

宝钢耐磨钢产品介绍

宝钢研究院结构钢所

2008-10-7

目 录

一 前言.....	3
二 宝钢耐磨钢技术特点	4
2.1 技术背景.....	4
2.2 宝钢优势.....	6
2.3 宝钢耐磨钢特点.....	7
三 宝钢耐磨钢供货技术条件	8
3.1 宝钢B-HARD360 耐磨钢厚板供货技术协议	8
3.2 宝钢B-HARD400 耐磨钢厚板供货技术协议	10
3.3 宝钢B-HARD450 耐磨钢厚板供货技术协议	12
3.4 宝钢B-HARD500 耐磨钢厚板供货技术协议	14
四 宝钢耐磨钢焊接性能试验	16
五 宝钢耐磨钢耐磨性能试验	18
六 宝钢耐磨钢实物水平及使用业绩	20
6.1 宝钢耐磨钢实物水平.....	20
6.2 宝钢耐磨钢使用业绩.....	24

一 前言

材料的断裂、腐蚀及磨损是导致设备、材料失效的三大要素。磨损失效又是经济建设特别是工业生产中很常见的现象,由此而派生出来了一个日益引起人们注意的产业——耐磨材料产业。在科学技术和现代工业高速发展的今天,机械设备的运转速度越来越高,许多工件和设备由于磨损而迅速失效,造成的材料浪费和经济损失相当惊人。据不完全统计,我国仅在冶金、矿山、电力、煤炭和农机部门,由于工件磨损而造成的经济损失每年约 400 亿元。磨损不仅引起零件失效,导致工件更换和维修频繁,设备工作效率低,而且消耗了大量的能源和材料。因此,耐磨材料的发展已成为影响现代生产效率的重要因素。

耐磨钢是指在表面严重磨损的环境中服役的一类高强度钢。其主要使用于长期工作在与矿石、煤炭、煤浆、泥沙以及水泥浆等物料相接触的车辆或设施上,如矿用电动轮自卸车、煤矿刮板输送机、水泥搅拌机、推土机、挖掘机、装载机 etc。

据统计,在发达工业国家,机械装备及其零部件的磨损所造成的经济损失占国民生产总值的近 4%,我国曾就冶金、建材、煤炭、电力、工程机械等部门进行不完全统计,因磨损造成的钢材及备件消耗达数百万吨。

世界各国都十分重视耐磨材料的开发研制。作为一种要求良好可焊性的超高强度钢,耐磨钢的生产水平综合体现了冶金企业的装备条件和技术能力,反映出对钢的成分、工艺、组织、性能之间相互关系的认识 and 把握的水平。早期耐磨钢以 1882 年英国人 *Idadfield* 发明的高锰钢专利为典型,一度做为耐磨钢的“王牌”达百余年之久。至今仍有一些企业将高锰钢或其改进型作为商业产品生产和销售。

近年来,在瑞典、德国和日本等国家,对耐磨钢的研究和开发取得了较大进展,通过改进成分设计、应用 DQ (直接淬火) 技术,相继开发了强韧性和焊接性优良的 HB400、HB500 甚至 HB600 系列耐磨钢产品。由于应用了先进工艺技术,减少了合金元素添加量,简化了热处理工艺,钢的制造成本大幅降低,企业的经济效益得到较大提高。

目前,我国耐磨材料的生产已逐渐向量大、面宽和规模化发展,并已成为一

个专门服务于矿山、建材和发电的原材料供应行业而独立存在。其生产工艺、设备条件以及质量控制方面也都有很大的改善，从而大大降低了易损件的消耗指标（磨耗）和成本。目前主要分改性高锰钢、中锰钢、超高锰钢系列以及高、中、低碳耐磨合金钢系列等。

目前宝钢已具备生产布氏硬度为 360HB、400HB、450HB 和 500HB 等不同级别耐磨钢板的能力。宝钢耐磨钢厚板不仅硬度高，同时还具有优良的拉伸性能、冲击性能、耐磨性能和焊接性能，适用于各种磨损条件，产品处于国内领先地位。

二 宝钢耐磨钢技术特点

2.1 技术背景

材料的磨料磨损耐磨性不是材料的固有性质，而是与它服役的磨损系统中影响磨损的各因素有关。影响材料磨料磨损耐磨性的因素很多。这些因素可分为两类：一是材料的成分、组织结构和由组织所决定的性能，即内部因素；另一类是外部因素，包括磨料特征和磨料与材料相互作用时的接触应力、相对运动速度、环境介质、温度等。另外，材料的磨料磨损特征还具有动态属性，即材料在磨损过程中发生的加工硬化、热影响下的相变、再结晶、退火或回火软化等，使得材料在磨损过程中的性质已经不同于材料磨损前的原始性质。所以，材料耐磨性既与材料的原始性质有关，又与磨损过程中材料表面微区在外部因素影响下瞬时的性能变化有更密切关系。

影响耐磨钢磨损的关键性因素主要为外部的磨损条件和材料自身的耐磨料磨损性，其耐磨机理归结如下：

1. 磨料粒度。J.Larson-Basse在60年代就研究了磨料颗粒大小对材料磨损率的影响，许多研究者发现存在者一个磨料的临界尺寸。当载荷较小时，比临界尺寸小的磨料粒度与材料的磨损率有着明显的依赖关系。当磨料粒度超过这个临界尺寸，则材料的磨损率不随磨料粒度增加而增加或增加变缓。这个临界尺寸大致在100 μm 左右，与材料成分、性能、加工工艺、速度和载荷等有关。

2. 载荷。根据磨料磨损简化模型“磨损体积的大小与载荷成正比，与材料的

硬度成反比，所以载荷增加使材料可由轻微磨损转变为严重磨损。在硬磨料条件下，由于载荷增加，使磨沟加深、加宽，磨屑由小变大，磨损热的影响更加严重。

3. 材料的力学性能。一般认为，材料的硬度越高，其耐磨性就越高。这一结论是在一定的条件下得到的。事实上，同一硬度的不同材料具有不同的耐磨性。可见除硬度外尚有其它性能在起作用。如淬成马氏体的钢的耐磨料磨损性仅在含碳量 $<1\%$ 时才随含碳量的增加而提高。

断裂韧性是影响耐磨性的另一重要参数。当磨损条件（包括载荷、磨粒大小、硬度和尖锐度等）不变时，耐磨性随断裂韧性增大而增加，在抵达一极大值之后，又随断裂韧性的增大而下降。材料的断裂韧性在极大值左边时，耐磨性主要取决于裂纹的萌生和扩展。在极大值右边时，耐磨性取决于硬度的高低。

金属材料经过一定变形度的冷加工硬化，虽然硬度增加，但是耐磨性没有因此得到改善，有时反而引起磨损率增大。原因是，冷加工使材料发生了一定程度的塑性变形或者“损伤”，硬度虽有所提高，但材料的真实断裂强度并未提高；相反，形成磨屑所要消耗的变形功反而要小于未经冷加工硬化的材料形成磨屑所需要的变形功。

4. 材料的耐磨性与其组织结构状态有着更为密切的关系。金属的组织，一般说来，是由基体和强化相两部分组成的，因此金属本身的耐磨性就应当主要由金属基体和强化相的性能以及它们之间的数量关系和结合特性所决定。

马氏体有针状和板条状两种组织形态，这是由含碳量和合金元素所决定的。一般认为板条马氏体的耐磨性稍高于针状马氏体，细的原始奥氏体晶粒的耐磨性稍高于粗大原始奥氏体晶粒的耐磨性。在马氏体组织中有残余奥氏体时，其耐磨性决定于使用或实验条件。如果磨损条件对材料的要求是以硬度为主时，则残余奥氏体不利于耐磨性；如果要求有较好的韧性时，甚至磨损过程中能产生奥氏体向马氏体的转变，则此时残余奥氏体没有不利影响。淬火马氏体对应着高应力状态。对淬火马氏体进行适当的回火，可消除应力、提高韧性，这对提高钢的耐磨料磨损性是有利的。然而，回火温度过高时，由于碳从马氏体中析出，将使耐磨料磨损性下降。

在低合金钢中，合金元素一般不改变显微组织，对钢的耐磨性的影响没有碳那么大，这时加入合金元素的目的在于提高淬透性或抗回火性。形成碳化物元素能使耐磨性增加，但增加量决定于碳化物的类型、大小、形状、分布和共格性等。

合金磨料磨损的耐磨性，加入强的碳化物形成元素，以在组织中形成高硬度的合金碳化物，阻止磨粒的磨损作用。形成碳化物中立方晶系的MC型碳化物有最高的硬度，且其热稳定性也最高；而斜方晶系的M₃C型碳化物的硬度最低，其热稳定性也最低。

2.2 宝钢优势

宝钢股份坚持“重用户、重改进、重效率、重价值，为社会提供一流的产品和服务”的质量方针。宝钢股份实施一贯质量管理方式，坚持按用户需求组织生产，按QS9000要求开展产品策划，制订严密的三级规程体系，配备了完善的多级计算机质量管理和控制系统，对质量设计、过程进行动态监控，强化统计过程控制（SPC）。

宝钢投产以来，始终坚持按高于国际标准的企业标准组织生产和供货。宝钢钢材产品企业标准全部被评为国际先进标准，其中涉及ASTM、ASME、JIS、DIN及GM等标准共148个，产品标准93个。相关产品获美国API会标使用权、日本JIS认可证书，船板已得到中国、法国、美国、英国、德国、挪威、意大利等七国船级社认可。

公司不断完善一贯质量管理，努力提高产品质量，加快产品和质量体系的国际认证步伐。1994年通过英国BSI公司的ISO9001质量体系认证，并通过历年的复审。为适应汽车行业的特殊要求，公司严格按QS9000标准要求建立质量体系，并于1999年通过英国BSI公司的QS9000（ISO/TS16949）认证，成为我国钢铁行业第一家通过该认证的企业。从90年代起，公司开始了各类产品认证，现在已有16个产品取得相关的国际认证证书。宝钢股份产品质量全面达到国际先进水平。

宝钢坚持可持续发展战略，致力推进清洁生产，1998年通过国家环保局的ISO14001环境管理体系认证。

宝钢股份创立后，在与世界一流企业“对标”的基础上，组织有关专家开展专题论证，分析总结了宝钢的现状和未来发展，制订完成了经营发展规划，决心

把宝钢股份建成全球最具竞争力的钢铁企业。

2002年，宝钢股份荣获全国质量管理奖。

完善的质量管理体系，先进的生产装备和高素质的员工队伍，是宝钢建立厚板产品技术优势的根本保证。宝钢已将长期积累的钢铁产品一贯制管理技术，成功应用于厚板产品的质量一贯制控制。

一流的炼钢装备和生产技术，保证了厚板产品所需的钢质纯净度。通过铁水预脱磷、脱硫、脱硅，转炉脱磷和炉外精炼技术(LF、RH-MFB、RH-OB、KIP/CAS)，钢水中杂质控制的制能力已经达到世界一流水平（ $P \leq 50\text{ppm}$ 、 $S \leq 10\text{ppm}$ 、 $O \leq 20\text{ppm}$ 、 $H \leq 1.5\text{ppm}$ ）。

厚板连铸机的关键技术与装备采用了国外近年来开发的一些新技术和设备，可充分保证厚板产品所需的优质板坯：夹杂物小、分布均匀；可对内部裂纹及中心偏析、中心疏松进行严格控制；具有良好的表面质量及极低的气体含量。

厚板轧机荟萃了当今世界上最先进的生产技术和装备。高精度轧制技术、控冷控轧技术、全液压矫直机及自动化控制技术、在线超声波探伤技术、自动化剪切技术，保证了厚板产品的尺寸、外形、性能满足或超过用户的要求。完备的热处理手段，包括辊压淬火、正火、退火、淬火和回火等，可满足各类产品的热处理要求；完善的计算机管理系统，使厚板生产中各种复杂的过程控制、质量设计、生产组织等各个环节均精确无误，保证了用户合同的按时完成。

2.3 宝钢耐磨钢特点

宝钢耐磨钢通过合理的成分和工艺设计，减少了合金元素含量，降低了制造成本。宝钢耐磨钢在具有高硬度的同时，还具有优异的拉伸性能（尤其是延伸率）和冲击性能，这充分保证了耐磨钢在各种磨损条件下都具有优良的耐磨性能。另外，宝钢耐磨钢通过合理的成分设计降低了碳当量，使耐磨钢具有优良的焊接性能，部分产品甚至不预热焊接，焊后性能良好。宝钢耐磨钢适用于各种磨损条件，处于国内领先地位，达到世界先进水平。

三 宝钢耐磨钢供货技术条件

3.1 宝钢 B-HARD360 耐磨钢厚板供货技术协议

宝山钢铁股份有限公司生产的布氏硬度 360HBW 级耐磨钢板，牌号为 B-HARD360，钢板的交货条件按下列规定：

1 适用范围

本技术条件适用于工程机械、矿山机械上，尤其适用在与矿石、煤炭、煤浆、泥沙以及水泥浆等物料相接触的车辆或设施上，如矿用电动轮自卸车、煤矿刮板输送机、水泥搅拌机、推土机、挖掘机、装载机、抓斗等。

2 尺寸、外形、重量及允许偏差

2.1 钢板的尺寸、重量及允许偏差应符合 GB/T709 规定。

2.2 外形：平直度按表 1 执行。

表 1 平直度规格

板厚, mm	1 米内平直度, mm
≤15	≤12
> 15 ~ 20	≤9
> 20	≤6

3 技术要求

3.1 牌号和化学成分

3.1.1 钢的牌号为 B-HARD360

3.1.2 钢的化学成分如表 2 所示。

表 2 B-HARD360 化学成分 (mass%)

钢种名称	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B	Al	Ti
B-HARD360	0.08 ~ 0.20	0.40 ~ 1.20	≤ 1.60	≤ 0.015	≤ 0.010	≤ 0.80	≤ 0.60	≤ 0.50	≤ 0.004	≤ 0.050	≤ 0.040

3.1.3 成品钢板化学成分的允许偏差应符合 GB/T222 的相应规定。

3.2 冶炼方法

转炉+炉外精炼

3.3 交货状态

淬火+回火

3.4 力学性能

钢板的硬度、拉伸、抗弯和冲击试验结果应符合表 3 规定。

表 3 B-HARD360 机械性能规格

牌号	厚度/mm	布氏硬度 HB2.5/187.5	拉伸测试		90°弯曲	冲击测试		
			Rm, MPa	A50, %		级别	温度	冲击功
B-HARD360	10~30	360~420	≥1100	≥9	D=3a	A	-	-
						B	室温	≥20J
	C	0℃	≥20J					
	D	-20℃	≥20J					
	E	-40℃	≥20J					
>30~50	350~410	≥1050	≥9					

注：冲击功判定依据：三个试样的平均值大于上述规定值为合格（不限定单值）；初验不合格允许复验，复验三个试样的平均值大于上述规定值为合格（不限定单值）。

3.5 表面质量

钢板表面质量应符合 GB3274-88 的规定。

4 检测规则

4.1 钢板应成批验收，每批应由同一炉罐号，同一规格，同一热处理制度的钢板组成，重量不得超过 30 吨。

4.2 其它检验项目的复检应符合 GB/T247 的规定。

5 包装、标志及质量证明书：钢板的包装、标志及质量证明书应符合 GB/T217 的规定。

3.2 宝钢 B-HARD400 耐磨钢厚板供货技术协议

宝山钢铁股份有限公司生产的布氏硬度 400HBW 级耐磨钢板，牌号为 B-HARD400，钢板的交货条件按下列规定：

1 适用范围

本技术条件适用于工程机械、矿山机械上，尤其适用在与矿石、煤炭、煤浆、泥沙以及水泥浆等物料相接触的车辆或设施上，如矿用电动轮自卸车、煤矿刮板运输机、水泥搅拌机、推土机、挖掘机、装载机、抓斗等。

2 尺寸、外形、重量及允许偏差

2.1 钢板的尺寸、重量及允许偏差应符合 GB/T709 规定。

2.2 外形：平直度按表 1 执行。

表 1 平直度规格

板厚, mm	1 米内平直度, mm
≤15	≤12
> 15 ~ 20	≤9
> 20	≤6

3 技术要求

3.1 牌号和化学成分

3.1.1 钢的牌号为 B-HARD400

3.1.2 钢的化学成分如表 2 所示。

表 2 B-HARD400 化学成分 (mass%)

钢种名称	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B	Al	Ti
B-HARD400	0.10 ~ 0.24	0.40 ~ 1.00	≤ 1.90	≤ 0.015	≤ 0.010	≤ 1.00	≤ 0.60	≤ 0.50	≤ 0.004	≤ 0.050	≤ 0.040

3.1.3 成品钢板化学成分的允许偏差应符合 GB/T222 的相应规定。

3.2 冶炼方法

转炉+炉外精炼

3.3 交货状态

淬火+回火

3.4 力学性能

钢板的硬度、拉伸、抗弯和冲击试验结果应符合表 3 规定。

表 3 B-HARD400 机械性能规格

牌号	厚度 /mm	布氏硬度 HB2.5/187.5	拉伸测试		90°弯曲	冲击测试		
			Rm, MPa	A50, %		级别	温度	冲击功
B-HARD400	10~30	370~470	≥1200	≥9	D=3a	A		
						B	室温	≥20J
	C	0℃	≥20J					
	D	-20℃	≥20J					
	E	-40℃	≥20J					
>30~50	360~460	≥1150	≥9					

注：冲击功判定依据：三个试样的平均值大于上述规定值为合格（不限定单值）；初验不合格允许复验，复验三个试样的平均值大于上述规定值为合格（不限定单值）。

3.5 表面质量

钢板表面质量应符合 GB3274-88 的规定。

4 检测规则

4.1 钢板应成批验收，每批应由同一炉罐号，同一规格，同一热处理制度的钢板组成，重量不得超过 30 吨。

4.2 其它检验项目的复检应符合 GB/T247 的规定。

5 包装、标志及质量证明书：钢板的包装、标志及质量证明书应符合 GB/T217 的规定。

3.3 宝钢 B-HARD450 耐磨钢厚板供货技术协议

宝山钢铁股份有限公司生产的布氏硬度 450HBW 级耐磨钢板，牌号为 B-HARD450，钢板的交货条件按下列规定：

1 适用范围

本技术条件适用于工程机械、矿山机械上，尤其适用在与矿石、煤炭、煤浆、泥沙以及水泥浆等物料相接触的车辆或设施上，如矿用电动轮自卸车、煤矿刮板运输机、水泥搅拌机、推土机、挖掘机、装载机、抓斗等。

2 尺寸、外形、重量及允许偏差

2.1 钢板的尺寸、重量及允许偏差应符合 GB/T709 规定。

2.2 外形：平直度按表 1 执行。

表 1 平直度规格

板厚, mm	1 米内平直度, mm
≤15	≤12
> 15 ~ 20	≤9
> 20	≤6

3 技术要求

3.1 牌号和化学成分

3.1.1 钢的牌号为 B-HARD450

3.1.2 钢的化学成分如表 2 所示。

表 2 B-HARD450 化学成分 (mass%)

钢种名称	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B	Al	Ti
B-HARD450	0.15 ~ 0.35	0.40 ~ 1.20	≤ 1.70	≤ 0.015	≤ 0.010	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.50	≤ 0.004	≤ 0.050	≤ 0.040

3.1.3 成品钢板化学成分的允许偏差应符合 GB/T222 的相应规定。

3.2 冶炼方法

转炉+炉外精炼

3.3 交货状态

淬火+回火

3.4 力学性能

钢板的硬度、拉伸、抗弯和冲击试验结果应符合表 3 规定。

表 3 B-HARD450 机械性能规格

牌号	厚度 /mm	布氏硬度 HB2.5/187.5	拉伸测试		90°弯曲	冲击测试		
			Rm, MPa	A50, %		级别	温度	冲击功
B-HARD450	10~30	420~490	≥1300	≥9	D=3a	A	-	-
						B	室温	≥20J
	C	0℃	≥20J					
	D	-20℃	≥20J					
>30~50	410~480	≥1250	≥9					

注：冲击功判定依据：三个试样的平均值大于上述规定值为合格（不限定单值）；初验不合格允许复验，复验三个试样的平均值大于上述规定值为合格（不限定单值）。

3.5 表面质量

钢板表面质量应符合 GB3274-88 的规定。

4 检测规则

4.1 钢板应成批验收，每批应由同一炉罐号，同一规格，同一热处理制度的钢板组成，重量不得超过 30 吨。

4.2 其它检验项目的复检应符合 GB/T247 的规定。

5 包装、标志及质量证明书：钢板的包装、标志及质量证明书应符合 GB/T217 的规定。

3.4 宝钢 B-HARD500 耐磨钢厚板供货技术协议

宝山钢铁股份有限公司生产的布氏硬度 500HBW 级耐磨钢板，牌号为 B-HARD500，钢板的交货条件按下列规定：

1 适用范围

本技术条件适用于工程机械、矿山机械上，尤其适用在与矿石、煤炭、煤浆、泥沙以及水泥浆等物料相接触的车辆或设施上，如矿用电动轮自卸车、煤矿刮板运输机、水泥搅拌机、推土机、挖掘机、装载机、抓斗等。

2 尺寸、外形、重量及允许偏差

2.1 钢板的尺寸、重量及允许偏差应符合 GB/T709 规定。

2.2 外形：平直度按表 1 执行。

表 1 平直度规格

板厚, mm	1 米内平直度, mm
≤15	≤12
> 15 ~ 20	≤9
> 20	≤6

3 技术要求

3.1 牌号和化学成分

3.1.1 钢的牌号为 B-HARD500

3.1.2 钢的化学成分如表 2 所示。

表 2 B-HARD500 化学成分 (mass%)

钢种名称	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B	Al	Ti
B-HARD500	0.20 ~ 0.40	0.20 ~ 1.00	≤ 1.80	≤ 0.015	≤ 0.010	≤ 1.50	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.004	≤ 0.060	≤ 0.040

3.1.3 成品钢板化学成分的允许偏差应符合 GB/T222 的相应规定。

3.2 冶炼方法

转炉+炉外精炼

3.3 交货状态

淬火+回火

3.4 力学性能

钢板的硬度、拉伸、抗弯和冲击试验结果应符合表 3 规定。

表 3 B-HARD500 机械性能规格

牌号	厚度 /mm	布氏硬度 HB2.5/187.5	拉伸测试		90°弯曲	冲击测试		
			Rm, MPa	A50, %		级别	温度	冲击功
B-HARD500	10~30	470~540	≥1350	≥8	D=3a	A	-	-
						B	室温	≥20J
	C	0℃	≥20J					
	D	-20℃	≥20J					
	E	-40℃	≥20J					
>30~50	460~530	≥1300	≥8					

注：冲击功判定依据：三个试样的平均值大于上述规定值为合格（不限定单值）；初验不合格允许复验，复验三个试样的平均值大于上述规定值为合格（不限定单值）。

3.5 表面质量

钢板表面质量应符合 GB3274-88 的规定。

4 检测规则

4.1 钢板应成批验收，每批应由同一炉罐号，同一规格，同一热处理制度的钢板组成，重量不得超过 30 吨。

4.2 其它检验项目的复检应符合 GB/T247 的规定。

5 包装、标志及质量证明书：钢板的包装、标志及质量证明书应符合 GB/T217 的规定。

四 宝钢耐磨钢焊接性能试验

1 试验材料

宝钢耐磨钢 B-HARD360/400/450/500。

2 试验方法

按照《斜 Y 坡口焊接裂纹试验方法》(GB4675.1-84)对 B-HARD 系列耐磨钢板进行斜 Y 坡口焊接裂纹试验,分五组进行试验。斜 Y 坡口焊接裂纹试件的形状和尺寸见图 1。

首先焊接拘束焊缝,拘束焊缝采用富 Ar 气体保护焊焊接,使用 $\Phi 1.2$ 的 JM-58 焊丝,焊接过程中严格控制了试件的角变形。焊后冷却室温后进行试验焊缝的焊接。试验焊缝在不同预热温度下进行焊接,采用 4mm 的大西洋 CHE507 焊条。试验焊缝完成 48 小时后,检测焊缝表面裂纹、断面裂纹和根部裂纹。斜 Y 坡口焊接裂纹试验结果见表 3。焊接规范为 $170A \times 25V \times 160\text{mm}/\text{min}$ 。经过解剖试验,利用着色法对焊缝的表面、断面、根部分别进行检查。

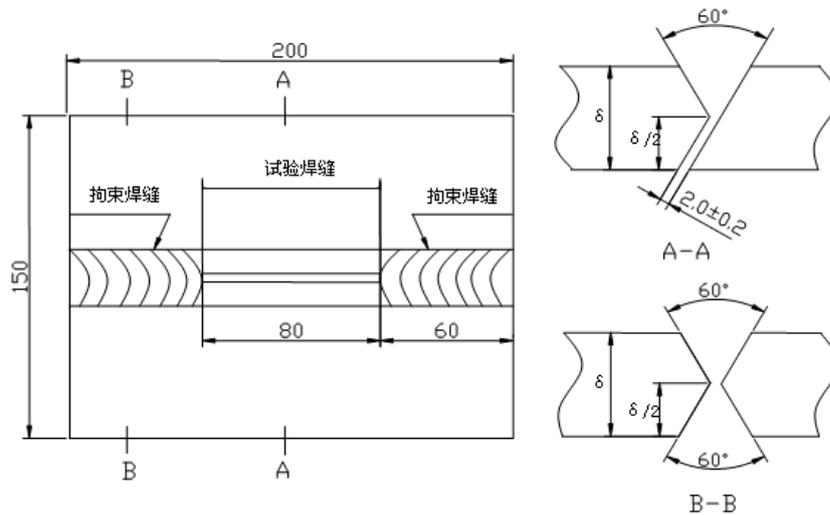


图 1 斜 Y 坡口焊接裂纹试件的形状和尺寸

3 试验结果

B-HARD 系列耐磨钢板铁研试验结果如表 1 所示,由表可知,在适当预热温度下,钢板焊后未发现焊接裂纹,钢板焊接性能良好。

表 1 宝钢耐磨钢板焊接性能试验结果

牌号	预热温度	试样编号	表面裂纹率%	根部裂纹率%	断面裂纹率%	环境温度	相对湿度
B-HARD360	25℃	1	0	0	0	28℃	55%
		2	0	0	0		
		3	0	0	0		
		4	0	0	0		
		5	0	0	0		
B-HARD400	100℃	1	0	0	0	26℃	50%
		2	0	0	0		
		3	0	0	0		
		4	0	0	0		
		5	0	0	0		
B-HARD450	150℃	1	0	0	0	28℃	55%
		2	0	0	0		
		3	0	0	0		
		4	0	0	0		
		5	0	0	0		
B-HARD500	200℃	1	0	0	0	27℃	55%
		2	0	0	0		
		3	0	0	0		
		4	0	0	0		
		5	0	0	0		

注：耐磨钢耐磨试验报告见附录

五 宝钢耐磨钢耐磨性能试验

1 试验材料

本试验对宝钢耐磨钢和瑞典 SSAB 耐磨钢板进行耐磨性能检测，试验钢种分别为 BHARD360、BHARD400、BHARD450 和 BHARD500 以及 HARDOX400 和 HARDOX500。

2 试验方法

耐磨性实验在 ML-100 磨粒磨损试验机上进行。实验机实物照片如图 1 所示。截取试样时，令试样的轴线垂直于钢板表面，试样的磨损面平行钢板的轧制面。将试样按要求加工成台阶状圆柱体，测试部分尺寸为 $\phi 4\text{mm}$ ，卡具夹持部分尺寸为 $\phi 8\text{mm}$ （实物如图 2 所示）。实验前用酒精清洗试样，然后用吹风机吹干，在万分之一精度的天平上称重，测得试样重量作为原始重量，而后安装在弹性夹具上。分别用粒度为 80 目、120 目的 SiC 砂纸，在 42N、84N 两种载荷作用下进行实验。实验后由于试样与砂纸间的磨损，试样在砂纸上画出一条螺旋线（如图 3 所示），根据螺旋线的起始和终止半径来计算螺旋线的长度，计算公式为

$$S = \frac{\pi(r_1^2 - r_2^2)}{a} \quad (\text{公式1})$$

式中， r_1 为螺旋线的起始半径， r_2 为螺旋线的终止半径， a 为螺旋线的进给量。每次实验称重两次取平均值，然后计算失重，用每米失重来表示试样的磨损率（mg/M）。



图 1 ML-100 磨粒磨损试验机照片



图2 耐磨测试试样实物照片



图3 耐磨测试后砂纸表面的螺旋线

3 试验结果

耐磨钢板耐磨试验结果如表 1 所示，由表可知，随着硬度的增加钢板耐磨性能不断增强，宝钢耐磨钢与同级别的瑞典 SSAB 生产的耐磨钢板耐磨性能相当。

表 1 宝钢耐磨钢与瑞典 SSAB 耐磨钢的磨损率(mg/M)

钢种		磨损条件			
		80 目砂纸 84N 载荷	120 目砂纸 84N 载荷	80 目砂纸 42N 载荷	120 目砂纸 42N 载荷
宝钢	B-HARD360	13.961	13.778	12.978	13.098
	B-HARD400	13.522	13.126	12.555	12.672
	B-HARD450	10.024	10.036	10.021	10.118
	B-HARD500	7.256	7.032	6.684	6.721
瑞典 SSAB	HARDOX400	14.028	14.506	14.010	14.000
	HARDOX500	7.521	7.315	7.095	7.116

六 宝钢耐磨钢实物水平及使用业绩

6.1 宝钢耐磨钢实物水平

宝钢耐磨钢 B-HARD360

一、B-HARD360 化学成分

表 1. B-HARD360 化学成分 (wt.%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	B	其它
含量	≤0.17	0.50-0.7	1.70-2.2	≤ 0.012	≤ 0.030	0.030- 0.050	0.015- 0.025	0.0010- 0.0020	Cr、Mo、 Ni 等

二、B-HARD360 板材硬度及拉伸性能

表 2.不同厚度 B-HARD360 耐磨钢板的硬度及拉伸性能

名称	板材厚度	硬度/HB	拉伸性能	
			Rp0.2	Rm
B-HARD360	12	404	1127	1292
B-HARD360	20	408	1120	1260
B-HARD360	25	403	1114	1248
B-HARD360	30	405	1110	1207
B-HARD360	35	412	1081	1199
B-HARD360	40	405	1060	1172
B-HARD360	50	402	1050	1159
B-HARD360	80	406	1027	1140

三、B-HARD360 碳当量 (Ceq) 和焊接敏感性系数 (Pcm)

表 3. B-HARD360 的碳当量 (Ceq) 和焊接敏感性系数 (Pcm) (典型值)

产品类型	B-HARD360
Ceq	0.42
Pcm	0.24

四、B-HARD360 典型显微组织

如图 1 所示，显微组织主要为马氏体。

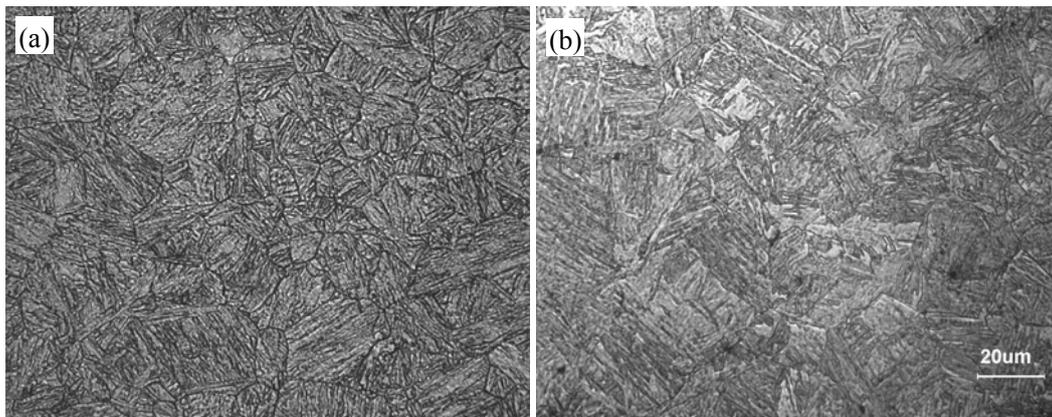


图 1. B-HARD360 显微组织
 板材厚度: (a)-20mm; (b)-50mm

宝钢耐磨钢 B-HARD400

一、B-HARD400 化学成分

表 1. B-HARD400 化学成分 (wt.%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	B	其它
含量	≤0.20	0.20-0.50	1.20-1.7	≤ 0.012	≤ 0.030	0.030- 0.050	0.015- 0.025	0.0010- 0.0020	Cr、Mo、 Ni 等

二、B-HARD400 板材硬度及拉伸性能

表 2. 不同厚度 B-HARD400 耐磨钢板的硬度及拉伸性能

名称	板材厚度	硬度/HB	拉伸性能	
			Rp0.2	Rm
B-HARD400	12	421	1227	1392
B-HARD400	20	426	1220	1360
B-HARD400	25	433	1214	1348
B-HARD400	30	435	1210	1307
B-HARD400	35	432	1281	1399
B-HARD400	40	435	1260	1372
B-HARD400	50	432	1050	1359
B-HARD400	80	436	1227	1340

三、B-HARD400 碳当量 (Ceq) 和焊接敏感性系数 (Pcm)

表 3. B-HARD400 的碳当量 (Ceq) 和焊接敏感性系数 (Pcm) (典型值)

产品类型	B-HARD400
Ceq	0.46
Pcm	0.28

四、B-HARD400 典型显微组织

如图 2 所示，显微组织主要为马氏体。

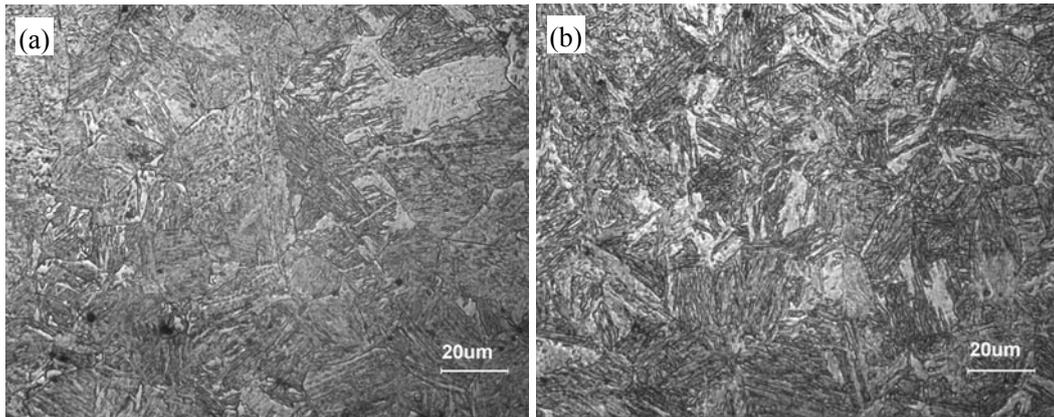


图 2. B-HARD400 显微组织
板材厚度：(a)-20mm；(b)-50mm

宝钢耐磨钢 B-HARD450

一、B-HARD450 化学成分

表 1. B-HARD450 化学成分 (wt.%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	B	其它
含量	≤0.25	0.20-0.70	1.10-1.9	≤ 0.012	≤ 0.030	0.030- 0.050	0.015- 0.025	0.0010- 0.0020	Cr、Mo、 Ni 等

二、B-HARD450 板材硬度及拉伸性能

表 2. 不同厚度 B-HARD450 耐磨钢板的硬度及拉伸性能

名称	板材厚度	硬度/HB	拉伸性能	
			Rp0.2	Rm
B-HARD450	12	461	1327	1592
B-HARD450	20	466	1320	1560
B-HARD450	25	463	1314	1548
B-HARD450	30	475	1310	1507
B-HARD450	35	472	1381	1599
B-HARD450	40	475	1360	1572

B-HARD450	50	472	1350	1559
B-HARD450	80	476	1327	1540

三、B-HARD450 碳当量 (Ceq) 和焊接敏感性系数 (Pcm)

表 3. B-HARD450 的碳当量 (Ceq) 和焊接敏感性系数 (Pcm) (典型值)

产品类型	B-HARD400
Ceq	0.52
Pcm	0.32

四、B-HARD450 典型显微组织

如图 3 所示，显微组织主要为马氏体。

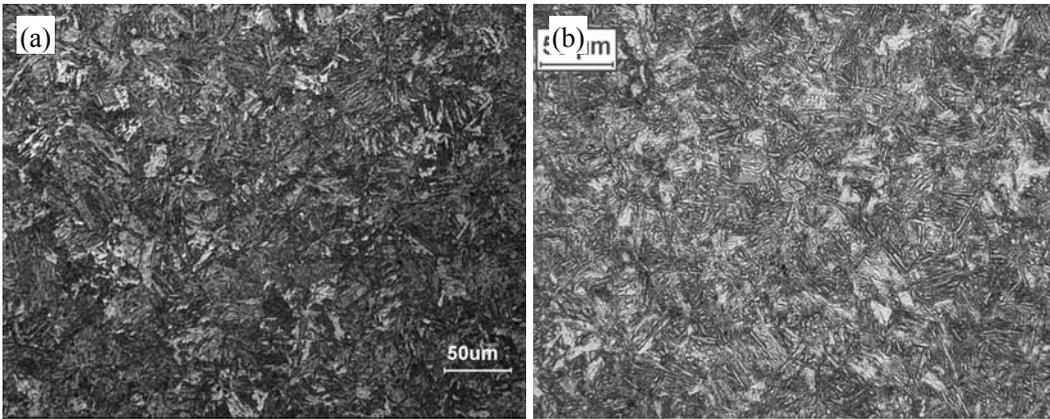


图 3. B-HARD450 显微组织
板材厚度: (a)-20mm; (b)-50mm

宝钢耐磨钢 B-HARD500

一、B-HARD500 化学成分

表 1. B-HARD500 化学成分 (wt.%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	B	其它
含量	≤0.30	0.20-0.80	1.00-2.3	≤ 0.012	≤ 0.030	0.030- 0.050	0.015- 0.025	0.0010- 0.0020	Cr、Mo、 Ni 等

二、B-HARD500 板材硬度及拉伸性能

表 2. 不同厚度 B-HARD500 耐磨钢板的硬度及拉伸性能

名称	板材厚度	硬度/HB	拉伸性能	
			Rp0.2	Rm
B-HARD500	12	521	1427	1792

B-HARD500	20	526	1420	1760
B-HARD500	25	523	1414	1748
B-HARD500	30	525	1410	1707
B-HARD500	35	532	1481	1799
B-HARD500	40	531	1460	1772
B-HARD500	50	522	1450	1759
B-HARD500	60	526	1427	1740

三、B-HARD500 碳当量 (Ceq) 和焊接敏感性系数 (Pcm)

表 3. B-HARD500 的碳当量 (Ceq) 和焊接敏感性系数 (Pcm) (典型值)

产品类型	B-HARD500
Ceq	0.67
Pcm	0.38

四、B-HARD500 典型显微组织

如图 4 所示，显微组织主要为马氏体。

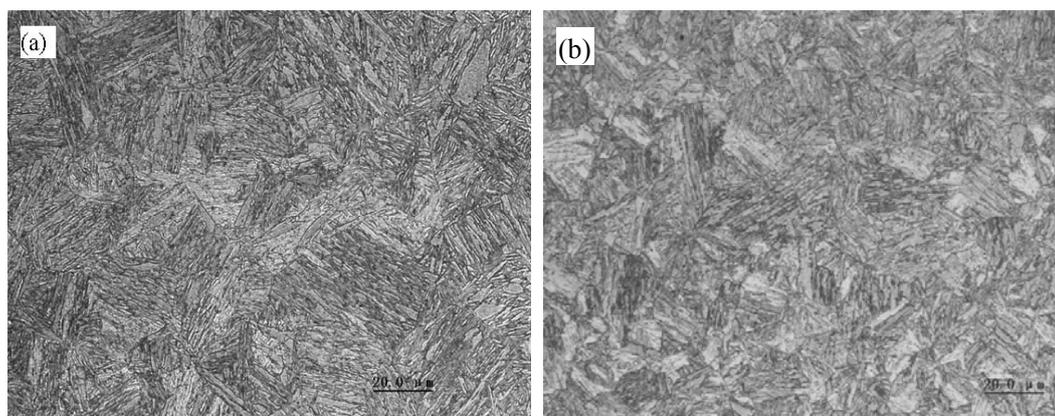


图 4. B-HARD500 显微组织
板材厚度: (a)-20mm; (b)-50mm

6.2 宝钢耐磨钢使用业绩

目前宝钢已生产数万吨耐磨钢，其中出口到美国、澳洲、非洲等地数千吨，广泛应用于煤炭机械（张家口煤机等）、矿山机械（澳大利亚布兰肯等）、工程机械（斗山机械等）和汽车（北方重汽等）等领域，受到了用户的广泛认可和高度赞誉。

宝钢耐磨钢 BNM360A

切割与焊接性能试验报告

2007. 05

宝钢耐磨钢 BNM360A 切割与焊接性能试验报告

1 实验前状态

1.1 化学成分

实验用 BNM360A 钢的化学成分 (%)

板厚 mm	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P	AL	B	Ti
25	0.18	0.33	1.30	0.66	0.22	0.002	0.006	0.045	0.0016	0.013

1.2 实验前的热处理状态

实验用钢板为高硬度，25mm 厚钢板硬度 412HB。

BNM360A 力学性能性能：

厚度， mm	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	延伸率 %	20℃冲击功， 纵向	0℃冲击功， 纵向
25	1145/1150	1410/1400	13.5/14.0	101, 105, 90	65, 75, 77
30	1170/1190	1420/1430	13.0/14.0	117, 109, 98	75, 75, 79

2 火焰切割性能实验

2.1 实验方法

2.1.1 常温切割实验

对厚度为 25mm 厚度 BNM360A，用半自动切割机进行直线切割，切割完毕 24 小时后，检查切口质量。

2.1.2 0℃切割实验

将厚度为 25mm 的 BNM360A 钢置于 0℃冰箱中，保温 24 小时后，用半自火焰动切割机进行直线切割，切割完毕后立即放入 0℃冰箱中，保温 24 小时后检查切割质量。

2.1.3 根据 JB/T10045.2-1999 《热切割术语和定义》和

JB/T10045.3-1999 《热切割、气割质量和尺寸偏差》对厚度为25mmBNM360A 钢常温和 0℃切割面进行质量评定。用目视和 5 倍放大镜检查切口质量, 切口面质量包括: 切割面平面度、割纹深度、挂渣、缺陷极限间距离、上边缘熔化程度, 后拖量。

2.2 实验条件

2.2.1 实验设备

QGJ-1A 半自动火焰切割机。

2.2.2 切割工艺参数

氧气压力: 0.4-0.5MP

乙炔压力: 0.01MP

割嘴型号: 1#割嘴

割嘴与工件间距离: 5mm

切割速度: 常温: 250mm/min 0℃: 230mm/min

2.2.3 实验温度

环境温度: 15℃

实验温度: 常温实验: 15℃

0℃实验: 0℃

2.3 实验结果

2.3.1 用目视检查和 5 倍放大镜检查 BNM360A 钢在常温和 0℃切割, 切口处均未发现裂纹。

2.3.2 根据 JB/T10045.2-1999 和 JB/T10045.3-1999 对 BNM360A 钢在常温及 0℃下切口质量进行检查评定, 评定结果如下:

25mm 厚 BNM360A 切割实验结果

评定项目	评定等级 (常温)	评定等级 (0℃)
切割面平面度	1 等	1 等
割纹深度	1 等	1 等
上边缘熔化程度	良好	良好
挂渣	良好	良好
缺陷极限间距离	>2000mm	>2000mm
后拖量	2mm	2mm

25mm 厚 BNM360A 钢切割实验结果

评定项目	评定等级 (常温)	评定等级 (0℃)
切割面平面度	1 等	1 等
割纹深度	1 等	1 等
上边缘熔化程度	良好	良好
挂渣	良好	良好
缺陷极限间距离	>2000mm	>2000mm
后拖量	3mm	3mm

3 对接接头刚性拘束焊接裂纹实验

本次实验使用焊接方法：富氩混合气体保护焊。分别对 25mm 厚 BNM360A 钢进行实验。

3.1 实验条件

使用焊丝：武汉船用 H80E；焊丝直径：1.2mm；焊接电流：180A-220A；焊接电压：28V-29V；混合气体配比：Ar：CO₂=93：7；保护气体流量：20L/min，焊接速度：V=4mm/s，直流反接电源；环境温度：15℃。

3.2 试样的制备及实验方法

3.2.1 试板尺寸按 GB/T13817-92《对接接头刚性拘束焊接裂纹实验方法》的规定进行组焊，对 25mm 和 20mm 钢板的实验，实验钢板为

25mm 和 20mm，刚性底板厚度均为 80mm，每种组合焊接一对试板，共 2 对（如图）。

3.2.2 焊后 48 小时，用 5 倍放大镜对每条实验焊缝进行检查，计算表面裂纹率；之后采用机械加工的方法对实验钢板进行切割，每组试样切取 10 个断面，抛光后，以 5 倍放大镜检查各断面的裂纹情况，并计算断面裂纹率。

3.3 实验结果

钢种	焊接方法	厚度 mm	表面裂纹率（裂纹长/焊缝长）		断面裂纹率（裂纹长/焊缝厚度）	
			数值	平均值（%）	数值	平均值（%）
BNM 360A	富氩混合 气体保护 焊	25	0	0	0	0
		20	0	0	0	0

4 结论

BM360A 钢常低温火焰切割性能较好，符合 JB/T10045.2-1999 和 JB/T10045.3-1999 中切割面质量 I 级标准的规定。

BM360A 钢采用富氩混合气体保护焊，表面裂纹率和断面裂纹率均为 0，焊接性能良好。

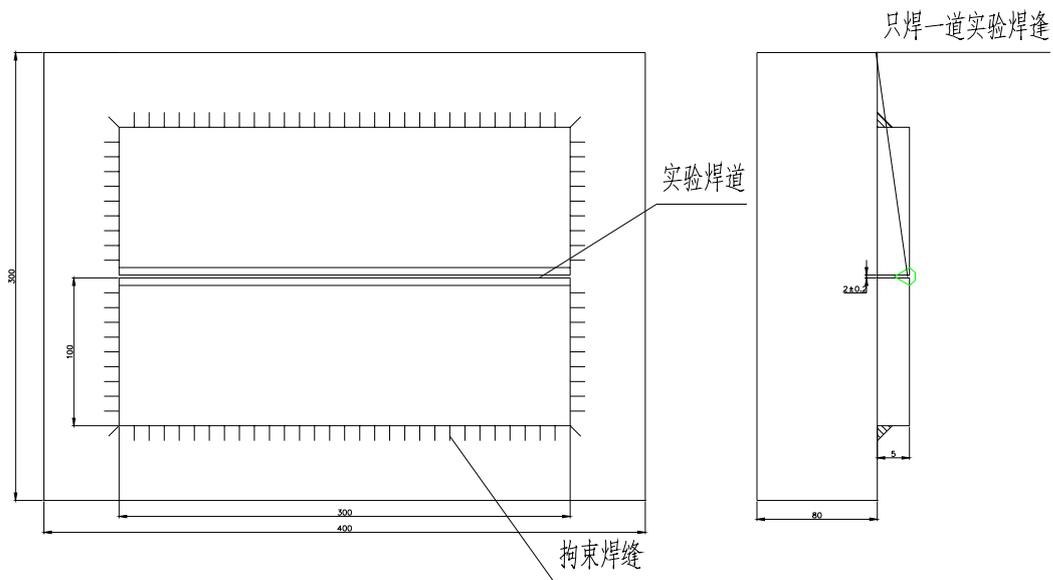


图1 对接接头刚性拘束焊接裂纹实验试样

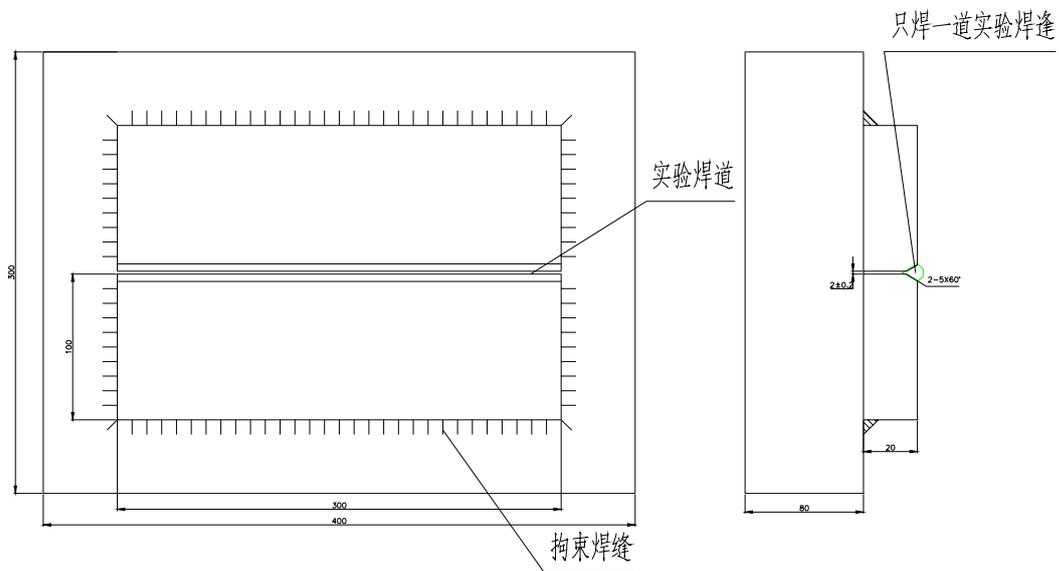


图2 对接接头刚性拘束焊接裂纹实验试样

B-HARD400CFE 耐磨钢板

斜 Y 坡口焊接裂纹试验报告一

一、试验时间：2008年3月

二、试验地点：内蒙古包头市北方重型汽车有限公司

三、试验目的：验证材料抗裂纹敏感性

四、试验过程与方法

1、试验材料

宝钢耐磨钢 B-HARD400CFE

2、状态

淬火+回火

3、化学成分

化学成分如表 1 所示。

表 1 化学成分 (wt.%)

C	Si	Mn	S	P	其它
0.17	0.30	1.29	0.0028	0.011	-

$C_{eq}=0.38$, $P_{cm}=0.234$

4、力学性能

力学性能如表 2 所示。

表 2 力学性能

布氏硬度	屈服强度 $R_{0.2}$	抗拉强度 R_m	延伸率	纵向冲击功
HB 10/3000	(MPa)	(MPa)	A, %	(-40°C), A_{KV} (J)
405	1076	1308	13	40

5、焊接性能

按照《斜 Y 坡口焊接裂纹试验方法》(GB4675.1-84)对 20mm

的 B-HARD400CFE 钢板进行斜 Y 坡口焊接裂纹试验，试验分四组。

斜 Y 坡口焊接裂纹试件的形状和尺寸见图 1。

首先焊接拘束焊缝，拘束焊缝采用大桥 507 焊条手工焊打底，然后使用 $\Phi 1.2$ 的 NR305 药芯焊丝自保护焊接填充，焊接过程中严格控制了试件的角变形。焊后冷却室温后进行试验焊缝的焊接。试验焊缝在室温下进行焊接（室温 8°C ），采用 4mm 的大桥 THJ507 焊条。试验焊缝完成 24 小时后，检测焊缝表面裂纹、断面裂纹和根部裂纹。

斜 Y 坡口焊接裂纹试验结果见表 3。焊接规范为 $160\text{A} \times 25\text{V} \times 160\text{mm/min}$ 。经过解剖试验，利用着色法对焊缝的表面、断面、根部分别进行检查，均无裂纹。图 2 为 4 号试件的表面、断面、根部检查照片。

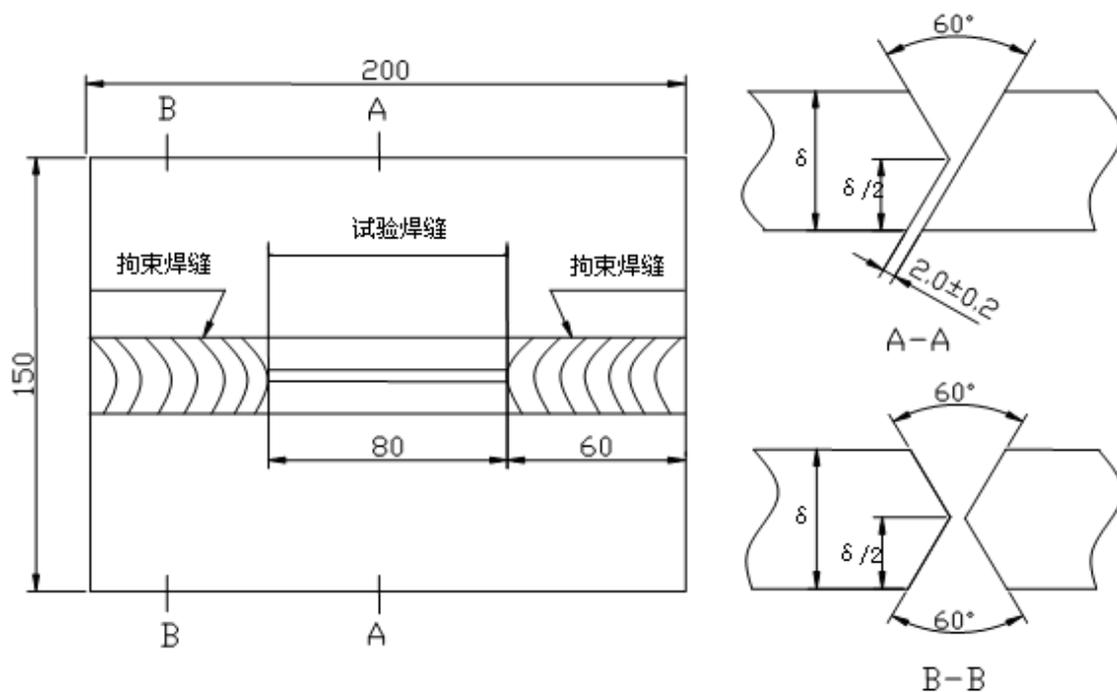


图 1 斜 Y 坡口焊接焊接裂纹试件的形状和尺寸

表 3 斜 Y 坡口焊接裂纹试验结果

焊接方法	试件编号	预热温度℃	间隙 mm	试样片数	开裂片数	表面裂纹率 %	断面裂纹率 %	根部裂纹率 %
手工电弧焊	1-1	8	1.80	4	0	0	0	0
	1-2	8	2.00	4	0	0	0	0
	1-3	8	1.05	4	0	0	0	0
	1-4	8	2.08	4	0	0	0	0



图 24 号件铁延试样及裂纹检测照片

五、 结论

按照《斜 Y 坡口焊接裂纹试验方法》(GB4675.1-84) 对 20mm 厚 B-HARD400CFE 板材在常温 (8°C) 下进行试验, 焊后检查表面、断面、根部均无裂纹出现。

B-HARD400CFE 耐磨钢板

斜 Y 坡口焊接裂纹试验报告 二

一、试验时间：2008 年 5 月

二、试验地点：上海宝钢研究院焊接实验室

三、试验目的：验证材料抗裂纹敏感性

四、试验过程与方法

1、试验材料

宝钢耐磨钢 B-HARD400CFE

2、状态

淬火+回火

3、化学成分

化学成分如表 1 所示。

表 1 化学成分 (wt.%)

钢种编号	C	Si	Mn	P	S	其它
B-HARD400CFE	0.17	0.30	1.29	0.010	0.003	-

4、力学性能

力学性能如表 2 所示。

表 2 力学性能

钢板号	钢板厚度 mm	硬度测试 HB 10/3000	拉伸			纵向冲击功 -40° C, A _{KV} (J)
			R _{p0.2} MPa	R _m MPa	A %	
B-HARD400CFE	20	399	1035	1255	14.5	179

5. 焊接性能

按照《斜 Y 坡口焊接裂纹试验方法》(GB4675.1-84) 对 20mm

厚 B-HARD400CF 耐磨钢板进行斜 Y 坡口焊接裂纹试验，分五组进行试验。斜 Y 坡口焊接裂纹试件的形状和尺寸见图 1。

首先焊接拘束焊缝，拘束焊缝采用富 Ar 气体保护焊焊接，使用 $\Phi 1.2$ 的 JM-58 焊丝，焊接过程中严格控制了试件的角变形。焊后冷却室温后进行试验焊缝的焊接。试验焊缝在室温下进行焊接（室温 20°C ），采用 4mm 的大西洋 CHE507 焊条。试验焊缝完成 48 小时后，检测焊缝表面裂纹、断面裂纹和根部裂纹。斜 Y

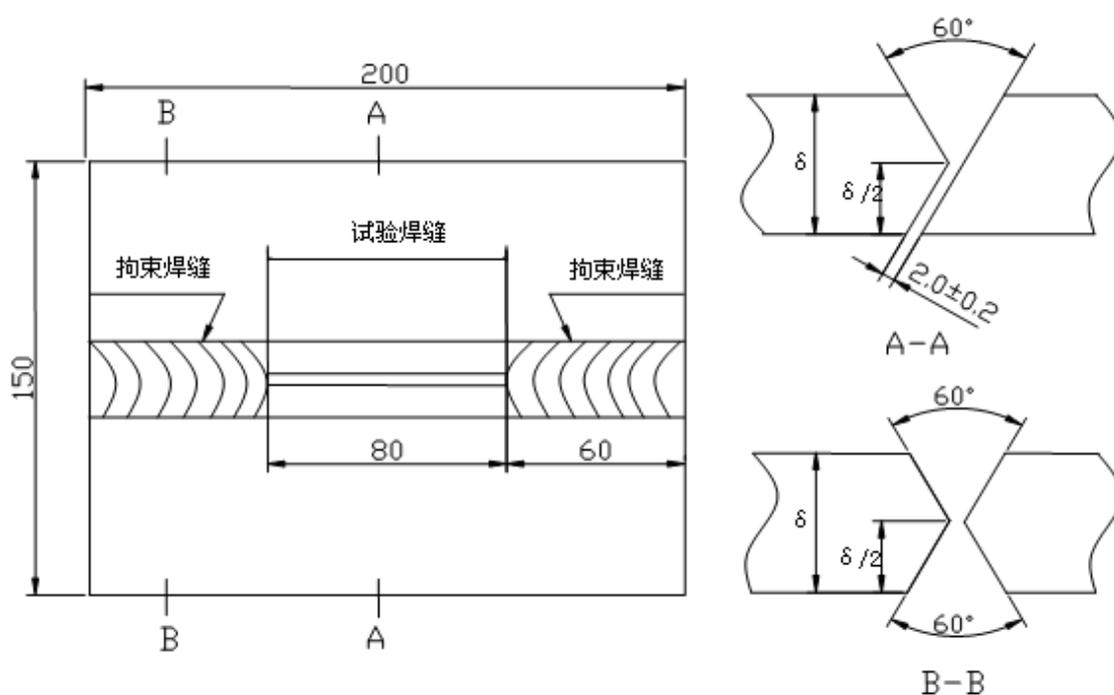


图 1 斜 Y 坡口焊接裂纹试件的形状和尺寸

坡口焊接裂纹试验结果见表 3。焊接规范为 $170\text{A} \times 25\text{V} \times 160\text{mm}/\text{min}$ 。经过解剖试验，利用着色法对焊缝的表面、断面、根部分别进行检查。

表 3 B-HARD400CF 斜 Y 坡口焊接裂纹试验结果

焊接方法	试件编号	预热温度℃	间隙 mm	试样片数	开裂片数	表面裂纹率%	断面裂纹率%	根部裂纹率%	照片
手工电弧焊	BHARD400CF-1	20	2.20	4	0	0	0	0	图 2
	BHARD400CF-2	20	2.18	4	0	0	0	0	图 3
	BHARD400CF-3	20	2.05	4	0	0	0	0	图 4
	BHARD400CF-4	20	2.05	4	0	0	0	0	图 5
	BHARD400CF-5	20	2.03	4	0	0	0	0	图 6

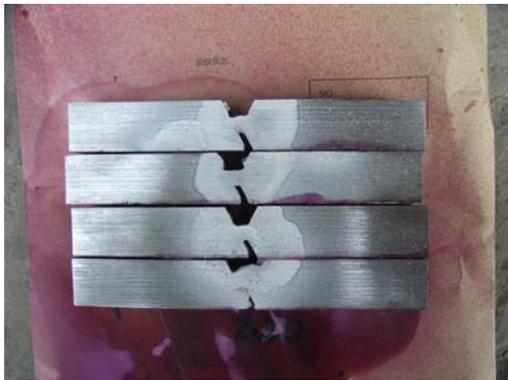


图 2 BHARD400CF-1 铁研试样裂纹检测照片



图 3 BHARD400CF -2 铁研试样裂纹检测照片



图 4 BHARD400CF-3 铁研试样裂纹检测照片



图 5 BHARD400CF-4 铁研试样裂纹检测照片



图 6 BHARD400CF-5 铁研试样裂纹检测照片

5. 结论

(a) 20mm 厚 B-HARD400CF 耐磨钢板硬度为 399HB， -40°C 冲击功大于 150J，完全满足低温下对冲击功的要求。

(b) 20mm 厚 B-HARD400CF 耐磨钢板铁研试验结果表明，在不预热条件下，焊后未发现焊接裂纹，钢板焊接性能优异。