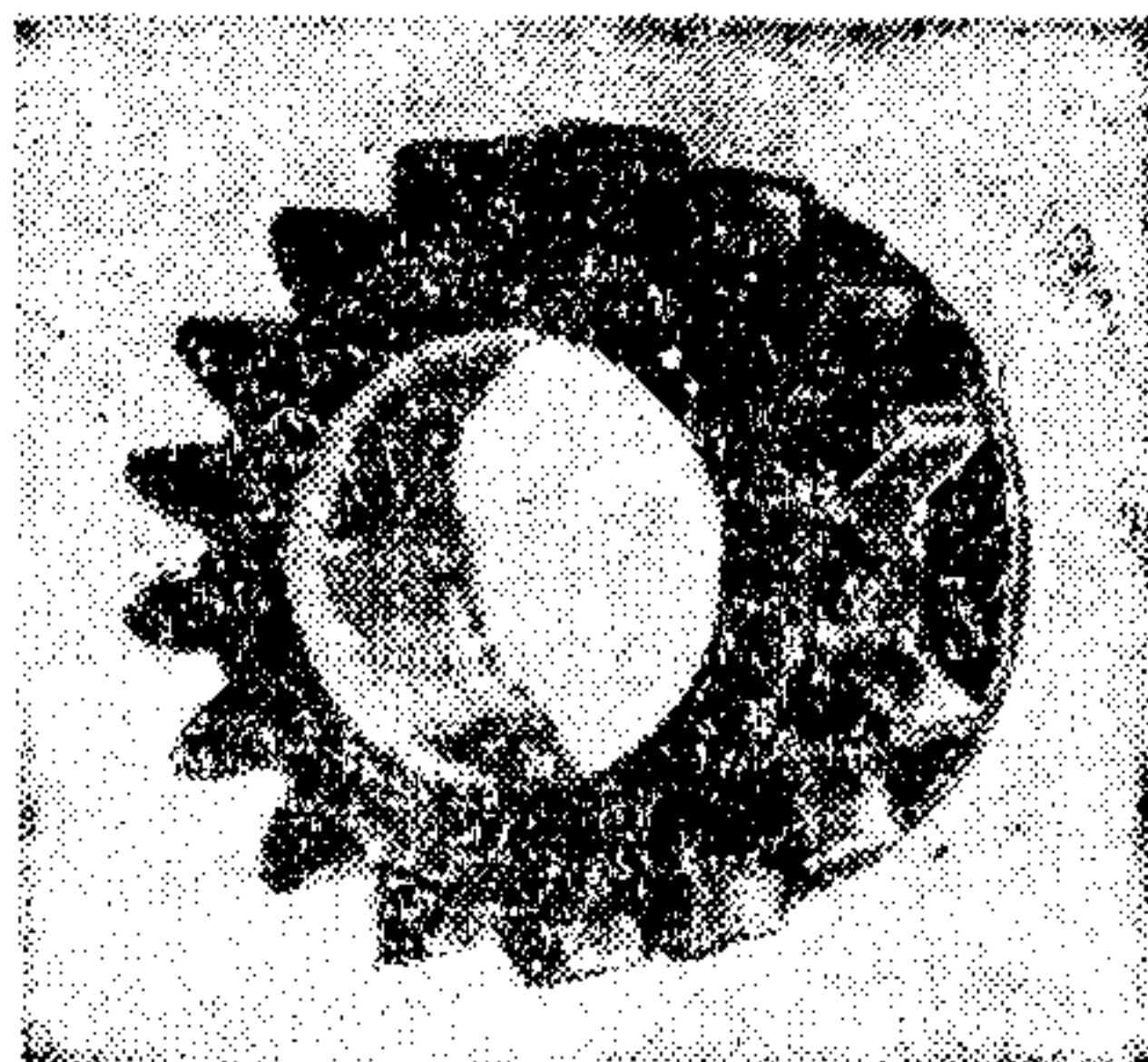


图 1—2 齿轮牙齿折断

图 1—1 为汽车、拖拉机用螺栓因热处理不当，螺栓强度不足在服役中早期变形的情况。

图 1—2 为拖拉机齿轮的轮齿因选择材料或热处理不当，轮齿心部硬度过高，在冲击载荷作用下发生断裂的情况。图 1—3 为汽车换档齿轮因热处理不当，齿面硬度过低而造成早期磨损的情况。

重要的零件失效不仅会导致整台机器的失效，严重的还会造成人身、设备事故。

由此看来，机械零件的失效是由于其机械性能未达到预定的技术要求

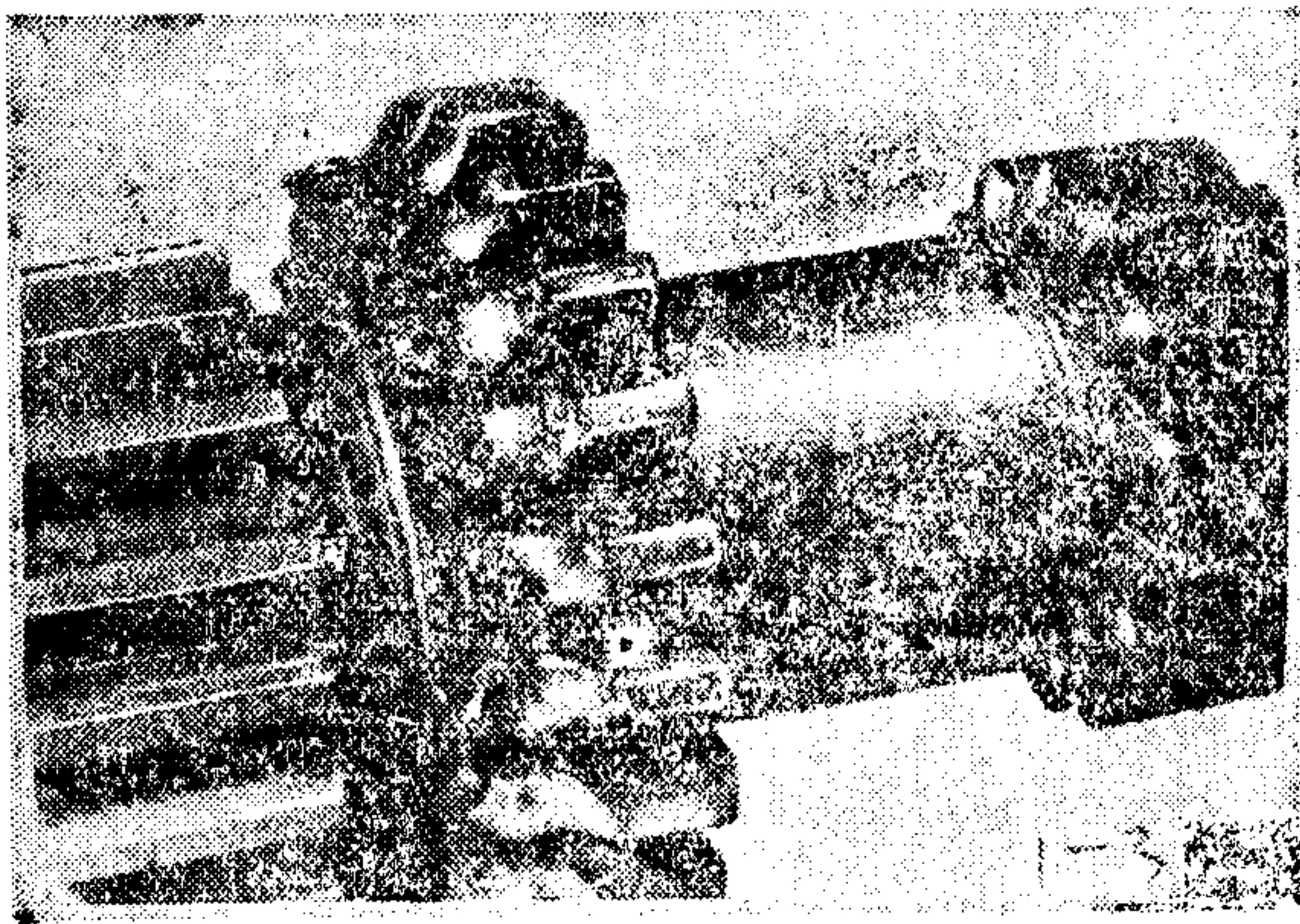


图 1—3 齿轮过度磨损