

Cr8钢冲模试模过程早期断裂失效分析

金林奎^{1, 2}, 姜影³, 方曼婷^{1, 2}, 王玉才³, 游菲³

1. 广东省东莞市质量监督检测中心 广东东莞 523808

2. 国家模具产品质量监督检验中心 广东东莞 523808

3. 株洲中车天力锻业有限公司 湖南株洲 412001

摘要: Cr8钢冲模在试模过程中产生断裂, 采用金相显微镜、扫描电镜及能谱仪对断裂样品进行检测。对冲模崩裂断口进行检测, 沉孔平台存在片层状挤压变形, 表明该处材料强度低。沉孔平台表层氧化严重, 样品经过加热及油淬过程, 且加热过程未进行真空热处理。沉孔凹槽R角极小, 该处应力集中很大, 极易产生应力集中开裂。热处理后基体组织大部分已经形成回火索氏体, 材料强度大幅度降低。对侧面断口进行检测, 显示多条表面裂纹, 并造成样品基体严重变形。该冲模断裂的主要原因, 是由于热处理工艺不规范, 材料强度显著降低, 在外力作用下模具产生断裂。沉孔平台氧化剥层严重, 沉孔凹槽R角极小, 产生的应力集中很大, 极易造成应力集中开裂, 导致模具沉孔部位崩裂。

关键词: 韧窝断口; 解理断口; 应力集中开裂; 回火索氏体; 回火屈氏体

Cr8 steel failure analysis of early fracture in stamping die test

JIN Linkui^{1, 2}, JIANG Ying³, FANG Manting^{1, 2}, WANG Yucai³, YOU Fei³

1. Guangdong Dongguan Quality Supervision Testing Center, Dongguan 523808, Guangdong, China

2. National Mold Product Quality Supervision and Inspection Center, Dongguan 523808, Guangdong, China

3. Zhuzhou CRRC Tianli Forging Industry Co., Ltd., Zhuzhou 412001, Hunan, China

Abstract: The fracture of the Cr8 steel stamping die occurred in the process of die testing. The fracture samples were examined by metallographic microscope, sem and eds. The collapse fracture of the stamping die was examined, and the sheet-like extrusion deformation was found on the sinking platform, which indicated that the strength of the material was low. The surface of the platform was heavily oxidized, the sample was heated and oil quenched, and the heating process was not vacuum heat treatment. The R angle of the groove is very small, and the stress concentration is very large, so the stress concentration cracking is easy to occur. The tempered sorbite has been formed in most of the Matrix after heat treatment, and the strength of the material is greatly reduced. Many surface cracks were observed on the side fracture surface, which resulted in severe deformation of the sample Matrix. The fracture of the stamping die is mainly caused by the abnormal heat treatment process, the obvious decrease of material strength and the fracture of the die under the external force. The oxidation delamination of the platform is serious, the R angle of the groove is very small, and the stress concentration is very large.

Keywords: dimple fracture; cleavage fracture; stress concentration fracture; tempered sorbite; tempered troostite

基金项目: 广东省东莞市产学研合作项目 (202150901500294)。

第一作者: 金林奎, 硕士, 失效分析专家, 主要从事金属材料失效分析及教学工作, E-mail: jlk@gddqt.com。

1 序言

Cr8是一种高碳高铬模具钢，该钢种具有高硬度及高耐磨性。Cr8钢属于Cr12型冷作模具钢的改型钢种，虽然耐磨性略有降低，但材料韧性提高。该钢种具有高淬透性，同时高温下能保持一定的热硬性，主要用于制造性能要求高的冲压模具、高温轴承和高温弹簧等^[1]。

本文对冲模断裂失效件的化学成分、表面硬度、断口形貌及显微组织进行理化检测，分析和推断冲模断裂产生的原因及形成机理，并提出改进建议和措施。

2 宏观检查

受客户委托对冲模断裂失效件进行检测，冲模采用Cr8钢加工制造，工艺流程为原材料→铣床加工→钻床加工→热处理→磨床加工，用于生产钢板冲压件。该冲模在试模过程中断裂，其中沉孔部位产生崩裂断口；模具边角产生侧面断口，并造成配套模具产生崩裂断口。其一，冲模断裂件的崩裂断口显示粗糙的纤维状特征，表明材料强度低^[2]。沿沉孔产生放射状条纹，且断口边缘显示终断区特征的剪切唇形貌，由此推断沉孔部位属于断裂源区^[3]（见图1a）。其二，冲模断裂件的侧面断口，断裂源区均位于模具同侧平面，断口部位形成不同程度的变形，表明冲模断裂件受到外力影响产生断裂^[4]（见图1b）。

3 结果与讨论

3.1 化学成分分析

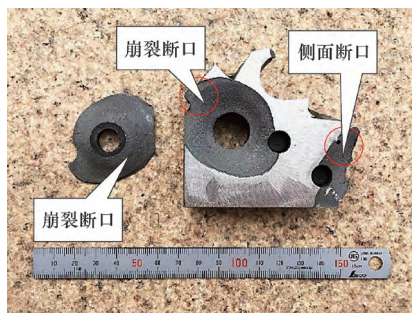
从该冲模断裂件截取样品，采用直读光谱仪进行化学成分分析，结果见表1。从表1可看出，C、S含量超标。

表1 Cr8钢失效件样品化学成分（质量分数）（%）

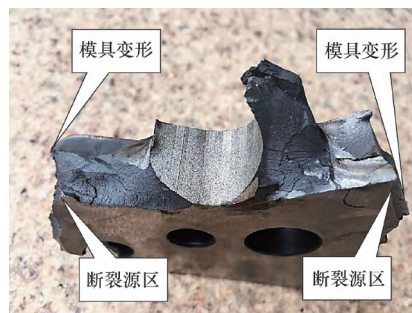
元素	C	Si	Mn	Cr	P	S
标准值	1.60 ~1.90	0.20 ~0.60	0.20 ~0.60	7.50 ~8.50	≤0.030	≤0.030
实测值	1.36	0.34	0.38	7.92	0.028	0.034
评价	不符合	符合	符合	符合	符合	不符合

3.2 表面硬度检测

从该冲模断裂件截取样品，采用显微洛氏硬度计进行表面硬度检测，结果见表2。从表2可看出，



a) 冲模沉孔部位1



b) 冲模沉孔部位2

图1 冲模断裂件

失效件样品表面硬度偏低。

表2 失效件样品表面硬度测试结果（HRC）

检测位置	1	2	3
实测值	37.5	37.3	38.4
规范值	40~45		
评价	不符合	不符合	不符合

3.3 断口扫描电镜检测

采用SIGMA 300扫描电镜对崩裂断口进行检测，沉孔平台存在片层状的挤压变形，表明材料强度低^[5]（见图2a、b）。沉孔平台表面氧化现象较为明显，断裂源区断口较为粗糙。沉孔平台氧化层脆性大，已经产生表面微裂纹（见图2c、d）。沿沉孔凹槽R角部位形成若干条多源台阶条纹，该多源台阶条纹属于断裂源区^[3]，表明断口由沉孔平台周围产生并扩展至崩裂（见图2e、f）。扩展区至终断区的整个断口，均显示粗晶状特征形貌，表明材料组织晶粒粗大^[6]。扫描电镜高倍检测，断面为韧窝断口及解理断口，基体同时存在软质相及硬质相。模具最终热处理后出现这种断口形貌，应该属于不正常的组织状态^[7]（见图2g、h）。

采用扫描电镜能谱仪对崩裂断口进行能谱检测，谱图1、谱图2区为沉孔平台氧化层（见图3a~d），谱图3区为崩裂断口部位（见图3e、f）。能谱

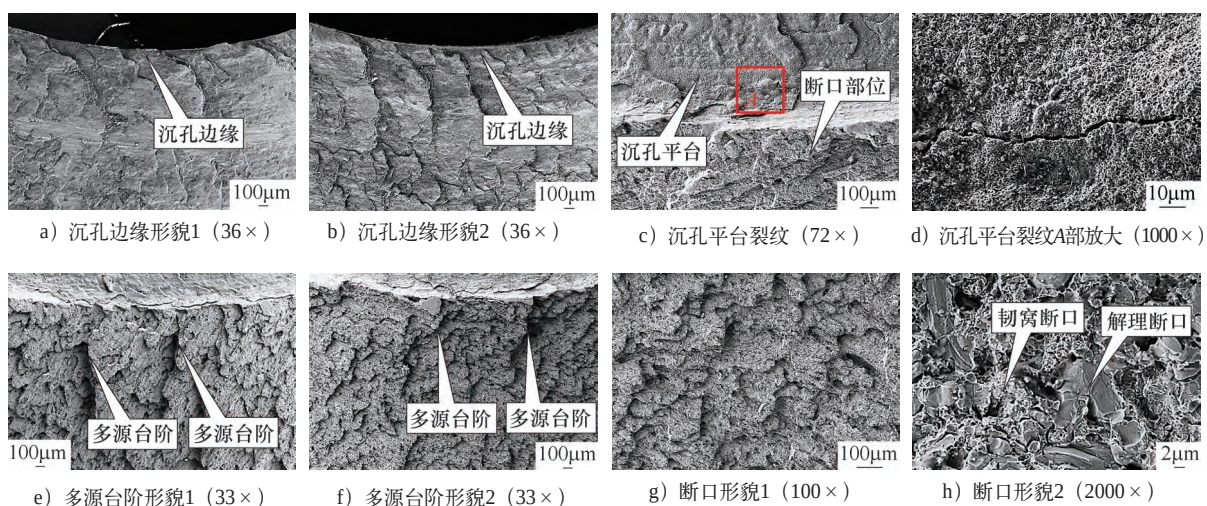


图2 崩裂断口形貌

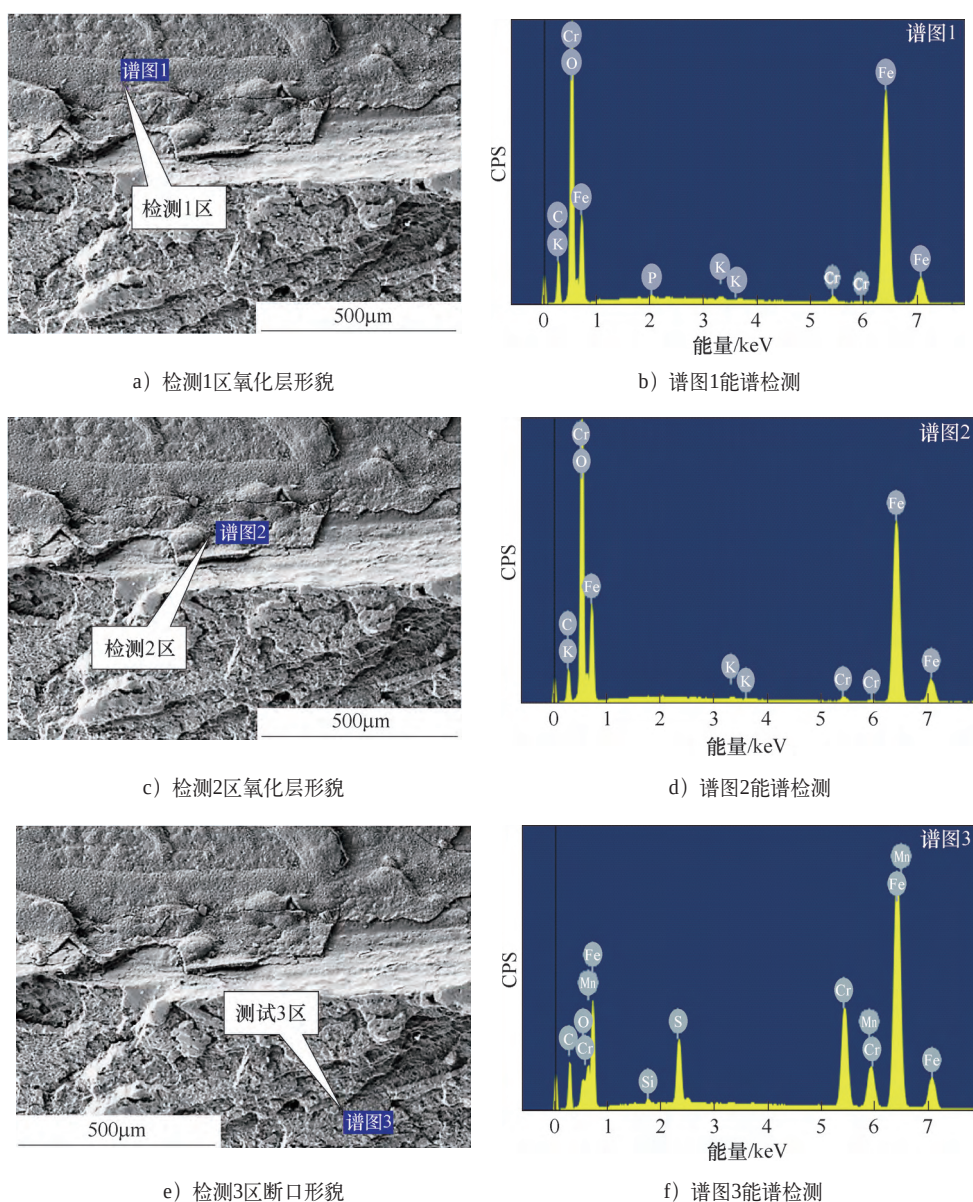


图3 沉孔平台能谱检测

测试结果表明, 沉孔平台氧化层 w_c 为16%左右, w_o 高达37%~41%, 高 w_o 表明高温氧化, 高 w_c 表明高温油污, 推测样品经过高温加热及油淬过程, 且加热过程未进行真空热处理^[8] (见表3)。

表3 失效件样品微区能谱测试结果 (质量分数) (%)

元素	C	O	Si	P	S	Cr	Mn	Fe	K
检测1区	16.00	37.14	—	0.18	—	0.74	—	45.74	0.20
检测2区	15.59	41.28	—	—	—	0.67	—	42.27	0.19
检测3区	9.63	3.04	0.28	—	4.03	13.88	5.98	63.16	—

3.4 金相组织检测

断口剖面及基体组织如图4所示。对图1a所示左侧红色圆圈标注部位样品的崩裂断口进行金相检测, 显示沉孔凹槽R角部位产生崩裂。对沉孔凹槽R角进行检测, 实测R角半径为0.25mm, 沉孔凹槽R角很小, 该处应力集中很大, 极易产生应力集中开裂^[9]。沉孔平台存在因挤压而造成的热影响层, 白亮色热影响层在断裂源区已经形成脆性剥落, 并由此形成崩裂断口 (见图4a~d)。基体组织中网状碳化物较为明显, 依据标准GB/T 14979—1994《钢的共晶碳化物不均匀度评定法》评定, 网状碳化物评为5级 (见图4e、f)。表层及基体显微组织为回火索氏体+块状碳化物, 未见回火马氏体, 材料强度

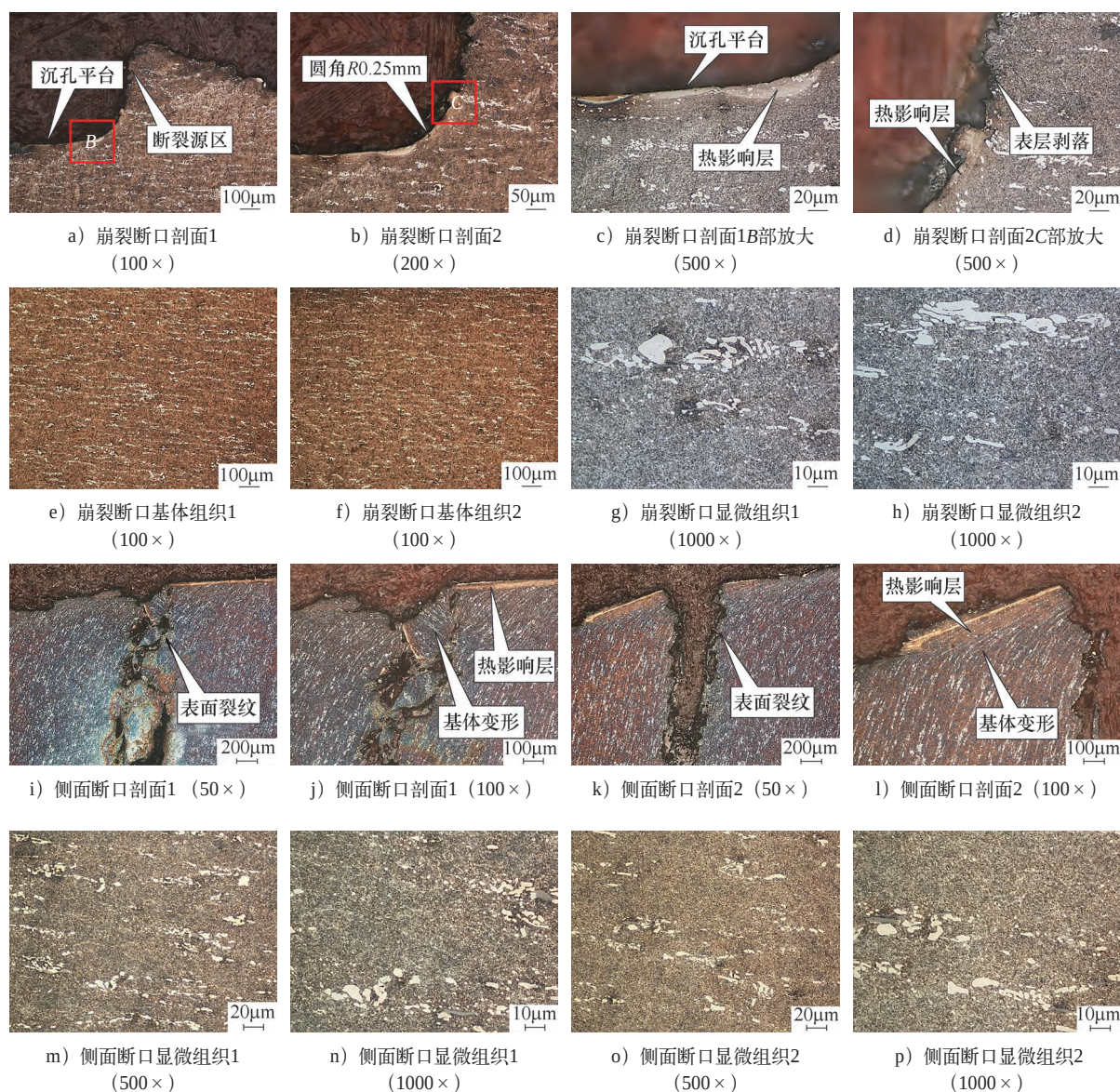


图4 断口剖面及基体组织

低^[10]（见图4g、h）。

如图1a所示右侧红色圆圈标注部位样品的侧面断口进行金相检测，显示多条表面裂纹，裂纹附近存在表面热影响层，并造成裂纹两侧基体严重变形，由此推断侧面断口受到较强的作用力，造成模具边角处发生断裂（见图4i~l）。表层及基体显微组织同样为回火索氏体+块状碳化物，仍未见回火马氏体组织，材料强度低（见图4m~p）。

3.5 微区能谱检测

采用扫描电镜能谱仪对沉孔平台进行微区能谱检测，检测1~3区均为表面剥层（见图5a~f）。能谱检测结果表明，表面剥层 $w_C=11\% \sim 15\%$ ， $w_O=27\% \sim 35\%$ （见表4），样品受到高温氧化及高

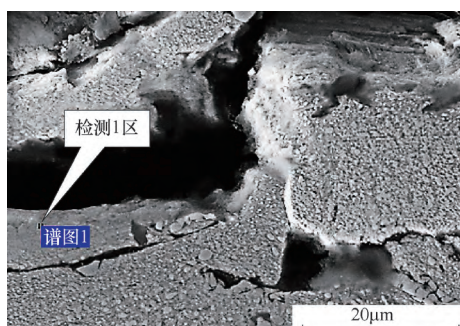
温油污染，推测样品经过加热及油淬^[11]，同时加热过程未进行保护气氛处理^[12]。

表4 失效件样品微区能谱检测结果（质量分数）（%）

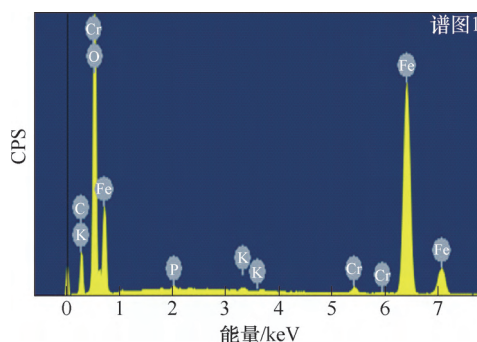
元素	C	O	Si	Cr	Mn	Fe	Mg	Al	Ca
检测1区	15.22	26.83	0.47	4.58	0.34	52.55	—	—	—
检测2区	11.17	35.49	0.39	4.06	—	41.66	0.22	0.78	0.23
检测3区	12.84	28.81	0.44	4.30	—	53.62	—	—	—

4 分析与讨论

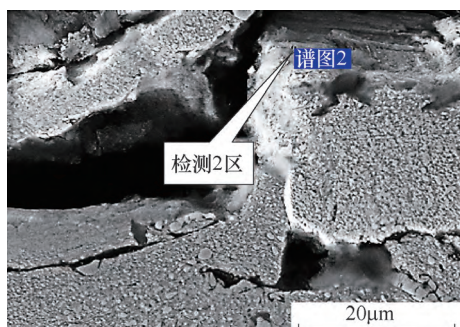
综上所述，该冲模在试模过程产生断裂。其中，沉孔部位产生崩裂断口；模具边角产生侧面断



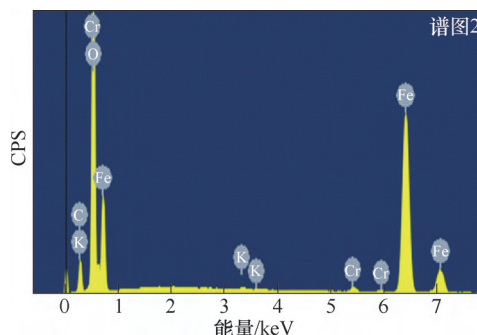
a) 检测1区



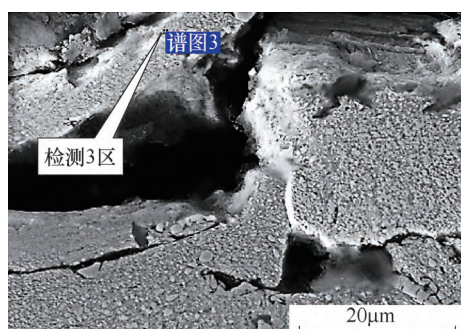
b) 谱图1能谱检测



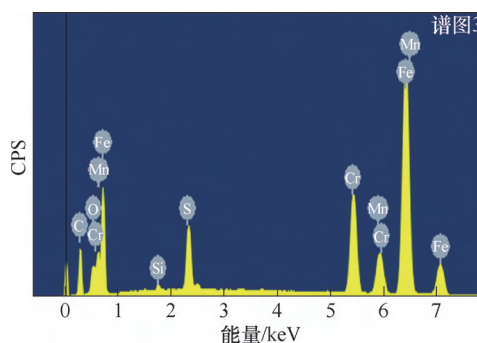
c) 检测2区



d) 谱图2能谱检测



e) 检测3区



f) 谱图3能谱检测

图5 沉孔平台能谱检测

口；并造成配套模具产生崩裂断口。冲模断裂件包含配套模具断裂特征，重点对冲模断裂件进行检测。

对冲模断裂件的崩裂断口进行检测，沉孔平台存在片层状挤压变形，表明该处材料强度低。同时样品未进行真空热处理，造成沉孔平台氧化剥层严重，由此产生表面裂纹。样品沉孔凹槽R角很小，该处应力集中极大，从而产生应力集中开裂。裂纹总是沿强度最薄弱的部位，或应力集中最大的部位形成并扩展。显微组织为回火索氏体+块状碳化物，基体组织中大部分已经形成回火索氏体，未见回火马氏体组织。表面硬度值偏低，印证热处理过程不规范，材料强度大幅度降低。对冲模断裂件的侧面断口进行检测，侧面断口显示多条表面裂纹，因挤压形成表面热影响层，并造成裂纹两侧基体严重变形，由此推断侧面断口受到较强的作用力，造成模具边角处发生断裂。样品显微组织同样为回火索氏体+块状碳化物，基体组织中大部分已经形成回火索氏体，仍然未见回火马氏体组织，材料强度显著降低。样品基体碳含量偏低，进一步降低了材料强度及耐磨性，硫含量偏高同样降低材料强度且增加热加工开裂风险。材料化学成分不合格，热处理过程将会产生异常组织，进而导致冲模性能不合格，造成使用过程的异常断裂。

回火索氏体是在铁素体基体上析出颗粒状碳化物，其中铁素体对应韧窝断口特征；碳化物对应解理断口特征，回火索氏体组织刚好对应韧窝+解理的断口特征形貌，与崩裂断口及侧面断口特征相符。

化学成分检测结果，材料中S、P含量高，其中P含量接近规范要求的上限，S含量甚至超过规范要求，表明材料冶炼过程除杂质能力不足；主加元素C含量偏低较多，表明材料冶炼过程不规范。

5 结论及改进建议

该冲模断裂的主要原因是由于热处理工艺不规范，材料强度显著降低，服役过程中在正常载荷作用下模具产生断裂。同时沉孔平台氧化剥层严重，显著降低材料表面强度并由此产生裂纹源。冲模极小的沉孔凹槽R角产生极大的应力集中，造成应力集中开裂，因而导致沉孔部位崩裂。化学成分不合

格，影响材料使用性能。

因此，建议在模具材料冶炼过程中，应充分脱P、脱S，提高材料的纯净度。在机械加工过程中，应保证沉孔凹槽R角符合技术要求，防止产生应力集中开裂。另外，还要规范热处理过程工艺，防止表面氧化剥层，同时避免产生回火索氏体等低强度组织。

6 结束语

Cr8钢冲模在冶炼过程中控制原材料S、P含量；热处理过程采用真空热处理；机械加工过程加大沉孔凹槽R角半径。通过近半年多的技术改进，材料性能得到极大的提升，冲模的使用寿命由原来不足3000次，增加到现在20000次以上，达到了预期的使用寿命要求，半年来累计节约资金200万元，经济效益显著。

参考文献：

- [1] 樊东黎，徐跃明，佟晓辉，等．热处理工程师手册[M]．北京：机械工业出版社，2005．
- [2] 林际熙，王美生，吴兴泉．金属力学性能检验[M]．北京：冶金工业出版社，1999．
- [3] 张栋，钟培德，陶春虎，等．失效分析[M]．北京：国防工业出版社，2003．
- [4] 冯晓曾，何世禹，郭宝莲．模具的失效分析[M]．北京：机械工业出版社，1987．
- [5] 程培源．模具寿命与材料[M]．北京：机械工业出版社，1999．
- [6] 吕炎．锻件缺陷分析与对策[M]．北京：机械工业出版社，1999．
- [7] 马爱斌，蒋建清，陈绍麟．金属热处理及质量检验[M]．北京：中南大学出版社，2001．
- [8] 李炯辉，林德成．金属材料金相图谱[M]．北京：机械工业出版社，2006．
- [9] 钟群鹏，赵子华．断口学[M]．北京：高等教育出版社，2005．
- [10] 史美堂．常用模具钢热处理性能[M]．上海：上海科学技术出版社，1981．
- [11] 郑学坊，邱允新，唐镇南．金相分析技术[M]．上海：上海科学技术出版社，1987．
- [12] 刘昌祺，藏锁海，范洪云．模具的热处理和表面硬化技术[M]．北京：机械工业出版社，1992．