

Cr12 型冷作模具钢开裂失效分析

徐 军¹, 伍超群²

(1. 万利达热处理(中国)有限公司, 广东深圳, 518103; 2. 广州有色金属研究院, 广东广州, 510651)

摘 要: Cr12 型冷作模具钢经过热处理、磨削后, 在静置时产生脆性开裂。采用金相检验、电镜断口观察、化学成分分析和硬度测试等方法对开裂模具进行了检验和分析。结果表明, 模具开裂主要是由于热处理过程中回火不足, 碳化物块度粗大, 加上后期不良磨削、铣削加工产生的应力叠加造成的, 文中提出了相应的改进措施。
关键词: 冷作模具; 回火; 加工应力; 失效分析

Failure analysis of cold-worked die steel Cr12

XU Jun¹, WU Chao-qun²

(1. Good Profit Heat Treatment (China) Co., Ltd, Shenzhen 518103, China;

2. Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metal, Guangzhou 510651, China)

Abstract: The brittleness crack of the cold-worked die steel occurred after heat treatment and grinding. The fracture reason was investigated by means of optical microscope, scan electron microscope, chemical analysis and hardness test. The results show that insufficient tempering, block carbide and the processing stress caused by improper grinding are the main reason to the failure die. The corresponding improvement actions are put forward.

Keywords: cold-worked die; tempering; processing stress; failure analysis

1 简述

某公司委托一件材料牌号为日本 SKD11 的高碳高合金冷作模具做失效分析, 模坯规格尺寸为 980mm×980mm×30mm, 实物外观形貌见图 1。

该模具工艺路线为: 外购板材下料—机加工(铣平面+线切割圆孔和通孔四方槽等)—整体热处理—磨削平面等。模具热处理工艺: 真空炉 1020℃ 淬火气冷+200℃ 回火二次, 热处理硬度要求为 58-60HRC。该模具磨削加工后, 静置不久发现模具的一个侧边产生裂纹。

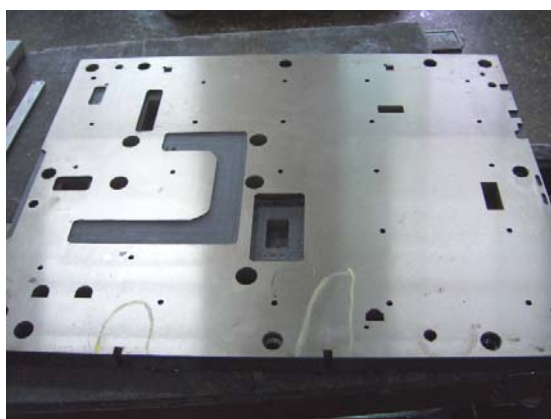


图1 模具实物图
Fig.1 Macrograph of die steel

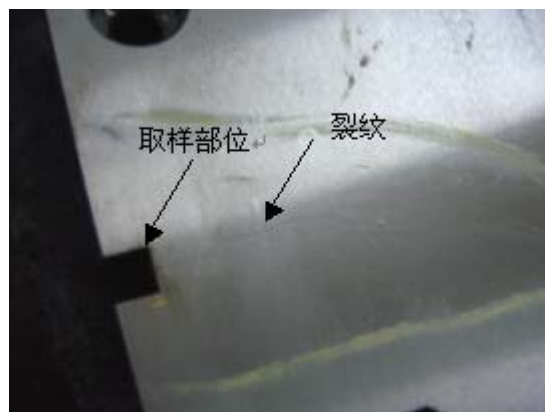


图2 裂纹及取样部位
Fig.2 Sampling location and crack

2 理化检测

2.1 开裂模具宏观观察

宏观观察, 模具整个模面有许多大小不一的贯穿圆孔和通孔四方槽, 孔槽位处都存在尖锐直角。肉眼可见两条长度分别约为 62mm 和 28mm 的裂纹, 均位于模具上有倒角位的一个侧边(即不具应力集中尖角效应的部位), 见图 1、图 2, 而且出现裂纹的侧边有十分明显的铣削粗糙刀痕。模具上的磨削面都比较光滑平整, 无肉眼可见磨削烧伤斑痕。

2.2 化学成分分析

作者简介: 徐军(1975--), 男, 湖北武汉人, 助理工程师, 主要从事各种模具和汽车五金零件的热处理研究和失效分析工作。Tel: 13480490466, E-mail: june1314520@126.com

开裂模具化学成分分析结果见表 1。与日本标准 JIS G4404 中 SKD11 材质成分对照^[1]，开裂模具的 Mo 含量与标准要求的成分相差甚远，不符合 SKD11 材质成分要求；与国产 GB/T1299 中 Cr12MoV 材质成分对照，则符合国产 Cr12MoV 材质成分的要求。

表 1 模具钢化学成分（质量分数，%）
Table 1 Chemical composition of die steel (wt%)

牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni
爆裂模具	1.52	0.22	0.33	0.026	0.025	11.62	0.42	0.22	0.11
SKD11	1.40-1.60	0.15-0.35	0.30-0.60	<0.025	<0.01	11.0-13.0	0.80-1.20	0.20-0.50	-
Cr12MoV	1.45-1.70	≤0.40	≤0.40	<0.03	<0.03	11.0-12.5	0.40-0.60	0.15-0.30	

2.3 硬度检测

在模具基体、裂纹附近及样品上检测表面和内部硬度，测得表里硬度比较一致，平均硬度值约为 58.1HRC，符合模具硬度为 58-60HRC 的技术要求。

2.4 显微组织分析

2.4.1 非金属夹杂物、共晶碳化物及碳化物块度的检查

在抛光态下检测样品纵向的非金属夹杂物，按 GB/T10561-89《钢中非金属夹杂物显微评定方法》评定为氧化物夹杂 B2.0 级，见图 3。

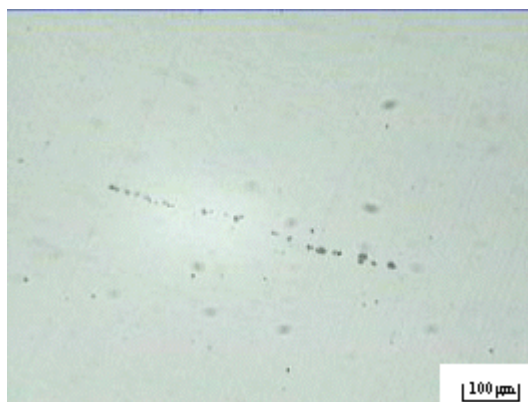


图 3 氧化物夹杂

Fig.3 Oxide inclusion

样品经 4%硝酸酒精腐蚀后，共晶碳化物不均匀度按 GB/T14979-94《钢的共晶碳化物不均匀度评定法》第四级别图评定为 3 级，见图 4。样品中的共晶碳化物颗粒粗大且棱角较锋利，检测到的最大块状碳化物尺寸约为 31μm，评定为 5 级，见图 5，按 JB/T7713-1995《高碳高合金钢制冷作模具显微组织检验》要求，其大块碳化物一般不超过 3 级（即 17μm）。

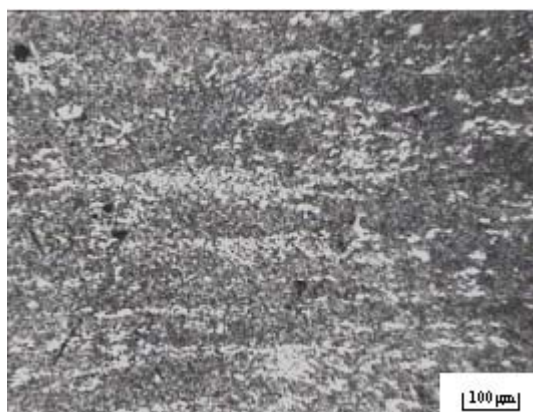


图 4 共晶碳化物形貌

Fig.4 Eutectic carbides

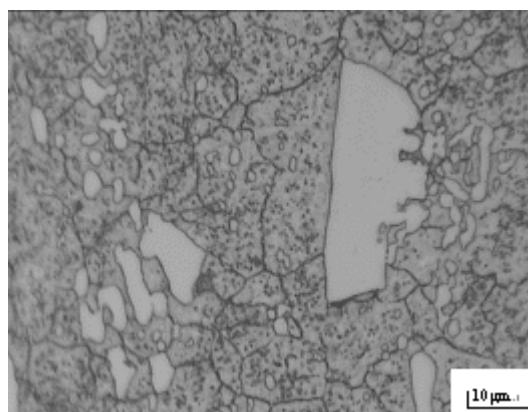


图 5 大块碳化物

Fig.5 Block carbide

2.4.2 基体组织检查

将样品在三酸乙醇溶液中腐蚀，基体组织为回火马氏体+块粒状碳化物+残余奥氏体，淬火回火马氏体 3 级，晶粒度为 9 级，样品腐蚀后基体颜色灰白，残余奥氏体较多，表明样品回火不足^[2]，见图 5、图 6。垂直裂纹取样，裂纹附近未出现明显的氧化和脱碳组织，可见明显的微细裂纹，裂纹大多沿晶界分布，并穿过晶界和碳化物不断扩展，见图 7。

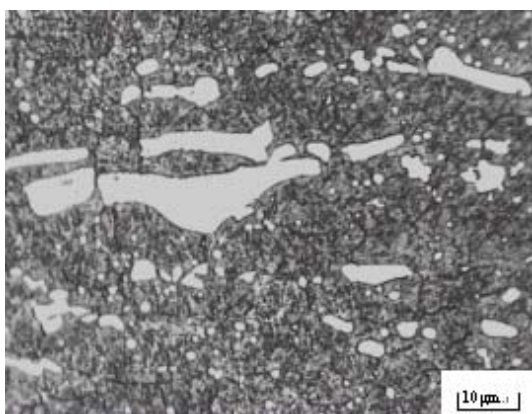


图 6 基体组织
Fig.6 Microstructure of substrate

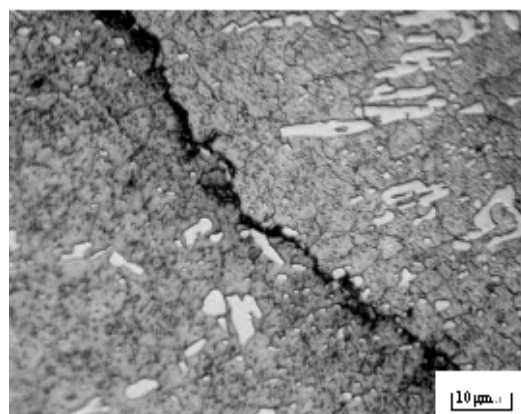


图 7 裂纹附近显微组织
Fig.7 Microstructure of near crack

2.4.3 磨削面和铣削侧面的组织检查

在检查样品的磨削剖面时，发现样品上有因磨削过度引起的、深度约 0.22mm 的磨削高温回火烧伤层（黑色区），而无二次淬火烧伤组织（即淬火马氏体，一般为白色区域），表明模具在磨削加工过程中，磨削表面集热温度没有超过材料的临界点，但仍属不良的磨削加工状态^[3]，见图 8。在检测模具铣削侧面纵向剖面的表层组织时，观察到原本呈带链状的共晶碳化物沿铣削方向发生了明显的塑性变形，并且存在因铣削加工不良产生的深度约 0.20mm 热影响回火层，见图 9。



图 8 磨削烧伤层组织
Fig.8 Microstructure of grinding burn



图 9 不良铣削层组织
Fig.9 Microstructure of improper milling

2.5 电镜观察

沿裂纹方向将样品打开，断口面无明显的塑性变形。电镜观察，可见明显的准解理、二次裂纹以及表面擦痕，如图 10、11 所示。

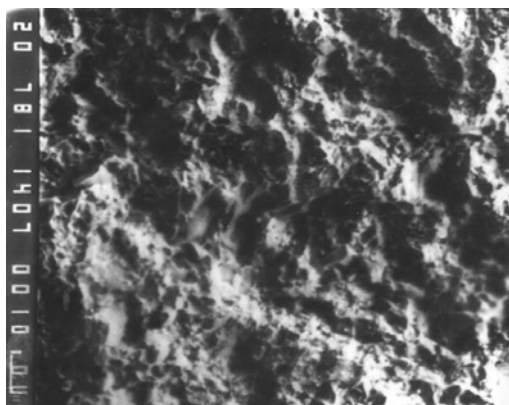


图 10 准解理及二次裂纹
Fig.10 Quasi-cleavage and second crack

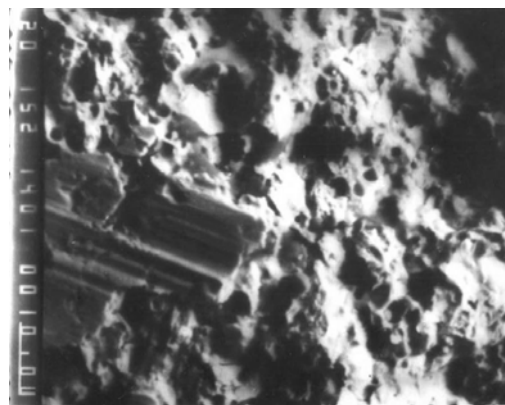


图 11 表面擦痕
Fig.11 Surface scrape

3 结果分析与讨论

(1) 材质化学成分分析结果表明, 开裂模具的 Mo 含量偏低, 不符合日本 SKD11 材质成分的要求, 只符合国产 Cr12MoV 材质成分的要求。由此可判定, 该模具材料实际上是国产 Cr12MoV 钢材, 而不是日本 SKD11 材料, 材料商用国产模具钢材 Cr12MoV 代替日本 SKD11 材料提供给了客户。

(2) 据资料^[1]显示, 日本材料 SKD11 的淬火温度为 1030℃, Cr12MoV 的淬火温度为 950-1000℃, 但在实际运用中, 模具钢 Cr12 型的 Cr12MoV 和 SKD11 材料在 1000-1050℃ 的淬火温度范围生产均可 (有的根据工艺需要而有所不同), 所以模具的淬火温度在 1020℃ 是正常的。但是国产 Cr12MoV 材料中 Mo 元素比日本材料 SKD11 要低一倍左右, 这使 Cr12MoV 模具在提高回火稳定性、淬透性、细化晶粒和改善钢的韧性上能力有所下降。

(3) 模具热处理后的基体组织为回火马氏体+块粒状碳化物+残余奥氏体, 晶粒明显, 残余奥氏体较多, 材料回火不足, 同时原材料中块状碳化物颗粒大且棱角尖锐, 超过了最大评级范围 5 级 (一般碳化物的块度不得大于 3 级即 17μm), 使得材料的脆性增大^[3]。

(4) 模具铣削面组织有塑性变形痕迹, 磨削面有磨削烧伤回火层, 这些都表明该模具在后期外形的加工过程中, 进给量过大、进给速度过快和冷却不良。按裂纹始发于应力集中的最薄弱环节讲, 该模具的裂纹没有发生在外形上有尖角效应的应力集中部位, 而是出现在模具有倒角部位的同一侧边, 表明模具是由于外形不良磨削、铣削时产生的加工应力与材料内组织应力相叠加, 当其总应力超过材料的强度极限时, 使模具在静置不久后就在该处产生脆性开裂。

4 结论

模具回火不足和碳化物块度粗大是导致模具开裂的主要因素, 而后期的不良磨削、铣削加工是促使模具开裂的诱发因素。

5 建议

(1) 外购模具材料时, 应加强原材料的质量控制。

(2) 模具淬火后, 应及时进行回火处理, 以降低材料的内部应力, 提高模具使用寿命。

(3) 根据模具硬度, 适当调整磨削、铣削加工工艺, 以消除加工不良带来的热影响层, 改善材料表面的应力分布。

参考文献

- [1]林慧国, 林钢, 吴静雯. 袖珍世界钢号手册 (第 3 版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2]任颂赞, 张静江, 陈质如, 等. 钢铁金相图谱 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2003.
- [3]蔡美良, 丁惠麟, 孟沪龙. 新编工模具钢金相热处理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.