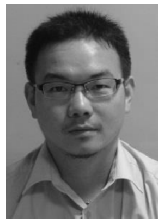


文章编号:1673-9981(2021)01-0047-04

两种铝挤压用模具钢的组织与性能研究*

黄志其¹, 陈慧^{1,2}, 邓涛涛¹, 许栩达^{1,2}, 陈宜钊¹, 胡权¹

1. 佛山市三水风铝铝业有限公司, 广东 佛山 528133; 2. 中南大学材料学院, 湖南 长沙 410006



摘要:为了找到一种简易可行的方法对模具钢材质量进行管控,通过金相组织观察、洛氏硬度试验、断口冲击试验及扫描电子显微分析,对两种铝挤压用模具钢的组织与性能进行了对比研究.结果表明:晶界脆性相和钢材原始组织不均匀是造成钢材韧性差的主要原因,冲击韧性测试能直观的反映钢材性能,可以作为钢材性能检测的重要指标.

关键词:模具钢、洛氏硬度、冲击韧性、组织与性能

中图分类号:O614.3

文献标识码:A

引文格式:黄志其,陈慧,邓涛涛,等.两种铝挤压用模具钢的组织与性能研究[J].材料研究与应用,2021,15(1):47-51.

HUANG Zhiqi, CHEN Hui, DENG Taotao, et al. The comparative study of microstructure and properties of two die steels used for aluminum extrusion[J]. Materials Research and Application, 2021, 15(1): 47-51.

铝型材挤压模具是在高温高压下作业,并承受周期载荷的作用,且承受着强烈的摩擦,由于工况条件恶劣,要求模具材料具有热稳定性、热疲劳性、热耐磨性和足够的韧性^[1]. H13(4Cr5MoSiV1)钢具有高淬透性、韧性、优良的抗热裂能力及中等耐磨损性能,热处理变形小,是目前使用最广泛和最具代表性的热作模具钢种^[2]. 通常铝挤压型材厂对钢材质量检验主要是成分和组织检测,但实际使用过程中,也会出现成分、组织合格而模具早期失效的情况.为此,对两种模具钢材进行性能和组织对比研究,以期作为模具钢材质量判断提供参考.

1 材料与实验方法

两种模具钢的成分如表 1 所示. 首先将试样进行淬火,经淬火后进行五次回火处理. 钢材淬火工艺:升温 650 °C(保温 1 h)—升温 850 °C(保温 2 h)—升温 1020 °C(保温 2 h)—工件移入冷却仓—

降温 980 °C—气淬(20 min)—出炉. 淬火后进行五次回火工艺参数:第一次回火 575 °C,第二次回火 585 °C,第三次 570 °C,第四次 585 °C,第五次 570 °C 保温 8 h.

利用光谱分析,测定了两种模具钢的成分. 经过淬火、回火处理后的两种钢材,进行了金相组织观察. 同时,对 5 次回火后的钢材进行了硬度及冲击韧性试验,并对断口进行宏观及微观形貌分析.

2 结果与分析

2.1 回火后的组织

图 1 为两种钢材回火后的金相组织. 从图 1 可以看出,两者均为细针状马氏体, B 钢中马氏体更细小均匀,但是在 B 钢的显微组织中发现块状金属化合物,推测为含碳化物. 这些金属化合物可能是钢材制造过程中未除去的夹杂,无法通过热处理手段消除,块状金属化合物处容易产生应力集中,成为裂

收稿日期:2020-10-16

* 基金项目:佛山市核心技术攻关项目(1920001000409)

作者简介:黄志其(1983-),湖南湘乡人,工学博士(博士后),高级工程师,从事铝加工科研生产及技术管理工作

纹源,加速钢材断裂而影响钢材韧性.

表 1 钢材的组成成分

Table 1 Chemical composition of two kinds of steel

| 钢种 | 含量 $w/\%$ | | | | | | | | | | |
|----|-----------|------|-------|-------|--------|------|------|------|-------|-------|----|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | V | Ni | Cu | Fe |
| B | 0.366 | 0.36 | 0.327 | 0.027 | 0.001 | 4.66 | 1.43 | 0.5 | 0.152 | 0.066 | 余量 |
| WJ | 0.362 | 0.97 | 0.362 | 0.011 | 0.0026 | 4.97 | 1.36 | 0.95 | 0.128 | 0.082 | 余量 |

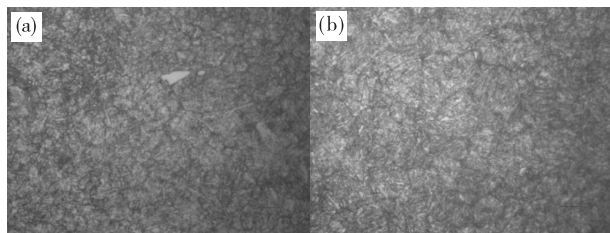


图 1 两种钢材 5 次回火后金相组织
(a)B 钢 5 次回火;(b) WJ 钢 5 次回火

Fig. 1 Optical microscopy of two kinds of steel after 5 times temper

(a) B steel after 5 times temper (b) WJ steel after 5 times temper

2.2 断口分析

图 2 为两种模具钢材的宏观断口形貌.从图 2 可见,宏观状态下 B 钢断口呈暗灰色,断裂后出现碎片,断口基本齐平并垂直于外加拉力应力.

图 3 为 B 钢微观断口形貌.从图 3 可见, B 钢断口有明显解理台阶,属于解理断裂.在 500 倍下发现,大块含碳金属外来物(点 3)约为 $20\mu\text{m}$,在碳化

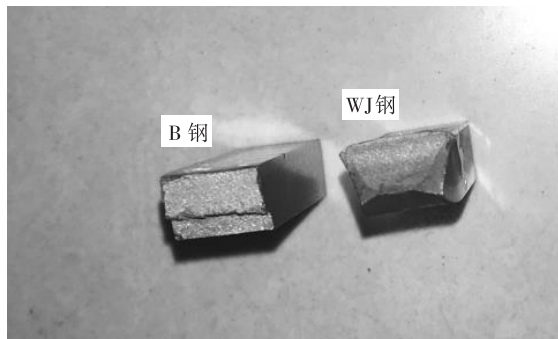


图 2 两种钢材宏观断口

Fig. 2 Macrograph fracture analysis for of two kinds of steel

物附近发现带状金属化合物(点 2 及其附近区域),约 $10\mu\text{m}$ 左右.位错容易在此塞积,造成应力集中,更容易生成微裂纹而成为裂纹源.裂纹从化合物附近向外辐射,可看到明显裂纹源.

图 4 为 WJ 钢微观断口形貌.从宏观断口(图 2)可见,WJ 钢断口有缩颈,底部断面呈暗灰色,边缘有一圈剪切唇.从微观(图 4)可见:开裂后 WJ 钢为穿晶断裂和沿晶断裂共生的混合型断裂;有少量微观塑性变形,晶界上有许多细密的韧窝.



图 3 B 钢微观断口形貌

(a)解理台阶,100 \times ;(b)钢裂纹源,100 \times ;(c) 钢裂纹源,500 \times

Fig. 3 Microscopy fracture surface of B steel

(a) cleavage step pattern,100 \times ; (b) crack source of steel,100 \times ; (c) crack source of steel,500 \times

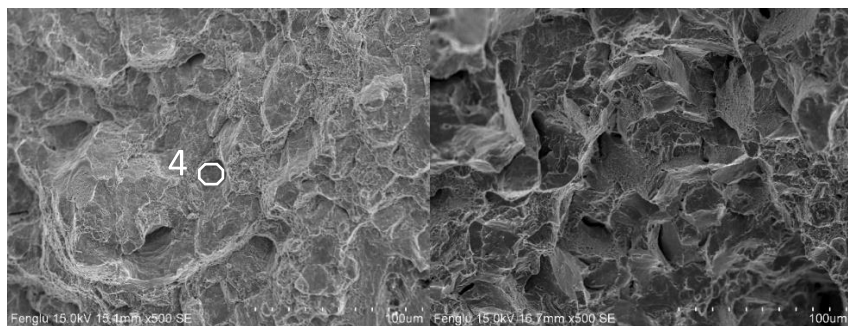


图 4 WJ 钢微观断口形貌

(a) 韧窝; (b) 穿晶和沿晶

Fig. 4 Microscopic fracture morphology of WJ steel

(a) dimple; (b) trans granular and inter granular

这是由于金属产生塑性变形时,位错沿滑移面运动,在滑移面交叉处形成位错塞积,造成应力集中,应力得不到松弛,就会在某些晶面产生微裂纹,微裂纹在晶粒内部很容易扩展,当微裂纹扩展至晶界,会受到晶界阻碍,在晶界附近同样产生应力集

中,当解离初裂纹所在晶面与相邻晶界解离面相交,会产生新的裂纹源. 这些解离裂纹向前扩展并相互接近,金属被撕裂形成解离台阶或撕裂棱. 解离台阶扩展、汇合形成河流花样.

表 2 微观形貌中各点 EDS

Table 2 EDS analysis of different points in microstructures

| 位置 | 含量 w/% | | | | | | | | | | |
|----|--------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| | K | N | O | Si | S | Ca | V | Cr | Fe | Mo | Mn |
| 1 | 17.72 | — | — | 2.46 | — | — | 0.66 | 5.4 | 72.99 | 0.77 | — |
| 2 | 4.81 | — | — | 0.78 | — | — | 64.4 | 9.53 | 16.83 | 3.66 | — |
| 3 | 44.74 | 20.10 | 26.27 | 0.17 | 1.73 | 1.72 | 0.23 | 0.45 | 4.33 | — | — |
| 4 | 3.64 | — | — | — | — | — | 1.90 | 6.65 | 85.27 | — | 2.54 |

2.3 硬度与冲击韧性

图 5 为两种钢材回火后的洛氏硬度试验结果. 从图 5 可以看出,5 次回火过程中 B 钢的硬度均高于 WJ 钢. 这是因为 B 钢中含有较高含量的 Cr 元素和 V 元素,在回火过程中 Cr, Mo 和 V 元素形成弥散分布的碳化物,并在特定条件下析出渗碳体以外的特殊碳化物,导致晶格畸变和钉扎位错,使钢材强度和硬度升高,但是回火过程中同时伴随马氏体的分解,钢材强度和硬度会因此降低. 前三次回火过程中两种钢材硬度变化不大,是碳化物的析出和马氏体的分解共同作用的结果,第四次回火两种钢材硬度均降低,此时含 Cr, Mo 和 V 的碳化物从基体中充分析出,而马氏体的分解还在继续,所以第四次和第五次钢材硬度降低.

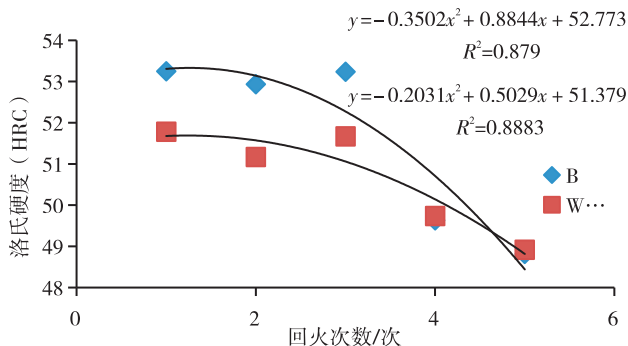


图 5 回火次数对硬度的影响

Fig. 5 The effect of tempering times on hardness

图 6 为两种钢材回火后的冲击韧性试验结果. 从图 6 可见, WJ 钢冲击韧性远高于 B 钢.

结合断口分析及 EDS 分析,两种钢材冲击韧性

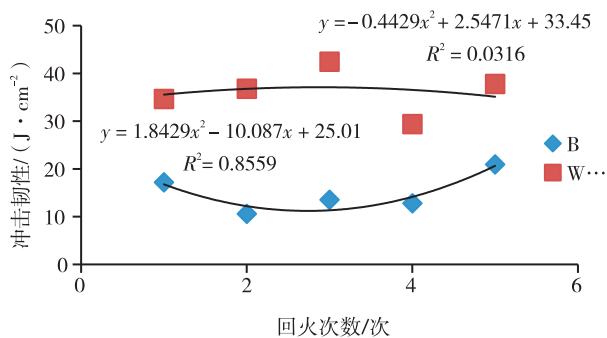


图6 回火次数对冲击韧性的影响

Fig. 6 The effect of tempering times on impact toughness

差别大的原因主要有以下三点:

(1) B钢的V含量虽高于WJ钢的,但是V的作用并没有充分发挥出来,大量V元素在金属中以块状化合物的形式存在,而不是均匀弥散地分布在金属中.应力易在这些块状化合物周围集中,形成微裂纹,甚至发展为裂纹源,加速金属的断裂.

(2) 块状碳化物的存在.钢铁熔炼过程中碳化物未充分溶解或除去,许多金属夹杂物在碳化物周围聚集,其中包括脆性的S和Si等,也容易成为裂纹源,实验所用金属裂纹源即是在块状碳化物和块状V化物聚集的地方.

(3) 晶界脆性相的存在,沿晶断裂和穿晶断裂主要是晶界强度和晶粒强度的对抗.当晶界附近有脆性相析出,或者是偏析和杂质弱化晶界,裂纹容易在晶界扩展,导致沿晶脆性断裂.

3 结论

(1) 晶界脆性相和钢材原始组织不均匀,是造成钢材韧性差的主要原因.

(2) 冲击韧性测试能直观的反映钢材性能,可以作为钢材性能检测的重要指标.

参考文献:

- [1] 刘静安. 4Cr5MoSiV1钢挤压模具真空热处理工艺研究[J]. 轻合金加工技术, 1999, 27(10): 23-27.
- [2] 李玉凤, 史文彬. 提高H13钢使用寿命的探讨[J]. 模具工业, 2007, 33(3): 65-67.
- [3] 张理罡, 黄明生, 陈仕威, 等. ICS 77.180 H94 T/CNIA 0001-2018 铝及铝合金热挤压模具[S]. 北京: 冶金工业出版社, 2018.
- [4] 朱林茂, 高怡斐, 刘卫平, 等. ICS 77.040.10 H22 GB/T 229-2007 金属材料夏比摆锤冲击试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

The comparative study of microstructure and properties of two die steels used for aluminum extrusion

HUANG Zhiqi¹, CHEN Hui^{1,2}, DENG Taotao¹, XU Xuda^{1,2}, CHEN Yizhao¹, HU quan¹

1. Sanshui FengLv aluminum Co., Ltd., Foshan 528133, China; 2. School of Material Science & Engineering, Central South University, Changsha 410006, China

Abstract: In order to find a simple and feasible method to control the quality of die steel, optical microscopy (OM) observation, rockwell hardness test, fracture impact test and scanning electronic microstructure (SEM) analysis were used to study of microstructure and properties of two die steels for aluminum extrusion. The results show that the brittle phase on the grain boundaries and the inhomogeneous original structure of the steel are the main reasons for the poor toughness of the steel. The impact toughness test can directly reflect the performance of the steel and can be used as an important index for the selection of the steel.

Key words: die steel; rockwell hardness; impact toughness; microstructure and property