

三种耐蚀塑料模具钢的耐磨性和磨损机理

颜 飞¹ 徐 洲¹ 金冰忠²

(1 上海交通大学教育部高温材料及高温测试开放实验室,上海 200030;

2 宝钢技术中心,上海 201900)

摘 要 通过 M200 环-块磨损试验机和扫描电镜研究了具有良好耐腐蚀性能的 3 种塑料模具钢 STAVAX (%:0.37C、13.40Cr、0.31V)、M330 (%:0.36C、12.88Cr、0.15Mo) 和 N702 (%:0.05C、16.30Cr、4.00Cu、4.00Ni、0.34Nb) 的磨损性能和磨损表面形貌。结果表明,STAVAX、M330 和 N702 钢在淬、回火后 HRC 值分别为 55、53 和 44,磨痕宽度分别为 2.61 mm、2.74 mm 和 7.41 mm。STAVAX 和 M330 钢组织为基体 + 细球状碳化物,具有较高的耐磨性,而 N702 钢的基体相对较软,无第二相碳化物,在试验过程中其基体极易磨损,形成大量疲劳裂纹,易导致块状或片状剥落,耐磨性较低。

关键词 耐蚀塑料模具钢 碳化物 表面硬度 耐磨性

Wear Resistance and Wearing Mechanism of Three Kinds of Corrosion Resistant Plastic Die Steel

Yan Fei¹, Xu Zhou¹ and Jin Bingzhong²

(1 Key Laboratory for High Temperature Materials and Tests of Ministry of Education, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030; 2 Technical Center, Baosteel, Shanghai 201900)

Abstract The wear properties and wear surface morphology of three kinds of plastic die steel STAVAX (0.37C, 13.40Cr, 0.31V), M330 (0.36C, 12.88Cr, 0.15Mo) and N702 (0.05C, 16.30Cr, 4.00Cu, 4.00Ni, 0.34Nb) with excellent corrosion resistance have been studied by M200 ring-block wear testing machine and scanning electron microscope. Results showed that HRC value of quenched and tempered STAVAX, M330 and N702 steel was respectively 55, 53 and 44, and width of wear coat was respectively 2.61 mm, 2.74 mm and 7.41 mm; structure of STAVAX steel and M330 steel was matrix + fine spherical carbide and had higher wear resistance, while the matrix of N702 steel was relatively soft and there wasn't second phase - carbide precipitation which had lower wearing resistance, during testing the matrix was easily worn to form a lot of fatigue crack led to block and lamella weaing off.

Material Index Corrosion Resistant Plastic Die Steel, Carbide, Surface Hardness, Wear Resistance

近年来塑料制品业发展非常迅速,塑料加工机械化程度不断提高,对使之成型的塑料模具材料、设计、制造要求越来越高。对塑料模具材料而言,除要求其具有优良的耐磨性、切削加工性、耐热性及高的强韧性外,针对某些塑料(如聚氯乙烯、氟塑料等)在熔融状态下,会分解出氯化氢、氟化氢和二氧化硫等气体,故模具要有一定的耐腐蚀性^[1]。针对这种情况应选择耐腐蚀不锈钢,主要有 Cr13 型不锈钢、Cr18 型高铬不锈钢等。为此,对比研究了 3 种具有良好抗腐蚀性能的高级镜面塑料模具钢材料 STAVAX、M330 和 N702 钢的摩擦磨损性能,并对其磨损机理进行了比较分析。

1 试验材料与方法

试验选取了瑞典 UDDEHOLM 公司生产的高级镜面模具钢 STAVAX 和奥地利 BÖHLER 公司生产的 M330 及 N702 钢作为研究对象。这 3 种模具钢均为塑料模具镶件材料,镶件为块体,工作表面为

40 mm × 40 mm,使用过程主要为表面磨损。其化学成分如表 1 所示。3 种材料均为退火态组织。分别经过调制处理后进行耐磨性测试。表 2 给出了 3 种钢种的实际热处理工艺,该工艺均是厂家提供的对应材料的最佳热处理工艺。

热处理后的 STAVAX、M330、N702 钢分别加工成(mm)6 × 7 × 16 规格试样,试样的待测试面先作磨平抛光处理。选取 GCr15 作为摩擦副材料,将退火态的 GCr15 经淬回火处理后加工成外圆直径 40 mm、内圆直径 16 mm、厚度为 10 mm 的圆环并将其外圆磨光。热处理后的 GCr15 硬度值可达 HRC60。

表 1 3 种塑料模具钢的主要化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of three kinds of plastic die steel / %

钢种	C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	Mo	V	Nb
STAVAX	0.37	0.90	0.50	13.40	-	-	-	0.31	-
M330	0.36	0.42	0.25	12.88	0.12	0.40	0.15	-	-
N702	0.05	-	-	16.30	4.00	4.00	-	-	0.34

表 2 3 种模具钢的热处理工艺及硬度值

Table 2 Heat treatment process and hardness of three kinds of plastic die steel

钢种	热处理工艺	硬度值(HRC)
STAVAX	1 020 ℃ 淬火, 450 ℃ 回火 2 次, 每次 2 h	55
M330	1 020 ℃ 淬火, 400 ℃ 回火 2 次, 每次 2 h	53
N702	1 040 ℃ 淬火, 480 ℃ 时效处理, 1 h	44

试验在 M200 环-块磨损试验机上进行, 所加摩擦载荷为 100 N, 转速为 400 r/min, 无润滑。每个试样测试时间为 3 h, 试验在室温进行。每测试 1 h 后将试样取下, 在丙酮中用超声波清洗试样, 烘干后用分析天平称量以观察单位时间内试样的损失重量。测试完毕后, 采用工具显微镜测定磨痕宽度, 每种材料均进行 3 次试验。采用 S-4200 扫描电镜观察试样的显微组织、磨损表面。将磨损试样沿与磨面垂直且与摩擦副滚动方向平行的方向切开, 镶嵌后制成金相样观察截面的组织形貌。

2 试验结果和分析

2.1 试样的磨损性能

图 1 给出了磨损试验中各材料随磨损时间变化累计磨损量的大小。从图 1 可以看出, STAVAX 钢的磨损量最小, 其磨损量与磨损时间近似成线性关系。M330 钢与 N702 钢的磨损行为也表现出了相同趋势, 但 M330 钢磨损量较 STAVAX 钢要大, 而 N702 钢的磨损最为严重, 磨损量明显超过其它两钢种。3 种材料 STAVAX、M330、N702 的最终磨痕宽度分别为 2.61 mm、2.74 mm 和 7.41 mm。

2.2 试样的磨损表面

本试验的材料及摩擦副硬度值均较高, 在试验过程中观察到试样表面有褐色氧化物产生。但试验结束将试样清洗后对摩擦面观察, 表明材料在磨损过程中并未发生明显的物质转移。图 2 是 3 种试样

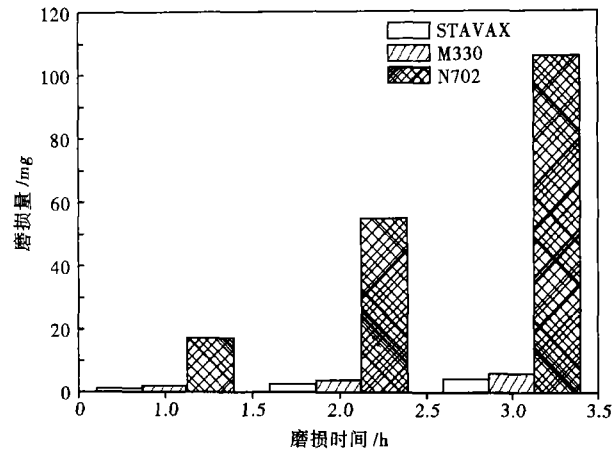


图 1 3 种塑料模具钢的磨损量

Fig. 1 Wearing amount of three kinds of plastic die steel

的磨损表面扫描电镜照片, 摩擦副滚动方向与图中磨削痕方向平行。从图 2 可见, 3 种试样表面均被磨成沟槽状, 出现较为明显的犁削痕迹。但是沟槽的宽度和深度及表面状况差异很大。STAVAX 和 M330 钢表面沟槽纹理较窄, 且宏观磨痕非常光滑。两材料的磨损失效方式主要是摩擦副对材料基体的显微切削逐渐磨蚀。而 N702 钢表面沟槽相对更宽更深, 表层非常粗糙, 其磨损失效方式表现为磨损表面呈块状或片状逐层疲劳剥落, 表层剥落痕迹清晰可见。

图 3 为磨损试样截面的形貌。STAVAX 和 M330 两材料经淬回火后基体组织均由马氏体和一定量均匀分布在基体上的碳化物组成。而 N702 基体主要由板条马氏体组成, 其中并无大量的碳化物。3 个试样表层在磨损过程中均形成了一定厚度的皱纹状塑性变形层, 如图 3 中箭头所示。变形层厚度与基体硬度成反比。宏观硬度高的基体能更有效抵抗外力变形, 因此 STAVAX 钢变形层最小, 且变形层中无明显裂纹出现。M330 钢表层特征与

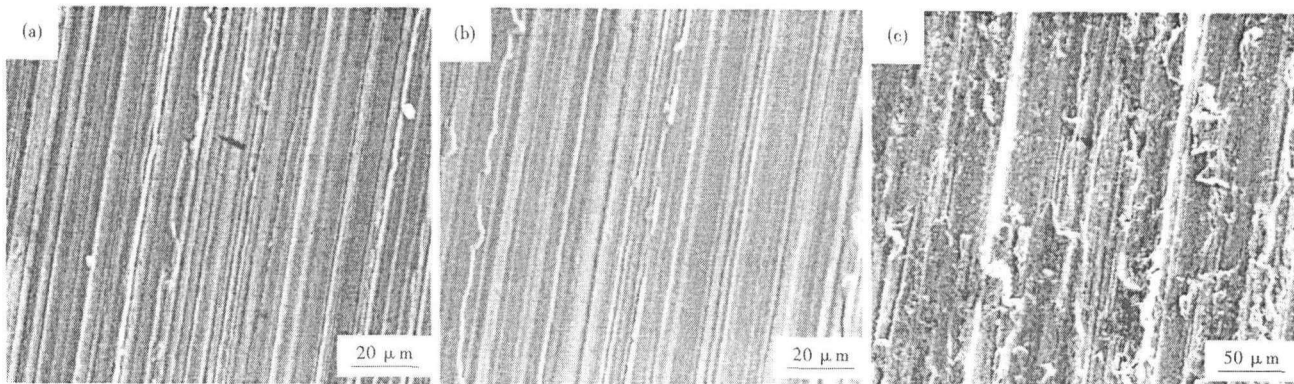


图 2 3 种塑料模具钢的磨损表面形貌, SEM: (a) STAVAX; (b) M330; (c) N702

Fig. 2 Morphology of worn surface of three kinds of plastic die steel, SEM: (a) STAVAX; (b) M330; (c) N702

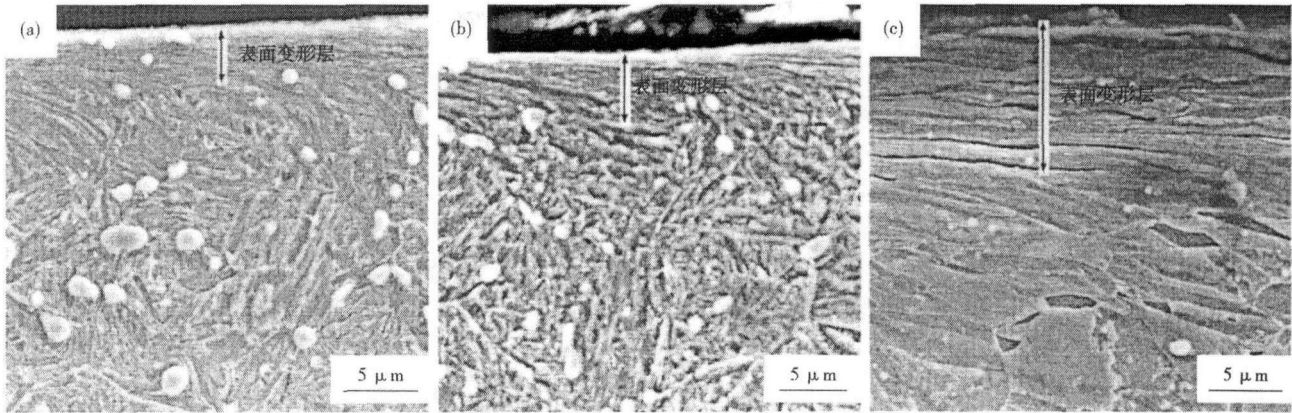


图3 3种塑料模具钢磨损试样的组织形貌,SEM:(a) STAVAX;(b) M330;(c) N702

Fig. 3 Structure morphology of worn sample of three kinds of plastic die steel, SEM: (a) STAVAX; (b) M330; (c) N702

STAVAX 钢类似,但变形层厚度稍大。而 N702 钢变形层厚度最大,其厚度为 STAVAX 钢的 2~3 倍。且变形层中存在大量裂纹,当裂纹扩展至表面时,形成磨损碎片直接导致表层的脱落。观察还表明,STAVAX 钢与 M330 钢表面变形层中及亚表层中的碳化物并未碎化和变形,与基体结合良好。

2.3 试验钢种的磨损机理

决定试样磨损性能的主要因素基体硬度和其中的碳化物相。一般而言,基体中存在较基体更硬且均匀弥散分布在基体上的硬质相(如碳化物)时能显著提高材料的耐磨性^[2,3]。因为在摩擦过程中,第二相主要承受法向载荷,而基体则承受剪切应力^[4]。较软的基体首先被磨削成沟槽,基体中的第二相逐渐露出基体表面。如果碳化物相不规则且非常粗大,过于突出则易造成碳化物处的基体表面应力集中,导致碳化物容易脱落,而脱落的粒子在基体表面又会反过来造成对材料的磨粒磨损。从图3中可看出,STAVAX 钢与 M330 钢中的碳化物均为细小球状,无大块不规则碳化物,与基体结合良好且不连续均匀分布。虽然在磨损过程中摩擦副对材料的微观切削不可避免,但突出的碳化物能有效的抵御摩擦副材料的显微切削而保护基体,且细小规则的球状碳化物也不易变形和碎化,减少了裂纹源的产生,因而材料的摩擦性能显著提高。N702 钢磨损性能低于前2种钢的一个重要原因,是由于基体中无大量碳化物相的存在。

STAVAX 钢与 N702 钢另一个主要区别是基体宏观硬度的差异。STAVAX 钢硬度高,抵抗外力变形能力强,在磨损过程中能够对碳化物粒子提供更有力的支撑,2种因素互相促进提高材料的耐磨性。STAVAX 钢和 M330 钢的磨损机理主要是基体受到显微切削,碳化物逐渐显露、剥落,进而基体被进一步磨

蚀作用而反复进行的磨损过程。而 N702 钢宏观硬度低,在外力作用下基体容易变形且变形层相对更深。在磨损初期,基体中疲劳裂纹数量相对较少且裂纹也相对较小,表层剥落数量也较少。而随着磨损时间的增加,疲劳裂纹大量出现且不断扩散,密集的裂纹经短距离扩散连接成大裂纹,造成更大的片状或块状的剥落。这是 N702 钢的磨损机理,也是导致该钢在磨损过程中磨损量随磨损时间增加而增加的主要原因。

3 结论

塑料模具钢 STAVAX、M330 及 N702 钢的磨损试验研究结果表明:耐磨性最好的是 STAVAX 钢,其次是 M330 钢,最差为 N702 钢。STAVAX 钢和 M330 钢坚硬的基体及基体中均匀分布的规则小球状碳化物粒子是这2种材料具有优良耐磨性的主要原因。在滚动摩擦条件下,前2种钢的磨损量随时间线性增加,表现出了较好的均一性能。而 N702 钢的耐磨性最差,这与磨损过程中形成的大量疲劳裂纹的扩展连接导致表面呈块状或片状剥落有关。

参考文献

- 1 宋鸣,倪亚辉. 塑料模具钢的性能和选用. 塑料工业, 2004, 32(10): 37
- 2 Xu L J, Xing J D, Wei S Z, et al. Study on Relative Wear Resistance and Wear Stability of High-speed Steel With High Vanadium Content. *Wear*, 262(3-4): 253
- 3 Wei S Z, Zhu J H, Xu L J. Research on Wear Resistance of High Speed Steel With High Vanadium Content. *Materials Science and Engineering A*, 2005(404): 138
- 4 徐寒冰,简小刚,吴建生. 喷射成形及轧制 12CrMoV 钢的微观组织与摩擦学性能研究. *金属学报*, 2001, 37(8): 889

颜飞(1979-),男,博士生,2001年武汉科技大学毕业,主要从事模具钢组织性能研究。

收稿日期:2007-05-08