

时效强化处理汽车发动机铝合金部件及其摩擦磨损性能研究

莫岱宗, 陈少英

(广西壮族自治区百色市凌云县公路管理所, 广西 百色 533199)

摘要: 用 X 射线衍射仪(XRD)对时效强化的 7075 铝合金进行分析,并用 SRV 摩擦磨损试验机考察强化前后铝合金在二烷基二硫代氨基甲酸钼(MoDTC)、二烷基硫代磷酸锌(ZDDP)和二硫化钼(MoS₂)润滑油添加剂润滑下的摩擦磨损性能;用扫描电镜(SEM)观察分析磨痕表面形貌,用 EDS 分析磨斑表明元素含量。结果表明,时效强化 7075 铝合金不但提高了铝合金的表面硬度,也提高了其摩擦磨损性能;时效强化 7075 铝合金润滑性能的改善归因于铝合金的时效强化及润滑剂的摩擦化学作用。

关键词: 汽车;时效强化;7075 铝合金;润滑油添加剂;摩擦磨损

中图分类号:U465.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)02-0008-03

铝及铝合金具有密度小、耐腐蚀性和成型性好等优点,是航空航天和现代交通运输向轻量化、高速化方向发展的关键材料,被列为国家优先发展材料。铝合金材料不但能降低设备重量,还能大幅度提高汽车和飞机等运载工具的节能和减振性能,在制造业有广泛的应用前景。汽车采用铝合金轻量化发展也是减少汽车压溃路面的有效措施。但铝合金硬度低、不耐磨、韧性差等缺点限制了其应用。采用热处理方式可提高铝合金的强度、耐磨等性能,如微弧氧化提高其耐磨性能,热处理提高其强度等。目前汽车和飞机等铝合金多采用强化铝合金作零部件。活塞作为发动机中最重要的运动部件之一,改善活塞与气缸的摩擦特性,可提高发动机的机械效率,减少污染物排放,延长发动机使用寿命。但铝合金难润滑的特点使其应用受到限制。目前针对铝合金润滑的研究都侧重未处理的铝合金材料,很少有关于时效强化铝合金材料的摩擦学研究。鉴于此,该文以时效强化 7075 铝合金为研究对象,以二烷基硫代磷酸锌(ZDDP)、二烷基二硫代氨基甲酸钼(MoDTC)和二硫化钼(MoS₂)为添加剂,考察时效强化铝合金在添加剂润滑下的摩擦学特性,为 7075 铝合金摩擦副间的摩擦学特性分析提供理论与技术支持。

1 试验方案

1.1 7075 铝成分和时效强化处理

采用常用的热处理工艺即固溶时效处理对材料

进行固溶 482 °C×1.5 h 或 150 °C×24 h 时效处理,发现 155 °C×24 h 时效处理的试样硬度最高,铝合金的硬度由 140 Hv 提高到 195 Hv。该文通过试验分析固溶时效强化铝合金的摩擦学性能,试验所用 7075 铝的化学成分见表 1。

表 1 试验用 7075 铝的化学成分

化学成分	含量/(wt%)	化学成分	含量/(wt%)
Si	0.40	Ti	0.2
Fe	0.50	Cr	0.18~0.28
Cu	1.2~2.0	Zn	5.1~6.1
Mn	0.30	Al	余量
Mg	2.1~2.9		

为研究组织内合金的成分变化,采用 X 射线衍射仪对经时效处理的 7075 铝合金组织进行 X 射线衍射分析,结果见图 1。从图 1 可看出经过时效处理后铝合金析出的 S 相(Al₂CuMg)明显增强,表明时效强化处理提高了铝合金表面硬度。

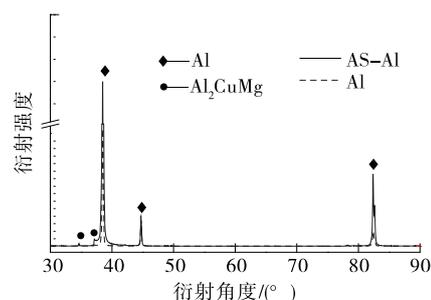


图 1 7075 铝合金 XRD 射线衍射图

1.2 摩擦学试验

以矿物油为基础油,二烷基二硫代氨基甲酸钼(MoDTC)、二烷基硫代磷酸锌(ZDDP)和二硫化钼(MoS_2)为润滑油添加剂,配制质量分数为0.2%、0.4%、0.6%、0.8%和1%的润滑油。采用SRV摩擦磨损试验机进行减摩抗磨性能评价。在室温条件下,摩擦副为球盘接触形式,试验时间为30 min;试验钢球为AISI 52100钢,钢球直径5 mm,硬度750 Hv。底盘为7075铝(硬度140 Hv)和时效强化7075铝(硬度195 Hv),尺寸为 $\phi 24 \text{ mm} \times 7.8 \text{ mm}$ 。底盘在试验前被抛光,表面粗糙度为 $0.05 \mu\text{m}$ 。试件试验前后用石油醚超声清洗10 min,每次摩擦试验时将约0.2 mL的润滑油涂抹在摩擦副之间,摩擦系数由计算机自动记录保存。摩擦学试验结束后,采用光学显微镜测量磨痕宽度、扫描电子显微镜观察并分析底盘磨痕表面形貌、X射线能谱仪分析磨损表面化学成分。

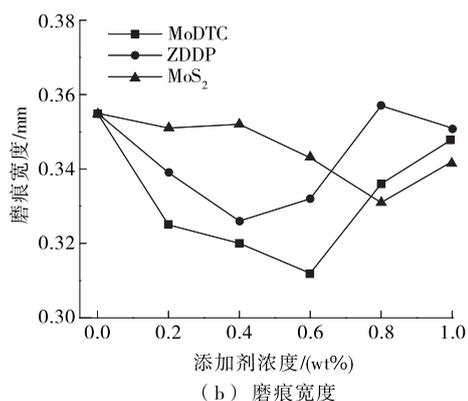
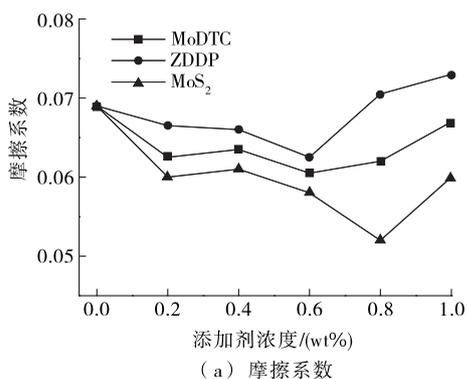
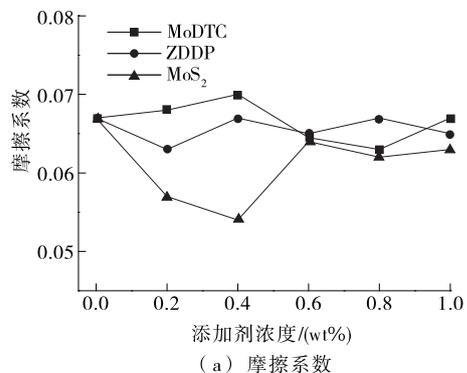


图2 采用不同添加剂时铝合金的摩擦系数和磨痕宽度比较

图3为采用不同质量分数添加剂润滑油润滑时,钢—时效强化铝摩擦副在载荷为30 N、频率为5 Hz条件下的平均摩擦系数和磨痕宽度。从图3可看出:1)在3种添加剂润滑下,MoDTC、ZDDP、



2 试验结果与分析

2.1 添加剂浓度对不同摩擦副摩擦学性能的影响

图2为采用不同质量分数添加剂润滑油润滑时,钢—铝摩擦副在载荷为30 N、频率为5 Hz条件下的平均摩擦系数和磨痕宽度。从图2可以看出:1)在MoDTC、ZDDP、 MoS_2 3种添加剂润滑下,随着添加剂质量分数的增大,钢—铝摩擦副的摩擦系数呈现先减小后增大的趋势;MoDTC、ZDDP、 MoS_2 的质量分数分别为0.6%、0.6%和0.8%时,摩擦系数达到最小值,相对于基础油分别降低12.3%、9.4%和24.6%。2) MoDTC、ZDDP、 MoS_2 的质量分数分别为0.6%、0.4%和0.8%时,钢—铝摩擦副的磨痕宽度最小,说明此时摩擦副的抗磨性能最好。综合考虑摩擦系数和磨痕宽度,3种添加剂的质量分数分别为0.6%、0.6%和0.8%时,钢—铝摩擦副具有较好的减摩抗磨性能。

MoS_2 的质量分数分别为0.6%、0.6%和0.4%时,钢—时效强化铝摩擦副的摩擦系数达到最小值。2) MoDTC、ZDDP、 MoS_2 的质量分数均为0.6%时,磨痕宽度最小。综合考虑摩擦系数和磨痕宽度,3种

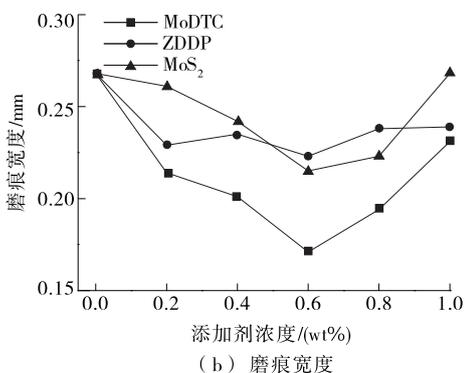


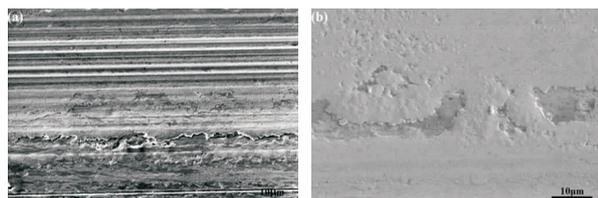
图3 不同添加剂浓度时时效强化铝合金摩擦系数和磨痕宽度比较

添加剂的质量分数分别为 0.6%、0.6% 和 0.4% 时, 钢-时效强化铝摩擦副具有较好的减摩抗磨性能。

对比图 2 和图 3, 在含最佳质量分数添加剂润滑条件下, 铝块的平均摩擦系数(0.049~0.051 5)和时效强化铝的平均摩擦系数(0.052~0.066)接近, 说明铝块经过时效强化处理, 其减摩性能改善有限; 时效强化铝的磨痕宽度(0.168~0.212 mm)比铝块的磨痕宽度(0.311~0.327 mm)小很多, 说明铝块经过时效强化处理, 其抗磨性能得到很大改善。

2.2 磨损表面分析

图 4 为矿物油+0.6%MoDTC 润滑下两种铝合金的磨损表面。从图 4 可看出: 未处理的铝合金表面出现大量宽而深的犁沟, 且出现明显的重叠、交错, 为典型的严重粘着磨损现象。粘着磨损一般出现在摩擦副硬度较低时, 会将磨工件的材料撕裂、转移。相比之下, 经时效强化处理后的铝合金的磨损表面犁沟较少、较浅, 仅出现轻微的粘着磨损现象, 这得益于时效强化处理提高了铝合金的硬度, 也与润滑添加剂在铝合金表面形成的润滑保护膜有关。



(a) 时效强化前

(b) 时效强化后

图 4 矿物油+0.6%MoDTC 润滑下铝合金时效强化前后的磨损表面

表 2 为强化铝合金磨斑表面的元素分布。从表 2 可看出: 3 种润滑油在强化铝合金磨斑表面生成了以 Zn、Mo、P 和 S 为主的摩擦保护膜, 磨斑表面的表 2 几种润滑油润滑下强化铝合金磨斑表面元素含量分布

元素	摩尔质量	磨斑表面元素含量/(wt%)		
		0.6%MoDTC	0.6%ZDDP	0.4%MoS ₂
Al	13	71.24	79.44	80.53
C	6	10.82	7.02	8.66
O	8	7.30	5.27	3.03
Mg	12	1.09	1.01	1.22
Cu	29	2.54	3.27	2.52
Si	4	1.34	0.33	0.27
Mn	25	0.67	1.51	0.70
Zn	30	—	0.76	—
Mo	42	1.02	0.13	0.23
P	15	—	0.47	—
S	16	0.56	0.80	0.68

化学膜提高了摩擦表面的抗磨和减摩性能。文献 [10] 也表明有机钼添加剂不仅具有优秀的减摩性能, 在与其他添加剂复合的条件下还具有良好的抗磨、抗氧化性能, 这对发展低磷、低硫发动机油具有十分重要的意义。

3 结论

(1) 经过时效强化处理, 铝合金析出的 S 相 (Al₂CuMg) 明显增强, 铝合金的硬度由 140 Hv 增大至 195 Hv。

(2) 时效强化处理可改善铝合金在 MoDTC、ZDDP 和 MoS₂ 单一润滑剂润滑下的减摩抗磨性能, 磨斑表面生成了摩擦保护膜。

(3) 时效强化处理铝合金较好的减摩抗磨性能归功于时效强化处理对于铝合金硬度的提高和润滑添加剂在铝表面形成的润滑保护膜。

参考文献:

- [1] 孟波波. 基于铝合金薄壁零件的机械加工工艺分析[J]. 科学与信息化, 2017(9).
- [2] 易斌. 铝合金前副车架 CAE 分析及试验验证[J]. 公路与汽运, 2017(2).
- [3] 杨利勇. 汽车发动机的发展及前景[J]. 公路与汽运, 2003(5).
- [4] 汤灏, 郭克希, 林弟, 等. 发动机零部件参数化设计方法研究[J]. 公路与汽运, 2014(3).
- [5] 席翔, 夏延秋, 曹正锋, 等. 高速电弧喷涂 Al-Ni-Mn-Co 涂层在脂润滑下的摩擦磨损性能[J]. 中国机械工程, 2017, 28(2).
- [6] 熊仁章, 盛磊, 郭洪光. 铝合金微弧氧化陶瓷层的耐磨性能[J]. 兵器材料科学与工程, 2000, 23(3).
- [7] 邵光杰, 张恒华, 许珞萍. 汽车用铝合金材料及热处理进展[J]. 金属热处理, 2004, 29(1).
- [8] 杨兵, 张大为, 周峰. 汽车发动机铝合金缸体压铸工艺改进及品质提升[J]. 铸造技术, 2017(1).
- [9] 孙海波, 于瑞. 汽车发动机活塞铝合金基复合材料钻削工艺研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2017, 40(2).
- [10] 姚俊兵. 有机钼添加剂的减摩、抗磨和抗氧化性能研究[A]. 中国汽车工程学会燃料与润滑油分会第十二届年会论文集[C]. 2006.
- [11] 蒋文明, 樊自田, 廖德锋, 等. 铝(镁)合金真空低压消失模壳型铸造技术[A]. 2009 年促进中部崛起专家论坛暨第五届湖北科技论坛: 装备制造产业发展论坛论文集(下)[C]. 2009.