

脉冲磁场力作用下的模具失效原因分析

张文忠 罗 峰 刘 权 王玉萍

(首都航天机械公司, 北京 100076)



摘要: 结合生产实际情况, 对不同的模具材料、不同的处理方法、不同的硬度指标的模具, 在磁脉冲磁场力的冲击下进行了寿命检测试验, 分析了在脉冲磁场力作用下影响弹簧校形所用模具的使用寿命原因, 提出了提高模具寿命的解决办法。实际结果表明, 在磁脉冲磁场力的作用下, 适当降低模具硬度, 提高抗冲击韧性, 有利于模具寿命的提高。

关键词: 磁脉冲; 校形; 模具; 寿命

Failure Analysis of Mould Under the Pulsed Electromagnetic Force

Zhang Wenzhong Luo Feng Liu Quan Wang Yuping

(Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100076)

Abstract: Combined the actual production, this paper introduces the life tests of mould with different materials, methods and hardness under the impact of the pulsed electromagnetic force. It analyses the factors of influencing the life of mould which used in the spring bulging, and put forward the solutions to improve the mould life. The actual results show that, under the action of the pulsed electromagnetic force, it is benefit for improving the mould life with reducing the hardness of the mould and increasing the toughness of anti-impact.

Key words: electromagnetic pulses; bulging; mould; life

1 引言

磁脉冲成形是一项特种塑性加工技术, 具有高能率、单模、成形效率高等特点。俄罗斯、日本、美国等发达国家在航空航天、汽车等领域广泛应用, 制造出了一些常规方法很难加工的零件和组件, 如管杆连接、汽车传动轴等。我国的磁脉冲技术近年来在航天领域得到迅速发展, 用磁脉冲方法加工了舱外航天服上某些零件, 航天发动机上具有复杂形状和特殊要求的波形弹簧、波纹管等零件, 显示出了磁脉冲技术本身所特有的高能率、小回弹的特点和优势^[1~3]。然而, 磁脉冲成形过程中, 由于脉冲磁场力的作用, 毛坯高速撞击模具而完成成形, 模具受损失效成为批量生产中的关键问题。

对于冷成形用模具, 在常规冲裁、拉深工艺中,

普遍使用 45[#]钢、T8A 和 Cr12MoV。45[#]钢为优质碳素结构钢, 易于切削加工, 价格便宜, 热处理调质后可以获得较高的强度和韧性, 常用于制造结构简单寿命要求不高的模具。T8A 碳素工具钢, 经淬火回火后可得到较高的硬度和耐磨性, 常用于制造简单的模具。Cr12MoV 是一种高碳高铬莱氏体钢, 淬火后尺寸变化小, 是应用十分广泛的冷作模具钢, 且具有较高的韧性, 常用于制作形状复杂的模具。

磁脉冲技术的研究和应用在国内尚处于起步阶段, 对于磁脉冲技术所使用的模具的研究并不深入, 关于模具寿命的研究很少。本文结合铍青铜弹簧实际生产中遇到的模具寿命问题, 用不同的模具材料进行了寿命试验, 对失效原因进行了分析, 并采取了相应的措施, 提出了今后研究的方向。

作者简介: 张文忠 (1963-), 研究员, 压力加工专业; 研究方向: 钣金成形技术, 磁脉冲成形技术。

收稿日期: 2011-05-30

2 试验材料和试验条件

2.1 模具结构和材料

图 1 所示为铍青铜波形弹簧校形用模具。图 2 所示为铍青铜波形弹簧，材料牌号为 QBe2-1/2CY，硬度为 HV>340， $\sigma_b=1360\text{MPa}$ ， $\sigma_s=1230\text{MPa}$ ， $\delta_{10}=4.5\%$ 。

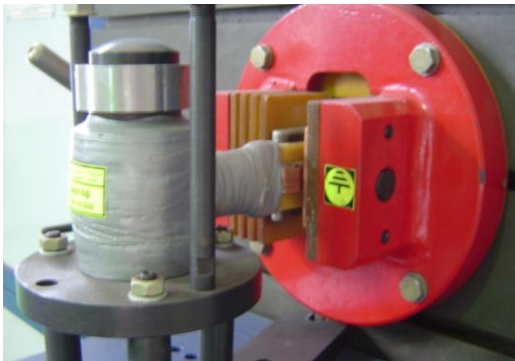


图 1 模具形状



图 2 铍青铜波形弹簧

用 45[#]、T8A 和 Cr12MoV 三种材料进行了试验。模具硬度指标见表 1。表 2 列出了三种材料的热处理参数。

表 1 试验条件

序号	模具材料	硬度要求	实际硬度
1	45 [#]	HRC42~46	HRC46.8
2	T8A	HRC48~52	HRC56
3	Cr12MoV	HRC52~58	HRC57.1
4	Cr12MoV	HRC48~52	HRC50.1

表 2 热处理参数

材料牌号	淬火		回火		
	加热温度/℃	冷却介质	硬度	加热温度/℃	冷却介质
45 [#]	830~850 保温 60min	水	HRC45	300~360 保温 90~120min	空气
T8A	780~800 保温 60min	水	HRC48~52	310~370 保温 90~120min	空气
Cr12MoV(1)	950~1040 保温 90min	油	HRC52~58	500~520 保温 90~120min	空气
Cr12MoV(2)	950~1040 保温 90min	油	HRC48~52	550~600 保温 90~120min	空气

2.2 脉冲磁场力的特点

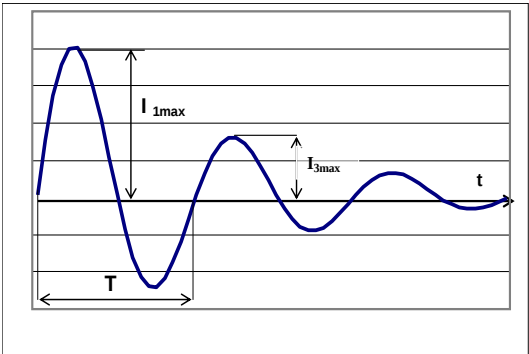


图 3 放电电流随时间的变化曲线^[4]

磁脉冲设备放电能量 3kJ，波形弹簧撞击模具的速度为 50~100m/s，而普通冲裁的速度仅为 0.1~0.5m/s。放电成形时，电流流经感应器，电流变化如

图 3 所示的衰减正弦特性曲线。放电电流的振荡频率 $f=1/T$ ，振荡频率通常为 5~10kHz，而电流的第一振幅为 $I_{\max}=100\text{kA}$ 左右，由此产生的作用于毛坯的电磁力持续时间为 3/8 周期，作用时间极短，形成了瞬时大载荷的冲击力。当毛坯与模具表面碰撞时，毛坯发生永久变形，同时模具也受到冲击力的作用。

3 试验与分析

3.1 试验结果

材料为 45[#]钢的模具加热到 830~850℃，保温时间 60min 后，水冷淬火，然后在 300~360℃下保温 90~120min，硬度为 HRC46，最终完成了 105 件产品，模具损坏。

材料为 T8A 钢的模具加热到 780℃，保温 60min，水冷淬火，然后进行回火处理，在 310~370℃下保温

90~120min, 硬度为 HRC56.1, 完成了 120 件产品校形, 其失效形式如图 4 所示。

材料为 Cr12MoV(1)的模具加热到 950~1040℃, 保温时间 90min, 油冷淬火, 然后进行回火处理, 加热到 500~520℃, 保温 90~120min, 硬度为 HRC57.1, 完成了 87 件产品校形, 失效后的形貌如图 5 所示。

用相同的 Cr12MoV(2)材料仅将回火温度升为 550~600℃外, 硬度为 HRC50.1, 完成了 305 件产品校形后仍完好无损。几种模具材料的寿命统计见图 6 所示。



图 4 T8A 模具



图 5 Cr12MoV(1)模具

失效形貌

失效形貌

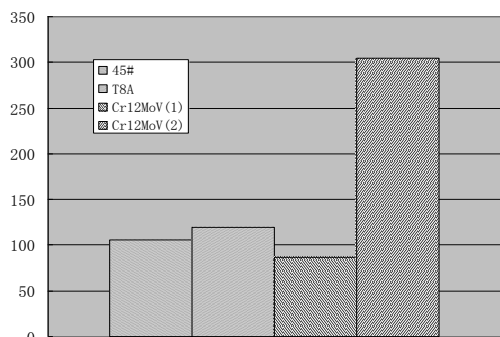


图 6 不同材质模具寿命

3.2 分析

从图 4 和图 5 失效的形貌来看, T8A 和 Cr12MoV(1)模具的失效形式均属于疲劳破坏。

从表 1 和表 2 可知, 用于试验的前三种 45#、T8A、Cr12MoV(1)的热处理状态采用的是常规冲裁模具使用的热处理参数, 硬度值偏高。Cr12MoV 材料具有脆性大的特点, 模具断裂失效是影响寿命的主要原因^[5]。然而, 尽管如此, 这些材料在常规冲裁和拉深工艺中, 使用寿命可达 1~5 万次, 最少也应在 1000 次以上, 而用于磁脉冲成形只达到了 100 次左右。说明磁脉冲成形对模具的要求与常规方法有很大的区别。

对 Cr12MoV(2)进行了降低硬度处理, 即提高了回火温度, 使硬度值降到 HRC50, 而寿命提高到了 300 次以上。说明磁脉冲成形所需模具在满足硬度、强度的前提下, 对强韧性有一定的要求。硬度越大,

脆性越高, 抗击冲击的能力越差。

常规方法与磁脉冲方法最大的区别在于模具与毛坯的接触速度。冲裁时, 凸模运动速度一般为 10 mm/s, 受力形式属于小能量多次冲击, 属于循环疲劳破坏。小能量多次冲击作用下, 寿命长短主要决定于模具材料强度及冲击力的大小, 故在保证模具强度的前提下, 适当增加模具的韧性^[5]。对于磁脉冲成形来说, 模具与毛坯的接触速度在 50~100m/s, 远大于常规方法的冲击速度。受力方式有别于常规方法, 属于大能量小频次冲击, 对于模具的韧性和塑性要求更高。试验中, 采用与常规方法同样的模具和处理方法, 寿命只及常规方法的 1/100。因此, 造成模具失效的原因为脆性大, 韧性小, 塑性差。

4 结束语

通过分析确定了模具失效的主要原因为硬度偏高、韧性不足。适当降低模具硬度, 保证材料具有一定强度和硬度, 适当提高一些韧性, 对于磁脉冲成形的高速冲击力, 延长模具的使用寿命是有利的。

本文仅就波形弹簧试验中遇到的具体模具失效问题进行了阐述, 提出了具体的解决办法, 解决了实际生产中的问题。然而, 为了发展磁脉冲成形技术, 必须能够适用于大批量产品生产, 必须提高模具使用寿命。

随着磁脉冲技术应用的逐步推广, 尤其在管形零件校形、板形弹簧校形等对依靠毛坯与模具发生撞击成形的加工中, 对模具的性能要求会越来越高, 对模具的使用寿命要求也会越来越高。在这种大能量脉冲磁场力的冲击条件下, 如何提高模具的性能, 提高模具使用寿命是后续研究的重要内容。

参考文献

- 1 李春峰. 高能率成形技术. 北京: 国防工业出版社, 2001
- 2 左传付, 等. 循环超细化热处理提高精冲模具寿命的研究. 金属热处理, 2008(4)
- 3 张文忠, 董占国, 陈浩, 等. 铍青铜波形弹簧磁脉冲精密校形工艺研究. 航天制造技术, 2006 (12): 19~22
- 4 Степанов В.Г., Шавров Н.А. 金属的高能脉冲加工方法. 列宁格勒: 工业出版社, 1975: 280
- 5 陈燕妮. 提高 Cr12MoV 钢冷作模具寿命的措施. 金属加工 (热加工), 2009(21)

