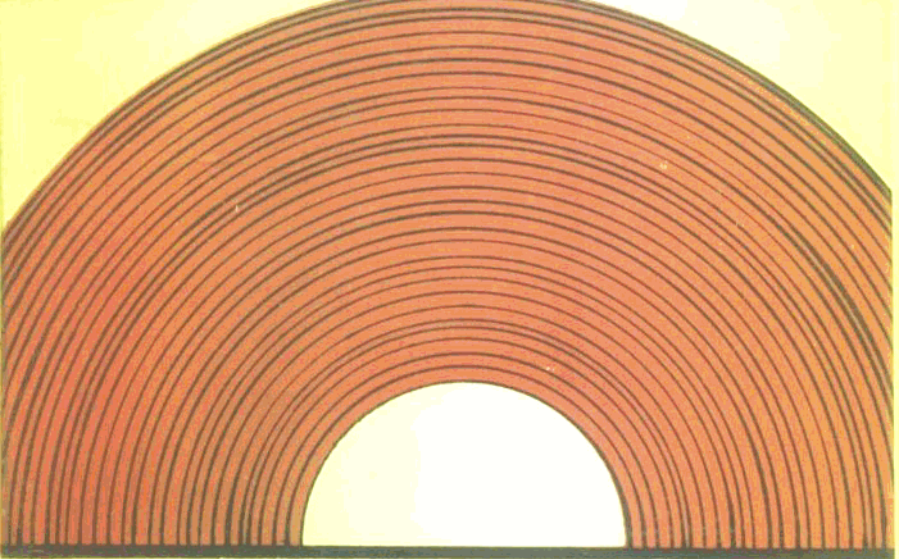




冷轧窄带钢生产

李虎兴 葛懋琦 陈贻宏 编著

冶金工业出版社



冷轧窄带钢生产

李虎兴 葛懋琦 陈貽宏 编著

北 京

冶金工业出版社

1995

图书在版编目(CIP)数据

冷轧窄带钢生产/李虎兴等编著. —北京:冶金工业出版社,
1995. 6

ISBN 7-5024-1679-X

I. 冷… II. 李… III. 钢-带材轧制-冷轧 IV. TG335.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 01349 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,出编 100009)

有色曙光印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

蓝地激光照排

1995 年 6 月第 1 版,1995 年 6 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32;10.5 印张;277 千字;326 页;1—2000 册

15.80 元

前 言

本书是关于我国冷轧窄带钢生产技术的一本专著，系统地阐述了冷轧窄带钢生产过程各个工序（坯料酸洗、轧制、热处理、精整和产品性能检验）的有关设备、工艺制度及其技术发展。作者期望它会对提高我国冷轧窄带钢生产的技术水平及推动其技术进步有所裨益。

本书可供冶金大、专院校师生和设计、科研、生产人员学习和参考。

本书由武汉钢铁学院李虎兴、葛懋琦和陈贻宏合作编著，由李虎兴统一校订。

在撰写过程中，得到武钢汉阳冷轧厂、上海第十钢铁厂、上海第三冷轧带钢厂、武汉钢铁设计研究院和上海冶金设计研究院等单位的大力支持和帮助，特致谢意。

初稿完成后，承蒙武钢汉阳冷轧厂陈集仁、刘端阳进行了认真的审阅，提出了不少宝贵意见，再次表示感谢。

受作者水平所限，书中难免有不当之处，诚恳希望读者批评指正。

作 者

一九九四年四月

目 录

1. 概论	(1)
1.1 冷轧窄带钢的品种、规格、分类和技术要求	(1)
1.1.1 冷轧窄带钢的品种和规格	(1)
1.1.2 冷轧窄带钢的分类	(1)
1.1.3 冷轧窄带钢的技术要求	(4)
1.2 冷轧窄带钢的生产工艺流程和车间平面布置	(7)
1.2.1 冷轧窄带钢的生产工艺流程	(7)
1.2.2 车间平面布置	(11)
1.3 冷轧窄带钢生产的主要技术经济指标	(12)
1.3.1 冷轧窄带钢生产的主要技术经济指标	(12)
1.3.2 几个厂的技术经济指标	(14)
1.4 我国冷轧窄带钢生产的重要地位和进行技术改造的方向	(15)
1.4.1 我国冷轧窄带钢生产的重要地位	(15)
1.4.2 我国冷轧窄带钢生产技术改造和发展的方向	(15)
2. 坯料酸洗	(18)
2.1 氧化铁皮的结构和性质	(18)
2.1.1 氧化铁皮的结构	(18)
2.1.2 氧化铁皮的性质	(20)
2.2 酸洗原理	(21)
2.2.1 硫酸酸洗原理	(22)
2.2.2 盐酸酸洗原理及特点	(24)
2.3 酸洗机组	(26)
2.3.1 酸洗机组的分类及特点	(26)
2.3.2 酸洗机组主要单体设备	(28)
2.3.3 半连续卧式浅槽盐酸酸洗机组	(36)
2.3.4 推拉式酸洗机组	(40)
2.3.5 酸洗机组的酸雾处理	(45)

2.4	酸洗工艺	(45)
2.4.1	酸洗工艺	(45)
2.4.2	不锈钢酸洗工艺	(51)
2.4.3	酸液配制	(54)
2.4.4	酸洗缺陷	(56)
2.5	酸洗技术的发展	(59)
3.	冷轧窄带钢的轧制	(61)
3.1	冷轧窄带钢轧制过程的特点	(61)
3.1.1	加工硬化现象	(61)
3.1.2	冷轧过程变形区的特点	(62)
3.1.3	润滑轧制	(66)
3.1.4	张力轧制与卷取	(68)
3.1.5	连轧过程的特点	(69)
3.2	冷轧设备	(72)
3.2.1	轧机的种类及选用	(72)
3.2.2	轧机组成	(82)
3.3	冷轧过程工艺参数的计算方法及数学模型	(109)
3.3.1	冷轧过程工艺参数的计算方法	(110)
3.3.2	冷轧窄带钢轧制工艺参数的数学模型	(117)
3.4	轧制工艺制度	(123)
3.4.1	坯料制度	(123)
3.4.2	压下制度	(125)
3.4.3	张力制度	(130)
3.4.4	辊型制度	(133)
3.4.5	速度制度	(135)
3.5	轧制缺陷及产品质量调整	(137)
3.5.1	轧制缺陷	(137)
3.5.2	轧制过程的产品质量调整	(138)
4.	冷轧窄带钢的热处理	(158)
4.1	退火原理	(158)
4.2	热处理设备	(161)
4.2.1	单垛紧卷罩式退火炉	(162)

4.2.2	隧道式退火炉	(170)
4.2.3	车底式退火炉	(176)
4.3	热处理工艺	(177)
4.3.1	罩式炉退火程序	(177)
4.3.2	再结晶退火工艺	(178)
4.3.3	球化退火	(185)
4.3.4	不锈钢热处理工艺	(186)
4.3.5	捆带热处理	(188)
4.3.6	退火缺陷	(188)
4.4	保护气体	(190)
4.4.1	炉内气氛对带钢的影响	(190)
4.4.2	保护气体的制备	(191)
5.	冷轧窄带钢的修整	(194)
5.1	平整	(194)
5.1.1	平整的目的	(194)
5.1.2	平整设备	(194)
5.1.3	平整工艺	(198)
5.2	带钢的矫正	(207)
5.2.1	辊式矫正机	(208)
5.2.2	连续张力矫正机	(209)
5.2.3	连续拉弯矫正机	(212)
5.3	带钢的检查和剪切	(218)
5.3.1	圆盘剪参数的选择	(218)
5.3.2	几套冷轧窄带钢纵剪机组	(220)
6.	产品性能检验	(225)
6.1	产品性能检验及标准	(225)
6.2	产品性能检验方法及设备	(227)
6.2.1	拉伸试验	(227)
6.2.2	硬度试验	(243)
6.2.3	冲压成形性能试验	(251)
6.2.4	弯曲试验	(261)
7.	冷轧窄带钢生产技术的新发展	(266)

7.1	新型轧机	(266)
7.1.1	HC 轧机	(266)
7.1.2	异步轧机和异步轧制技术	(274)
7.1.3	液压轧机	(280)
7.2	自动检测仪表	(285)
7.2.1	厚度测量	(285)
7.2.2	轧制力测量	(295)
7.2.3	张力测量	(301)
7.2.4	速度测量	(304)
7.2.5	辊缝测量	(306)
7.2.6	延伸率测量	(307)
7.3	轧制规程最优化	(309)
7.3.1	轧制过程最优控制的基本概念	(309)
7.3.2	350mm 冷连轧机压下制度的最优化	(310)
7.4	自动控制技术的应用与发展	(315)
7.4.1	单机自动化系统	(315)
7.4.2	模拟式调节系统和计算机共存的控制系统	(320)
7.4.3	计算机直接数字控制系统	(322)
参考文献		(325)

1 概 论

用冷轧方式成卷生产的宽度小于 600mm、厚度为 0.05~4.0mm 的带钢,称作冷轧窄带钢。

冷轧窄带钢具有外形几何尺寸精度高、表面质量和力学性能优越等优点,且其品种和规格多,除了可满足一般用途用材之外,还可满足如精密机器、仪表、通讯和军工等特殊行业用材的需要,应用十分广泛,在国民经济建设和发展中,起着相当重要的作用。

近年来,我国的冷轧窄带钢生产发展很快,轧机数量和产量无法进行准确统计,估计分别为 1000 台(套)和 100 万 t/a 左右,是我国冶金工业中一个很重要的生产领域。

1.1 冷轧窄带钢的品种、规格、分类和技术要求

1.1.1 冷轧窄带钢的品种和规格

为了满足国民经济和军事工业等各行各业用材的需要,冷轧窄带钢的品种和规格很多,根据国家标准规定,它的比较重要的一些品种和规格列于表 1-1。

另外,根据冶金工业部标准和地方标准,还有弹链和弹夹、灯头、金属软管、缝纫机零件、机械链条链板和焊条等用冷轧带钢,以及照相机快门叶片用高强度精密带钢和手表防震器用精密带钢等。

1.1.2 冷轧窄带钢的分类

表 1-1 冷轧窄带钢的品种和规格

序号	国家标准	品种	使用钢种	规格,mm	
				厚度范围	宽度范围
1	GB716—91	碳素结构钢 冷轧钢带	GB700—88 中的有关 牌号	0.1~3.0	10~250
2	GB3526—83	低碳钢冷 轧钢带	08,10,Q195,05F,08F, 10F 等	0.05~3.6	4~300

续表 1-1

序号	国家标准	品种	使用钢种	规格, mm	
				厚度范围	宽度范围
3	GB3522-83	优质碳素结构钢冷轧钢带	15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70	0.1~4.0	4~200
4	GB3525-83	弹簧钢、工具钢冷轧钢带	T7, T7A, T8, T8A, T8MnA, T8Mn, T9, T9A, T10, T10A, T11, T11A, T12, T12A	0.1~3.0	4~200
5	GB3530-83	热处理弹簧钢带	65Mn, T7A, T8A, T9A, T10A, 60Si2MnA, 70Si2CrA	0.08~1.5	1.5~100
6	GB3529-83	锯条用冷轧钢带	65Mn, T8, T8A, T9, T9A, T10, T10A, T11, T11A, T12, T12A, T8MnA	0.4~2.0	13~180
7	GB3646-89	自行车用冷轧钢带	Z08A1, ZQ195, ZQ215, ZQ235, 16Mn, 19Mn	0.06~3.5	20~250
8	GB3543-83	自行车链条用冷轧钢带	20MnSi, 19Mn, 16Mn	1.00~1.30	
9	GB3527-89	刮脸刀片用冷轧钢带	Cr03, Cr06	0.10~0.25	22.4, 19.0
10	GB4173-84	包装用冷轧钢带	碳素结构钢, 优质碳素结构钢, 低合金结构钢, 合金结构钢	0.25~1.65	8~51
11	GB4175.1-84	铠装电缆用冷轧钢带	Q215 或类似钢号	0.20~1.00	10~60
12	GB8164-87	焊接钢管用钢带	08, 10, 15, 20, Q195, Q215, Q235, 低合金结构钢	0.5~4.0	50~500
13	GB2598-81	不锈钢、耐热钢冷轧钢带	0Cr13, 1Cr13, 2Cr13, 3Cr13, 4Cr13, 1Cr28, 0Cr18Ni9, 1Cr18Ni9, 2Cr18Ni9, 1Cr18Ni9Ti, 2Cr13Mn9Ni4, 1Cr23Ni18 等	0.05~2.50	20~600

冷轧窄带钢除了可按品种分类外,每一品种又可按制造精度、表面状态和质量、表面颜色、边缘状态、材料组织、力学性能和用途等进行分类。相应于表 1-1 所列的品种,按上述分类方法的分类列于表 1-2。

表 1-2 冷轧窄带钢的分类

分 类		规定的分类符号											
		碳素结构钢冷轧钢带	低合金钢冷轧钢带	优质碳素结构钢冷轧钢带	弹簧钢、工具钢冷轧钢带	热处理弹簧钢带	锯条用冷轧钢带	自行车用冷轧钢带	自行车链条用冷轧钢带	刮脸刀片用冷轧钢带	包装用冷轧钢带	铠装电缆用冷轧钢带	焊管用钢带
按制造精度分类	普通精度	P	P	P	P	P	P	P			P	P	
	宽度精度较高	K	K	K	K		K	K					
	厚度精度较高	H	H	H	H		H	H	KH		H		
	宽度厚度精度较高	KH	KH	KH	KH		KH	KH					
	厚度高精度		J	J	J								
	较高级精度					J							H
	高级精度					G							
	厚度普通精度								P				
按表面状态和质量分类	镰刀弯精度较高										L		
	普通精度表面	I											
	较高精度表面	II											
	I 组表面质量		I	I	I		I	I					
	II 组表面质量		II	II	II		II	II					
	III 组表面质量		III										
	I 级表面质量									IM			
	II 级表面质量									IM			
	光亮钢带										G		G
	法兰钢带										F		
	涂层钢带										T		
	镀锌钢带										D		
按表面加工状态分类	酸洗钢带												S
	磨光钢带		M										
	不磨光钢带		BM										
	抛光钢带					Po							
	光亮钢带					Gn							
	经色调处理的钢带					S							
	灰暗色钢带					A							

续表 1-2

分 类		规定的分类符号														
		碳素结构钢冷轧钢带	低碳钢冷轧钢带	优质碳素结构钢冷轧	钢带	弹簧钢、工具钢冷轧	钢带	热处理弹簧钢带	锯条用冷轧钢带	自行车用冷轧钢带	自行车链条用冷轧	钢带	刮脸刀片用冷轧钢带	包装用冷轧钢带	铠装电缆用冷轧钢带	焊接钢管用钢带
按边缘	状态分类	切边	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q				Q	Q
	不切边	BQ	BQ	BQ	BQ		BQ	BQ	BQ						BQ	BQ
	磨边						M									
	压扁钢丝制成的钢带						Y									
按材料状态分类	特软		TR													
	软	R	R													R
	半软	BR	BR													
	低硬		DY													
	冷硬	Y	Y	Y	Y											I
	退火			T	T											
	球化退火				QT											
	特硬															T I
	半硬															B I
按力学性能分类	I 级强度						I									
	Ⅱ 级强度						Ⅱ									
	Ⅲ 级强度						Ⅲ									
	I 组抗拉强度									I						
	Ⅱ 组抗拉强度									Ⅱ						
	I 组力学性能												I			
	Ⅱ 组力学性能												Ⅱ			
	Ⅲ 组力学性能												Ⅲ			
	Ⅳ 组力学性能													Ⅳ		
	V 组力学性能													V		
按用途	分类	木工带锯用钢带						M								
	其他锯条用钢带							J								

1.1.3 冷轧窄带钢的技术要求

各个品种、规格的冷轧窄带钢，为了保证其使用性能和再加工

工性能，还必须满足一系列技术条件的要求。所有这些，在产品的技术标准中都有明确规定。

现以碳素结构钢冷轧钢带为例，根据 GB716—91 的规定，它主要应满足以下技术条件的要求：

(1) 厚度偏差。带钢厚度允许偏差应满足表 1-3 的规定。

表 1-3 带钢厚度允许偏差

厚度, mm	允许偏差, mm	
	普通精度	较高精度
≤0.15	-0.020	-0.015
>0.15~0.25	-0.03	-0.02
>0.25~0.40	-0.04	-0.03
>0.40~0.70	-0.05	-0.04
>0.70~1.00	-0.07	-0.05
>1.00~1.50	-0.09	-0.07
>1.50~2.50	-0.12	-0.09
>2.5~3.0	-0.15	-0.12

(2) 宽度偏差。切边和不切边带钢宽度允许偏差，应分别符合表 1-4 和表 1-5 的规定。

表 1-4 切边钢带宽度允许偏差

厚度, mm	允许偏差, mm			
	宽度 ≤120		宽度 >120	
	普通精度	较高精度	普通精度	较高精度
≤0.50	-0.25	-0.15	-0.45	-0.25
>0.5~1.00	-0.35	-0.25	-0.55	-0.35
>1.00~3.00	-0.50	-0.40	-0.70	-0.50

表 1-5 不切边钢带宽度允许偏差

宽度, mm	允许偏差, mm	
	普通精度	较高精度
≤120	±1.50	±1.00
>120	±2.50	±2.00

(3) 不平度和镰刀弯。钢带的平度和镰刀弯应满足表 1-6 的规定。

表 1-6 不平度和镰刀弯的允许偏差

厚度, mm	不平度, mm				镰刀弯, mm/m	
	宽度, mm				切边	不切边
	≤50	>50~100	>100~150	>150		
	不大于					
≤0.50	4	5	6	7	2	3
>0.50	3	4	5	6	3	4

(4) 钢带有效长度。钢带分切头尾和不切头尾两种, 它们的有效长度应符合表 1-7 的规定。钢带应成卷交货, 卷重不大于 2t。

表 1-7 钢带有效长度

厚度, mm	有效长度不小于, mm
≤1.50	11000
>1.50~2.00	7000
>2.00~3.00	5000

(5) 其他技术要求:

1) 钢带采用 GB700 中的碳素结构钢轧制, 其化学成分应符合该标准的规定。

2) 钢带的抗拉强度 σ_b 和延伸率 δ 应符合表 1-8 的规定。

表 1-8 钢带的 σ_b 和 δ

类别	σ_b , MPa	δ 不小于, %	维氏硬度 HV 参考值
软钢带	275~440	23	≤130
半软钢带	370~490	10	105~145
硬钢带	490~785		140~230

3) 普通精度的钢带表面, 除允许有深度或高度不大于钢带厚度允许偏差的个别凹面、凸块、压痕、结疤、纵向刮伤或划伤, 以及轻微的锈痕、粉状的氧化皮薄层外, 不得有其他缺陷。

4) 较高精度的钢带表面, 除允许有深度或高度不大于钢带厚度允许偏差之半的个别凹面、凸块、压痕、结疤、纵向刮伤或划

伤外，不得有其他缺陷。

5) 在切边钢带的边缘上，允许有深度不大于钢带宽度允许偏差之半的切割不齐和尺寸不大于厚度允许偏差的毛刺。

6) 在不切边钢带的边缘上允许有深度不大于表 1-9 规定的裂边。

表 1-9 不切边钢带边缘的裂边

厚度, mm	裂边不大于, mm	
	用热带直接轧制的	用宽带纵剪后轧制的
≤0.50	3	5
>0.50~1.00	2	4
>1.00~3.00	1	3

另外，有关试验方法、检验规则和包装、标志及质量证明书等在技术标准中也都有相应的规定。

应强调指出，产品的技术标准是组织生产、制定工艺制度、操作、检验和交货的基本依据，有关生产人员必须牢固地建立产品技术标准意识，在生产过程的各个环节中必须严格履行技术标准的要求。

1.2 冷轧窄带钢的生产工艺流程和车间平面布置

1.2.1 冷轧窄带钢的生产工艺流程

1.2.1.1 坯料酸洗

冷轧窄带钢的坯料为符合相应技术要求的热轧带钢，由热轧窄带钢或热轧宽带钢经纵剪分条后供应。

热轧带钢视材质、规格、终轧温度、冷却制度和卷取温度的差异，其表面一般为不同化学组成和厚度的氧化铁皮覆盖着。这样，会严重影响冷轧产品的表面质量，加剧轧辊与其他零、部件的磨损，增大冷轧过程的力能消耗和影响产品外形几何尺寸的控制等。为此，冷轧生产的第一道工序是将热轧卷坯表面的氧化铁皮消除掉，一般称作除鳞。

除磷的方法有机械法（砂轮研磨、弯曲和喷丸等）、化学法（硫酸或盐酸等酸液浸洗）和机械-化学联合法等。最常用的方法是机械-化学法，其中起主要作用的是酸液浸洗，机械法的作用只是使氧化铁皮剥落和疏松，以加快酸洗除磷的速度、降低酸耗和提高除磷质量等，故习惯上仍将此法称作酸洗。

不论采用何种酸液（硫酸、盐酸和其他酸）和何种酸洗设备（框式、半连续式和连续式等）进行酸洗，都必须严格按合理的酸洗制度进行操作。酸洗制度主要包括：酸液浓度、酸液温度、酸洗时间、酸液中亚铁盐的含量等。

酸洗后带钢需经清水漂洗和钝化。钝化的目的是使带钢表面形成一层钝化膜，以提高表面的抗蚀能力。一般情况下，需保证在 2~3 天内带钢表面不再生锈。

1.2.1.2 轧制

将酸洗后的热轧卷坯送往轧机，经数道轧制，轧成厚度在公差范围内，且具有良好板形和表面质量的轧件。

冷轧窄带钢轧机的结构类型有很多种（如二辊、四辊、偏八辊和多辊等轧机），但从轧制方式（或布置形式）上可将它们分为单机不可逆式、单机可逆式和连轧机等。以四辊轧机为例，各种轧制方式（或布置形式）示于图 1-1。

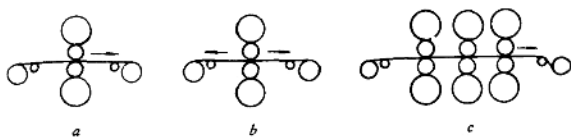


图 1-1 轧制方式示意图

a—单机不可逆式；*b*—单机可逆式；*c*—连轧机

由坯料厚度 H 到成品厚度 h ，是按事先制定的压下制度（即各道次的压下量或出口厚度分配）进行轧制的。压下制度是否合

理，对产量的高低、产品质量的优劣、事故的多少和操作的难易等，具有本质的影响，是非常重要的。

在冷轧过程中，由于轧制压力比较大，轧辊将产生可观的弹性弯曲（挠度）。与此同时，轧辊沿其轴线方向传入不等量的热量（摩擦热和塑性变形热），又导致产生热凸度。所以，为了获得良好板形的带钢，在轧辊上一般都磨制有为了补偿弹性弯曲和热凸度影响的原始凸度，常常称它为辊型。

为了保证和改善产品的表面质量，以及为了降低材料的变形抗力和易于压下，一般冷轧过程都施加工艺润滑剂而进行润滑轧制。再者，由于冷轧过程轧件的宽厚比（ B/h ）比较大，对工艺因素的波动非常敏感，常使轧制过程不稳定和发生跑偏现象，导致操作比较困难和板形不易得到控制等。而且，材料的变形抗力极高，致使压下也比较困难等。为此，冷轧过程一般均是在施加较大的张力条件下进行轧制和卷取。实践表明，施加工艺润滑剂和张力，对防止产生和解决上述有关现象和问题，具有明显的效果，以致它们成了冷轧过程不可缺少的工艺因素。

综上所述，冷轧过程的工艺制度主要包括坯料制度、压下制度、辊型制度、润滑制度、张力制度（和速度制度）等。

1.2.1.3 热处理

在冷轧窄带钢生产过程中，热处理主要有预（原料）处理、中间处理和最终（成品）处理3大类。

对热轧卷坯进行热处理叫预处理。一般情况下，只有不锈钢轧制才需进行这种热处理。对奥氏体和奥氏体-马氏体类钢进行淬火处理，以使碳化物全部溶解，取得均质的奥氏体，从而消除热轧的痕迹。对马氏体、铁素体和马氏体-铁素体类钢进行退火处理，以使晶粒度均匀和组织稳定。

在冷轧过程中，经过数道轧制后，材料产生了剧烈的加工硬化现象而难以进一步轧制，必须经过热处理使之软化并恢复良好的塑性才能继续轧制。这种热处理叫中间处理。对碳素结构钢和低碳钢来说，中间热处理主要是软化（再结晶）退火。对碳素工