

高硬冷軋輥的
热 处 理

項程云編著

机械工业出版社

62.7

高硬冷軋軛的熱處理

項程云 編著



机械工业出版社

1958

內 容 提 要

本冊子所討論的內容如目次所述，仅包括要求親身表面硬度大于90肖氏硬度和介于70—85肖氏硬度之間的两种冷軋軋。內容中特別注意到了理論和实际的結合問題，以及如何制訂和执行其热处理工艺問題。此外，也闡述了几种不同的淬火方法和其优缺点。它的讀者对象是热处理工程技术人员，特别是从事工厂工作的热处理工艺师和工艺員。

NO. 1956

1958年9月第一版 1958年9月第一版第一次印刷

850×1168^{1/32} 字数 98千字 印張4^{1/16} 0,001—3,100

机械工业出版社（北京东交民巷27号）出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店发行

北京市書刊出版业营业許可証出字第008号

定价 (10)0.80元

目 次

序 言.....	5
第一章 生产过程的概述.....	7
第二章 鋼种的选择.....	12
第三章 預备热处理.....	20
第一节 等溫退火.....	21
1. 退火溫度的选择(21) 2. 与冷軋鋼內的白点进行斗争(22)	
3. 退火操作(28)	
第二节 調質.....	31
1. 調質組織(31) 2. 調質对冷軋鋼的淬透性的影响(34)	
3. 調質时淬火溫度的选择(35) 4. 确定調質时淬火的冷却时	
間(36) 5. 調質时高溫回火溫度的选择(37) 6. 調質操作(38)	
第四章 淬火前的生产准备.....	41
第一节 頸頸絕热.....	41
1. 絕热材料(42) 2. 頸頸套壳(43) 3. 内部冷却导水管(45)	
4. 絕热操作(49)	
第二节 夹具安装.....	52
第三节 涂油.....	57
第五章 最終热处理.....	60
第一节 淬火.....	61
1. 淬火前加热形式的选择(61) 2. 淬火溫度和在淬火溫度下	
的停留時間(65) 3. 淬火介質的选择(69) 4. 内部冷却孔	
(71) 5. 淬火时冷却時間的計算(74)	
第二节 低溫回火.....	77
1. 回火溫度对表面硬度的影响(78) 2. 回火溫度对冲击韌性	
的影响(79) 3. 回火溫度对殘留奧氏体量的影响(80) 4. 計	
算回火溫度下的停留時間(80)	
第三节 淬火与回火操作.....	83
第四节 最終热处理工艺.....	87

1. 一次淬火和两次低温回火 (88)	2. 一次淬火和一次中温回火 (93)	
第五节 测硬度		97
1. 测硬带的准备 (98)	2. 硬度测定 (98)	
第六节 表面研磨		99
第七节 缺陷的预防与处理		100
1. 裂纹(100)	2. 白点(102)	3. 表面脱皮(103)
4. 硬度不合 (104)		
第六章 电热淬火		106
第一节 基本原理.....		107
第二节 淬火工艺.....		109
1. 冷轧辊的预热 (110)	2. 冷轧辊的加热和淬火 (111)	
第三节 缺陷的形式与处理		113
1. 不均匀的和较低的车身表面硬度 (113)	2. 车身边端的低硬带扩大 (113)	3. 车身边端脱落 (114)
第七章 淬火设备		114
第一节 立式淬火油槽		115
1. 油槽的简单构造 (115)	2. 各部尺寸的简单计算 (115)	
3. 冷油设备的简单计算 (118)		
第二节 放射喷水冷却器		122
第三节 特殊淬火槽		124
第四节 立式淬火车床和喷水感应器.....		125
1. 立式淬火车床 (125)	2. 喷水感应器 (127)	
参考文献		129

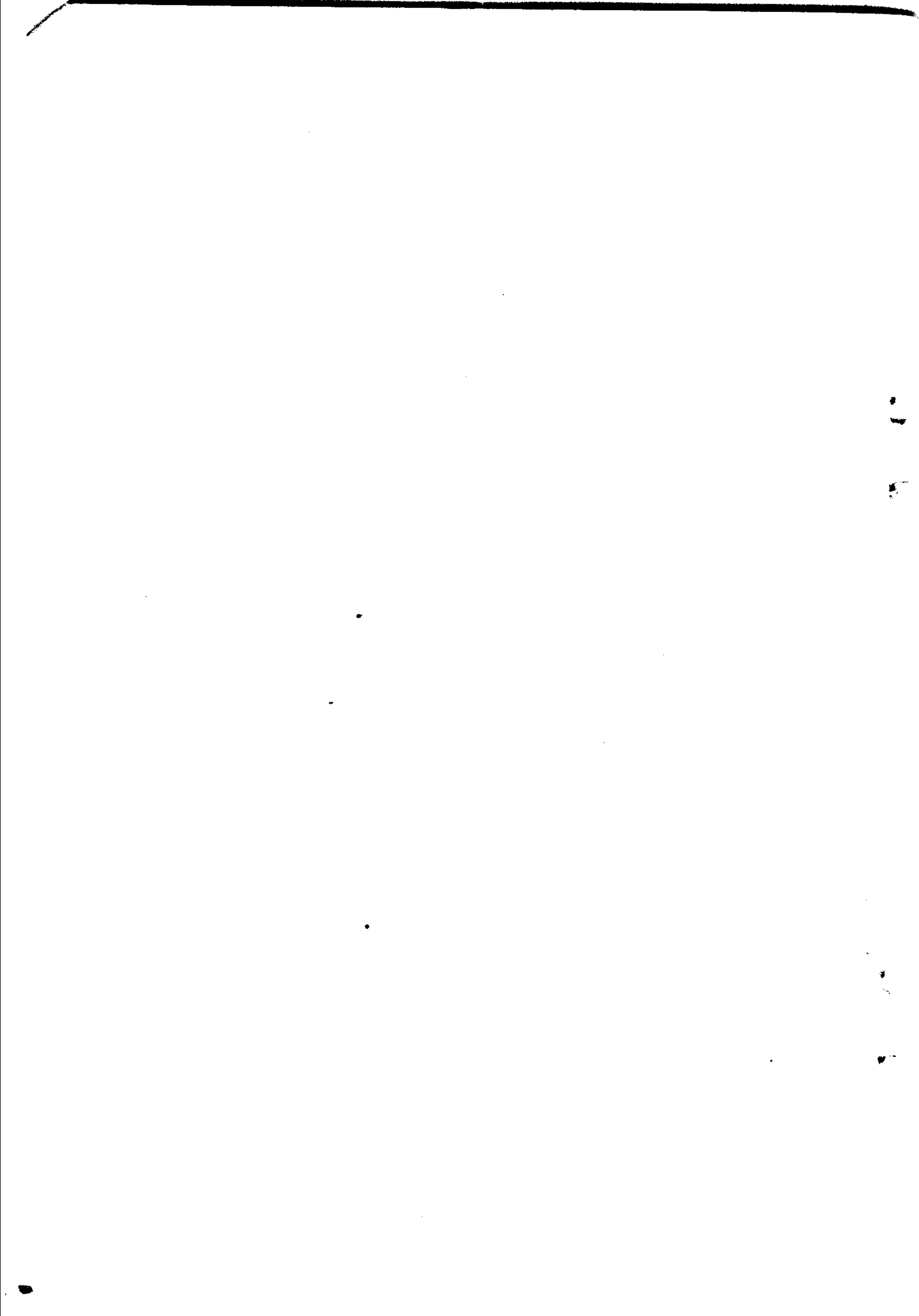
序 言

冷軋輓，按其工作時的性質來分，有工作冷軋輓和支承冷軋輓兩大類。而高硬冷軋輓是工作冷軋輓中要求輓身表面硬度最高和熱處理最複雜的一種，它是最貴重的大型零件之一。本冊子所討論的高硬冷軋輓包括要求輓身表面硬度大於90肖氏硬度單位和介於70~85肖氏硬度單位之間者兩種類型。

隨着我國社會主義工業化的蓬勃發展，高硬冷軋輓的需要量必然日益增加。這就向我國的冶金和機器製造工業部門提出了一項新的任務：製造各種尺寸的冷軋輓，特別是高硬冷軋輓。這種昂貴的一向依靠國外供應的重要產品如能試製成功，無疑地，對國民經濟的發展將具有極重要的意義。但是，目前在國內外有系統地討論高硬冷軋輓的熱處理的文獻還很少。為此，作者根據自己在蘇聯烏拉爾重機廠實習時的一點體會與經驗，並參考一些有關的技術文獻，將所收集到的資料進行較系統的整理與分析，編寫成書，以供國內有關熱處理工程技術人員在生產高硬冷軋輓時的參考。

由於作者知識和經驗的限制，書中不免會有許多錯誤，盼望讀者能及時提出指正或意見。

項程云 1957年7月15日於富拉爾基



第一章 生产过程的概述

高硬冷轧辊的生产是极细致而复杂的。在整个生产中，它包括着一系列的复杂的热处理工序。

图 1 列举高硬冷轧辊的整个生产工艺过程图。

热处理，虽然能改变钢的组织 and 机械性能。但是它不能消除钢内的非金属夹杂和严重的偏析。因而，作为高硬冷轧辊的钢种，首先必须在钢之冶炼和浇注的过程中，保证得到最高的纯度和最小的偏析。

为了能知道所熔炼的冷轧辊钢的质量，应进行部分钢锭的熔炼检查。熔炼检查的内容包括粗倍组织分析（即检查偏析的性质，中心疏松，结晶性质，白点，皮下气泡和裂纹等），以及断面和钢的淬透性等的分析。用为显露粗倍组织的浸蚀剂为预热到 70°C 的盐酸水溶液，或38%盐酸和12%硫酸的混合水溶液。根据工厂中央实验室所进行过的熔炼检查结果，以决定钢锭能否被采用。

为了节省燃料和锻造以前的加热时间，冷轧辊钢钢锭一般多采用热送。为此，钢锭的浇注是直接注在注锭车上进行的；当浇注终结以后，随即将注好的钢锭热送到水压机锻压车间，经脱模以后，热装入保温坑或炉内进行保温，或直接装入加热炉内加热到所需要的锻造温度。此时，入炉或坑时之锭温介于 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$ 之间。

锻造是保证得到高质量的高硬冷轧辊的重要工序之一。其工艺过程一般由压棱，去锭头和锭尾，第一次墩粗与拔长，第二次墩粗与拔长，以及压制辊形几部分所组成。锻造时的开锻温度一般介于 $1100\sim 1150^{\circ}\text{C}$ 之间，而停锻温度则介于 $780\sim 850^{\circ}\text{C}$ 之间。开锻温度过高时，有导致因钢锭过烧而锻裂的危险；而停锻温度

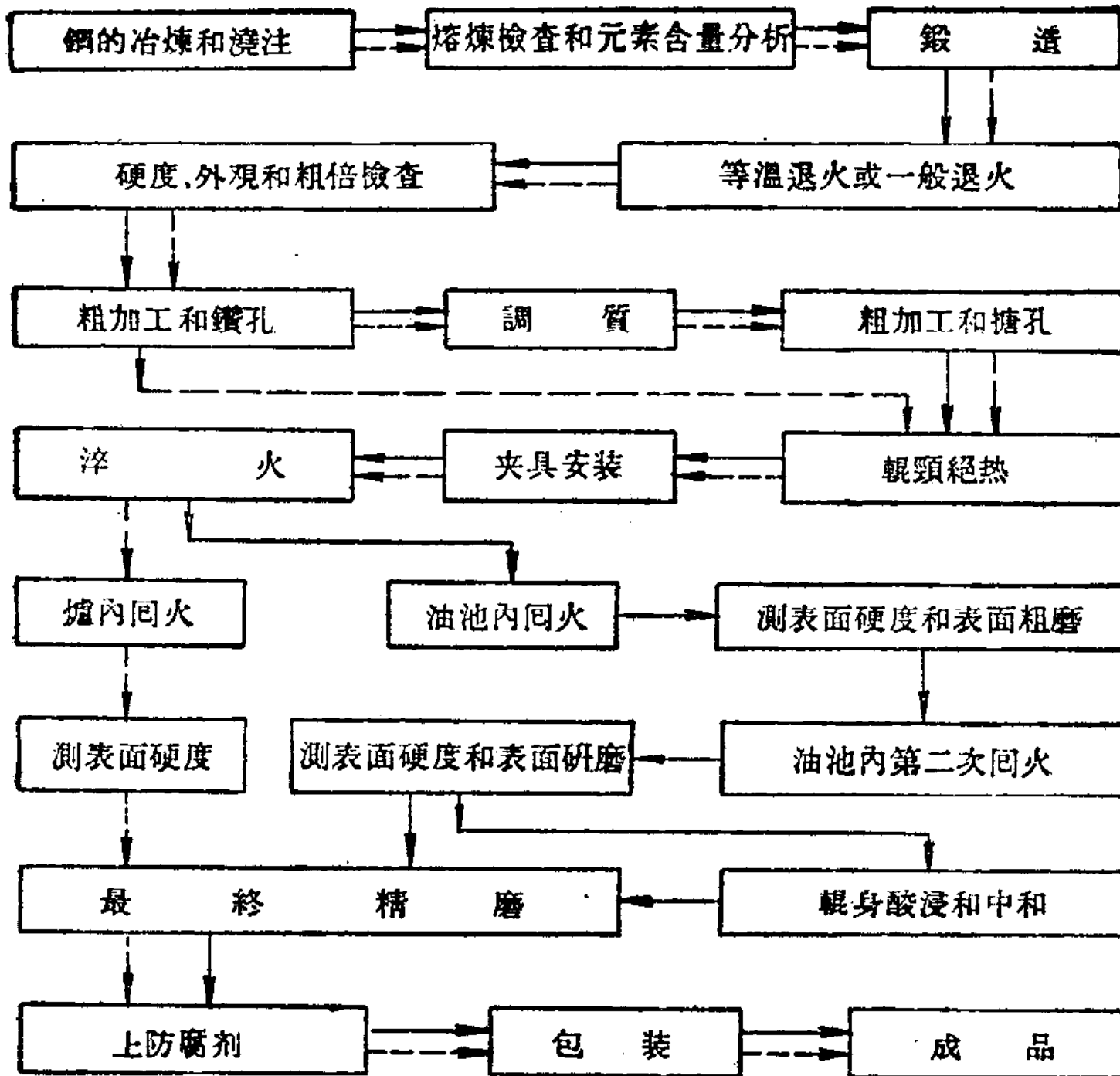


图 1 高硬冷軋軛的生产过程图解

——要求軛身表面的硬度大于90肖氏硬度单位的典型生产过程图解；---要求軛身表面的硬度介于70~85肖氏硬度单位之間的典型生产过程图解。

过高时，則將引起鋼內晶粒的粗化。過低的停鍛溫度同樣也是不利的，因為軛軛鍛裂的可能性是隨鋼內塑性的激烈降低而增加的。在鍛造過程中，力圖縮短鋼錠或軛軛胚在高溫下的停留時間，這是由於在高溫下的停留時間過長時，有可能引起鋼內碳化物或還原產物的局部或全部熔化與軟化，而這些熔化或軟化狀態之綜合相，在鍛造時將轉布于晶粒之周介，因而使鋼的機械性能降低，增加軛軛鍛裂的危險。因而，正確地控制開鍛與停鍛溫度和高溫下的停留時間是消除發生鍛裂現象的重要因素。此外，為了有可能使軛軛內部的細小裂紋和氣泡等在鍛造時焊合，必須採用較大的鍛造比。在鍛造的實踐過程中，還必須保證鋼錠的中心綫與鍛成軛軛

的中心綫相重合。

冷軋輥鍛成以后，應具有為切削加工用的、熱處理用的和低倍分析用的余量，以及為懸吊冷軋輥用的吊環。此吊環見圖 2，其尺寸見表 1。

假如鍛后的冷軋輥是熱送到熱處理車間或工部的話，那末其初次熱處理以採用等溫退火為佳。反之，如果送入熱處理車間或工部的冷軋輥是已經經過鍛后冷卻處理的話，則只進

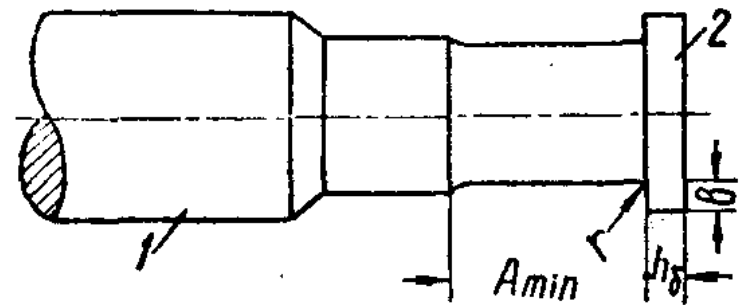


圖 2 懸吊冷軋輥用的吊環

1—冷軋輥； 2—吊環。

行一般退火。從縮短生產周期和節省燃料消耗的观点來看，等溫退火比一般退火要好得多。因而，只要設備條件許可的話，應力圖採用等溫退火。為此，鍛后之冷軋輥應立即熱裝入熱處理爐內進行待料或按等溫退火曲綫進行熱處理。

表 1 吊環尺寸與冷軋輥重量間之關係

冷 軋 輥 重 量 (噸)	吊 環 尺 寸 (公 厘)			
	h_6	B	A_{min}	r
≤0.5	20	30	120	4
0.5~1.5	25	45	150	5
1.5~3.0	30	60	180	5
3.0~5.0	40	80	210	5
5.0~7.0	60	80	300	5
7.0~10.0	70	90	300	5
10.0~15.0	90	100	340	5

經等溫處理以后的冷軋輥進行下列檢查：

1) 取同批處理過的冷軋輥 3~5 根進行硬度檢查，其檢查結果應滿足於 $d_B \frac{10}{3000} = 4.0 \sim 4.6$ 公厘；

2) 于同批處理過之冷軋輥中，取一根以分析低倍組織，其分析用之試片位於冷軋輥相應錠上部之余量內，見圖 3，分析結

果应无白点和裂紋等缺陷;

3) 全部进行外观检查, 冷軋軋的表面应无超过余量之缺陷存在, 未超过余量之缺陷可以清除掉, 但不允許在其表面上进行任何熔补。

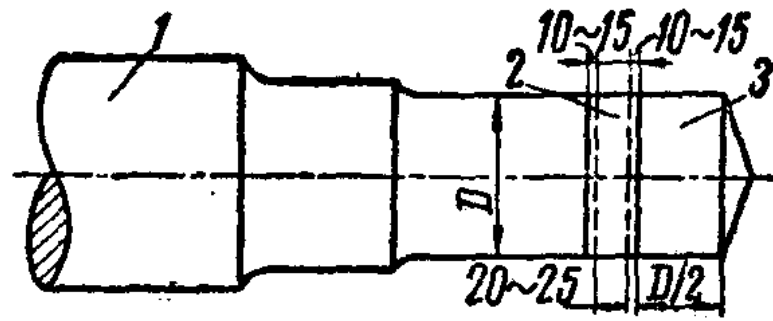


图 3 冷軋軋的低倍試片位置图

1—冷軋軋; 2—低倍試片; 3—廢端。

当上述检查合格以后, 則按冷軋軋的外形进行粗加工并钻孔。經第一次粗加工以后, 对于軋身直徑小于 500 公厘和要求軋身表面硬度小于 85 肖氏硬度单位的冷軋軋, 以及对于軋身直徑小于 300 公厘和要求軋身表面硬度大于 90 肖氏硬度单位的小型高硬冷軋軋, 直接进行淬火。超出上述范围的冷軋軋, 則进行調質。調質以前, 应細心地检查冷軋軋内部 (即内部冷却孔壁) 和外表面的加工情况, 不能有銳边, 刮伤和裂紋等缺陷。調質以后的冷軋軋表面硬度应符合于 $d_B \frac{10}{3000} = 4.2 \sim 4.6$ 公厘的要求。

經調質以后的冷軋軋, 进行第二次粗加工和搪孔。此时, 冷軋軋的表面应留有最終热处理用的余量, 此余量列于表 2 和表 3 中。

表 2 冷軋軋軋身上之余量

冷軋軋的 軋身直徑 (公厘)	冷軋軋軋身之长 (公厘)					
	< 500	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000~2500	2500~3000
	冷軋軋軋身直徑上之余量 (公厘)					
< 180	0.50	0.60	0.70	—	—	—
180~260	0.55	0.65	0.75	0.85	—	—
260~360	0.60	0.70	0.85	0.90	1.00	—
360~500	0.65	0.75	0.85	0.95	1.10	1.20
500~630	0.70	0.80	0.90	1.00	1.15	1.25
630~800	—	0.90	1.00	1.10	1.25	1.35
800~1000	—	1.00	1.00	1.20	1.35	1.45

送到車間来进行淬火的高硬冷軋軋, 应进行严格的表面检查, 一切可能引起淬火时应力集中的因素, 例如: 銳边, 裂紋,

刮伤和深坑等，都必须彻底清除，否则，在激烈冷却的时候它们会成为破裂的核心，因而使轧辊淬裂。

表3 冷轧辊辊颈上的余量

冷轧辊 的辊颈 直径 (公厘)	冷 轧 辊 之 长 (公厘)						
	<500	500~1000	1000~1500	1500~2000	2000~3000	3000~4000	4000~5000
	冷 轧 辊 辊 颈 上 的 余 量 (公厘)						
<180	2.5	3.0	3.0	—	—	—	—
180~260	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	—	—
260~360	3.0	3.5	4.0	4.0	5.0	6.0	7.0
360~500	3.0	4.0	4.0	4.5	5.5	6.5	7.5
500~800	4.0	5.0	5.0	5.0	6.5	7.5	8.5

当表面检查合格以后，则进行冷轧辊辊颈的绝热和夹具安装。入炉加热以前，于冷轧辊之辊身上涂一层石墨油，并细心地检查夹具安装的可靠性和垂直性。不允许把安装不正的冷轧辊装入热处理炉内去加热。

为了检查不能看到的中心冷却孔壁过渡带之加工精确性，可以使用一根带有小钩的铁棒，向过渡带处反复移动，当加工良好时，此小钩在其上运行无阻，反之，则停而不前。

经淬火以后的冷轧辊，必须迅速除去辊颈上的套壳和绝热材料，以及中心冷却导水管与冷轧辊内孔壁间的绝热材料，然后装入油池内，进行第一次回火，或装入立式热处理炉内进行回火。后者仅使用于要求辊身表面硬度小于85肖氏硬度单位的冷轧辊。

经油池内第一次回火过的或在立式热处理炉内回火过的冷轧辊，对于要求辊身表面硬度小于85肖氏硬度单位者，则进行其表面粗磨与硬度的测定，假如所测之硬度值适合于技术条件的要求的话，那末就进行冷轧辊的表面精磨；对于要求辊身表面硬度大于90肖氏硬度的高硬冷轧辊，则进行其表面的第一次粗磨与硬度的测定，此后，复送入油池内进行第二次回火。

二次回火以后的高硬冷軋輥，进行其表面的第二次粗磨与硬度的测定。此后，对于輥身直径小于250公厘的冷軋輥，则进行其表面之精磨；对于輥身直径超过250公厘时，则使用10%的硝酸水溶液进行为显露輥身表面缺陷之酸蚀。酸蚀以后，用苏打液中和之。经中和以后之该种冷軋輥，才进行其表面之精磨。精磨是在車床上用砂布油磨的方法进行。

精磨工序以后，必须于冷軋輥的表层上涂以防腐剂，以预防其氧化和腐蚀。冷軋輥表面的防腐能力取决于其涂料的质量和上涂料前的表面清洁程度。

冷軋輥表面上防腐剂的过程包括下列三个主要部分：

1) 軋輥表面的准备，上防腐剂以前，先用一级品汽油或航空用汽油(60%)与松节油(40%)的混合液清洁軋輥的表面到完全无油点、污物和锈为止；此后，自然风干一小时以上，经约3小时以后，则进行上防腐剂；

2) 上防腐剂，首先用毛刷向冷軋輥的表面刷上一层薄而均匀的假漆，此时，其表面上应无气泡和脏物存在；假漆的浓度系根据手指压于其表面上的印迹以确定之；每次上漆以前，由紧闭的盒子内取出所需用之假漆量，不宜过多，以避免浪费；毛刷刷完以后，用松节油清洗，并用干布擦干，以备下次使用；

3) 涂油，即于上过假漆的冷軋輥表面上涂以润滑油。

经过上列处理过的冷軋輥，用羊皮纸包好以后放于木箱内，以备起运。冬季时，应把軋輥放于绝热箱内，或将軋輥用绝热布包好放于木箱内，箱外用油毡密封起来。绝热物可采用渣棉或锯木屑。但应注意：绝热物必须经过良好的干燥，否则，冷軋輥的表面有被腐蚀的可能。

第二章 鋼种的选择

大家都知道，高硬冷軋輥的工作条件是非常沉重的。一方

面，工作时的軋輥表面与被軋冷鋼件之間存在着大的表面摩擦力，促使其表面激烈地被損；另一方面，它又受到鋼件的冲击。因而，作为高硬冷軋鋼的鋼种，必須滿足下列的主要要求：

1) 高的表面硬度和大的淬透能力，按照技术条件的要求，高硬冷軋鋼的軋身表面硬度不应低于 90 肖氏硬度单位，而硬度超过 85 肖氏硬度单位的有效淬火层深度不得小于其軋身半徑的 3%；

2) 大的工作稳定性，即冷軋鋼在工作过程中不容易产生脫皮和裂紋等缺陷；

3) 較高的冲击韌性值，能承受冷軋时所产生的冲击力。

此外，鋼的成本低和加工容易，也是在選擇鋼种时所必須考慮到的因素。

在实际使用过程中表明：高硬冷軋鋼的使用寿命正比于其表面硬度。因而，高的表面硬度和深的有效淬火层深度是高硬冷軋鋼的質量評价的主要指标。

显然，炭素鋼根本不可能滿足这种要求，特别是对于軋身直徑比較大的高硬冷軋鋼。因此，高硬冷軋鋼是由高炭鉻鋼来制造。极高的軋身表面硬度（大于 90 肖氏硬度单位）的要求，說明了在热处理以后必須在冷軋鋼的表面能得到馬氏体組織，半馬氏体組織的硬度（約等于 77 肖氏硬度单位）不能适合技术条件的要求。因而，有效淬火层深度可認為是馬氏体組織层的深度。

一般冷軋鋼所采用的鋼种有高炭鉻鋼，例如：9X 和 9X2 等，以及以这些鋼为基体另外补加入不同含量的合金元素，例如：鉬、鎢、鈮、矽、錳和鎳等，形成各种較复杂的高炭鉻鋼，例如：9XΦ，9XM，9XC，9XΓΦ，9X2B，9X2Φ，9X2M，9X2MΦ，9X2H 和 9X2HΦ 等。在这些冷軋鋼中，广泛采用的有 9X，9XΦ，9X2，9X2Φ，9X2B，9X2M 和 9X2MΦ。

表 4 列举了几种常用的冷軋鋼的化学成分。

表4 冷軋軋鋼的化学成分

鋼 種	元 素 含 量 (%)							
	C	Si	Mn	≤S	≤P	Cr	≤Ni	其 他
9X	0.85~0.95	0.25~0.35	0.18~0.30	0.03	0.03	1.4~1.7	0.3	—
9X2	0.85~0.95	0.25~0.35	0.18~0.30	0.03	0.03	1.7~2.1	0.3	—
9X2B	0.85~0.95	0.25~0.35	0.18~0.30	0.03	0.03	1.7~2.1	0.3	0.3~0.5 W
9X2M	0.85~0.95	0.25~0.35	0.18~0.30	0.03	0.03	1.7~2.1	0.3	0.2~0.4 Mo

鈦能細化鋼的晶粒，降低鋼對過熱的敏感性，提高鋼的韌性。因而，可向表4的鋼號內加入0.15~0.25%V，則形成9XΦ，9X2Φ，9X2BΦ和9X2MΦ。根據實際操作數據〔1〕可知：不含鈦的9X2鋼所製之高硬冷軋軋比含鈦的9X2Φ所製之高硬冷軋軋的使用壽命要低約11.2%。錳和鎳是擴大奧氏體區的元素，因而不宜含量過高，否則，將使淬火後鋼內的殘留奧氏體量增加。

9XΓΦ按化學成分與9XΦ相近，只是錳量到0.6~0.9%。9XC按化學成分與9X相近，只是炭和矽量高些（C≈1%，Si≈1%）。9X2H按化學成分與9X2相似，不同的是含有較高的鎳。

隨着製造軋軋用的鋼錠的增大，偏析現象也增大。因而，當採用較大的鋼錠時，對硫和磷的要求也就更嚴格。例如：在蘇聯烏拉爾重機廠（УЗТМ）內就有這樣的規定，當製造冷軋軋用的鋼錠重量超過5.15噸時，硫應小於0.02%，磷應小於0.025%。

冷軋軋一般採用酸性平爐鋼，串聯鋼或電爐鋼，必要時也可以採用鹼性平爐鋼。根據薩尼娜（А.П.Санина）的研究〔2〕，我們有充分的理由來擴大鹼性平爐鋼在冷軋軋生產中的應用範圍。這樣，無疑地可以大大地降低冷軋軋的生產成本。薩尼娜認為：鹼性平爐鋼所製的冷軋軋與電爐鋼所製的冷軋軋一樣，在實際操作中得到了良好的結果，完全能夠滿足技術條件的要求。例如：根據蘇聯扎布洛什（Запорож）鋼廠的實際操作數據，軋身

直徑为 490 公厘的碱性电爐鋼工作冷軋軋，每根平均約能軋 25000 吨金屬，而同样尺寸的碱性平爐鋼工作冷軋軋，在試制的 8 根中，有一根軋到 30388 吨金屬，而其余 7 根所軋的金屬介于 20000~23000 吨之間。可見，电爐鋼有可能被碱性平爐鋼所代替。但当采用碱性平爐鋼时，必須特別注意的是：配料之原材料要清潔，注意高温激烈沸騰和采用高碱性渣等，以求鋼內具有最低的硫和磷的要求和最低的氧化夹杂物。

图 4 中列有由斯克琉也夫 (П. В. СКЛЮЕВ) 所得到的 9X2M, 9X2B, 9X2, 9X 和 9XΦ 的頂端淬火硬化曲綫。由图 4 不难看出：9X2M 的硬化能力最高，9XΦ 最低，9X2B 的硬化能力接近于 9X2M，而 9X2 的硬化能力高于 9X 和 9XΦ。

图 5 中列有軋身直徑为 520 公厘的由 9XΓΦ, 9X2MΦ 和 9X2 三种鋼所制的高硬冷軋軋的实际硬化能力曲綫。由該曲綫可以明显地看出：9XΓΦ 具有比 9X2M 和 9X2 还要大的硬化能力。此外，根据納哥尔諾夫 (Н. П. Нагорнов) 的研究〔4〕，可以得知：9XΓΦ 不仅具有优良的硬化能力，而且在 800~850°C 淬火以后，鋼內的殘余奧氏体量也不高，加热到 900~950°C 时，也不趋向

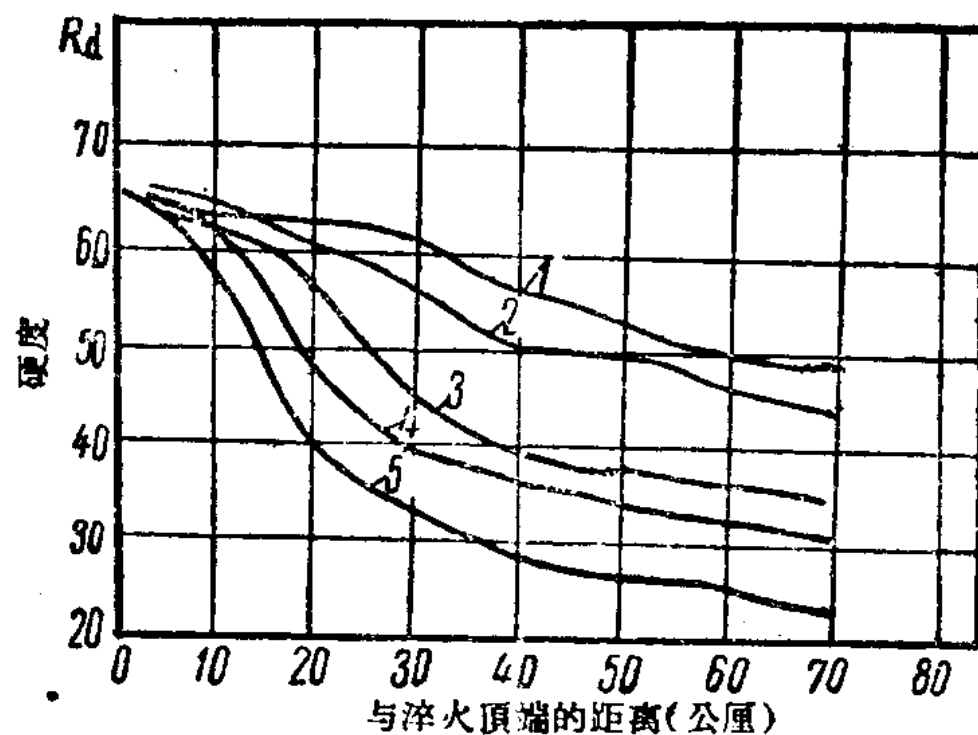


图 4 冷軋軋鋼的頂端淬火硬化曲綫

1—9X2M (0.92% C, 2.08% Cr, 0.29% Mo) ; 2—9X2B (0.93% C, 1.82% Cr, 0.70% W) ; 3—9X2 (0.94% C, 1.98% Cr) ; 4—9X (0.89% C, 1.55% Cr) ; 5—9XΦ (0.89% C, 1.57% Cr, 0.31% V) 。

过热，100~150°C回火以后的冲击韧性也较高，且钢内没有较贵的合金元素（钼，钨和镍）。但是，必须指出的是：9XΓΦ 钢冷轧辊在操作时的稳定性较小，其表面容易脱皮，高压下残留奥氏体

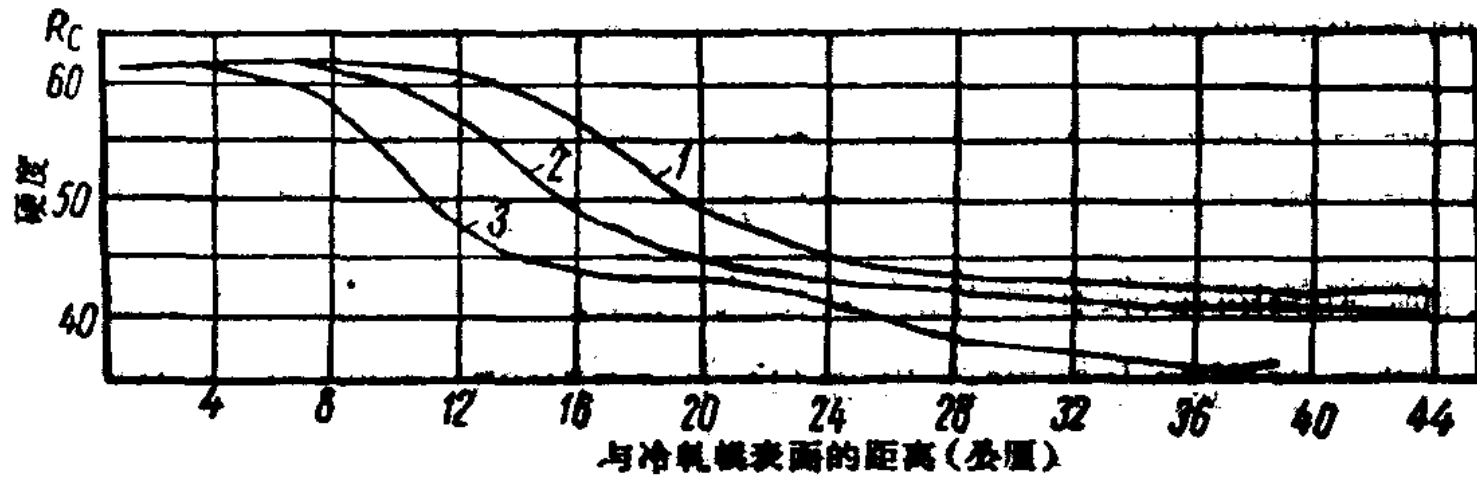


图 5 辊身直径为520公厘的高硬冷轧辊的硬化曲线〔1〕

1—9XΓΦ；2—9X2MΦ；3—9X2。

体很不稳定。因而，这种冷轧辊钢在工业生产中未曾广泛采用。根据苏联乌拉尔重机厂中央实验室对 9XΓΦ 冷轧辊的研究可以料想到，如能在使用工厂中采用周期回火，那末 9XΓΦ 钢还是有被推广的可能。

表 5 列有辊身直径为 520 公厘的 9X2， 9XM， 9X2MΦ 和 9X2B 高硬冷轧辊的有效淬火层深度和以 9X2 钢为基数时的有效淬火层深度的百分比数。由表 5 看得出来：9XM 与 9X2 的有效淬火层深度并无大的区别， 9X2B 的有效淬火层深度比 9X2MΦ 还要大，而为 9X2 的 154%。

表 5 辊身直径为 520 公厘的冷轧辊的有效淬火层深度的比较

钢种	有效淬火层深度 (公厘)	以9X2的有效淬火层深度为100 时，其他钢为9X2的百分数
9X2	~7.5	100
9XM	8	104
9X2MΦ	10.2	131
9X2B	12	154

Н. П. 纳哥尔诺夫曾指出〔4〕，9X2B 钢不仅具有深的有效淬火层深度，而且还具有下列这些优点：