

模具钢 Cr12 电火花线切割多次切割 表面微观形貌研究

刘志东

(南京航空航天大学机电学院, 江苏南京 210016)

摘要: 针对典型的模具钢材料 Cr12, 研究了采用复合工作液为介质的多次切割表面质量, 并提出在最后一次切割中采用不含 OH^- 离子的煤油或压缩空气作为工作介质进行精修的方法。结果表明, 切割表面产生硬化且由于介质中不存在电解质, 以及放电后的温度升降梯度减缓, 放电通道加大, 能量密度减弱, 材料表面的高温电解微孔洞及表面微裂纹大为减少, 且表面粗糙度值明显降低, 表面形貌得到显著改善。

关键词: 电火花线切割加工; 多次切割; 复合工作液; 表面形貌

中图分类号: TG661 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-279X(2010)03-0011-04

A Study on Surface Morphology of Die Steel Cr12 with Multiple Cutting in HSWEDM

Liu Zhidong

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: This paper studies the surface quality of Cr12, a typical material of die steel in China, in the condition of multiple cutting in HSWEDM using composite cooling liquid as dielectric. This paper proposes a novel method that by using mineral oil or compressed air, which doesn't contain OH^- , as dielectric in the last finishing cutting. By this measure, the results show that hardened layer can be achieved on the cutting surface and the number of micro-hole as well as micro-crack on the surface of Cr12 is decreased observably, which can be ascribed to a non-ion dielectric involvement, a smaller temperature grade and a decreasing discharge energy density because of increasing of discharging channel. Moreover, surface roughness and surface morphology is remarkably improved.

Key words: WEDM; multi-cutting; composite cooling liquid; surface morphology

随着精密零件及模具加工技术要求的不断提高, 对电火花线切割加工表面完整性要求也随之增加。线切割表面完整性所涉及的内容主要包括切割后形成的表面变质层如“软化层”状态、表面微观状态如微裂纹、应力状态等^[1]。为使电火花线切割加工工艺接近精密磨削的水平, 低速走丝电火花线切割加工(LSWEDM)在切割表面完整性方面已进行了长期深入的研究, 提出了抗电解电源及表面整合切割等一系列应对措施^[2], 达到了“以割代磨”的使

用效果。我国高速走丝电火花线切割加工(HSWEDM)由于切割工艺指标长期处于停滞不前的局面, 虽然在本世纪随着“中走丝”机床(具有多次切割功能的高速走丝电火花线切割机床)的逐步商品化, 切割的表面粗糙度值有很大程度的降低, 但对于切割表面完整性的研究尚未见报道。

1 软化层的形成及处理

1.1 LSWEDM 软化层的处理方式

在 LSWEDM 采用去离子水进行高精度切割时, 人们便注意到电蚀(电解)问题对表面完整性的重大危害。由于去离子水中不可避免地存在一定数

收稿日期: 2009-12-08

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(BK20082566)

作者简介: 刘志东, 男, 1966年生, 教授。

数量的 OH^- 离子,且去离子水不具备防锈能力,在单向脉冲电源的作用下必然产生微弱的电解及锈蚀现象^[3]。采用正极性的线切割加工,在电场的作用下, OH^- 离子会在工件表面不断聚集,产生电蚀效应,使铁、铝、铜、锌、钛、碳化钨等材料氧化、溶解腐蚀,造成所谓的“软化层”。这种对工件表面的电蚀现象不仅发生在放电切割的表面,也会发生在远离切割的区域,并可能形成肉眼看不见的微孔存在于重凝层下,将导致切割表面质量和精度降低,机械强度受损,模具易发生早期磨损,直接影响模具冲裁间隙的保持并使模具易崩刃,缩短模具使用寿命。LSWEDM 加工面存在“软化层”这一问题在工模具制造中影响特别大。目前 LSWEDM 普遍采用交变脉冲、平均电压为零的防电解电源进行加工,使去离子水中的 OH^- 离子在电极丝与工件之间处于振荡状态,难于聚集在工件和电极丝上,防止工件材料的氧化,该措施可使多次切割后表面变质层控制在 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下,保证了模具的寿命。LSWEDM 的这种“以割代磨”作为最终加工手段的趋势越来越明显,从而使切割表面完整性得到很大改善。

1.2 HSWEDM 变质层的特点

在 HSWEDM 切割中,使用的工作介质包括乳化液、水基工作液及复合工作液,目前在多次切割中则普遍使用具有良好洗涤性能的复合工作液。复合工作液由于含有电解质而具有一定的介电性能,其典型的放电波形如图 1 所示。从微观角度而言,在放电通道内由于周围的高温条件易形成高温电解效应,在放电和高温电解效应的共同作用下,将使切割表面产生壁面光滑的针孔状电解孔洞(图 2)。

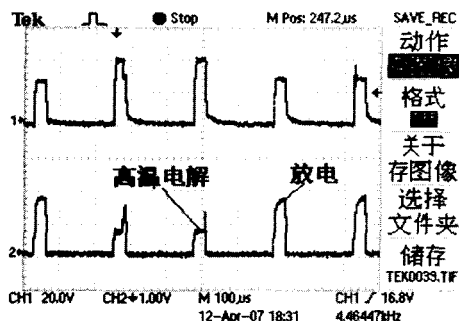


图 1 HSWEDM 复合工作液典型放电波形

既然“软化层”的产生主要是因为介质中的 OH^- 离子对工件材料表面产生的电蚀作用引起的,因此可使用不含 OH^- 离子的介质进行切割,即可不产生电解作用,实际使用中可使用煤油或压缩空气

进行切割^[4~5]。本研究采用了在最后一次精修加工中使用煤油或压缩空气进行精修的方法,以解决上述问题。

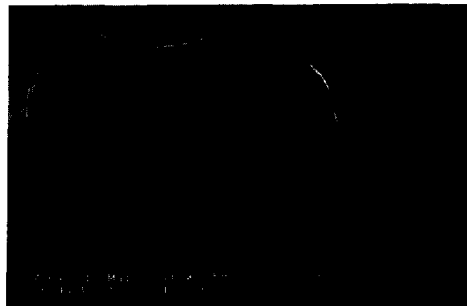


图 2 放电及高温电解效应形成的表面孔洞结构

1.3 HSWEDM 变质层处理前提

采用煤油或压缩空气进行精修的前提是,切割前切缝内基本不存在蚀除产物,以保证煤油或压缩空气可在缝隙内进行均匀冷却,并采用一定的修正量进行精修,因此前几道切割应采用洗涤性良好的复合工作液进行,以保持缝隙内获得均匀的冷却并将蚀除产物排出切缝。否则,如仍使用洗涤性较差的乳化液,即使经多次切割,放电间隙内仍会存在胶泥状粘性蚀除产物,最后在采用煤油或压缩空气精修切割时,将导致表面冷却不均匀,前面工序产生的变质层不能被均匀除去。

2 实验结果及规律分析

2.1 实验条件

采用“中走丝”机床进行,用复合乳化膏为介质进行前二次切割,然后比较第三次仍采用复合工作液与煤油或压缩空气切割后的表面差异情况。切割参数如表 1 所示。

2.2 实验结果及分析

Cr12 模具钢第三次采用复合工作液和煤油切割后表面微观形貌如图 3、图 4 所示。采用煤油切割后放电凹坑平坦且表面光亮,残留液滴较少,进一步放大两切割表面如图 5、图 6 所示。可以看出,煤油切割表面基本看不到显微裂纹,且表面电解微孔洞很少,但用复合工作液切割的表面仍存在电解微孔洞和微裂纹。测量结果表明煤油切割的表面显微硬度较高,但两种介质切割的表面硬度均高于基体的硬度。

产生上述结果的原因主要是:虽然复合工作液存在一定的 OH^- 离子,但复合工作液所具有的一

表 1 Cr12 模具钢多次切割参数表

切割次数	平均切割电流/A	运丝速度/(m·s ⁻¹)	修正量/μm	平均效率/(mm ² ·min ⁻¹)	表面粗糙度 Ra/μm	表面硬度 HV
1	6.5~6.8	10		200		
2	2.0~2.5	4	60	120		
				80(复合工作液)	1.65	710
				50(煤油)	1.06	850
3	<0.5	2	20	50(敞开式喷气)	1.36	708
				45(闭合式喷气)	1.26	727

切割条件:材料 Cr12,厚度 30 mm,基体硬度 684 HV;工作介质为佳润 3A 型(JR3A)复合乳化膏,配比 1:50;电极丝直径 0.18 mm;采用喷气方式冷却时气压为 0.5 MPa。

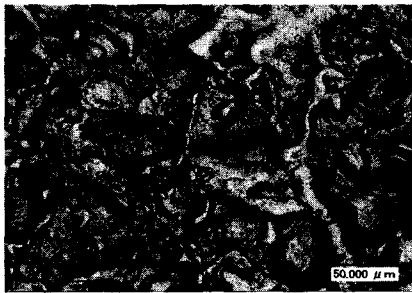


图 3 用复合工作液 3 次切割的形貌

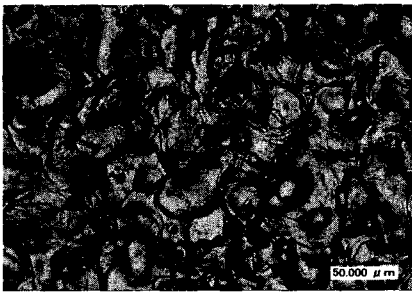


图 4 前两次用复合工作液第三次用煤油切割的形貌



图 5 用工作液切割表面微孔洞及微裂纹形貌

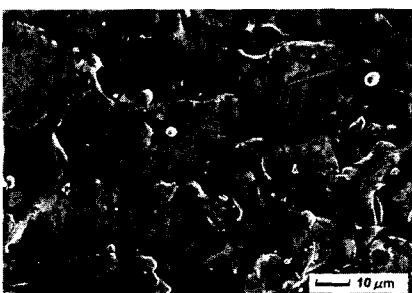


图 6 用煤油切割表面少微孔洞及无微裂纹形貌

定油性组分及添加的多种防锈组分可起到对工件表面防护和防锈作用^[6];组分内的电解质均为弱电解质,主要以分子形式存在于液体中,因此在一定程度上减缓了对工件表面的电蚀作用,但在放电所形成的高温通道及周边地区形成的高温电解作用仍存在,因此会形成高温电解微孔洞结构。由于放电产生的急剧升降温过程导致工件表面晶粒的细化,从而形成硬化表面,但同时也会产生表面微裂纹。当选用无 OH⁻ 离子的煤油为介质后,首先消除了高温电解作用,使电解微孔洞结构基本消除;其次由于采用油性介质进行冷却,切割表面因放电产生的表面升降温梯度有所减缓,从而减少了表面微裂纹产生的几率;再次,在同样放电能量条件下,由于煤油较工作液具有较低的电导率及放电通道的压缩能力,因此其形成的放电凹坑呈现出大而浅的特征,煤油在小能量加工条件下体现的良好洗涤能力,也使表面形成的残留液滴大为减少,导致切割表面粗糙度值大为降低。

采用压缩空气的最后一次切割用了两种喷气冷却方式进行^[7],分别为封闭式和开放式喷气(图 7),试验数据见表 1。其切割后表面硬度比基体略高且较均匀,说明压缩空气在切割表面起到均匀冷却作用,前工序采用的复合工作液可保证切缝内较清洁,利于最后一次修整时压缩空气顺利进入切缝,进行正常冷却并使放电后表面晶粒细化,导致切割表面硬化,加之在 10 000 ℃ 以上的高温放电情况下,空气中的氮气等气体也有可能与工件表面发生化学反应,一定程度上也会增加表面硬度。对压缩空气冷却方式而言,采用敞开或闭合方式喷气,在本试验条件下切割效果无明显差异,但敞开式冷却方式由于电极丝受到气体的扰动略微严重,因此会对切割表面粗糙度产生一定的影响。最后采用压缩空气的多次切割表面显微照片如图 8 所示,相对图 5 最后一次切割采用复合工作液而言,其切割表面粗糙度有

明显改善,表面几乎看不到电解微孔洞和显微裂纹。导致这一现象的原因与采用煤油作为冷却介质的原因类似,但从微观角度看,采用压缩空气冷却的表面放电坑更大且平坦,这应与在空气中放电,放电通道更易膨胀且放电通道内电流密度更低有关^[8]。如能进一步提高电极丝的刚性,以抗拒由于压缩空气喷入对电极丝产生的扰动,可进一步改善其表面切割粗糙度,使该种方式成为提高电火花线切割多次切割表面完整性的重要手段之一。

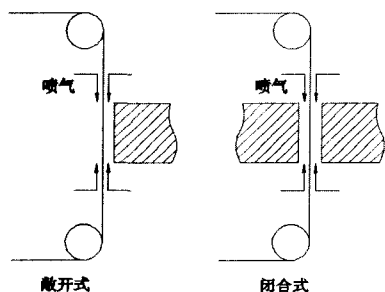


图7 用压缩空气的冷却方式示意图

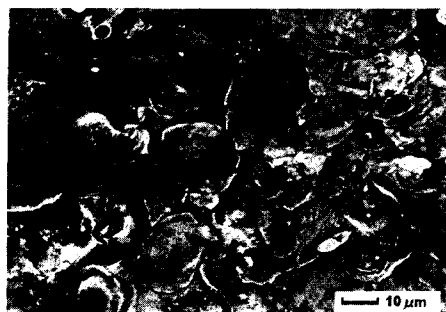


图8 用压缩空气冷却切割表面形貌

4 结论

(1)采用复合工作液对Cr12进行多次切割,最后形成的切割表面硬度高于基体。其主要原因是,复合工作液中吸附在工件表面的油膜及防锈组分将

工作液中的 OH^- 离子与工件表面隔离,切割时不易产生电蚀作用,避免了“软化层”的产生,放电后形成的表面晶粒细化导致了切割表面硬度的提高。

(2)采用复合工作液进行多次切割,在Cr12表面会产生高温电解微孔洞。其主要原因是,放电产生的高温导致电解复合作用的结果,且由于放电产生的升降温梯度较高,其切割表面易出现微裂纹。

(3)最后一次切割采用煤油或压缩空气切割后,Cr12切割表面硬度高于基体,出现微裂纹与电解微孔洞的几率大为降低,且表面粗糙度值有显著降低。其主要原因在于介质中不含 OH^- 离子,不存在放电高温所致的复合电解作用,放电通道加大,导致放电能量密度降低,且放电产生的温度升降温梯度得到一定的减缓,表面完整性得到显著改善。

参考文献:

- [1] 王安良,杨春信. 机械加工表面形貌特征的计算方法[J]. 中国机械工程,2002,13(8):714-718.
- [2] 尚庆付,申永祥. 改善线切割加工精度与表面质量的方法[J]. 模具技术,2007(5):55-57.
- [3] 韩强,狄士春,赵万生. 慢走丝线切割电解锈蚀放电状态的分析和控制[J]. 航空精密制造技术,1999,35(2):10-12.
- [4] Masanori K, Masahiro Y. Electrical discharge machining in gas [J]. Annals of the CIRP,1997,46(1):143-146.
- [5] 徐盛林. 气体中的放电加工工艺[C]//2001年中国机械工程学会年会暨第九届全国特种加工学术年会论文集. 北京:机械工业出版社,2001:97-101.
- [6] Liu Zhidong. Cutting regularity and discharge characteristics by using composite cooling liquid in wire cut electrical discharge machine with high wire traveling speed[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition),2008,21:41-45.
- [7] 李立青,赵万生,狄士春,等. 气体放电加工基础工艺试验研究[J]. 机械工程学报,2006,42(2):203-207.
- [8] 李立青,王振龙,赵万生. 气体放电加工机理分析[J]. 哈尔滨工业大学学报,2004,36(3):359-362.

(上接第10页)

参考文献:

- [1] 廖效果,刘又午. 数控技术[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,2000.
- [2] Kramer T R, Proctor F M, Messina E. The NIST RS274/NGC interpreter-version 3[M]. Intelligent Systems Division, National Institute of Standards and Technology, Technology Administration, U.S. Department of Commerce, Gaithersburg, Maryland: 2000.
- [3] Liu Yadong, Guo Xingui, Li Wei, et al. An intelligent NC program processor for CNC system of machine tool[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,2007(23):160-169.
- [4] 甘星明. 基于RS274/NGC的数控系统刀具补偿的设计与实现[D]. 沈阳:中国科学院研究生院,2006.
- [5] 牛现云. 五坐标并联机床数控加工程序解释器的设计与实现[D]. 沈阳:中国科学院研究生院,2006.
- [6] 孔振宇,马骏,迟关心,等. 线切割数控系统ISO代码解释器的研究[J]. 电加工,1997(1):21-23.
- [7] 曾国,郭烈恩,胡云堂. 利用LEX与YACC实现数控线切割的加工程序编译器[J]. 机电工程,2004,21(1):58-61.
- [8] 徐笠云,顾琳,曹琨,等. 基于Lex和Yacc的多数代码解释器研究与应用[J]. 电加工与模具,2009(3):54-56.
- [9] 郑君民,王振龙,赵万生. 基于Lex&Yacc的电火花加工译码器系统[J]. 电加工与模具,2005(6):27-29.
- [10] 彭晓南. 数控技术[M]. 北京:机械工业出版社,2001.