

文铁铮 郭玉珍 编著

冶金轧辊技术特性概论

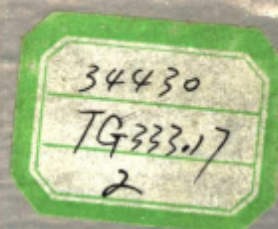


YEJINZHAGUNJISHÚTÈXING
GAILUN
WENTIEZHENG GUOYUZHEN
BIANZHU

河北科学技术出版社

责任编辑/杜振杰

封面设计/李玉珍



ISBN 7-5375-1363-5



9 787537 513630 >

ISBN 7-5375-1363-5/TF · 1 定价:38.00 元

冶金轧辊技术特性概论

文铁铮 郭玉珍 编著

河北科学技术出版社

(冀)新登字 004 号

冶金轧制技术特性概论

文铁铮 郭玉珍 编著

河北科学技术出版社出版发行(石家庄市北马路 45 号)

河北新华印刷一厂印刷 新华书店经销

787×1092 毫米 1/16 22.75 印张 555.000 字 1995 年 1 月第 1 版
1995 年 1 月第 1 次印刷 印数, 1—2,500 定价, 38.00 元

ISBN 7-5375-1363-5/TF·1

序 言

由中国金属学会轧钢学会轧辊学术委员会主任委员、邢台冶金机械轧辊股份有限公司总工程师、教授级高工文铁铮等编著的《冶金轧辊技术特性概论》一书，是作者根据三十余年的工作实践，经过几年的努力，搜集整理了近年来国际、国内关于冶金轧辊制造和使用的最新研究成果和实践经验，在此基础上，对各类铸造和锻造轧辊材质的特性，包括化学成分的合理匹配、辊身基体组织特点、力学性能及其影响因素等逐项进行了全面的论述；同时对各类轧机的轧制特性及其轧辊材质选择进行了分析和讨论。全书收集了近 200 幅金相照片，文图并茂，具有较强的科学性和很高的实用价值。

在《冶金轧辊技术特性概论》出版发行的时候，希望它能对广大冶金轧辊制造、研究和轧钢工作者有所帮助或参考，同时对促进有关企业的生产建设起到积极作用；也希望它能给教学工作者的教学实践提供参考。

冶金工业部副部长
中国工程院院士

殷瑞钰

1993 年 12 月 22 日

前 言

冶金轧辊是轧钢和有色金属轧制的一项重要的大宗消耗工具。近年来,我国随着一批现代化的冷、热带钢连轧机,宽中厚板轧机,高速线材轧机,型钢连轧机和管轧机的引进和自行设计制造的现代化大型轧机的建设与投产,使我国轧钢工业技术和装备向国际先进水平跨了一大步。与之相应,也推动了我国冶金机械制造技术的全面发展。为了适应轧机向大型、连续、高速和自动化方向发展的要求,广大冶金工作者坚持改革开放,在总结我国冶金机械制造经验的基础上,消化吸收国外先进技术,对各类轧机所用轧辊的材质进行系统的研究,对各类材质轧辊的制造工艺、技术特性及其失效分析等做了大量卓有成效的工作。目前,冶金轧辊的品种、质量和产量不仅可以满足我国轧钢工业不断发展的需要,而且已跻身于国际市场。作者就是在我国钢铁工业呈现生机勃勃的发展态势下,搜集整理了国际、国内有关冶金轧辊制造和使用的研究成果和实践总结,完成了《冶金轧辊技术特性概论》一书,以期对冶金轧辊制造、研究和轧钢工作者有所裨益,为我国轧钢工业再上新台阶做出贡献。

本书在编著过程中得到了广大冶金工作者的支持,特别是得到了邢台冶金机械轧辊股份有限公司领导的关怀和工程技术人员的大力协助。其中金相照片除主要由邢台冶金机械轧辊股份有限公司中心试验室提供外,武汉钢铁公司钢铁研究所和其他兄弟单位也提供了部分照片。此外,本书编著中还参考了有关专业论著中的部分资料数据。对此,作者深表感谢。

限于作者学识、经验有限,本书一定有不少缺点和错误,衷心希望广大读者批评、指正。

作 者

1993年12月

目 录

第一篇 铸造轧辊材质及其特性

第一章 铸钢轧辊	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 铸钢轧辊的组织	(2)
第三节 化学成分对铸钢轧辊组织和性能的影响	(4)
第四节 热处理对铸钢轧辊组织和性能的影响	(8)
第二章 合金半钢轧辊	(13)
第一节 概述	(13)
第二节 合金半钢轧辊的组织	(13)
第三节 化学成分对合金半钢轧辊组织和性能的影响	(15)
第四节 热处理对合金半钢轧辊组织和性能的影响	(19)
第五节 其他因素对合金半钢轧辊组织和性能的影响	(20)
第六节 高碳合金半钢轧辊组织对抗热裂性能的影响	(21)
第三章 球状石墨铸钢轧辊	(25)
第一节 概述	(25)
第二节 球墨铸钢轧辊的组织	(26)
第三节 化学成分对球状石墨铸钢轧辊组织和性能的影响	(27)
第四节 孕育处理和球化处理对球状石墨铸钢轧辊组织和性能的影响	(30)
第四章 冷硬铸铁轧辊	(33)
第一节 概述	(33)
第二节 冷硬铸铁轧辊的组织	(33)
第三节 化学成分对冷硬铸铁轧辊组织和性能的影响	(34)
第五章 无限冷硬铸铁轧辊	(49)
第一节 概述	(49)
第二节 无限冷硬铸铁轧辊的组织	(49)
第三节 化学成分对无限冷硬铸铁轧辊组织和性能的影响	(54)
第六章 高镍铬无限冷硬复合铸铁轧辊	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 高镍铬无限冷硬复合铸铁轧辊的组织	(60)
第三节 化学成分对高镍铬无限冷硬复合铸铁轧辊组织和性能影响	(62)
第四节 冷却速度对高镍铬无限冷硬铸铁轧辊辊身工作层组织和性能的影响	(66)
第五节 辊身外层中合金元素偏析对组织和性能的影响	(70)

第六节	不同回火温度对高镍铬无限冷硬铸铁轧辊组织和性能的影响	(71)
第七节	稀土元素对高镍铬无限冷硬铸铁轧辊组织和性能的影响	(76)
第八节	高镍铬无限冷硬复合铸铁轧辊芯部组织及其性能	(79)
第七章	合金球墨铸铁轧辊	(87)
第一节	概述	(87)
第二节	合金球墨铸铁轧辊的组织	(87)
第三节	化学成分对合金球墨铸铁轧辊组织和性能的影响	(95)
第四节	热处理对合金球墨铸铁轧辊组织和性能的影响	(102)
第八章	高铬复合铸铁轧辊	(112)
第一节	概述	(112)
第二节	高铬复合铸铁轧辊辊身工作层的组织	(113)
第三节	化学成分对高铬复合铸铁轧辊辊身工作层组织和性能的影响	(116)
第四节	热处理工艺对高铬复合铸铁轧辊辊身工作层组织和性能的影响	(122)
第五节	高铬复合铸铁轧辊辊芯组织及其性能	(125)
第九章	铸造支承辊	(119)
第一节	概述	(119)
第二节	化学成分对铸钢支承辊组织和性能的影响	(123)
第三节	铸造工艺对铸钢支承辊组织和性能的影响	(125)
第四节	热处理工艺对大型铸钢支承辊组织和性能的影响	(127)
第五节	复合铸钢支承辊辊身深层剥落失效分析	(134)
第十章	铸造高铬钢轧辊	(138)
第一节	概述	(138)
第二节	高铬钢轧辊辊身工作层的组织	(141)
第三节	化学成分对高铬钢轧辊辊身工作层组织和性能的影响	(144)
第四节	热处理对高铬钢轧辊辊身工作层组织和性能的影响	(145)
第五节	高铬钢轧辊使用特性比较	(149)

第二篇 锻造轧辊材质及其特性

第一章	热轧金属用锻钢轧辊	(151)
第一节	概述	(151)
第二节	化学成分对锻钢热轧轧辊组织和性能的影响	(154)
第三节	热处理对锻钢热轧轧辊组织和性能的影响	(155)
第二章	锻造白口铁轧辊	(157)
第一节	概述	(157)
第二节	化学成分对锻造白口铁轧辊组织和性能的影响	(159)
第三节	锻造工艺对锻造白口铁轧辊组织和性能的影响	(161)
第四节	热处理对锻造白口铁轧辊组织和性能的影响	(161)
第三章	锻钢冷轧工作辊	(162)
第一节	概述	(162)

第二节	锻钢冷轧工作辊的基体组织	(163)
第三节	化学成分对锻钢冷轧工作辊组织和性能的影响	(163)
第四节	钢中含氢量对冷轧工作辊性能的影响	(168)
第五节	不同熔炼工艺和铸锭方法对冷轧工作辊内在质量和性能的影响	(170)
第六节	预备热处理对锻钢冷轧工作辊组织和性能的影响	(173)
第七节	最终热处理(淬火+回火)对锻钢冷轧工作辊组织和性能的影响	(177)
第八节	冷处理对锻钢冷轧工作辊组织和性能的影响	(184)
第九节	锻钢冷轧工作辊断裂韧度的研究	(187)
第四章	高速工具钢系列锻钢冷轧辊	(189)
第一节	概述	(189)
第二节	化学成分对高速钢锻钢冷轧工作辊组织和性能的影响	(189)
第三节	锻造工艺对高速钢冷轧工作辊组织和性能的影响	(192)
第四节	热处理工艺对高速钢锻钢冷轧工作辊组织和性能的影响	(193)
第五章	冷作模具钢系列锻钢冷轧辊	(196)
第一节	概述	(196)
第二节	化学成分对冷作模具钢系列锻钢冷轧辊组织和性能的影响	(197)
第三节	热处理对冷作模具钢系列锻钢冷轧辊组织和性能的影响	(198)
第四节	冷处理对冷作模具钢系列锻钢冷轧辊组织和性能的影响	(203)
第六章	热作模具钢系列锻钢轧辊	(204)
第一节	概述	(204)
第二节	化学成分对热作模具钢系列锻钢轧辊组织和性能的影响	(204)
第三节	热处理对热作模具钢系列锻钢轧辊组织和性能的影响	(205)
第七章	合金锻钢支承辊	(207)
第一节	概述	(207)
第二节	化学成分对合金锻钢支承辊组织和性能的影响	(211)
第三节	锻造比对锻钢支承辊组织和性能的影响	(212)
第四节	热处理对锻钢支承辊组织和性能的影响	(213)
第五节	关于锻钢支承辊技术特性几个问题的讨论	(215)

第三篇 轧机特性及其轧辊材质的选择

第一章	钢材品种、钢种特性	(218)
第一节	钢材品种	(218)
第二节	钢种特性	(219)
第二章	轧辊特性设计和轧辊材质选择的依据	(220)
第三章	初轧机特性及其轧辊材质的选择	(221)
第一节	概述	(221)
第二节	初轧机生产的特点	(223)
第三节	初轧机轧辊材质的选择	(224)
第四节	钢坯连轧机轧辊材质的选择	(227)

第四章 大型型钢、轨梁轧机特性及其轧辊材质的选择	(229)
第一节 概述	(229)
第二节 大型型钢、轨梁轧机生产的特点	(230)
第三节 大型型钢、轨梁轧机轧辊材质的选择	(231)
第五章 中厚钢板轧机特性及轧辊材质的选择	(235)
第一节 概述	(235)
第二节 中厚钢板轧机生产的特点	(237)
第三节 三辊劳特式中厚板轧机轧辊材质的选择	(239)
第四节 四辊可逆式中厚板轧机系列中, 三辊劳特粗轧机架轧辊材质的选择	(241)
第五节 四辊可逆式中厚板轧机工作辊材质的选择	(242)
第六章 叠轧薄板轧机特性及其轧辊材质的选择	(250)
第一节 概述	(250)
第二节 二辊叠轧薄板轧机生产的特点	(251)
第三节 二辊叠轧薄板轧机轧辊材质的选择	(252)
第七章 热轧带钢连轧机特性及其轧辊材质的选择	(256)
第一节 概述	(256)
第二节 热轧带钢连轧机生产的特点	(261)
第三节 热轧带钢连轧机工作辊材质的选择	(262)
第八章 炉卷轧机特性及其轧辊材质的选择	(279)
第一节 概述	(279)
第二节 炉卷轧机生产的特点	(281)
第三节 炉卷轧机工作辊材质的选择	(281)
第九章 线材轧机特性及其轧辊材质的选择	(283)
第一节 概述	(283)
第二节 线材轧机生产的特点	(286)
第三节 线材轧机轧辊材质的选择	(288)
第十章 冷轧板带钢轧机特性及其轧辊材质的选择	(294)
第一节 概述	(294)
第二节 冷轧板、带钢轧机生产的特点	(295)
第三节 冷轧板、带钢轧机工作辊材质的选择	(297)
第十一章 多辊冷轧机特性及其轧辊材质的选择	(307)
第一节 概述	(307)
第二节 多辊轧机冷轧生产的特点	(308)
第三节 多辊轧机轧辊材质的选择	(308)
第十二章 钢管轧机特性及其轧辊材质的选择	(312)
第一节 概述	(312)
第二节 热轧无缝钢管生产的特点及其轧辊材质的选择	(313)
第三节 焊接钢管生产的特点及其轧辊材质的选择	(323)
参考文献	(329)

第一篇 铸造轧辊材质及其特性

第一章 铸钢轧辊

第一节 概述

铸钢轧辊具有较高的抗拉强度和韧性，兼有良好的咬入性能。国外钢铁工业发达国家热轧带钢连轧机迅速发展以前，它主要用于初轧机的开坯轧辊和型钢轧机粗轧辊。但随着带钢生产的发展，铸钢轧辊广泛用做热轧和冷轧带钢连轧机的支承辊以及热轧带钢连轧机粗轧机架轧辊（ R_1 ）和破鳞用的大立辊（VSB）。都获得了良好的轧制效果。

然而，长期以来，铸钢轧辊在我国仅局限用于 650 毫米以下中小型轧机—机架，用做开坯或粗轧轧辊。对于 850~1150 毫米初轧机以及大型型钢粗轧机从 50 年代以来，仍一直沿用锻钢轧辊。实际生产表明，采用钢锭锻制成轧辊时，锻压比很大（约 2~4），并且钢的收得率不高，同时需要有大吨位水压机等关键设备。锻钢轧辊的中心（尤其是大型轧辊）是很难锻透的，因此在轧辊中心区的强度仍是不大的，国外资料 and 我国生产情况证明，铸钢轧辊通过化学成分的合理匹配，适量合金化并经过适当的热处理以后，就其强度来说，并不亚于锻钢轧辊。采用铸钢来代替锻钢制造大型开坯轧辊、大型型钢粗轧辊和各类支承辊是完全可能和合理的。

美国和英国采用铸钢材质生产上述类型轧辊几乎是唯一的方法^[1]。然而，在日本由于不少铸锻厂拥有大型水压机，所以主要采用锻造工艺生产支承辊。但为了外销，也批量生产铸钢支承辊，例如日本日立制作所胜田工厂曾为澳大利亚和南美等近 50 余厂家提供过冷、热带钢连轧机用的铸钢支承辊；关东特殊制钢也为台湾省的中华钢铁公司生产了热带连轧机用整体铸钢支承辊^[2]；在原苏联，某些冶金工厂在各种不同的机架上包括 $\phi 850 \sim 900$ 毫米轧机在内，全部采用了铸钢轧辊，而且已经获得了很大的成效^[1]。

近年来，随着武钢现代化大型热轧带钢连轧机和宝钢 1300 毫米大型初轧机的建设与投产，大大推进了我国大型合金铸钢轧辊的生产。邢台冶金机械轧辊股份有限公司（以下简称邢机）已批量生产了供热轧带钢连轧机粗轧用的 $\phi 1270 \times 1700$ 毫米 R_1 粗轧辊和（VSB）大立辊；供 1300~1150 毫米初轧机用的 $\phi 1350 \times 3100 \sim \phi 1185 \times 2800$ 毫米等规格的大型开坯轧辊；供大型型钢轧机用的 $\phi 1160 \times 2800$ 毫米粗轧辊和 $\phi 1250 \sim 1570$ 毫米支承辊等不同用途及其不同性能要求的合金铸钢轧辊。至此，我国无论从铸钢轧辊的材质选择、制造工艺及其工艺装备都日臻完善，为尔后在上述轧机上以铸钢轧辊全面代替锻钢轧辊创造了条件。

第二节 铸钢轧辊的组织

铸钢轧辊依其不同的化学成分和热处理工艺,可以使辊身外层获得诸如片层状珠光体+少量铁素体、片层状珠光体、球化体(粒状珠光体)、索氏体、带位相的回火索氏体和贝氏体等类型的基体组织。因此,根据轧辊的不同用途及其轧制条件,选择合适的基体组织则是提高轧辊使用寿命的重要因素。

研究表明,辊身基体组织中存在的孤立大块铁素体,显著地降低了轧辊的塑性和韧性(δ_s 、 a_k 、 K_{Ic}),在性能曲线上出现低谷^[3]。此外,轧钢过程中,辊身表面在热应力作用下产生的细小的热裂纹在随后的扩展过程中,遇到大块铁素体时将发生脆性解理,加快了裂纹的扩展速度,所以降低了轧辊的宏观塑性和韧性。此外,当基体组织中存在铁素体时,势必使宏观硬度也降低,耐磨性变差。基于以上原因,从60年代以来,一些轧辊制造厂对铸钢轧辊的含碳量有提高的趋势。据资料介绍,原苏联、前东德、美国 and 英国生产的大部分铸钢轧辊都采用共析或过共析成分^[1]。应当指出,对于含碳量为0.8~1.2%的过共析钢铸造轧辊,特别是未经正火处理,仅进行退火工序时,在辊身工作层基体组织中出现的网状渗碳体,是常见的碳化物存在形态。网状碳化物将使轧辊的抗拉强度降低,脆性增加,极易使轧辊在热应力作用下,形成热裂纹,上述因素是导致该材质铸钢初轧辊断辊的主要原因。我国的热轧铸钢轧辊多采用共析成分(BG1503-89),保证轧辊获得较好的强韧性。

如前所述,即使是共析成分的合金铸造轧辊,它的使用寿命也取决于辊身基体组织与轧辊服役条件的协调一致。长期以来,对用于初轧机和各类型钢、板钢粗轧机架的铸钢轧辊,选取什么样的基体组织,轧辊制造者一直是各持异议。

文献^[4]指出,初轧辊和型钢粗轧辊失效的主要原因是热裂纹。轧辊表面因热疲劳作用导致出现细的网状裂纹,这些细的网状裂纹就成为热裂纹扩展的源点。研究表明,轧辊表面受热时材料的压缩屈服强度愈高,及其在冷却时材料的拉伸屈服强度愈高,则该材料在承受压缩和拉伸时的塑性变形愈小,形成网状裂纹的程度愈轻,即抗热裂纹形成的能力愈强。因而,材料高温时的压缩屈服强度和常温时的拉伸屈服强度应当作为材料抗热裂纹形成能力的判断依据。

研究者^[4]在FTMP-6型压力膨胀仪上,分别测定了基体组织为球化体(粒状珠光体)和片状珠光体的65CrNiMo铸钢轧辊试样高温下的压缩屈服强度,结果列于表1-1。

表 1-1 65CrNiMo 铸钢轧辊试样的
高温压缩屈服强度

温度 试 样	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	
	600℃	700℃
球 状 组 织	203.84	99.96
片状珠光体组织	362.60	199.92

从表1-1可见,在600℃和700℃温度时,65CrNiMo铸钢轧辊基体组织为片状珠光体较之为球化体(粒状珠光体)时有更高的压缩屈服强度。两种不同基体组织的同一铸钢材质,在常温下的拉伸试验结果列于表1-2。

表 1-2 不同基体组织的 65CrNiMo 铸钢轧辊试样的常温拉伸屈服强度

性能 材料	抗拉强度 (MPa)	屈服强度 (MPa)	延伸率 (%)	断面收缩率 (%)
球状组织	722.6	410.62	26.9	51.7
片状珠光体组织	912.38	422.38	10.1	11.6

从表可以看出, 片状珠光体组织在常温下的拉伸屈服强度也高于球化体组织的材料。

综合以上结果可以判定, 在同一材质条件下, 片状珠光体组织的抗裂纹形成能力优于球化组织。为了验证这一结果的正确性, 还对这两种基体组织的材料进行了冷热疲劳和高温硬度测定。结果分别列于表 1-3 和图 1-1。

表 1-3 疲劳裂纹边界长度 (微米)

试 验 组 织	700℃×15 分 180 次	700℃×30 分 360 次
片状珠光体	3501.48 (μm)	5172.84 (μm)
球 化 体	4798.23 (μm)	5679.24 (μm)

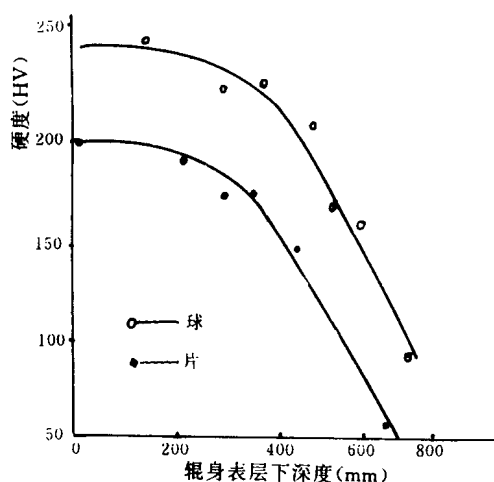


图 1-1 60CrNiMo 铸钢轧辊材质不同基体组织时的高温硬度

从表 1-3 可以看出, 球状组织的热裂纹总的边界长度大于片状组织的裂纹边界总长度, 亦即基体组织为球化体时的抗热裂性能明显低于片状珠光体组织。上述测试数据与根据同一材料在不同基体组织时的高温压缩屈服强度和常温拉伸屈服强度所判定的结果一致。

作者对用于首钢 850 毫米初轧机的两对同一化学成分、材质为 65CrNiMo 不同基体组织的 $\phi 910 \times 2400$ 毫米合金铸钢初轧辊的实轧效果进行了对比分析。结果列于表 1-4。

表 1-4 65CrNiMo 合金铸钢初轧辊不同基体组织时的实轧效果对比

序号	辊身基体组织	第 1~2 周期轧制量 (t)	裂纹深度 (mm)	两次磨削总量 (mm)
第一对	片状珠光体组织	94589.29	15~16	35
第二对	球化体组织	69838.05	20	43.5

表 1-4 的实轧效果对比表明, 65CrNiMo 合金铸钢初轧辊, 经过喷雾淬火+620℃回火热处理后, 辊身基体组织为片状珠光体时, 获得了最佳使用效果, 不仅轧制量较之辊身基

体组织为球化体组织的同一材质轧辊高出 1.5 倍左右,而且辊身表面形成的热裂纹较浅,裂纹扩展速度也慢。这一事实与上述试验检测数据及其所判定的结果一致。

已知^[5],粗珠光体、细珠光体(索氏体)与极细珠光体(屈氏体)之间的基本区别就在于片层间距不同(约在 1.0~0.1 微米之间变动)。珠光体片层间距的大小对钢的机械性能有重要影响。片层间距愈小,相界面愈大,对位错运动的阻碍也就愈大,因而强度、硬度都增高。抗拉强度与硬度基本上随片层间距的减小也呈直线升高,而断面收缩率和延伸率等塑性指标则开始随片层间距的减小而提高,但达到一定数值后却趋向降低。显然,以细珠光体(索氏体)的综合性能更为优越。

在实际生产中,目前用于方坯或方/板坯初轧机的合金铸钢初轧辊或大型型钢粗轧辊的基体组织,通常控制为索氏体(图 1-2)或带位相的回火索氏体(图 1-3)。

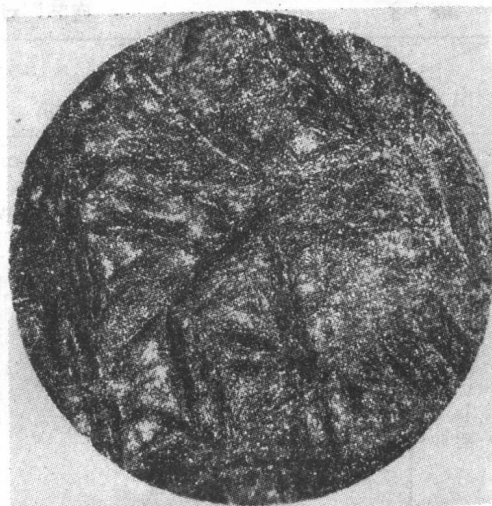
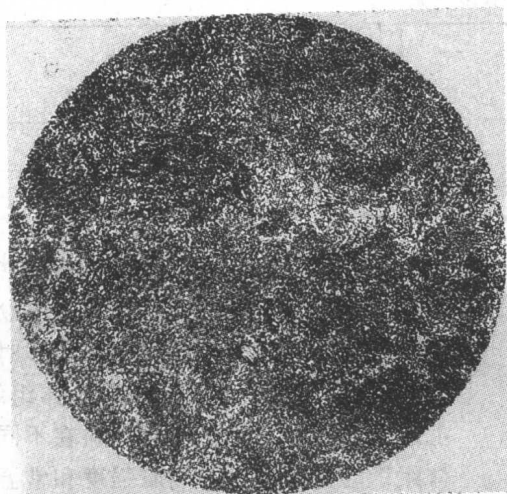


图 1-2 $\phi 1185$ 合金铸钢初轧辊基体组织 (500 $\times$) 图 1-3 $\phi 1350$ 合金铸钢初轧辊基体组织 (500 $\times$)

实轧证明,辊身基体组织为索氏体或回火索氏体的合金铸钢初轧辊不仅有高的强韧性,而且有优良的抗热裂性能,用以代替传统的合金锻钢初轧辊显示了良好的轧制效果。其中,尤以辊身基体组织为带位相的回火索氏体时,轧辊还兼有优异的耐磨损性能。

用做冷轧支承辊的合金铸钢轧辊,要求辊身表面具有较高的硬度和抗剥落性能。因此,大多将辊身工作层的基体组织控制为回火贝氏体(图 1-4)。

第三节 化学成分对铸钢轧辊组织和性能的影响

铸钢轧辊成分中包含的化学元素对辊身工作层的基体组织和使用性能有不同的影响。

1. 碳

在铸钢轧辊中,碳最明显的作用即随着含碳量的提高,轧辊的耐磨性能呈直线而急剧提高。众所周知,铸钢轧辊的机械性能决定于辊身基体组织,优质碳素铸钢轧辊的基体组织随含碳量的不同而变化。例如,含碳量为 0.8% 共析成分的优质碳素铸钢轧辊,正火后辊身工作层的基体组织全部由珠光体组成;对于含碳量超过 0.8% 的过共析碳素铸钢轧辊辊

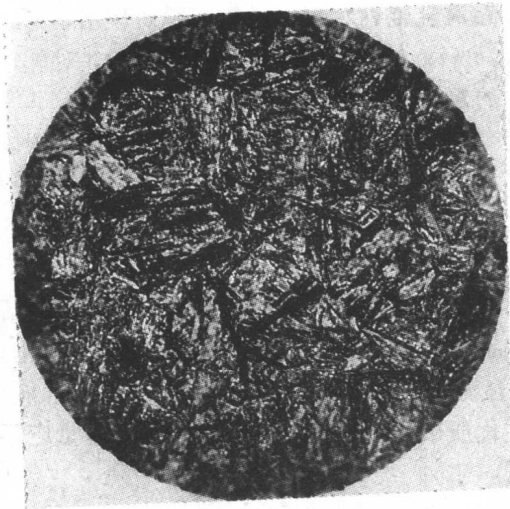


图 1-4 铸钢支承辊基体组织 (500×)

身工作层的基体组织则是网状的渗碳体和珠光体；而含碳量小于 0.8% 的亚共析碳素铸钢轧辊辊身工作层的基体组织则由先共析铁素体和珠光体组成。所以，当碳含量由亚共析钢的碳浓度提高到共析钢的浓度时，辊身工作层的耐磨损性能是靠组织中低耐磨性铁素体的减少而有所提高。当继续将碳含量自共析钢的碳浓度提高到过共析钢的浓度时，基体组织中将形成过剩的二次碳化物，轧辊的耐磨性得以进一步提高，从而可以显著地改善轧材表面质量。所以，尽量限制采用低碳碳素铸钢轧辊是合理的。我国在 60 年代中期，沿用原苏联的传统模式，在冶金部颁发的《铸钢轧辊技术条件》(YB423—64) 中，曾采用过一批诸如 ZU55、ZU60、ZU50Mn、ZU60Mn、ZU40Mn、ZU40Cr、

ZU45Cr、ZU50Cr 等亚共析成分的普通碳素铸钢或低碳低合金铸钢轧辊材质。实践证明，由于这些材质的铸钢轧辊不仅耐磨性差，并且一些轧辊制造厂，长时期以来，仅对轧辊进行退火热处理，因此辊身基体组织中存在大量的块状或条状铁素体，使其冲击韧性降低，致使轧辊在轧钢过程中极易产生脆断。因此，在 1979 年编制《铸钢轧辊》国家标准，以及在 1989 年由邢台冶金机械轧辊厂承担修订《铸钢轧辊》国家标准，以 GB1503—89 代替 GB1503—79 时，都删去了亚共析成分的铸钢轧辊材质。同时，也注意到一些国家在采用过共析成分铸钢轧辊时，由于在基体组织中易于形成网状碳化物而降低轧辊性能的情况，因而，在修订后的我国《铸钢轧辊》国家标准中，仅仅推荐共析成分的优质碳素钢和合金铸钢材质的轧辊。无疑，作为国家标准，《铸钢轧辊》GB1503—89 在技术政策的导向上是正确的。

2. 硅

文献^[3]指出，硅在钢中不形成碳化物，也不溶于渗碳体中，而几乎全部溶于铁素体。硅在铁素体中同锰一起起强化作用，共同提高铁素体的强度。硅含量大于 0.4% 时，才开始被认为是合金元素。

硅的脱氧能力比锰强，在常用的脱氧元素中仅次于铝，它能够夺取氧化铁 (FeO) 中的氧，从而减少钢中的氧化铁夹杂，排除了后者对性能的不良作用。所以，在炼钢工艺中，硅铁是常用的脱氧剂。在铸钢轧辊中含硅量通常波动在 0.2~0.45% 范围内。在如此低的硅浓度条件下，可以认为硅的作用主要是使钢液脱氧。应当指出，含硅量控制过高，达到 0.8~1.2% 以上时，必然会加速碳在热处理时的石墨化过程特别是对于含碳量较高的大直径的铸钢轧辊，当其在挂砂冷型或砂型等热阻较高的铸型中凝固时，金相观察表明，在辊身基体组织中已发现析出了细小的石墨质点。这种初生石墨质点在随后的热处理过程中起到石墨化核心的作用，于其上将生长出粗大的异形石墨，从而使轧辊的强度和耐磨性大大降低。因此，将铸钢轧辊的含硅量控制在 0.2~0.5% 范围内是适宜的。

3. 锰

在铸钢轧辊中,当锰含量为0.5~0.8%时,锰对轧辊钢水起着脱氧和脱硫作用,有助于消除钢中的非金属夹杂物,并使夹杂物呈球形。当锰含量提高到1.2~1.5%时,对轧辊的热处理有良好的作用,可以获得具有高度细化的辊身基体组织。

铸钢轧辊中的锰大部分固溶在铁素体中,起着固溶强化作用;而少部分结合在渗碳体中,对渗碳体的硬度并没有显著改变。这样,作为合金元素的锰对强化铁素体以致提高铸钢轧辊的强度有着一定的贡献。

4. 磷、硫

铸钢轧辊中的磷和硫都是从原料带来的有害杂质。已知,钢水中的磷和硫都是表面活性元素,在钢液凝固过程中,极易吸附在晶界表面上。它们在晶界上的偏聚致使晶界脆化,这也是使铸钢轧辊脆性增加的重要原因。此外,含硫量增加时,降低轧辊的抗热裂纹性能。因此,铸钢轧辊中的磷硫含量控制愈低愈好。在优质碳素铸钢轧辊中,硫的最高含量应不大于0.030%;磷的最高含量应不大于0.035%。

5. 铬

向铸钢轧辊中加入少量的铬元素,通过铬合金化细化珠光体(正火热处理后)和强化铁素体,提高轧辊的强韧性。

文献^[6]指出,铬提高过冷奥氏体在高温(600~650℃)转变区,尤其是低温(300~400℃)转变区的稳定性,使孕育期增长,曲线向右移动。同时,随着铬含量的增加,珠光体转变移向高温,贝氏体转变部分移向低温。铬是推迟贝氏体转变最有效的元素,它推迟贝氏体转变的作用要比推迟珠光体相变的作用大得多。因此,对于含铬量为0.9~1.2%的铸钢支承辊,力求辊身获得贝氏体基体组织时,在充分奥氏体化以后的喷雾淬火或油淬冷却过程中,控制好辊身工作层的终冷温度,是保证轧辊最佳使用性能的前提条件。

6. 镍

镍是扩大 γ 相区、形成和稳定奥氏体的主要合金元素。试验表明^[6],镍具有提高奥氏体稳定性和减缓奥氏体转变为珠光体的作用,随着钢中碳含量的增加,镍的这一作用更为显著。所以,在高碳钢中,镍的作用更大,甚至向钢中加入0.2~0.3%镍也会明显延缓奥氏体的分解速度。基于此,对于力求辊身工作层基体组织为贝氏体或回火索氏体的合金铸钢支承辊、初轧辊或各类粗轧辊,同时考虑到经济性,镍含量一般控制在0.2~0.5%范围内。

7. 钼

在合金铸钢轧辊中,加入少量的钼,有利于促使基体组织形成较细的珠光体组织,有强化基体的作用。

文献^[6]指出:钼减缓碳化物在奥氏体中的溶解速度,在亚共析钢中,钼小于0.5%,钼与铁形成复合渗碳体;当钼大于0.5%时,则形成特殊的碳化物,这一碳化物在加热时较难溶解,需要较高的温度与较长的时间,在这种情况下,钼对珠光体形成时降低长大速度的作用反而减小。基于此,为了提高过冷奥氏体的稳定性,合金铸钢轧辊中钼的加入量不宜过高;不过,也有资料^[7]指出,当钼含量达到0.8%以上时,有利于形成贝氏体,从而提高钢的热强性,增强轧辊的抗热裂纹性能。然而,在实际生产中,一些轧辊制造厂可能出于经济原因,对于常规用途的铸钢轧辊大多将钼含量选定为0.2~0.45%范围内。

8. 钒

钒是强化铁素体和形成 γ 圈的元素之一。它和钢中的碳、氮和氧都有极强的亲和力，与之形成相应的极为稳定的化合物。这些化合物微粒，可以作为新相的结晶核心。因此，钒元素有明显的细化晶粒作用。此外，钢中加入微量的钒有利于提高轧辊钢的高温强度，提高轧辊的综合使用性能。然而，在铸钢轧辊中加入钒合金化以后，极易在铸件冒口和浇口根部产生裂纹。含钒铸钢件易裂的原因，目前尚无统一认识。

试验研究^[8]表明，在铸钢轧辊中加入钒合金化以后，钒将与碳形成碳化钒，此外，少量的钒将进入基体组织。在铸造组织的枝晶间，富集有厚约1000Å呈条状、互相搭接成为连续分布的碳化钒。碳化钒几乎没有塑性变形能力，断裂韧性值(K_{Ic})很低。在应力作用下，位错或在碳化物前塞积，使基体组织与碳化物在交界处分离，形成微裂纹；或塞积的位错剪断碳化物而形成微裂纹。实验证实，这一微裂纹极易在连续的碳化物中扩展并延伸到基体组织，从而形成肉眼可见的裂纹缺陷。因此，在少数含钒的铸钢轧辊中，都控制很低的含钒量，一般波动在0.05~0.15%范围内。

应当指出，对于合金铸钢轧辊，详细讨论单一合金元素对辊身基体组织和性能的影响是远远不够的。生产实践证明，同时加入轧辊中的铬、镍、钼等合金元素，存在着复杂的相互作用。可以认为，用多种合金元素进行综合合金化时，合金元素的综合作用绝不是单个元素作用的简单之和，而是各合金元素间的相互加强。它们的综合作用比单个合金元素所产生的作用之和要大得多。因此，在铸钢轧辊材质设计时，首先应就如何充分发挥多组元合金元素的综合作用作为考虑问题的主要原则之一。

现将一些厂家铸钢轧辊的化学成分摘录如下。近年来，有些国家在编制轧辊技术条件时，将半钢和球状石墨钢轧辊也并入合金铸钢轧辊系统内。作者认为：合金铸钢轧辊、合金半钢轧辊和球状石墨铸钢轧辊三者无论从化学成分匹配，基体组织及其特性相互间都存在很大的差异，完全属于不同范畴。因此，在本书编写中，拟在不同章节分别讨论。合金铸钢轧辊的化学成分详见表1-5~表1-7。

表 1-5 GB1503—89 铸钢轧辊化学成分表

分类	钢号	化 学 成 分(%)								辊身硬度 (HSD)
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	
优质 碳素 钢	ZU70	0.65~0.75	0.20~0.45	0.50~0.80	—	—	—	≤0.040	≤0.040	32~42
	ZU70Mn	0.65~0.75	0.20~0.45	0.90~1.20	—	—	—	≤0.040	≤0.040	32~42
	ZU80	0.75~0.85	0.20~0.45	0.50~0.80	—	—	—	≤0.040	≤0.040	34~44
合 金 钢	ZU60 CrMnMo	0.55~0.65	0.20~0.45	0.90~1.20	0.80~1.20	—	0.20~0.45	≤0.035	≤0.030	32~42
	ZU65 CrNiMo	0.60~0.70	0.20~0.60	0.50~0.80	0.80~1.20	0.20~0.50	0.20~0.45	≤0.035	≤0.030	35~45
	ZU70Mn2	0.65~0.75	0.20~0.45	1.40~1.80	—	—	—	≤0.035	≤0.030	34~44
	ZU70 Mn2Mo	0.65~0.75	0.20~0.45	1.40~1.80	—	—	0.20~0.45	≤0.035	≤0.030	36~46
	ZU75CrMo	0.70~0.80	0.20~0.45	0.60~0.90	0.75~1.00	—	0.20~0.45	≤0.035	≤0.030	36~46
	ZU75 CrNiMnMo	0.70~0.80	0.20~0.60	0.70~1.10	0.90~1.20	0.20~0.50	0.20~0.45	≤0.035	≤0.030	35~45
	ZU80Cr	0.75~0.85	0.20~0.45	0.50~0.80	0.45~0.70	—	—	≤0.035	≤0.030	38~48