

新型冷作模具钢 SDC55 的性能研究

邓黎辉 汪宏斌 李绍宏 梁洋杰 吴晓春

(上海大学材料科学与工程学院, 上海 200072)

【摘要】 对比研究了新型冷作模具钢 SDC55 和进口模具钢 DC53、SLD 及 ASSAB88 的抗弯性能和耐磨损性能。在电子万能试验机上对实验钢的抗弯性能进行了测试,并在 M-200 磨损仪上研究了其耐磨性能。利用超景深三维显微系统研究了实验钢磨损后的磨痕,并对其进行了金相观察。利用 JMatPro 软件对 4 种实验钢的组织进行了计算。通过对比研究发现,与进口对比钢相比,新型冷作模具钢 SDC55 的抗弯性能最好,并且其耐磨损性能好于 SLD 钢。

【关键词】 SDC55 钢 冷作模具钢 抗弯性能 耐磨损性能

MECHANICAL PROPERTIES OF NEW TYPE COLD WORKING DIE STEEL SDC55

Deng Lihui Wang Hongbin Li Shaohong Liang Yangjie Wu Xiaochun

(School of Materials Science and Engineering Shanghai University)

【Abstract】 The bending strength and wear resisting properties of a newly developed cold working die steel SDC55 and the imported ones DC53, SLD and ASSAB88 were compared. The property of bending strength and wear resisting on tested steels were investigated by using electric universal testing machine and M-200 abrasion instrument respectively. The grinding crack and microstructure were studied by means of Ultra-depth three-dimensional microscopy system and optical microscope. The microstructures of these four tested steels were computed by the software JMatPro. Results showed in comparison with the imported steel, the bending strength of the SDC55 was the best. In addition, the wear resisting property of newly developed steel SDC55 was better than that of SLD steel.

【Key Words】 SDC55 Steel Cold Working Die Steel Bending Strength Wear Resistance

模具是机械、电子、汽车、通讯、家电等工业产品的基础工艺装备。冷作模具主要用于金属或非金属材料的冷成形,包括冷冲压、冷挤压和冷镦等。这类模具工作载荷大、尺寸精度高、表面质量要求高、加工批量大,多数为最终产品,因此要求其具有较高的耐磨性和韧性等^[1-2]。随着加工技术、被加工材料及对模具需求的变化,原有的基本系列已经不能满足需要。为了提高冷作模具钢的韧性并使钢的耐磨性降低不是很多,国外一些模

具钢生产的主要企业,相继开发了一系列的高韧性、高耐磨性兼备的冷作模具钢,如 DC53、SLD-Magic 以及 ASSAB88 等^[2]。这些冷作模具钢的耐磨性能与 Cr12 型相近,但其韧性和抗弯强度等远高于后者。

冷作模具钢 SDC55 是上海大学和宝钢合作开发出来的一种新型高强韧性冷作模具钢。经前期研究发现,SDC55 具有优良的强韧性配合,但由于冷作模具钢的工作环境恶劣,又要求其具有良

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划课题:高品质模具钢钢材关键技术开发(2007BAE51B04)及上海市重点学科建设项目(S30107)

作者简介:邓黎辉,主要从事冷作模具钢开发研究,电话:021-56331153, Email: denglihu@shu.edu.cn

通讯作者:汪宏斌,电话:021-56334465

好的耐磨性能。因此,本文研究了 SDC55钢与一些进口冷作模具钢 DC53、SLD 以及 ASSAB88 等在抗弯性能和耐磨性能等方面的差异,旨在为合理设计冷作模具钢的化学成分提供一定的参考。

1 实验材料及方法

SDC55实验材料制备工艺为: 中频感应炉熔炼→电渣重熔→退火→锻造→退火,它与对比实验钢的化学成分见表 1。SDC55的热处理工艺为: 930 ℃奥氏体化后油淬,再 180 ℃回火两次,每次回火 2 h。SLD、Magick、DC53 以及 ASSAB88 的热处理工艺为: 1 030 ℃奥氏体化后油淬,再

200 ℃回火两次,每次 2 h。经过热处理后,分别测试各实验钢的硬度。抗弯曲实验采用三点弯曲法,压头直径 20 mm,跨距 80 mm,加载速度 5 mm/min,刀刃半径为 10 mm。利用 MM-200磨损实验机室温干磨,磨损载荷 5 kg,磨损时间 2 h,试样尺寸为 3 mm×7 mm×10 mm,其中对平面 3 mm×10 mm 面保持抛光态。对磨材料为高速钢,其硬度为 63 HRC,粗糙度 R_a 为 0.2 左右。使用超景深三维显微系统 VHX-600对磨损后的磨痕进行研究。

表 1 实验用冷作模具钢的化学成分(质量分数, %)

Table 1 Chemical composition of the tested steel (wt%)

	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V	W	Al
SLD-Magick	1.0	0.46	1.07	0.43	8.2	0.9	0.37	-	0.35	0.35
DC53	0.96	0.3	0.96	-	8.0	2.2	-	0.2	-	-
ASSAB88	0.93	0.5	0.9	-	7.7	2.5	-	0.53	-	-
SDC55	0.73	0.8	0.69	0.37	2.35	0.5	-	0.46	-	-

2 实验结果

2.1 抗弯性能

抗弯性能是模具钢力学性能的一项重要衡量指标,其中抗弯强度的计算公式见式(1)。

$$\sigma_{bb} = \frac{F_{bb}L_s}{4W}$$
$$W = \frac{bh^2}{6}$$

(1)

式中, F_{bb} 是最大弯曲应力, kN; L_s 是跨距, mm; W 是试样截面系数, mm^3 。试样尺寸按国标加工。

根据式(1)计算得出的 SDC55与国外进口钢在推荐热处理工艺下的抗弯强度等性能如表 2所示,可以看出,几种钢在硬度相当的情况下, SDC55的抗弯强度、最大弯曲力和挠度最高,这与 SDC55的成分设计有直接关系。SDC55含有适量的 C 和 Cr,既保证了基体的强度又避免了因过量的 Cr而造成的碳化物不均匀性,同时含有 Ni和 Si在强化基体的同时也能细化基体。Mo和 V能够形成弥散的第二相粒子,阻碍奥氏体晶粒的长大并强化基体。

表 2 SDC55与国外进口钢在推荐热处理工艺下的抗弯性能比较

Table 2 Bending strength of tested steels

	抗弯强度 /MPa	最大弯曲力 /kN	挠度 /mm	硬度 /HRC
SDC55	3 150	4 923	15.3	62
SLD-M	2 430	3 890	3.9	61
DC53	2 210	3 450	3.4	62
ASSAB88	2 270	3 550	3.5	61.5

2.2 磨损性能

将 SDC55与进口钢 DC53、SLD 及 ASSAB88 进行耐磨性能的比较,采用磨损失重来衡量材料磨损性能。图 1为 4个实验钢的磨损失重对比。

通过比较发现 SDC55的磨损失重为 2.235×10^{-2} g,而 DC53、SLD 以及 ASSAB88 的磨损量分别为 1.554×10^{-2} 、 2.489×10^{-2} 和 2.058×10^{-2} g。因此经过 5 kg 载荷、2 h 干磨损后 DC53的失重量最小,其耐磨性能最好。而 SLD 的失重量最大,其耐磨性能最差。新型冷作模具钢 SDC55的失

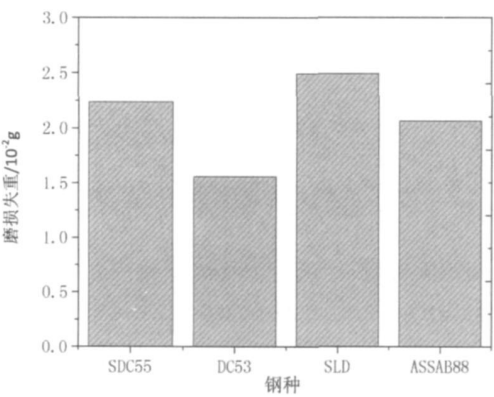


图 1 实验钢的磨损失重量比较

Fig 1 Comparison of weight lost in different tested steels

重量比 SLD 少, 其耐磨性能稍好于 SLD, 但比 ASSAB88 稍差。通过宏观硬度测试发现, SDC 55 的硬度为 62 HRC, 比 SLD (61 HRC) 和 ASSAB 88 (61. 5HRC) 的硬度都要高。材料的硬度和耐磨性能有着重要的内在联系, 一般来说, 材料的表面硬度越高, 抵抗接触变形的能力越强, 材料的耐磨性也越好³⁾。但硬度并不是唯一的影响因素, 因此有必要对实验钢的磨痕和微观组织进行研究。

图 2 为利用超景深三维显微系统 VHX-600 观察到的实验钢 SLD、DC53 以及 SDC55 磨痕。

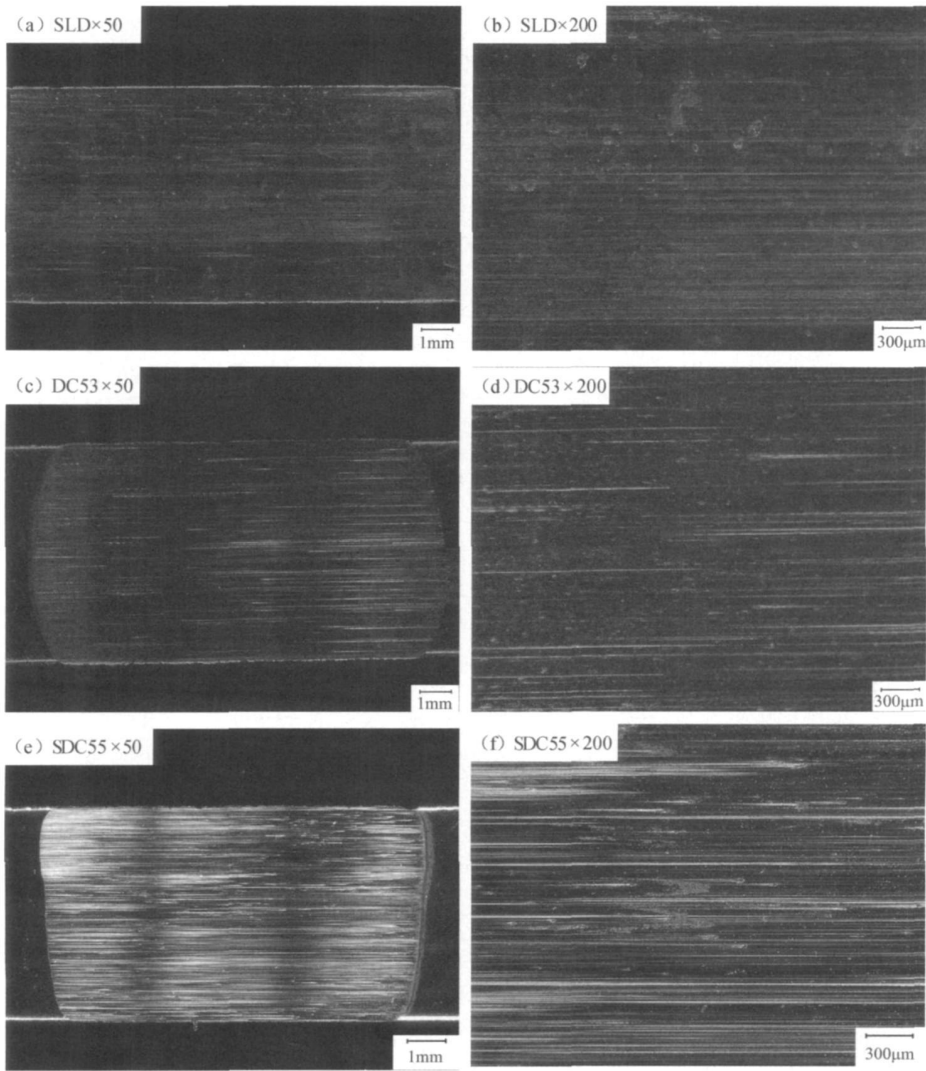


图 2 实验钢的超景深磨痕观察

Fig 2 Grinding crack in different test steels

通过超景深三维显微系统的观察, 可以看出 在 50 倍放大下 SLD 的磨痕最大, 其失重量最多,

而 SDC55 和 DC53 的磨痕都较小。放大到 200 倍观察, 可以看出 DC53 基本为犁沟状磨痕, 而 SDC55 和 SLD 除了犁沟状磨痕外还有成块剥落的现象。SLD 更多的是剥落成深孔状, 这与其基体的硬度不够有关。而 SDC55 可能是由于干磨损过程中温度升高产生的氧化剥落。

3 分析与讨论

材料的组织和热处理工艺对性能有着决定性的影响, 通过对比研究发现 SDC55 钢具有优良的强韧性配合, 并具有一定的耐磨损性能。其抗弯强度比 DC53、SLD 和 ASSAB88 等进口钢都要好, 而耐磨性比 DC53 和 ASSAB88 略差但比 SLD 稍好。通过成分比较发现 SDC55 的 C、Cr 含量都比

几个进口钢要少。Cr 虽能提高钢的淬透性, 但 C 和 Cr 也是形成钢中网状碳化物的主要元素, 这种网状的碳化物对材料的韧性非常不利, 因此 SDC55 的韧性是最好的。

图 3 为实验钢的金相显微组织。可以看出 SDC55 的组织比较均匀, 马氏体基体上弥散分布着细小的碳化物, 而其他三种进口钢都有不同程度的块状碳化物存在。这与材料的成分设计有关。SDC55 的 C、Cr 都控制在一定的范围之内, 同时含有一定量的 Mo 和 V 等元素形成弥散的二次碳化物强化马氏体基体。而三种进口材料含较多的 Cr 容易形成不均匀碳化物。

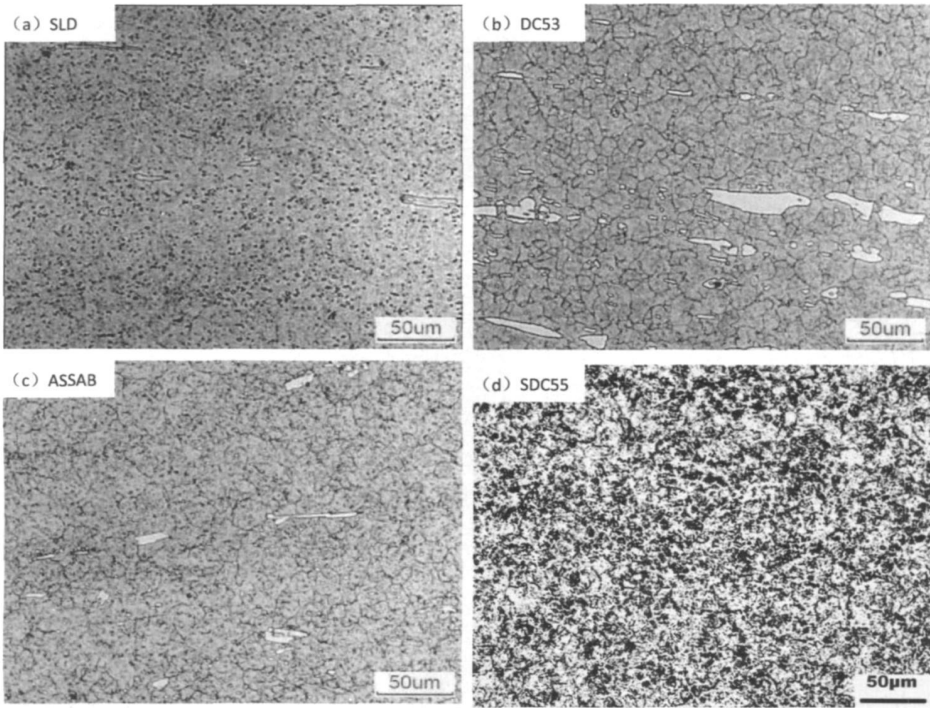


图 3 实验钢的金相组织 200 ×

Fig 3 OM origination in different studied steels 200 ×

图 4 为通过 JMatPro 软件计算出的实验钢组织, 可以看出三种进口钢组织中都含有较多的未溶 M7C3 型莱氏体碳化物, 如图 3(a) ~ 3(c) 中的块状组织。这是因为三种进口钢成分中的含 Cr 量都比 SDC55 的高得多, 容易形成大量的 M7C3 型共晶莱氏体碳化物而使塑性和韧性降低。并且 SDC55 中含有一定量的强碳化物形成元素 Mo 和 V, 可以细化组织, 提高强度和韧性。

SDC55 在常温下组织中主要存在 MC 型和

M7C3 型碳化物, 并含有少量的渗碳体。多类型碳化物钢淬火时, 易溶解的碳化物可提高较低淬火温度时的奥氏体固溶度, 未溶解的碳化物可阻碍奥氏体晶粒长大, 使淬火温度加宽。回火时不同碳化物的析出、长大速度不同可提高抗回火性^[4]。而 MC 型碳化物能够阻碍奥氏体晶粒的长大, 并细化马氏体的组织, 从而提高钢的强韧性并提高钢的耐磨性。同时合金渗碳体是钢中合金元素为渗碳体所吸收并进而取代铁原子所造成的,

合金渗碳体的形成可以降低系统的自由焓。渗碳体的铁原子可以被 Mn、Cr 或者 Mo 和 V 等代替。M₇C₃型碳化物也可以作为弥散析出的二次强化相,提高钢的强韧性。SDC55 中的 Ni 和 Si 通过降低初生碳化物长大速度而使其组织细化,并且 Si 有效地提高了试验钢的回火稳定性,使钢强

化。因为 Si 本身具有较强的固溶强化作用,还促使细小的、与基体共格的 ϵ 碳化物析出,并延缓其长大及溶解过程。Ni 也是固溶强化元素,但它使残余奥氏体增加从而提高材料的韧性^[5]。因此 SDC55 具有良好的强韧性配合。

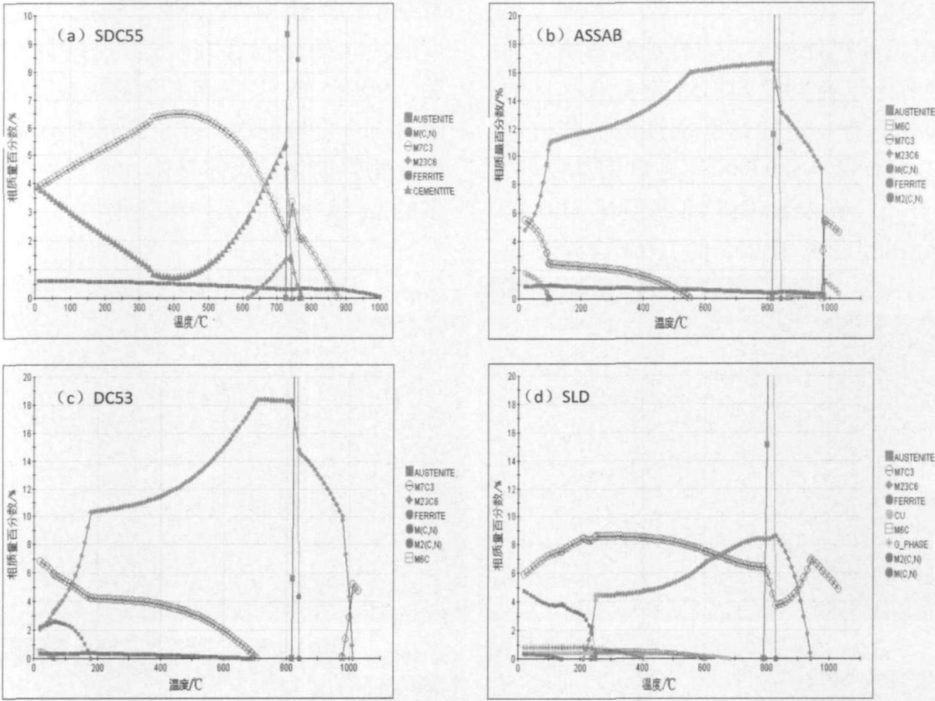


图 4 实验钢的 JMatPro 计算

Fig 4 JMatpro CALPHAD in different studied steels

影响材料耐磨损性能的因素有很多,包括基体的硬度、碳化物的类型和分布形态尺寸等。磨损时先前磨损过程中形成的磨粒在正应力的作用下其尖端部分容易侵入试样的表面,并在表面形成犁沟。而沟槽两侧堆积的脊背在继续受到磨损作用时会因为疲劳发生脱落。DC53 和 ASSAB88 组织中都含有粗大的莱氏体碳化物,这种粗大的碳化物能够有效地阻碍磨粒压入的作用,磨粒碰到粗大的碳化物时会变钝化,阻碍了磨粒的显微切削,因此能够提高材料的耐磨性能^[6-7]。

同时基体的硬度高能够抵制磨粒的侵入,从而提高材料的耐磨性。从硬度的测试结果来看,SDC55 的硬度达到了 62 HRC,而 SLD 的硬度为 61 HRC。另外 SDC55 的成分中合理地控制了 C 和 Cr 的含量,且含有适当的 Si 抑制了 M₃C 型碳化物的析出、使得特殊碳化物细小如 M₂C 和 M₇C₃

型,并能够增加组织中板条马氏体的量,提高材料的强韧性配合。此外,成分中的 V 容易形成高硬度的 VC 型碳化物,这种高硬度碳化物可以有效地保护基体,阻止磨粒的切入,同时还可以减轻疲劳脱落^[8-9]。因此这种碳化物分布均匀能够使材料具有良好的强韧性配合的同时也提高材料的耐磨性能。

4 结论

通过对比研究发现,新型冷作模具钢 SDC55 与进口冷作模具钢 DC53、SLD 和 ASSAB88 相比其抗弯曲性能最好,耐磨损性能也较 SLD 钢好。这是由于 SDC55 的成分中合理地控制了 C 和 Cr 含量,并且含有一定的 Si 和 N 强韧化基体,少量的 Mo 和 V 形成细小弥散的碳化物,提高材料强韧性的同时并使材料具有一定的耐磨性能。(下转第 25 页)

30 min后的氧化铁皮的扫描电镜照片,反映了在氧化时间均为 30 min条件下,加热温度对双相不锈钢表面氧化的影响。从图 6(a)可以看出,在 140℃氧化时形成的氧化铁皮非常薄而均匀,厚度仅有 3~5 μm;随着氧化温度的升高,在 180℃时(见图 6(b)),氧化铁皮没有均匀增厚,而是发生了局部增厚的现象,并且出现了较明显的内氧化;当氧化温度升高至 220℃时,试验钢的内氧化变得非常严重,形成明显的沟槽(见图 6(c))和富 Cr氧化物的结瘤(见图 6(d))。

3 结论

双相不锈钢 2205热轧后的表面裂纹与双相不锈钢的基体组织和氧化铁皮特性有密切的相关性,形成的主要因素为:

(1)双相不锈钢在高温加热时的增重很小,表面氧化铁皮非常薄,铸坯修磨时的缺陷极易遗传;

(2)双相不锈钢保温氧化时内氧化严重,形成沟槽和结瘤,造成了氧化铁皮的微裂纹;

(3)双相不锈钢热轧时的表面裂纹是由于轧制时氧化铁皮破裂、基体组织被挤出形成。

参考文献

1] 陆世英. 不锈钢概论 [M]. 中国科学技术出版社, 2007
2] 肖纪美. 不锈钢的金属学问题 [M]. 冶金工业出版社, 1983
3] 刘雄, 丁秀平, 何燕霖, 等. 高温时效对 2205 双相不锈钢冲击韧性的影响 [J]. 上海金属, 2010, 32(1): 39-42
4] Kõni J I, Karjalainen L P. Effect of hot working parameters on hot ductility of a ferritic-austenitic stainless steel [J]. Innovation Stainless Steel Florence Italy, 1993 2315-2320.
5] Chen TH, Weng K L, Yang JR. The effect of high temperature exposure on the microstructural stability and toughness property in a 2205 duplex stainless steel [J]. Materials Science and Engineering 2002 A338 259-270.

收 修 改 稿 日 期: 2010-08-06

(上接第 12页)

参考文献

1] 刘先兰, 张文玉. 冷作模具钢的选择及应用 [J]. 锻压技术, 2007, 32(6): 12-13
2] 马党参, 陈再枝. 国内外模具钢的现状与发展趋势 [J]. 模具工程, 2006, (8): 78-86
3] 戴兵, 王博, 张恒华. DLC 表面特性对高速钢耐磨性的影响 [J]. 上海金属, 2010, 32(2): 20-25
4] 马永庆, 齐育红, 张占平, 等. 多类型超细碳化物冷作模具钢 DM9 [J]. 材料热处理学报, 2003 24(3): 50-53
5] 黄光辉, 曹念荪, 孙培祯, 等. N 和 Si 在高强韧低合金冷作模

具钢 (GD 钢) 中的作用 [J]. 材料研究学报, 1994 8(2): 134-141
6] 李植, 张军力. 渗碳层粘着磨损性能的试验研究 [J]. 摩擦磨损, 1989, (1): 20-27
7] 胡树兵, 李志章. 冷作模具钢的低应力磨粒磨损特性 [J]. 湖北汽车工业学院学报, 1994 (2): 25-30
8] 胡镇华, 施黎, 崔昆, 等. Si N 对耐磨冷作模具钢组织与性能的影响 [J]. 金属热处理学报, 1993, 14(3): 15-21.
9] 刘海峰, 刘耀辉, 于思荣. 高碳高钒系高速钢的耐磨性研究 [J]. 摩擦学学报, 2000, 20(6): 401-406.

收 修 改 稿 日 期: 2010-07-27

信息

蒂森克虏伯将在中国投资 2 亿美元新建曲轴工厂

蒂森克虏伯公司首席执行官近日表示, 该公司计划投资 1.7 亿欧元 (约合 2.225 亿美元) 在中国上海附近设立工厂, 为汽车行业生产曲轴。首席执行官在新闻发布会上透露, 蒂森克虏伯公司计划 2010 年年底与中国有关方面就新建工厂达成协议, 但他拒绝透露新工厂的产能。

蒂森克虏伯股份公司目前的产品范围涉及钢铁、汽车技术、机器制造、工程设计及贸易等领域。根据蒂森克虏伯公布的财务报告显示, 截止 2010 年 9 月 30 日的 2010 财年, 该公司实现净利 8.24 亿欧元, 约合 10 亿美元。

大 卫 供 稿