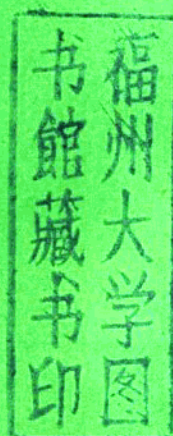


中小型轧钢技术专辑

(续 辑)



鞍钢钢铁研究所科技情报室

中小型轧钢技术专辑(续辑)

(内部发行)

一九七五年十一月

编 辑: 鞍钢钢铁研究所技术情报研究室

出 版: 鞍 钢 钢 铁 研 究 所

发 行: 鞍钢钢铁研究所技术情报资料室

印 刷: 济 南 印 刷 厂

毛主席语录

《水浒》这部书，好就好在投降。做反面教材，使人民都知道投降派。

《水浒》只反贪官，不反皇帝。晁盖盖于一百〇八人之外。宋江投降，搞修正主义，把晁的聚义厅改为忠义堂，让人招安了。宋江同高俅的斗争，是地主阶级内部这一派反对那一派的斗争。宋江投降了，就去打方腊。

毛主席语录

我们必须全心全意地依靠工人阶级。

农业是我国社会主义国民经济的基础。

农业学大寨

目 录

第十五节	棒钢的检测仪器	(1)
第十六节	轧辊的类型及其应用	(6)
第十七节	年产40万吨的直线连续轧机	(16)
第十八节	年产20万吨的多品种机械化轧机	(24)
第十九节	年产10万吨的多品种小批量机械化小型型钢轧机	(32)
第 廿 节	轧辊孔型设计: 第一部分	(42)
第廿一节	轧辊孔型设计: 第二部分	(51)
第廿二节 (附录节)	今后十年英国中小型轧钢技术发展展望	(61)
行星轧机		(75)

第十五节 棒钢的检测仪器

钢铁工业生产过程的检测和控制是非常多样的。其中轧钢生产所用的检测仪器必须在热钢料快速运动中，在高温、多尘、强烈振动这类经常遇到的恶劣环境条件下，既能操作可靠，又不需要频繁地进行校准和维修。由于存在着这许多苛刻的要求，轧钢车间棒钢检测仪器的的发展没有如日益提高质量所期望的那样快。所以在棒钢的检测方法上也没有太多的选择余地。下面就目前所用的几种棒钢检测设备作一些一般的介绍。

轧钢车间所用的方坯，其质量标准主要根据所轧的产品而定。各方坯生产厂采用不同的方法检查初轧机送来的方坯缺陷，但普遍认为最有用的方法是正弦磨痕法和马格纳洛磁粉法。这两种方法已在本专辑的第六节谈过。

纳铁福公司超声波探伤技术

纳铁福公司发展了一种新的超声波质量检测器，据说是英国独一无二的。图1是这种检测器的全貌，图2是它的探头的近景。

这种检测器是由纳铁福公司和瑞典的瑞典通用电气公司经过几个月的研究和改进后制成的，后者提供了所用的设备。这套检测器安装在这家公司在加地夫的垂木法厂的406.4毫米型钢轧钢车间，装在矫直和剪切线上，把轮钢钢切成制造汽车车轮所需的长度。

这种检测器现已应用于检测热轧轮钢的质量，这是英国首次成功地把超声波技术应用于厚度不同、轮廓复杂的型钢。而从前，英国仅能把这类检

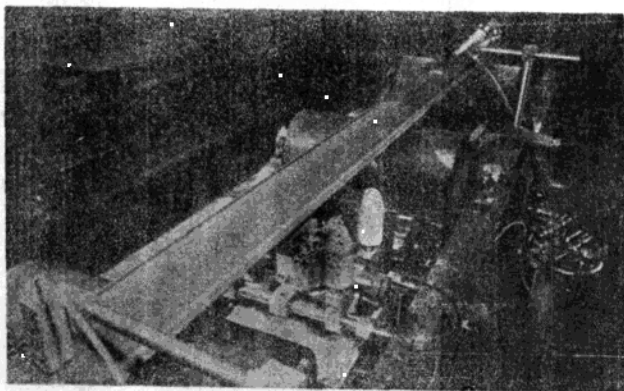


图1 纳铁福公司(南威尔士厂)操作线上的超声波检测器

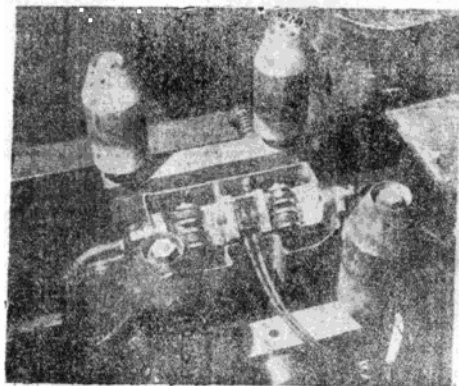


图2 超声波探头

测器应用于厚度均匀的扁钢。

这种超声波装置有一个经过改进的脉冲重复频率可达 2000 赫芝的 Mk 8 型超声波 Metotest 裂纹指示器，连同主电源、起动器和控制器装在一个箱壳里。

在机械设方面有一个托架，托架上有一个双探头， 70° ，2.5 赫芝。每一条轮辋钢需一个托架。总共有两个探头，一个在用，一个装在即将使用的另一个托架上。第二个探头也用作备品。

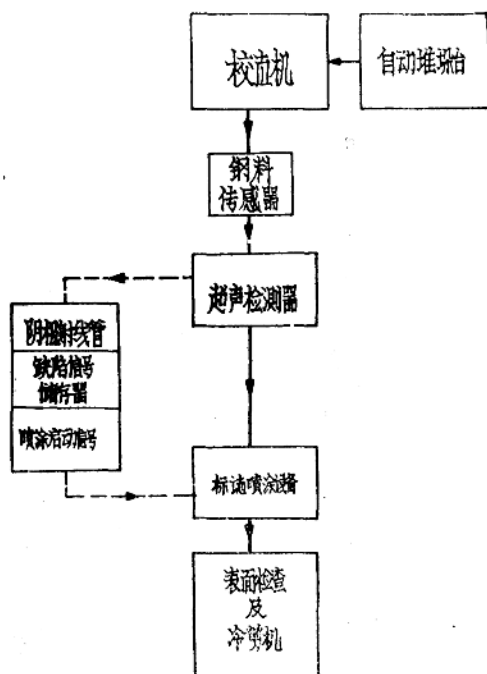


图 3 超声波检测器在操作线上的位置

探头组件装在钢架上，用压缩空气向上抬起，使之凑近轮辋钢，并作横向移动，达到与轮辋钢保持正确的位置。这些动作是当轮辋钢来到时，用传感器自动控制的。当轮辋钢的尾端离开检测位置时，探头组件又自动地落下去。探头组件的安装应当使它在几个方向上都有活动余地，以适应型钢曲率的相当大的变化。

如图 3 所示，纳铁福公司的超声检测器装在矫直机与剪切机之间的操作线上。接受检测的轮辋钢在辊道上运送，用四个竖圆柱引导，使轮辋钢的边缘靠在探头组件上，有 13 毫米的间隙。探头与轮辋钢的位置关系示于图 4。

探头发出的超声波穿进钢料，遇到分界面、缺陷或边界就反射回探头，从而激发探头的接收转换器，在示波器上出现一个信号。有一个喷枪同这套装置配合操作，立即把涂料喷涂在轮辋钢的有缺陷的地方，然后这一段钢料就用剪切机剪掉。

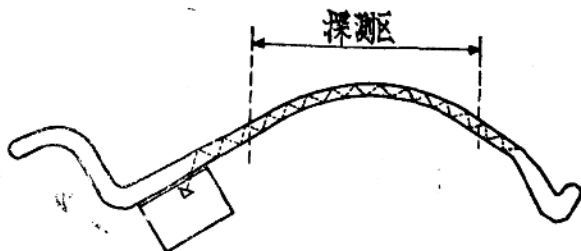


图 4 探头与轮辋钢的位置关系

这种检测器的灵敏程度是，当钢料以0.61米/秒的速度前进时，一个直径5毫米的钻透的网孔能够在选通脉冲段检测出来。这已在750赫芝的脉冲重复频率下用试样进行过验证。如果速度提高到1.524米/秒，在理论上，同样大的网孔也能检测出来，因为脉冲重复频率可以提高到2000赫芝。用这套装置进行的试验证实了这一点。

这种装置需要电压为220伏±10%、频率为50赫芝的单相电源，需要不小于4公斤/厘米²压力的压缩空气和饮用质量的新水，用以连接探头和所检测的钢料。

应用这种常规的方法，对复杂断面的型钢进行要求很严格的检测工作，首先需要进行大量的试验，特别是在寻找最好的探头角度、最有效的安装方法和建立最佳的工作界限时是这样。

最初的生产性试验已经进行过了，试验结果表明，这种新的装置在满足热轧型钢的日益严格的质量要求上是极有价值的。

纳铁福公司（南威尔士厂）和纳铁福萨木塞特钢丝厂，在生产的所有阶段采用各种各样的质量控制技术，其中包括例如连续检测钢丝表面质量的各有示波显示器的无损检测设备。

克劳卡迈棒材分类机

超声波检测裂缝的原理是，频率极高的声波（在棒钢检测设备上为一百万赫芝以上以及四百万赫芝）能在棒钢中传送而不能在空气中传送。在检测时，当在棒钢中传送的声波碰到棒钢中的裂缝时，声波就从裂缝壁上反射回来，被拾音后在阴极射线管上转变为一个示波信号。这种回声示波信号的高度即相当于缺陷的大小。

进行超声波检测时，圆棒钢穿入克劳卡迈棒钢分类装置的圆筒探头件里。探头件里有三对探头，各反映一个扫描面，各有一个发射机向棒钢发送声波，还有一个接收器，收集由棒钢的间断处反射回来的声波。两个扫描面扫描棒钢表面的纵向缺陷，第三个扫描棒钢的内部缺陷。探头绕着棒钢旋转，但不接触，声波经水接点发射和接收。

扫描棒钢表面纵向缺陷的两个扫描面，一个是按顺时针方向扫描的，另一个则按逆时针方向扫描。这种排列方法保证了这种分类机在检测并不恰好平行于棒钢纵轴方向的缺陷时不致于漏失检测。大多数最常见的表面缺陷是平行于棒钢纵轴的，都能被两个扫描面同时检测出来。

在当前，有必要先把棒钢盘卷起来然后送入分类机。可以检测的棒钢尺寸为：37.3至39.7毫米，42.9至49.2毫米，52.4至58.7毫米，65.1至67.5毫米，70.6至73.8毫米，即总的尺寸范围约为38至76毫米。

值得一提的是，有一台这种类型的分类机，克劳卡迈ROT120型的，于1971年装设在罗瑟翰厂，能够检测38至76毫米的棒钢，速度为0.25至0.75米/秒。

据说这种分类机能够把受检的棒钢的98%正确地进行分类，如果把这些棒钢再次通过这台分类机，再分类的准确度达98.1%。但由于初期的难以避免的不足之处和超声波检测普遍存在的变动性，这样一种分类水平还没有在罗瑟翰厂得到证实。

这种分类机的保证能力是这样表示的：在一根没有缺陷的棒钢上用机械加工的办法

制造上标准的缺陷，能检测出来的最小缺陷深度是 0.1 毫米或表面糙度的三倍，用其较大者表示。

涡 流 检 测

绕圈检测法

这种检测法是把棒钢穿在有三个线圈的组件里（图 5）。中心的线圈通上经过选择的频率，从而在棒钢表面产生一个周围的涡流。外侧的两个线圈是差分连接的，如棒钢质量优良，则输出总和为零。如棒钢的有缺陷的一段达到这些线圈中的一个，则失衡总和产生一个与缺陷严重程度相当的输出信号。

输出响应通常只是在缺陷起点和结尾时出现，除非缺陷的深度在其全长上有很大的变化。沿棒钢长度缓缓伸展的缺陷有可能漏检。检测的灵敏度随着棒钢尺寸的增大而降低，这是因为扫描面比起缺陷尺寸来相对地增大了。当在冷状态下进行检测时，棒钢一般先经磁化，以排除棒钢导磁率的变化引起的可能的波动。尽管棒钢缺陷在圆周上的位置不能确定下来，但这种方法具有设备简单和检测量大等吸引人的优点，所以 甚 为 流 行。

探针线圈法

探针线圈罩在一个机械组件里，以恒速围绕棒钢旋转，同时棒钢穿过检测头向前推进，这样就形成表面的螺旋扫描。线圈通过经过选择的检测频率，于是在棒钢表面产生一个环形涡流（图 6）。探针下如有缺陷，则涡流下沉。涡流线路长度的变化由线圈感

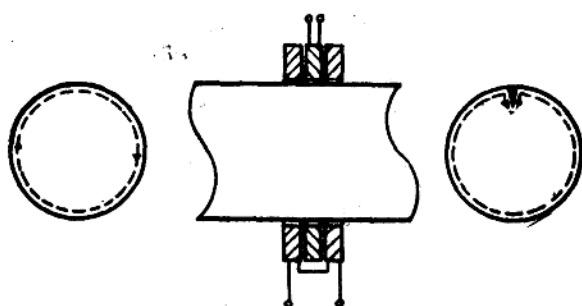


图 5 涡流检测原理（线圈环绕装置）

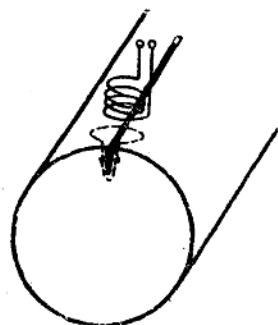


图 6 涡流检测位置（探针装置）

受并产生一个与缺陷深度成比例的输出信号。

这种方法与绕圈法比较，其缺点是检测速度较慢。但这种方法能确定缺陷在圆周上的位置，而且它的灵敏度不受棒钢直径的影响，这足以抵偿其缺陷而有余。

磁漏法

用漏磁通进行检测需要把检测件磁化。这在福尔斯特学院的 Rotomat 系统上是用磁轭实现的，磁轭围绕棒钢截面旋转，同时用进料机构推动棒钢前进，穿过检测头，产生螺旋扫描。棒钢中的磁力线因棒钢中的缺陷而产生偏扭，其中某些磁力线漏到缺陷附近

周围的空气中(图7)。这种漏磁用霍尔传感器和在棒钢表面滑动的耐磨钨钨感受。

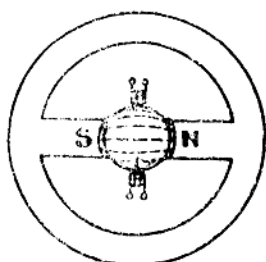


图7 磁力线检测原理

这种方法之所以有用是因为它能用来显示恰恰在表面下面的缺陷，尽管灵敏性差一些。当然这种方法显然只限于磁性钢料，所以奥氏体钢不能用。表1列举了克劳卡迈和福尔斯特学院的检测设备的某些技术细节。

自动涡流棒钢检测器

富勒·哈苏文(Duport财团的成员)在操作线上装置了Barscan Fe Teledictor无损检测器。这种装置的设计是，凡有效直径不超过38毫米的棒钢和型钢都能在室温条件下自动地检测表面裂缝。

表1 克劳卡迈和福尔斯特学院若干无损检测设备的技术数据

设 备		制 造 者	检 测 温 度	检 测 速 度	分 辨 力	尺 寸 范 围 (毫米)
Defectomat		福 斯 特	<80℃	50米/秒*	1 %直径	1.2至38
Defectotherm			800℃<T<1200℃	50米/秒*	1 %直径	5至65
Circograph	R ₀ O	福 斯 特	\	1米/秒	0.1毫米	2至8
	R ₀ I			0.125米/秒	0.2毫米	5至24
	R ₀ II			0.64米/秒	0.4毫米	20至60
	R ₀ III			0.40米/秒	0.25毫米	50至130
ROT120		克 劳 卡 迈	<80℃	1米/秒	0.25毫米	35至80
Rotomat		福 斯 特	<50℃	1米/秒	0.3毫米	20至140

*原文如此——译者注

Barscan Fe 检测器是根据环绕线圈涡流原理操作的，在这种检测器中，在环绕着受检钢材的励磁线圈上通以交流电。如果受检钢材没有缺陷，励磁线圈磁场里的差分连接的测量线圈就互相对消。如果受检钢材有缺陷，这个缺陷就在两个测量线圈之间产生一个失衡信号；这个信号由电子装置加以分析，不同特性的缺陷在阻抗投影显示器上显示出不同的光点运动。

对于小直径的线材来讲，检测器的制造者宣称274米/分这样的速度已经可以达到。

结 语

目前已有许多种钢材表面检测技术，在某种程度上，也可以检测钢坯和各种轧制钢材的内部缺陷。其中某一些可以在操作线上自动地对轧制钢材进行检测和分类。本文谈到的一些检测设备只是近年来许许多多新发展的检测设备的样品而不是全部。应当指出，在这个领域内，更新的发展还正在进行中。

丁振岩 译自：《钢时代》(英)，1974，6，424~428。
金戈校

第十六节 轧辊的类型及其应用

在无论什么轧钢车间里，轧辊都是最关键的部件。在复杂而又昂贵的轧钢设备以及其中的控制机构中，轧辊起着主要的作用。轧辊是轧钢的工具，在多数情况下，使钢材变形所采用的方式主要决定于孔型的设计人员。钢材的精确度、轧钢的生产速度以及轧辊的寿命都与孔型设计和选用的轧辊质量有关。使用者需要知道什么样的轧辊最适合他们的特定用途，轧辊铸造者需要从轧辊的操作管理上取得指导，了解轧辊的哪些性能在使用上是最重要的。

主要的发展途径有两条：（1）延长轧辊的持续使用时间，但成本较高；（2）修复旧轧辊以节约费用。一般说来，要提高轧辊的寿命，在轧辊制造中，原则上是尽量减少和避免在其耐磨性能与抗断裂性能之间采取折衷措施。在这方面通常由复合法来解决，例如生产具有硬的表层和软的芯部、颈部的轧辊。同样的原则也适用于旧轧辊的修复，因为这能提供机会使轧辊表面比本体材料具有较高的耐磨性能。

从轧钢工作人员关于轧辊成本的谈话中可以知道，甚至到今天，轧辊的真正的重要性还没有真正被认识到。读者应当记得，在轧钢车间的总的变换成本中，轧辊所占成本高达6%（参见本专辑第二节）。

很少轧钢车间保有在轧辊试验上所用的时间的准确纪录，也很少有人发现轧辊成本与增加到成品钢材上成本的关系。轧辊成本应当包括购买轧辊所付的费用，加上全部其他由轧辊引起的费用，其中当然包括轧辊车削车间的费用、换辊费用、因换辊造成的停工损失、断辊损失费及由此引起的停工损失费，还有为了维持产品品种而储存轧辊所付的利息。多数轧钢车间的平均作业率约在60%至65%之间，大多数停工时间用于换辊和换槽，有时候则由于轧辊质量不好而造成停工，这都说明了轧辊的重要性。

如果把上述全部项目都加在一起并且用轧制费用的百分数表示出来，那就能够看出它们的真实价值。生产单一品种钢材的连续轧机，为轧辊所付的成本费是很少的，但延长轧辊两次车削之间的轧制时间的任何改进都是一项很大的节约。

另一方面，在某些多品种的轧钢车间，例如越野式半连续轧钢车间，轧辊的更换决定于定货情况和批量大小，所以以上所讲的改进就不那么重要。

轧 辊 性 质

在小型和中型棒钢轧钢车间进行热轧时，如果轧辊在操作中的温度比钢料温度低很多，那么各种类型的铸铁、铸钢或锻钢轧辊都是适用的。这就需要合适的水冷系统。在一特定情况下究竟使用铁辊还是钢辊，要看轧辊承担的工作以及韧性、耐热裂性、耐冲击负荷以及耐磨性，哪一个是最主要的。铁或钢的含碳量对于上述各项性能有重要影响。

大家知道，含碳量越高轧辊就越硬；反之，含碳量越低轧辊就越软越韧。这是因为，无论是高碳铸铁中的自由碳即石墨，或者是低碳铸铁中的化合物即渗碳体或珠光体，碳在铁中对于铸件的金属结构有着显著的影响。而且，铁中的石墨可能是片状的，也可能是球状的，这也影响铸件的金属结构。

在纯铁（铁素体）中加进了碳，就形成了碳化铁（渗碳体），很硬也很脆，在铁中一般成层状。互成层状的铁素体与渗碳体叫作珠光体。当含碳量约为0.85%时，金属结构全部为珠光体。珠光体强度很高，耐磨性很好。当含碳量低于0.85%时，金属结构则由铁素体与珠光体组成。当含碳量高于0.85%时，则在珠光体的底子上出现渗碳体。在铸件中，正常的含碳量为3.0%或更多，过量的碳形成渗碳体或石墨，这要根据所采用的工艺而定。

图1是铸铁轧辊或铸钢轧辊的含碳量与轧辊性质的关系。图的中央部分“半钢”表示铁碳平衡图的钢与铸铁之间的所谓“无人区”。

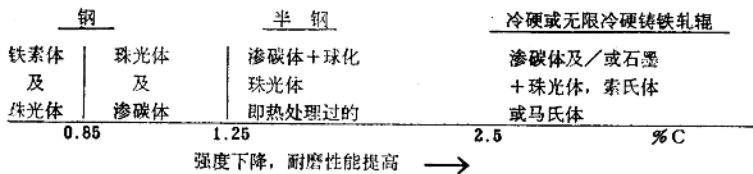


图1 铸铁或铸钢轧辊含碳量与轧辊性质的关系

除化学成分外（其中碳起主要作用），金属结构，因而也就是铸铁的性质，还要受到金属从液体状态到固体状态的冷却速度的深刻影响；也要受到以后的热加工的影响，——尽管这种影响对使用上的作用不大；也要受到为达到理想的目的而有意进行的热处理工艺的影响。

铁水注入模子之后，影响冷却速度的主要因素是导热率和模壁厚度。拿金属模（导热率高）同砂模（导热率低）比较，前者使冷却加快，产生冷硬结构，这种结构比砂模的低速冷却形成的细晶粒结构要硬一些，但脆得多。

使用不同成分和不同厚度的模子能够大大改变铸件外缘金属的冷却速度，尽管对于铸件内部金属或中心部位的冷却速度的控制是极有限的。

按照现行的铸造工艺可以生产各种类型的轧辊以适应各种轧机的使用条件，例如粗轧机的使用条件或精轧机的条件。轧辊的基本类型有“砂模铸铁”或“细晶粒”轧辊（在砂模缓慢冷却的）以及纯白口冷硬轧辊或无限冷硬轧辊（在激冷模里轧辊表面迅速冷却的），但还有许多类型的轧辊，下文即将谈到，这是仅仅稍许改变一下铸造工艺或化学成分就作到的。尽管以上讲的许多方面是专指铸铁轧辊说的，但所依据的关于化学成分和冷却速度诸项原则对铸钢（碳素钢或合金钢）轧辊也适用。这类轧辊在后面还要谈到。下文也要谈到锻钢轧辊，这是根本不同的一种类型。

轧辊的硬度

既然在轧辊的所有标准规范或说明书上都提到轧辊的硬度，那就应当简单地谈谈硬

度的含义和硬度是怎样测量的。硬度一般是用划痕阻力、磨损阻力、压坑阻力以及冲击后的弹回能力表示。对于硬度还没有绝对科学的单位，所以它的度量是用仅仅属于某一测量方法的经验单位表示的。

现在通用的试验硬度的方法是根据划痕阻力、压坑阻力和冲击后的弹回能力确定的。划痕硬度计用加负荷的钻石在试件表面上划出的痕迹进行测定，这种方法已被压坑法和弹回法所代替，后两种方法更容易操作。

在压坑法中最著名的有维氏硬度计、布氏硬度计和洛氏硬度计。这些方法使用钢的或钻石的圆球、圆锥体或棱锥体，在标准负荷下在金属表面上压坑。坑的对角线或直径（维氏及布氏）或深度（洛氏）就是硬度的尺度。

肖氏硬度计是一种弹回法的硬度计，为轧辊制造者普遍采用，因为这种硬度计比压坑法硬度计体积小，便于搬动，操作简便。肖氏硬度计备有落锤，其顶端有一块小小的钻石，落锤装在玻璃管里，可由气动操纵，自由地垂直落下。落锤撞在所试金属表面后弹跳回来。弹回的高度用刻度盘指示。弹回的高度越高，硬度就越高。

无论用哪种方法测量硬度，金属的表面必须规整并且光滑。应当测量许多点的硬度，取其平均值。硬度计应定期用标准硬度块进行校准。

除了测量轧辊的表面硬度外，有时也需要测量轧辊深部的硬度。为此目的，在轧辊辊身的一端车出一圈，在试验室用压坑法测量表面和表面下各种深度处的硬度。

肖氏硬度计有几种不同的标尺，使用时必须注明；标尺C的肖氏硬度（Hc）是测量轧辊硬度最常用的一种。

铸铁轧辊（细晶粒轧辊）

细晶粒轧辊是用砂模铸成的，因此在轧辊辊身的表面上不产生冷硬组织。这类轧辊可以铸成光面的，也可以铸成带槽的，可有各种成分。造模工艺包括仔细地和有区别地使用冷铁，以保证最致密的细晶粒结构和均匀性，这和铸件的可车削性、适当的硬度和耐磨性是互相一致的。

在细晶粒轧辊中以及在大多数铸铁轧辊中，石墨的出现使轧辊产生优良的性能。这类轧辊具有某种程度的自行润滑的性能，这对于在高温和摩擦作用下工作的轧辊来讲是特别重要的，而且还有助于抵抗火裂的产生。这许多因素的综合作用是使钢材的表面扭曲减少。一般说来，可以说实践已经证明，用细晶粒轧辊或其他铸铁轧辊轧出的钢材，其表面质量优于用硬度较低的钢辊轧出的钢材。

细晶粒轧辊的典型成分如下：碳2.5~3.0%；硅0.5~1.0%；锰0.4~0.8%；磷0.3~0.5%（最大）；硫0.13%（最大）；铬0.3%。

硅是用来调整自由石墨含量的主要元素。锰是用来平衡硫和使金属还原的。过高的锰含量将使石墨化受到阻碍，因为高浓度的锰是碳化物的一种稳定剂。

“细晶粒”或“砂模”铸铁轧辊是最便宜的一种轧辊。这种轧辊的抗磨性能高，因为轧辊的金属结构中有一些碳化物，这是通过审慎地添加合金元素而得到的，主要是铬，但当然，这样作会牺牲一些韧性和使硬度增高。

珠光体细晶粒轧辊

这是一种强度高、韧性好并耐火裂的轧辊，特别适合于工作条件繁重而又多变的轧机。这种轧辊也适用于多品种小批量的轧机。轧辊的硬度范围为 Hc30~40°。

合金细晶粒轧辊

这是在严格控制下加入了合金元素的轧辊。一般含有镍、铬和钼，有显著的淬硬性，在使用上是经济的和高效率的，实践证明，比起一般细晶粒轧辊来，耐磨性和强度都稍高。合金元素含量较高的合金细晶粒轧辊比碳钢轧辊或低合金钢轧辊，硬度更高，晶粒更细，耐磨性更好，轧制数量更大。

一种典型的化学成分是：碳 3%；硅 1%；镍 1%；铬 1%；典型的硬度范围是 Hc 38~50°。图 2 是英国轧辊公司制造的用于粗轧的一组合金细晶粒轧辊，商业名称叫作“Adamite”。

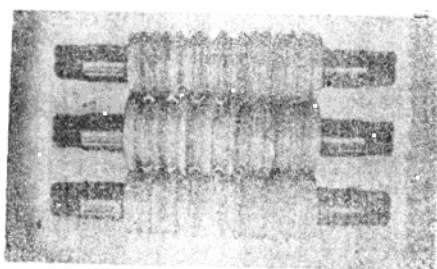


图 2 “Adamite” 合金细晶粒粗轧辊

应当强调指出，合金细晶粒轧辊在使用中的温度控制是十分重要的，必须大量使用冷却水。

纯白口冷硬轧辊

纯白口冷硬轧辊有两类，一是碳素类，一是合金元素类。碳素类冷硬轧辊是纯白口冷硬轧辊中最结实的一类，制造时一定要优质生铁。这类轧辊受得住沉重的负荷，对于温度变化的抵抗能力高。

纯白口冷硬轧辊有一白口铁的外层，是在铸模里用激冷的办法使外层快速冷却而形成的，这是因为快速冷却使自由石墨的形成受到了限制。这种轧辊的辊身是光面的，模子是很厚的铁模，但辊颈和梅花头部分则用砂模（图 3）。碳素类轧辊的硬度为 Hc55~65°，含合金的则可达 90°。在铸造时，由于冷型表面一层极薄的涂料使辊身得到激冷而产生了白口铁的外层。这时铸在砂模里的金属由于冷却缓慢而产生了灰口铁的辊颈，具有承受轧制压力所需的强度。这种轧辊正常叫作纯白口冷硬轧辊或冷硬轧辊，其金属组织如图 4 所示。

合金冷硬轧辊是加入了合金元素的冷硬轧辊，这种轧辊的硬度要更硬一些（Hc 65~90°）。举例来讲，轧辊中含有 4~5% 镍和铬，用以平衡自由石墨的形成，一般用

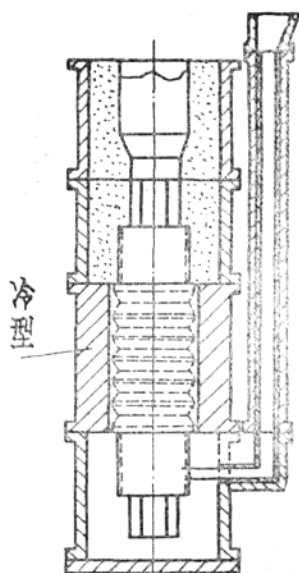


图3 辊身部分采用冷型的无限冷硬及冷硬铸铁轧辊铸型，辊身铸型通常是光面的，如需要也可以加工出孔型

复合浇铸轧辊

因为一般的铸造方法难以影响铸件的中心部位的冷却速度，也就是说难以影响铸件中心部位的性能，所以发展了复合浇铸方法，用这种方法生产表面硬度高而中心韧性好的轧辊，所用金属的化学成分是不同的。例如，首先浇入白口铁铁水，一俟凝固到形成了外壳或冷硬带时，就注入灰口铁铁水，把尚未凝固的白口铁铁水顶出模外。这样，凝固后就形成韧性的辊芯。图5是复合浇铸轧辊所用的铸型。这种轧辊的外壳硬度在Hc75~95°之间，而且直到近几年来仍然用于冷轧，但现在则广泛用作热宽带连轧机的工作辊，使用时要进行有效的水冷。

象复合浇铸的铁轧辊一样，现在也有了复合浇铸的钢轧辊，既然如此，那就

于冷轧，而用于热轧的合金冷硬轧辊可加入0.4~1.0%的钼，这对纯白口冷硬轧辊的晶粒结构能起细化作用，并能改进在热轧中的使用寿命。

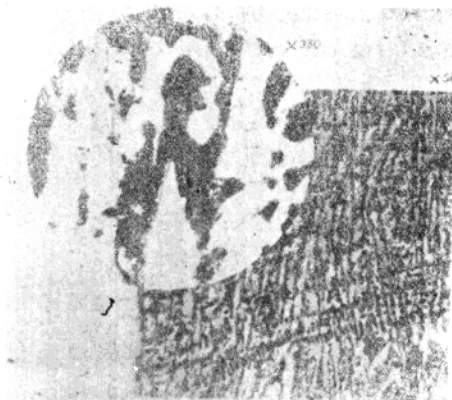


图4 冷硬轧辊冷硬带的典型微观组织：在细致的层状珠光体基体上含有渗碳体

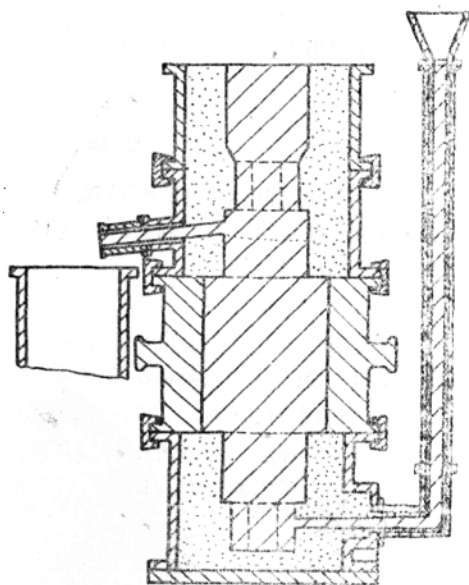
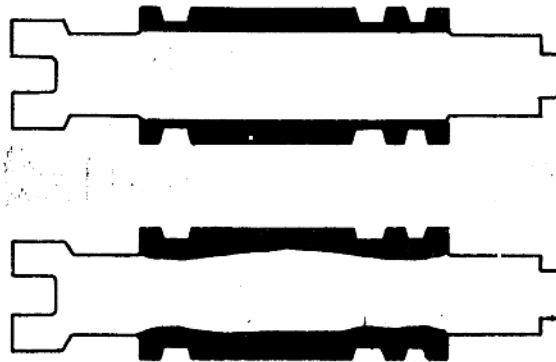


图5 复合浇铸的铸型

没有必要在这类轧辊上的耐磨性与强度之间搞折衷方案。但复合浇铸的钢轧辊有一个尺寸上的限制，因为还不能把尺寸作得非常小。这是因为钢水凝固的很快，而且铸钢技术还没有充分发展到足以应用到极小的尺寸。凡是在激冷模子里用复合浇铸法铸出的轧辊，所需的轧槽必须在轧辊的外壳上车削出来。

最近的一项发明是把复合浇铸和离心浇铸结合起来。浇铸时模子旋转，当开头浇入的铁水形成凝固的外壳时，把较软成分的铁水浇入，形成辊芯。外壳的厚度能够准确地加以控制（用控制重量的办法），也更便于采用各种不同的外壳材料。

还发明了钢轧辊的级差硬化法。这种方法是把轧辊辊身迅速加热到这种轧辊材料的变态点以上的温度，辊芯和辊颈仍在变态点温度以下。经淬火后，仅辊身表面硬化了，辊芯和辊颈仍然是软的和韧的。图6是复合浇铸轧辊与级差硬化轧辊的硬化层形状对比；后



上：复合浇铸轧辊；下：级差硬化轧辊

图6 复合浇铸轧辊与级差硬化轧辊的对比

者的硬壳或冷硬带（黑色）通过中间较软带（灰色）向轧辊的软芯转化是更为缓和些。

无限冷硬轧辊

无限冷硬轧辊与纯白口的或冷硬的轧辊同样制造，但不同的是无限冷硬轧辊没有界限分明的白口带、麻口带和灰口带，而是硬度随着深度而均匀降低。这种轧辊的硬度为Hc60~75°。图7表明无限冷硬轧辊和冷硬轧辊的不同的激冷性状。这种不同是通过

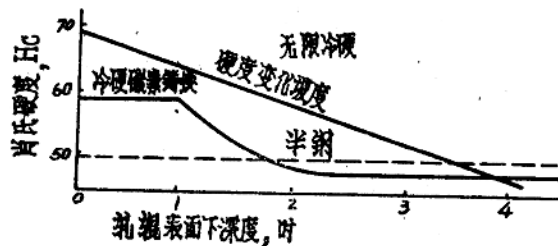


图7 无限冷硬轧辊及冷硬轧辊的硬度与轧辊辊面下深度的关系

加入经过选择的合金元素——主要是镍、铬和钼而取得的，合金元素含量越高，硬度就越大。表面层含有极细的石墨颗粒，金属结构均匀地向灰口铁辊芯转变。无限冷硬的表面比冷硬轧辊更能抵抗火裂和剥落，并能在轧辊“咬钢”时消除无益的打滑现象。当然必须持续地给冷却水，以免温度剧烈波动。

无限冷硬轧辊的表面可以进行高度抛光，所以能够保证优异的耐磨性。良好的硬度条件应为每深入表面下25毫米，Hc硬度降落不超过 2° ，当然这种硬度的降落将依合金元素及其含量的不同而有很大的差异。

硬度为Hc38~40°的碳素无限冷硬轧辊已很少使用，一般称之为“半冷硬”轧辊。合金无限冷硬轧辊已经成功地应用于小型及中型型钢以及小方坯轧机，也应用于某些越野式小角钢连轧机。

球 墨 铸 铁 轧 辊

球墨铸铁轧辊的特点是石墨已经球化，与灰口铁的石墨是片状的不一样。这种轧辊无疑比一般的灰口铸铁轧辊的强度高，在使用中同铸钢轧辊相比，强度不差上下，耐磨性还要好些。

球墨组织（图8）是用铈和（或）镁处理铁水得到的。通过改变合金元素（镍、铬、钼）的含量，围绕石墨球体或榴体的基体能够从珠光体/渗碳体结构向更成针状的渗碳体/菌体结构转化，因而强度和硬度也相应地转化。这两大类轧辊分别叫作珠光体球

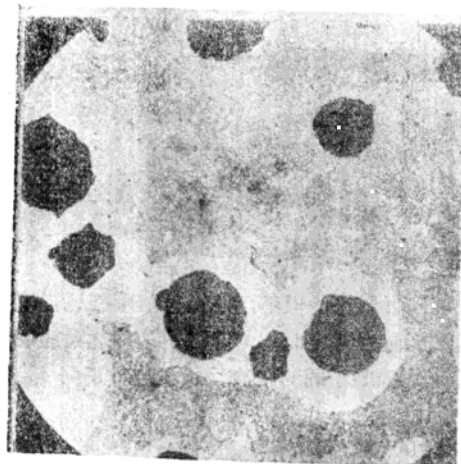


图8 球墨铸铁轧辊的以珠光体为基体、为铁素体所包围的球状石墨

墨铸铁轧辊和针状球墨铸铁轧辊，后者含合金元素较高，强度较高。球墨铸铁轧辊可以是无限冷硬的，即激冷铸造的，也可以是细晶粒的，即用砂模铸造的。硬度范围为Hc35~70°，针状的一类硬度最高。

同灰口铸铁轧辊比较起来，球墨轧辊的硬度由表面到中心下降的更为平缓，这对车削深轧槽的轧辊来讲是有益的。同铸钢轧辊比较，球墨轧辊的自由石墨能起润滑剂的作用，使轧辊咬钢的摩擦力降低，因而减少了轧辊的磨损。

球墨轧辊经车削加工达到良好的加工精度是没有困难的，主要的是给