

● NEIBU ZILIAO

全国冶金轧辊与金属粘接技术交流会

QUANGUO YEJIN ZHAGUN YU JINSHU ZHANJIE JISHU JIAOLIU HUI

冷轧辊技术论文集

LENGZHAGUN JISHU LUNWEN JI

(第一集)

中国金属学会金属	ZHONGGUO JINSHU XUEHUI JINSHU
粘接专业委员会	ZHANJIE ZHUANYE WEIYU HUI
四川省金属学会	SICHUANSHEG JINSHU XUEHUI
重庆金属学会	CHONGQING JINSHU XUEHUI
冶金信息情报网	YEJIN XINXI QINGBAO WANG
成都华冶信息研究所	CHENGDU HUAYE XINXI YANJIU SUO

全国冶金轧辊与金属粘接技术交流会

系列专题资料:

冷轧辊技术论文集(第一集)

轧辊技术论文集(第二集)

轧辊技术论文集(第三集)

金属粘接技术论文集

主办单位:

冶金信息情报网

中国金属学会金属粘接专业委员会

四川省金属学会

重庆金属学会

成都冶金信息研究所

联系单位及地址:成都市陕西街100号 成都华冶信息研究所
邮编:610041 电话:(028)6124969 FAX:(028)6113532

三发牌系列烧结焊剂、合金焊丝

我厂生产的堆焊用烧结焊剂均系氟碱型低活性烧结焊剂，执行 GB/T17854-1999，粒度为 14~60 目。

轧辊堆焊用烧结焊剂包括 SF110、SF111、SF112，碱度 $B_{IIV}1.8$ ，焊接工艺性能和冶金性能优良，配合 Cr-Mo-V，Cr-W-Mo-V 等中、高合金焊丝使用时脱渣性好。该类焊剂已广泛应用于各类钢质轧辊、吊车轮的堆焊修复。

烧结焊剂 SF150、SF151、SF153 主要用于连铸辊堆焊，碱度 $B_{IIV}2.0$ ，焊剂渣性较“短”，与 Cr13 系列马氏体不锈钢焊丝配合堆焊修复连铸辊时电弧稳定，高温脱渣性好，焊道成型美观，表面光洁。该类焊剂已广泛应用于各种连铸辊的堆焊修复，效果良好。

烧结焊剂 SF180 碱度 $B_{IIV}2.1$ ，焊剂渣性较“短”，焊接工艺性能和冶金性能优良，主要堆焊修复连铸辊及配合各种合金焊丝堆焊修复直径 80mm 以上轴类。

我厂按相应国标和企标生产的合金焊丝有 H1Cr13、H1Cr13Ni2、H1Cr13Ni6、H0Cr14、H18CrMo、H25Cr3Mo2MnVA 等。

鞍钢实业发展总公司民企焊接材料厂

地址：鞍山市立山区灵山村灵山检察站南 50 米路东

电话：0412-6211346

传真：0412-6211733

邮编：114031

冷轧辊技术论文集目录(第一集)

Cr15 锻钢冷轧工作辊材料及工艺研究	李法宗 朱学刚 刘书栋(1)
Cr15 冷轧工作辊最终热处理工艺的探讨	黄兴军(14)
新型冷轧辊钢的连续冷却转变	董恒 刘亚林 丛铁声等(18)
高 Cr 锻钢冷轧辊	Masakatsu Nishida 等(22)
高 Cr 锻钢冷轧辊的特性	西田正克等(29)
冷轧工作辊剥落的原因和防止措施	Mitsuo Nakagawa 等(日本)(35)
浅析冷轧辊辊面剥落原因及改善	王春杰(40)
冷轧机工作辊的失效	A. N. Sinha and C. S. Sivaramakrishnan(43)
热处理对 0.85%C—3%Cr 轧辊用钢断裂韧性的影响	宫泽贤二(46)
冷轧辊热行为及其控制	曹建刚 麻永林 王宝峰等(54)
攀钢 HC 轧机中间辊失效分析	刘刚 利泰 叶云良(57)
攀钢 HC 轧机工作辊使用情况及国产化现状	汤铁 赵永平 周三保(61)
冷轧工作辊辊面剥落与使用条件	葛懋琦 李虎兴 陈贻安等(65)
冷轧辊的材质和寿命	标正 广濑春彦(69)
带钢冷轧辊表面缺陷的研究	竹内秀光 矢崎诚一(78)
VEB 特殊钢厂冷轧辊生产的发展	Guenther Ditttrich 等(84)
冷轧工作辊的热处理工艺	郑灿舜(88)
86CrMoV7 钢冷轧工作辊热处理工艺研究	刘德富 于瑞芝 高峰等(99)
粘钢冷轧工作辊的磨削检测制度	王巍 刘书栋 耿振全(104)
Φ500mm 锻造冷轧辊的生产经验	Konrad skuin(106)
锻造冷轧辊用钢加热制度的完善	K. H. ИОТАТОВ 等(110)
避免锻钢轧辊的过热和过烧	S. A. Heim 等(114)
影响淬硬锻钢轧辊性能的因素	J. M. Chiton 等(120)
设计冷轧辊感应淬火制度	E. M. ВЕКСПЕР 等(126)
轧辊淬火最佳化问题及其解决方法	H. A. АДАМОВА 等(130)
高 C—5Cr—V 冷轧工作辊用钢的显微组织及耐磨性	腰冢典明等(134)
硅和锰对大型锻造冷轧辊质量的影响	B. E. Соколов 等(141)
9Cr ₂ MoV 轧辊钢粗晶组织的纠正	И. А. ВОРИСОВ(145)
冷轧辊热处理时的残余应力分析	望月俊男等(149)
高铬冷轧工作辊用钢基本特性	汪润河 于瑞芝 刘德富(155)
冷轧辊感应加热的温度分布	福岛正武(167)
锻造冷轧工作辊用钢的物理冶金学	R. L. Badnar, Minfa Lin, S. S. Hansen(174)
成分对冷轧工作辊用钢 MC5 基本特性的影响	田村至等(185)
移动式双频感应加热淬火轧辊	久保庆正等(191)
冷轧辊移动式感应加热淬火中冷却速度的理论分析	福岛正武(日立制作所)(199)
冷轧机及平整机工作辊的硬铬涂层	(加)Dieter Schermann(207)
移动式感应加热淬火轧辊淬硬层深度的改善	福岛正武等(211)
LS—88—A 激光轧辊表面优化系统及工艺简介	(218)
锻钢辊感应淬火技术的发展	(日)竹山辉义(219)
优化轧辊管理,降低辊耗	周三保 熊旭 周世菊(227)
冷轧工作辊辊身边部环裂分析	章大健(231)
渣系对 86CrMoV7 冷轧辊电渣辊坯质量的影响	姚凤臣 高峰 王春元(235)

Cr5 锻钢冷轧工作辊材料及工艺研究

邢台冶金轧辊研究所 李法宗 朱学刚 刘书栋

摘要:

锻钢冷轧工作辊材料采用电渣重熔及锻粗拔长变形工艺有利于减少偏析。铬含量从 2—3%，增加到 5%，其碳化物类型从 M_3C 转变为 M_7C_3 类型。经实验室热处理后，在实验条件下其耐磨性能为 Cr2 钢的 2.4 倍。

关键词:

Cr5 冷轧工作辊、工艺、碳化物

Abstract:

In order to decrease the segregation, material of forged work rolls for cold rolling adopted ESR process and forge technology of deformation of upset and draw. With the chromium increasing from 2% or 3% to 5%, in the steel the carbide type changed from M_3C to M_7C_3 . After heat treatment in the Laboratory, the test result showed that wear resistance of five percent chromium steel was about 2.4 times that the two chromium steel.

Key words :

five percent chromium, cold mill work roll, process, carbides.

1、前言

冷轧工作辊是带钢冷轧时直接参与轧制的重要部件，冷轧辊质量优劣直接影响冷轧带材质量，特别是带材表面质量以及轧制生产效率。近年来冷轧机向连续、薄板、高精度、多品种发展，轧机控制精度越来越高，因此对冷轧辊材料选择、冶炼、锻造及热处理、加工都提出更高的要求。为满足冷轧工艺需要，加速冷轧工业技术进步，我们研制开发了 Cr5 冷轧辊，希望能够为国内轧钢工业发展做出应有贡献。

在日本、欧洲一些国家 Cr5 冷轧辊已经是一个成熟产品，并形成系列在轧钢中取得显著效果。我公司在引进冷轧辊生产技术及热处理装备时就已经注意到 Cr5 冷轧辊生产。为缩短与发达国家差距，推动我国轧钢工业

技术进步,从 96 年就开始 Cr5 及 Cr8 系列冷轧辊基础试验研究工作:用 0.15 吨中频感应炉熔炼,用保温耐火材料模拟大型钢锭冷却条件浇铸钢锭,按只拔长不镦粗工艺锻造钢锭。经对锻后热处理的三种 Cr5 和一种 Cr8 材料检验发现均存在不同程度的偏析。为此,我们在生产 Cr5 冷轧辊时,从冶炼方面采用电炉冶炼加电渣重熔工艺;锻造过程中采用镦粗拔长多方向变形工艺,确保辊坯冶金质量。

本研究的指导思想是在改善碳化物形态的同时,细化基体组织、以期达到提高冷轧工作辊使用寿命。冷轧辊使用寿命影响因素很多,从制造方面分析主要有①化学成分设计;②纯净度高,均匀性好;③回火稳定性好,体积收缩小;④最终热处理后,淬硬层组织均匀细小;⑤碳化物分布均匀弥散;⑥辊身硬度适当、均匀;⑦淬硬层深度满足用户需要;⑧残余应力小。针对上述因素,开展了一系列的试验、研究工作。

2、工艺制造流程及检测试样制取

备料→电炉冶炼→铸锭(8.5 吨)→锻造电极→剥皮→电渣重熔→锻造→锻后热处理(取样检测)→预备热处理(取样检测)→最终热处理。检测与试样制取。为客观评价产品质量状况,冶炼、锻造、锻后热处理及预备热处理试样均从产品本体上切取;成品性能检测系取在预备热处理后辊颈取样,再模拟轧辊最终奥氏体化条件在试验室对 Cr2、Cr3、Cr5 三种材料的磨损样、金相样实施淬火、冷处理和低温回火。

3、试验结果及分析

3.1 化学成分设计及纯净度控制

Cr5 材质是参考日本等国的有关资料自行设计的。由于薄规格的冷轧带钢需求增加,新投产的冷连轧机工作辊直径减小,磨擦和轧制负荷加剧,对工作的耐磨性和抗接触疲劳性能要求极高。因此,材料应具有高的纯净度及组织均匀性和淬硬性。并且冶炼、浇铸、锻造、热处理等工艺性能也必须良好。铬是冷轧辊钢中含量最多的合金元素,它是较强的碳化物形成元素,随其含量的不同可形成不同类型的合金碳化物,同时有一部分固溶于基体之中。图 1 是 Fe—Cr—C 三元相图在 870℃水平截面的一部分。在

高碳区域铬量较低时溶入斜方晶渗碳体中，其硬度为 800—1000HV，钢中铬含量达 2.5%-3% 以上时，开始生成 M_7C_3 型复杂合金碳化物（最多可溶入 50%Cr）。随含铬量增加，碳化物硬度提高到 1300—1800HV，可显著提高冷轧工作辊的耐磨性。

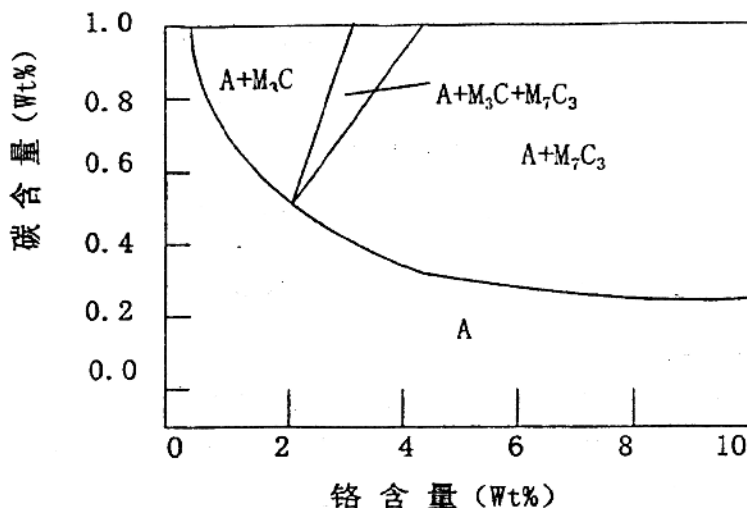


图 1 FeCrC 三元相图在 870°C 的水平截面

M_7C_3 型碳化物在加热时稳定性高于 M_3C 合金渗碳体，其完全固溶的温度大大高于 M_3C 型碳化物。因此，淬火温度要相应提高，可以通过控制奥氏体化程度来调整碳化物含量及尺寸，并可获得良好的金相组织。由于基体固溶铬元素可显著增加奥氏体稳定性，从而提高了钢的淬透性和淬硬性，并提高轧辊抗接触疲劳性能。钼是碳化物形成元素，主要起细化晶粒的作用，还可以提高回火稳定性，抑制回火脆性。硅显著提高钢的变形抗力，但可锻性及切削性降低，脱碳倾向大。表 1 为 Cr5 系列冷轧辊成分设计。

化学成分设计 (%)

表 1

代号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu
Cr5	0.75/ 0.95	0.60/ 0.90	0.20/ 0.40	≤ 0.015	≤ 0.015	4.8/ 5.8	0.15/ 0.65	≤0.15

众所周知，氧化物及硫化物非金属夹杂物会影响冷轧辊钢的疲劳性能。

大量的研究工作证明，冷轧辊钢的疲劳寿命与钢中非金属夹杂物的总量，大小，和形状有关。这些非金属夹杂物的分布、性质和类型决定了冶炼操作，脱氧、钢包精炼，浇注方法及电渣重熔工艺。我们采用电渣重熔工艺，提高材料纯净度、控制结晶组织。在相当电渣锭头部的辊坯取样，用铬轴承钢技术条件（YB9—68）和日本钢中非金属夹杂物的显微镜试验方法（JisG0555—1977），进行检验，其结果见表 2。

电渣重熔辊坯纯净度 表 2

类 型 方 法	脆夹杂物	塑性夹杂物	点状夹杂物
YB9—68	0.5	0.5	0.5
JisG0555 (1927)	d=0.0115%		

3.2 锻后热处理

锻后热处理的主要目的是防止白点的产生，其次是消除网状碳化物，细化与调整锻件在锻造过程中所形成的粗大与不均匀的组织，消除锻造应力，降低硬度，为切削加工和后续热处理作组织准备。

3.2.1 工艺

热处理工艺曲线是三个部分组成，正火+球化退火+扩氢。冷轧工作辊钢属于高碳合金工具钢，锻造前加热到 1100℃ 高温，碳和铬等合金元素完全固溶在单相奥氏体中，锻后缓慢冷却时沿晶界大量析出先共析碳化物，并出现网状分布现象。其正火目的就是高温加热，保温足够长时间，可以把这种沿晶析出的网状碳化物溶解，在随后较快冷却速度下，碳化物从奥氏体中均匀细小地析出（抑制碳化物沿晶界网状析出），再经过球化退火，得到碳化颗粒细小、组织均匀的球状珠光体，这样在最终淬火后便有可能得到合乎要求的碳化物。如果此时得到的碳化物大小不均，在以后的热处理过程中几乎是无法纠正的。

3.2.2 金相组织

经锻后热处理金相组织见图 2，可以看到碳化物分布均匀，为点球状珠光体，辊坯硬度为 HB210-220，具有较好加工性能，为后续热处理做好充分组织准备。

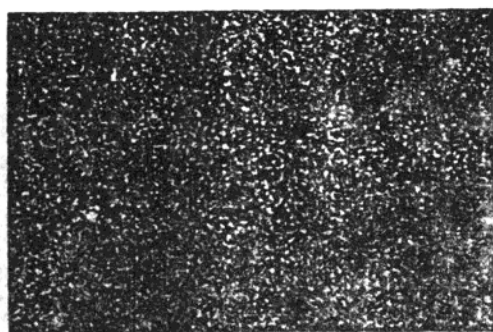


图2 锻后热处理金相组织 500×

3.2.3 低倍组织

为了鉴定材料的冶金质量，通常采用化学分析、低倍（或称宏观）分析、高倍分析和断口分析四个方法进行检验。这几种检验方法是互相补充的。低倍组织可以检测材料整体性能和质量状况。钢中缩孔、缩管残余、疏松、偏析、气泡、夹杂、裂纹、白点、翻皮、折叠及硫磷在钢中分布，均可通过钢的宏观检验发现。

材料的不致密性称为疏松，产生疏松的原因是钢液以树枝状晶的形式凝固时，枝晶间富集杂质的低熔点钢液在最后凝固过程中产生收缩，与此同时脱溶气体逸出而产生孔隙；或者是钢中存在非金属夹杂，在热酸侵蚀时会被酸蚀掉而留小孔隙。

硫印检验是呈现钢中硫分布情况的一种宏观检验方法，并可间接检验其元素在钢中偏析或分布情况。由于我们采用电渣重熔工艺，生产的铸锭组织致密，化学成分及组织均匀。因此，冶金质量优良，其硫印和酸蚀试验结果见图3和图4，评定结果见表3。

低倍组织评定结果

表3

白点	点状偏析	一般疏松	中心疏松	皮下气泡
无	0.5	0.5	0.5	无

3.2.4 超声波探伤

锻后热处理辊坯经粗加工后进行超声波探伤检验。按 GB/T13315A 级和 O.S.B 标准均合格，未发现缺陷波反射，证明内在冶金质量良好。

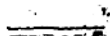


图3 硫印试验结果

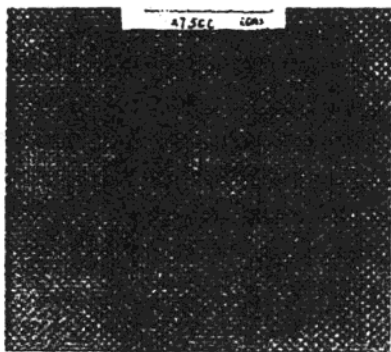


图4 酸蚀试验结果

3.3 预备热处理

3.3.1 工艺

预备热处理的目的是为保证辊颈硬度，提高冷轧辊综合机械性能，调整组织，为最终热处理做好组织准备。其目的是得到颗粒状索氏体，冲击值较高，屈强比大，能承受最终激烈淬火和冷处理。热处理工艺为淬火加高温回火。

3.3.2 金相组织及机械性能。

Cr5 预备热处理后金相组织见图 5。机械性能见表 4。我们可以看到其硬度相当于 HV390-405。可以满足对辊颈硬度的要求。而相同回火温度下 Cr2 轧辊硬度只有 HV320-330，综合机械性能远低于 Cr5 材质。Cr2 材质预备热处理后组织见图 6。可以看出在相同回火温度下，Cr2 轧辊的球化效果不如 Cr5，组织中存在细片状珠光体。这主要由于 Cr2 轧辊奥氏体化后，冷却时，奥氏体稳定性较差，且大型工件冷却速度较缓慢，在冷却过程中，形成了细片状珠光体；而 Cr5 材质轧辊在淬火时由于奥氏体稳定性较高，可以得到更多的淬火马氏体，在高温回火时充分分解，析出颗粒状碳化物，组织为颗粒状索氏体，这种索氏体是很好的预备组织。由于感应淬火的特点是加热时间短，因此，这种预备热处理组织，在奥氏体化时，它可以转变为均匀奥氏体，同时颗粒状碳化物与片状碳化物相比在加热时具有一定的稳定性，淬火后保留部分未溶碳化物，提高冷轧辊的耐磨性。

在相同高温回火条件下, Cr5 材质组织良好, 常规机械性能检测的强度、塑性和韧性指标明显高于 Cr2 材质 (详见表 4)。

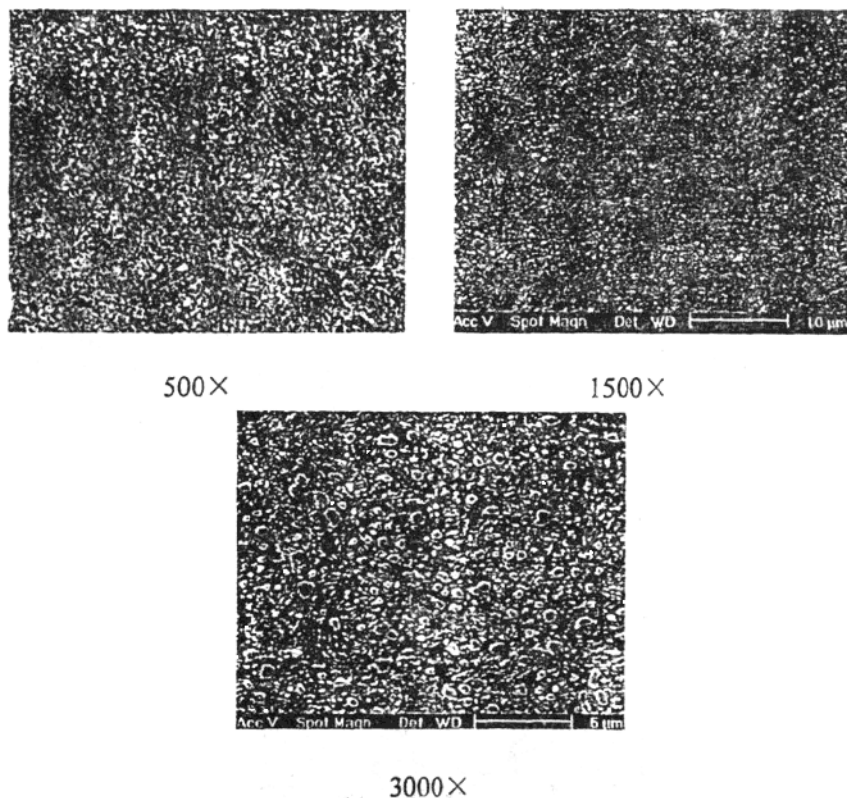


图 5 Cr5 预备热处理金相组织

预备热处理机械性能

表 4

材 质 \ 指 标	σ_s (MPa)	σ_b (MPa)	δ (%)	ψ (%)	ak (J/cm ²)	HB
Cr5	1060	1170	10	31	20	368
Cr5	1070	1150	7.0	23	20	383
Cr5	1040	1140	11	36	19	368
Cr2		985	4		10	313

3.4 最终热处理

冷轧工作辊的最终热处理是指辊身的表面淬火、冷处理和低温回火。

最终热处理的质量要求非常高，是大锻件热处理行业中核心技术。最终热处理必须对淬硬层组织、硬度及硬度梯度、残余应力分布等诸方面实施控制，以保证优良的使用性能。

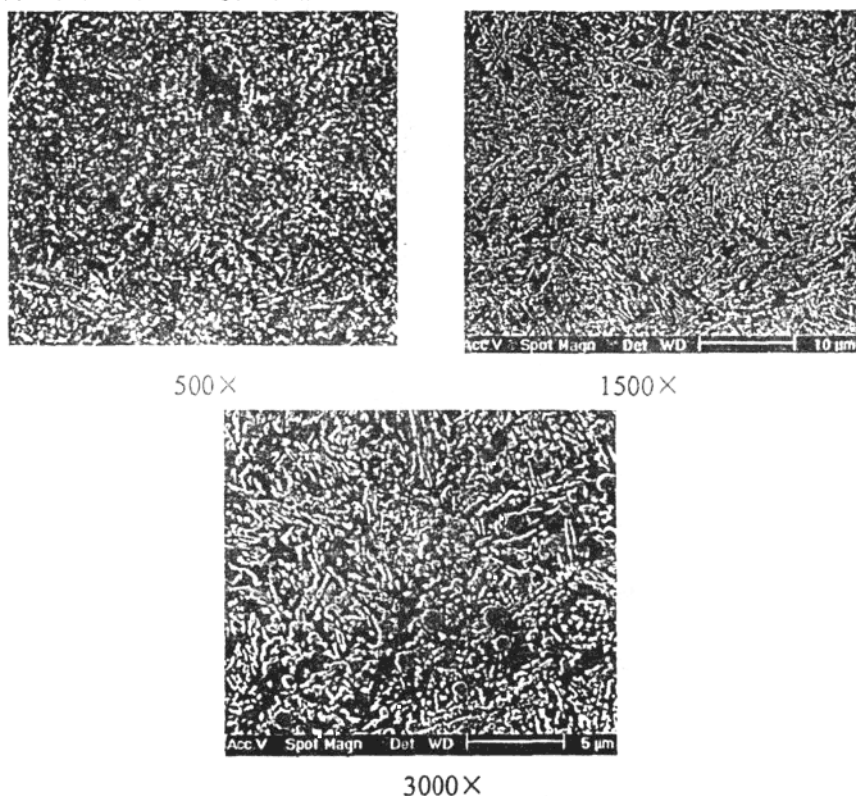


图 6 Cr2 预备热处理金相组织

3.4.1 工艺

为对比不同材质的耐磨性能、回火稳定性、金属组织、碳化物的分布尺寸及类型，我们模拟轧辊最终感应淬火奥氏体化条件，在试验室对 Cr2、Cr3、Cr5 三种材质的金相样，磨损样进行了淬火，冷处理和低温回火处理，然后对试样进行相关检测。

3.4.2 金相组织

良好组织状态要求最终基体组织为隐晶马氏体加细针马氏体。不希望出现粗针状马氏体。对马氏体的形态所作的大量研究表明，马氏体形态主

要分两种类型：第一种是片状孪晶型马氏体，形态呈双凸透镜状，显微镜下为针状；第二种是板条状位错型马氏体，显微镜下为隐晶状马氏体。研究表明马氏体精细结构受各种因素的影响，但主要是固溶体中碳的影响（奥氏体中碳的含量）。当奥氏体中碳含量低于 0.3% 时，可以得到全部位错型马氏体，随着奥氏体中碳含量增加，片状马氏体数量相应增加。因此，对于冷轧辊钢随着奥氏体化温度不同和保温时间不同，将得到不同比例的板条马氏体和片状马氏体混合组织，这两种马氏体所表现的力学性能不同。低碳位错型马氏体具有良好塑性和韧性，高碳孪晶片状马氏体具有较高的硬度，但韧性较差。片状马氏体在高速长大时互相撞击，产生很大应力，且片状马氏体很脆不能通过塑性变形来使应力松弛，故片状马氏体中易产生显微裂纹，降低轧辊抗疲劳强度。要提高淬火马氏体中板条马氏体的含量，在满足淬火后硬度的条件下，必须严格控制淬火温度，尽量减少奥氏体中碳含量，通过短时间快速加热感应淬火方式，来达到我们追求金相组织。图 7、8、9、为 Cr2、Cr3、Cr5 三种材质正常奥氏体化条件下金相组织。

为了获得高的耐磨性能，最终组织中应保留一定量的碳化物（就是指淬火加热时未溶的那部分碳化物）。对高碳合金工具钢的大量研究表明，如果能够使这些碳化物做到“细小、均匀、圆整”则钢的接触疲劳、反复冲击抗力及耐磨性将最好。为了得到理想组织，组织中应保留 6%-10% 未溶碳化物，碳化物尺寸 $< 1\mu\text{m}$ ，且均匀分布的颗状为佳，图 7 为 Cr2 组织，图 8 为 Cr3 组织，图 9 为 Cr5 组织。从扫描电镜图片中我们可以看到 Cr5 组织中碳化物分布及尺寸较理想。经图象仪检测碳化物的面积百分含量为 8% 左右，其碳化物颗粒均小于 $1\mu\text{m}$ 。这样的组织形态有利于提高使用性能。

轧辊中残余奥氏体是在淬火过程中未转变成马氏体的部分。它是一种不稳定相，在使用过程中由于应力状态和温度改变，易于向马氏体转变。这种转变产生体积膨胀，增加轧辊内部残余应力，并且由于新鲜马氏体未回火，脆性较大。降低了轧辊抗事故性能。所以残余奥氏体不能太多。另

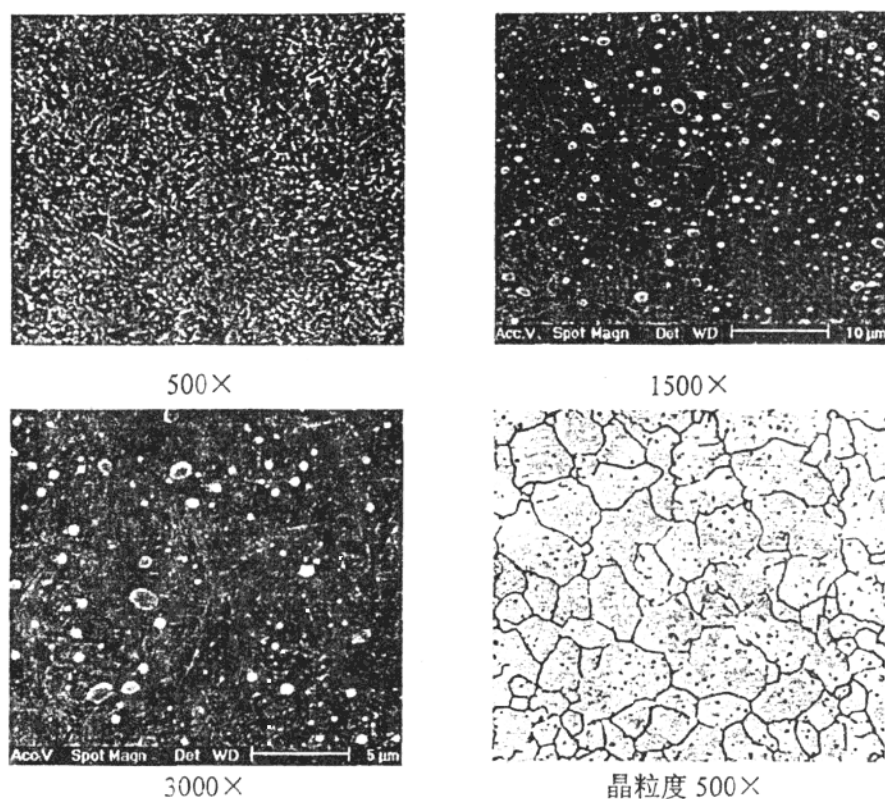


图7 Cr2 最终终热处理金相组织

一方面由于奥氏体具有良好的塑性，对于松弛应力，阻止裂纹扩展有一定作用。因此轧辊中残留部分稳定的不易转变的奥氏体，有利于提高轧辊的抗事故性能。表5为X射线衍射仪检测残余奥氏体结果，上述检测结果是试样热处理后测得，由于试样较小，冷却速度快、试样的残余应力很小。因此所检残余奥氏体量很低。概括上述检测结果，推测在相同奥氏体化条件下轧辊表面残余奥氏体不会超过10%。

三种不同材质组织对比

表5

项目 材质	碳化物 面积百分含量	马氏体级别	晶粒度	残余奥氏体量 (%)
Cr5	7.66	2级	12级	2.028
Cr5	8.03	2级	12级	4.672 (未冷处理)
Cr3	5.55	2.5级	9级	4.18028
Cr2	4.86	3级	9级	3.2451

表 5 为三种不同材质组织对比。表 6 为 X 射线衍射仪分析碳化物类型结果。

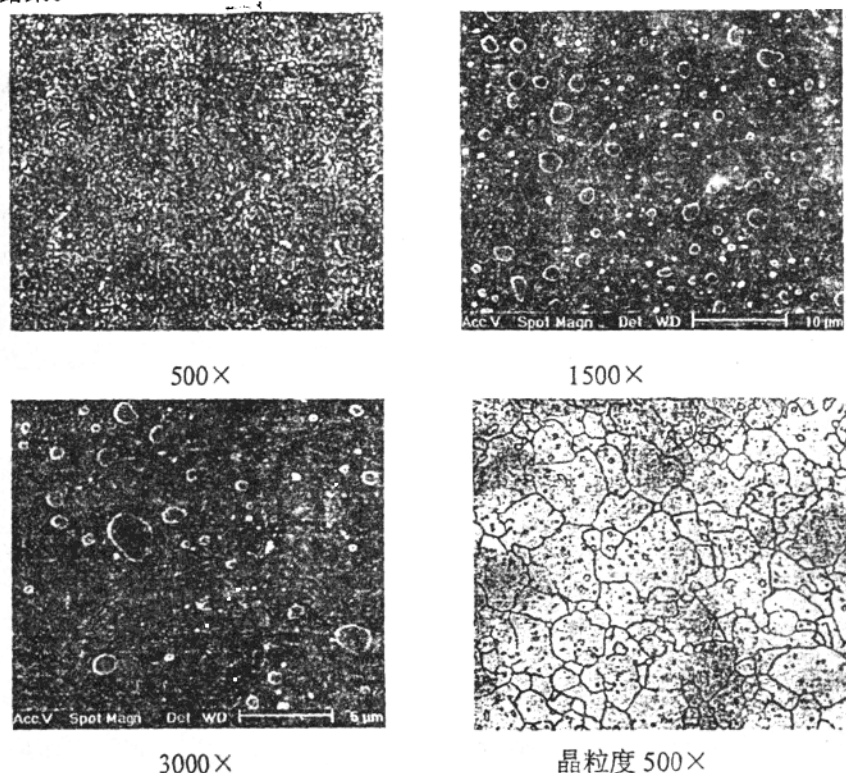


图 8 Cr3 最终热处理金相组织

X 衍射仪检测碳化物结果

表 6

Cr5	Cr3	Cr2
M_7C_3	M_7C	M_7C

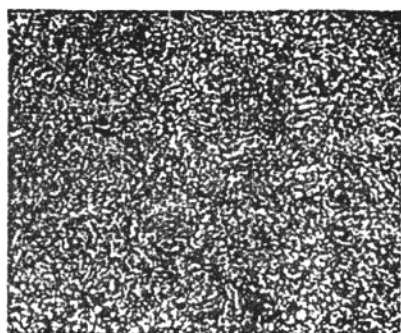
3.4.3 硬度及淬硬层深度

足够的表面硬度是耐磨性的保证,但并非越高越好,要根据轧机及使用条件合理选择硬度水平。在保证一定硬度水平下,回火温度越高越有利于提高冷轧工作辊的抗热冲击性能。表 7 为 Cr2、Cr3、Cr5 三种材质在相同回火温度下硬度值。试验结果表明,三种材质硬度对回火温度敏感性相近。

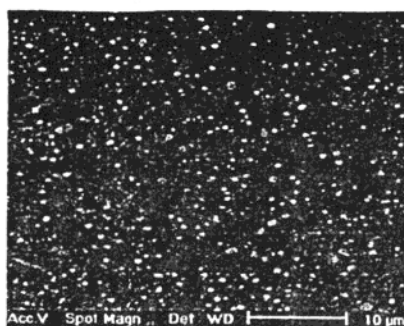
三种材质在同一回火温度下硬度 HRC

表 7

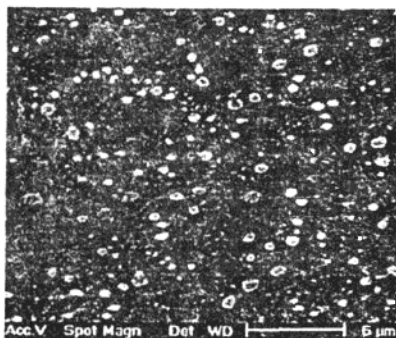
回火温度	Cr2	Cr3	Cr5
140℃	64-65	64-65	65-66



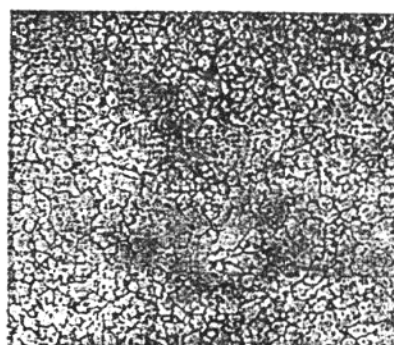
500×



1500×



3000×



晶粒度 500×

图 9 Cr5 最终热处理金相组织

轧辊淬硬层深度保证轧辊在使用过程中具有恒定表面性能，从而保证冷轧机所轧制板带材质量的稳定。对于一些现代化轧机，由于轧制板材精度要求高，不适合在使用中重淬，因此，必须保证足够淬硬层深度。当轧辊材质确定后淬硬层深度将取决于淬火工艺方法。合理的淬火工艺是保证淬硬层深度及应力分布的重要条件。我们用 Cr5 材质试样镶嵌入 $\phi 615 \times 1200$ 低碳钢测温辊进行感应加热淬火，淬火后取出试样测淬硬层深度指标如表 8。

Cr5 材质淬硬层深度

表 8

距 离 mm	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
硬 度 HRC	65	64	64	64	65	64	63	61	60	57	53	50	47

从表 8 我们可以看到半径方向大于洛氏 60 的淬硬层深度可达 45mm。

3.4.4 耐磨性能

滚动磨损试验在 M-200 型磨损试验机上进行, 摩擦副的接触和运动采用阿姆斯勒尔形式, 载荷为 150 公斤, 下辊轮转速 400 转/分钟, 上辊轮转速为 360 转/分钟, 在滚动摩擦中带 10% 的滑动摩擦, 辊轮尺寸为 $\phi 40\text{mm} \times 10\text{mm}$, 在没有润滑剂相对滑动率为 10% 条件下进行干磨损。其质量全部在分度值为 0.1mg 的 TG32B 型电光分析天平上测得。三种不同材质其磨损情况如下 (表 9)

三种不同材质失重情况

表 9

材质	磨损量 $\Delta M(\text{g})$	$\sigma_m = 1/\Delta M$	相对耐磨 (σ_m/σ_{mh})
Cr2	0.2234	$4.4761 \sigma_{mh}$	1
Cr3	0.2071	4.8286	1.0785
Cr5	0.0914	10.9409	2.4443

注: Cr5 作基样 Cr2、Cr3 分别与 Cr5 样对磨。

4、结论

- (1) 采用电渣重熔及锻粗拔长工艺有利于减少 Cr5 钢的偏析。
- (2) Cr5 钢具有良好的工艺性能和很低的夹杂物含量。
- (3) Cr5 钢配合适当淬火热处理工艺可以获得 45mm 淬硬层深度。
- (4) Cr5 钢淬火组织为隐针马氏体, 晶粒极细, 碳化物分布均匀细小, 有利于降低裂纹敏感性。
- (5) Cr5 钢成品状态耐磨性能, 较 Cr2 钢有明显提高。

参考文献:

- 1、L. R. Woodyatt, G. Krauss, Metall Trans. A1976.7A(7) 983-989.
- 2、康大韬等, 大型锻件材料及热处理, 1998, 471