

喷淋蚀刻模具钢的蚀刻深度研究

宋卿, 于兆勤, 张永俊, 王冠
(广东工业大学 机电学院, 广州 510006)

[摘要] 采用喷淋式蚀刻机, 以 FeCl_3 基蚀刻液对模具钢进行喷淋蚀刻, 通过测定不同蚀刻液温度、不同喷淋压力下的蚀刻深度, 考察了几个独立因素对蚀刻深度的影响, 得出蚀刻深度的规律性变化: 蚀刻深度增长率随蚀刻液温度的升高而增大, 随喷淋压力的增大而先增大, 后逐渐减小。分析了蚀刻深度呈此种变化规律的原因。

[关键词] 喷淋蚀刻; 蚀刻液温度; 喷淋压力; 蚀刻深度

[中图分类号] TG176

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2013)04-0021-03

Study on Etching Depth of Die Steel in Spray Etching

SONG Qing, YU Zhao-qin, ZHANG Yong-jun, WANG Guan

(Institute of Mechatronics, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

[Abstract] Spray etching machine and FeCl_3 -based etchant were used to process the die steel. The influence of two independent factors, etchant temperature and spray pressure were investigated, specifically on the etching depth. The trend of etching depth was obtained with experimental analysis. Via experiments it is found that the growth rate of etching depth is increased with the rise of the etchant temperature. However, the growth rate of etching depth first increases and then decreases gradually with the increase of the spray pressure. The factors that contribute to this change of etching depth were analyzed.

[Key words] spray etching; etchant temperature; spray pressure; etching depth

化学微细蚀刻以高精度、高效率、低成本等工艺优点, 广泛应用于金属表面花纹和图形的加工、微电子机械系统制造、玻璃制品表面图案加工等领域^[1-3]。微细蚀刻无机应力存在, 形貌特征较好, 微结构的连续性和均匀性较好。蚀刻深度是衡量蚀刻加工效果的重要参数, 在微细蚀刻加工中, 它直接影响蚀刻产品的加工质量和加工效率^[4]。蚀刻速率是影响蚀刻深度的重要因素, 而蚀刻方式、蚀刻液参数等会影响到蚀刻速率的变化^[5]。文中通过研究模具钢蚀刻中蚀刻液温度、喷淋压力对蚀刻深度的影响情况, 探索蚀刻深度的规律性变化, 对控制微细加工的蚀刻深度和提高蚀刻加工精度具有重要的指导意义。

1 实验

采用自制喷淋式蚀刻机进行蚀刻, 通过溢流阀可

调节喷淋压力(压力调节范围为 0 ~ 1.8 MPa), 使蚀刻液喷淋均匀。为保证蚀刻的均匀性, 采用旋转式工作台, 转速范围为 0 ~ 200 r/min。蚀刻前可对蚀刻液进行预热, 加热温度范围是 20 ~ 60 °C, 蚀刻时间可设定。实验材料为圆块模具钢样件, 表面进行抛光处理, 粗糙度 $Ra \leq 1.6$, 满足表面掩膜要求。采用紫外线光固油墨进行掩膜, 它既能弥补加热干燥引起的热变形, 又能满足蚀刻加工的要求, 可极大地提高生产效率^[6]。掩膜厚度均匀, 大约为 20 ~ 30 μm , 粘附性良好, 掩膜块尺寸为 450 μm × 450 μm , 掩膜间隙为 150 μm 。掩膜效果如图 1 所示。

针对模具钢的加工要求, 采用 FeCl_3 基蚀刻液, 其配方为: 0.3 kg/L FeCl_3 , 0.1 kg/L HNO_3 , 0.02 kg/L NaCl 。具体的处理流程为: 模具钢抛光 → 除油 → 水洗 → 图案掩膜 → 曝光显影 → 喷淋蚀刻 → 脱膜清洗 → 后期处理。

[收稿日期] 2013-05-26; [修回日期] 2013-06-27

[基金项目] 国家自然科学基金重点资助项目(U1134003); 国家青年科学基金资助项目(51205066); 广东省自然科学基金资助项目(s2012010009022); 教育部博士点基金(20114420120002)

[作者简介] 宋卿(1988—), 男, 安徽人, 硕士生, 主攻特种加工工艺。

[通信作者] 王冠(1979—), 男, 辽宁人, 博士, 主要研究方向为电化学加工工艺及机理。

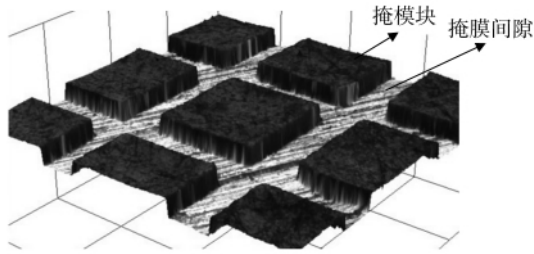


图1 掩膜效果图

Fig. 1 Mask effect enlarge figure

将掩膜样件置于工作台上,设置喷淋压力和蚀刻时间,对掩膜表面进行喷淋微细蚀刻,最后进行脱膜清洁处理。用 OLS4000 型激光共聚焦显微镜对表面微结构进行测量,测定 10 个不同位置的蚀刻深度 h ,取平均值进行数据分析。蚀刻加工微结构横截面如图 2 所示。

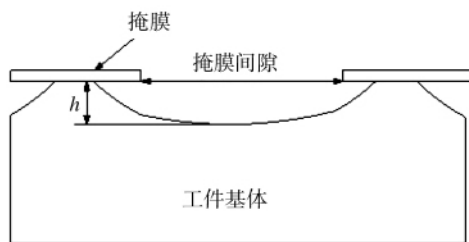


图2 蚀刻样件横截面示意

Fig. 2 The schematic diagram of etching sample

2 结果和讨论

微细蚀刻模具钢微观表面为凸凹起伏的连续结构。凹坑处形成平滑圆弧过渡,截面形状近似正弦曲线的波谷;凸起呈四棱柱状,无明显棱边,存在一定的侧蚀效果。蚀刻液温度和喷淋压力等均会影响凹坑深度,即蚀刻深度。为达到较高的蚀刻效率和蚀刻精度,需严格控制相关加工参数。

2.1 蚀刻液温度对蚀刻深度的影响

调节喷淋压力至 0.6 MPa,依次设定蚀刻时间为 2 4 6 8 min,将蚀刻液分别预热至 25 35 45 55 °C 进行喷淋蚀刻。蚀刻时间、蚀刻深度与蚀刻液温度的关系如图 3 所示。

从图 3 可以看出,在一定温度下,蚀刻深度随蚀刻时间的延长而增加,蚀刻液温度越高,蚀刻深度增加的幅度越大,在 35 ~ 45 °C 范围内,蚀刻深度的增加最快。这是因为在蚀刻反应中,垂直方向的金属蚀除作用始终进行,蚀刻深度不断增大,蚀刻液温度的升高加速了溶液的流动性,降低了蚀刻液的黏度,使得蚀刻速率增大,蚀除效率提高,蚀刻深度的增长加快,这与李佳等人^[7]研究蚀刻工艺的结果一致。傅玉婷等^[8]在不锈

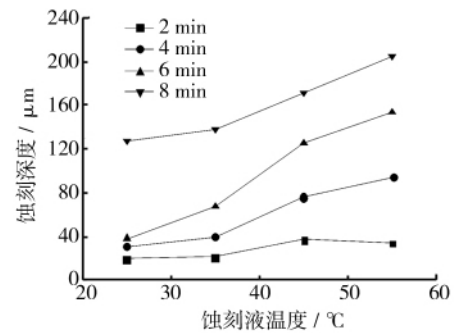


图3 蚀刻深度随蚀刻液温度的变化

Fig. 3 Trend of etching depth with etchant temperature increasing

钢的侧蚀研究中发现,腐蚀是放热反应,蚀刻反应热使掩膜间隙槽内的蚀刻液温度升高,蚀刻速率提高。但若温度过高,蚀刻液会产生高聚物抗,工件蚀层被破坏,蚀刻速率降低,蚀刻深度随时间延长而增加的幅度减小。图 4 是蚀刻压力为 0.6 MPa,蚀刻时间为 4 min 时,不同蚀刻液温度下的刻蚀效果微观放大图。

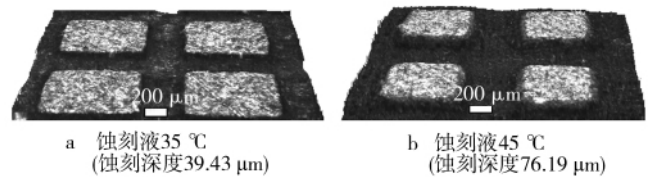


图4 不同蚀刻液温度下的蚀刻效果

Fig. 4 The processing effect under different etchant temperature

2.2 喷淋压力对蚀刻深度的影响

将蚀刻液预热至 45 °C,并保持温度恒定,蚀刻时间依次设定为 2 4 6 8 min,分别在 0.2 0.6 1.0 1.4 MPa 压力下对样件进行喷淋蚀刻。在不同蚀刻时间下,蚀刻深度与喷淋压力的关系如图 5 所示。

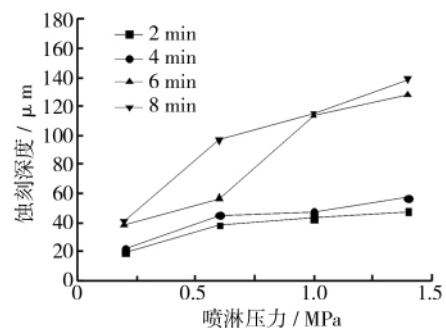


图5 蚀刻深度随喷淋压力的变化

Fig. 5 Trend of etching depth with spray pressure increasing

从图 5 可以看出,随喷淋压力的增大,蚀刻深度的增长率先增大,后逐渐减小。这是因为喷淋压力增大,参与蚀刻反应的蚀刻液更新频率加快,蚀刻反应充分,蚀刻速率提高;同时较大压力的冲刷作用有利于蚀刻产物的排除,促进蚀刻反应的继续进行,使得蚀刻深度保持较大的增长速率。这与 Jeong 等^[9]关于蚀刻速率

的研究结果一致。当喷淋压力过大时,蚀刻液与工件加工面的作用力增大,大部分蚀刻液未与工件充分接触反应就被弹射开了,蚀刻液的驻留时间缩短,蚀刻效率降低,蚀除量减小,因此蚀刻深度的增长变慢,这与 Takechi^[10] 分析的喷淋压力对蚀刻速率的影响规律一致。图 6 是蚀刻时间 4 min、蚀刻液温度 45 °C 时,不同喷淋压力下的蚀刻效果微观放大图。

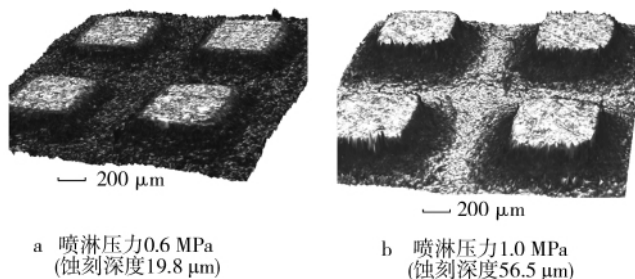


图 6 不同喷淋压力下的蚀刻效果

Fig. 6 The processing effect under different spray pressure

在压力组实验中发现,当喷淋压力设置在 0.6 ~ 1.0 MPa 范围内,蚀刻深度增长快,能快速达到一定的深度要求。

3 结论

1) 在一定温度下,蚀刻深度随蚀刻时间的延长而增长。蚀刻液温度升高,蚀刻深度的增长加快,原因是温度升高,溶液流动性增强,蚀刻速率提高。在一定温度范围内,蚀刻深度增长率达到最大值,蚀刻速率最高。若温度继续升高,蚀刻反应受到抑制,蚀刻速率降低,蚀刻深度增长率减小。

2) 随着喷淋压力增大,蚀刻深度增长率先增大,后减小。原因是一定压力的喷淋作用有利于蚀刻液更新,蚀刻反应充分,蚀刻速率提高,垂直方向的蚀除量

增大,蚀刻深度增长加快;但喷淋压力过大会导致蚀刻液与工件的接触反应时间减小,蚀刻反应无法充分进行,蚀刻速率降低,蚀刻深度增长减慢。

[参 考 文 献]

- [1] 董祥忠, 陈建, 王鹏驹. 塑料模具钢 P20 化学腐蚀花纹加工性能的研究[J]. 钢铁, 1999, 10(34): 1121.
- [2] 田玲, 李志东. 浅谈蚀刻因子的计算方法[J]. 印刷电路信息, 2007(12): 55—56.
- [3] 陈永生, 汪建华. 多晶硅的 ECR 等离子体刻蚀[J]. 武汉化工学院学报, 2003, 25(1): 64—67.
- [4] UEDA R. Chemical Machining by Ferric Chloride Etchant[J]. Boshoku Gijutsu (Corros Eng), 1989, 38(4): 231—237.
- [5] 田波. 微带蚀刻工艺影响因素探讨[J]. 表面技术, 2004, 33(2): 50—51.
- [6] 钱军浩. 利用丝网印刷优势在包装印刷中进行仿金属蚀刻印刷的工艺探讨[J]. 包装工程, 1997, 18(Z1): 105—107.
- [7] 李佳, 李德良, 莫凌. 硝酸型酸性蚀刻液蚀刻工艺的研究[J]. 表面技术, 2010, 39(3): 87—89.
- [8] 傅玉婷, 巴俊州, 蒋亚雄, 等. 喷淋蚀刻中不锈钢的侧蚀研究[J]. 舰船防化, 2010(4): 15—18.
- [9] JEONG Heung-cheol, KIM Dong-wook, CHOI Gyung-min, et al. The Effect of Spray Characteristics on the Etching of Invar Alloy with FeCl₃ Solution[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2009, 10(4): 107—114.
- [10] TAKECHI K, KANO H, OTSUKI S. Very High Rate and Uniform Glass Etching with HF/HCl Spray for Transferring Thin-film Transistor Arrays to Flexible Substrates[J]. Japanese Journal of Applied Physics, 2006, 45: 6008.