

文章编号: 1006 - 852X (2008) 03 - 0066 - 04

金刚石刀具钎焊工艺的研究

王 立 李嫚 贾乾忠 张弘弢 董 海
(大连理工大学机械工程学院, 大连 116023)

摘 要 本文通过 PCD 复合片与 YG8 硬质合金的高频感应钎焊试验,研究了钎焊温度和钎焊压力对 PDC 刀具钎焊接头强度及焊缝厚度的影响;并用扫描电镜观察了钎焊接头的显微结构。试验结果表明:钎焊温度越高,钎焊接头的剪切强度越大(可达 240 MPa),焊缝厚度越小(达 25 μm);钎焊温度 690 下,剪切强度先随钎焊压力的增加逐渐增大,在压力达 3.911 MPa 后开始减小,钎焊压力达到 5.786 MPa 后剪切强度基本不变;而焊缝厚度却随钎焊压力的增加而减小,最终趋于定值 20 μm 。

关键词 PDC 刀具;钎焊温度;压力;剪切强度;焊缝厚度

中图分类号 TQ164; TG74

文献标识码 A

Study on the hi- frequency induction brazing technology of diamond cutting tools

Wang Li LiMan Jia Qianzhong Zhang Hongtao Dong Hai

(School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

Abstract In order to study the influence of brazing temperature and brazing pressure on shearing strength and joint width of brazed diamond tool, hi- frequency induction brazing experiments with PCD compact and cemented carbide YG8 were carried out. The microstructures of brazing joints were observed by means of scanning electron microscope (SEM). Based on the experimental results, it is found that the shearing strength can reach 240 MPa with the increase of brazing temperature, but the joint width diminished to 25 μm on the other hand. At brazing temperature of 690 , the shearing strength mounted up first with the brazing pressure, decreased when it reached 3.911 MPa and became steady after reaching 5.786 MPa. However, the joint width decreases all along with the increase of brazing pressure and stayed around 20 μm at last.

Keywords PDC cutting tools; brazing temperature; brazing pressure; shearing strength; joint width

0 引言

聚晶金刚石刀具通常采用焊接工艺将 PCD 复合片 (Polycrystalline Diamond Compact) 固结在钢或硬质合金刀体上,这是聚晶金刚石刀具制作工艺中十分关键的环节。由于钎料对 PCD 复合片的润湿性差,且其热膨胀系数与刀体的热膨胀系数差异大,易产生焊接应力,不易保证焊接质量;同时由于 PCD 复合片层的

耐热温度一般低于 720 ,焊接温度过高,复合片会产生热损伤,将导致 PDC 刀具使用寿命和性能降低^[1~3]。因此,研究 PCD 复合片的钎焊工艺参数,制定正确的焊接工艺对提高 PDC 刀具的质量具有重要的意义。

聚晶金刚石刀具的焊接多采用钎焊方式,而高频感应钎焊 (Hi- frequency Induction Brazing) 凭借其自身的优点使得它在 PDC 刀具的焊接中得到广泛应

用^[4]。目前,国内对 PCD 复合片高频感应钎焊技术的探索和研究不够深入,而且对影响刀具性能的高频感应钎焊工艺及参数的研究鲜见于文献。本文研究了钎焊温度和钎焊压力对 PDC 刀具钎焊接头抗剪强度及焊缝厚度的影响,并采用扫描电镜 (SEM) 观察了钎焊接头显微结构特征。通过大量试验,本文提出了 PCD 复合片高频感应钎焊合理的工艺参数。

1 试验材料及试验方法

试验母材选用 PCD 复合片和 YG8 硬质合金。PCD 复合片的尺寸为 (4 mm × 2 mm × 2 mm), YG8 硬质合金刀体的刀槽尺寸为 (4 mm × 4 mm × 2 mm)。选用厚度为 0.1 mm 的银铜钎料,将其剪制成与复合片相同的形状大小 (4 mm × 2 mm),其化学成分列于表 1;钎剂选用 QJ102,将其熬制成糊状后使用,其化学成分及活性温度见表 2。

表 1 钎料的化学成分及熔化温度

Tab 1 Chemical compositions and melting temperature of filler alloy

钎料牌号	化学成分 (wt%)					熔化温度	
	Ag	Cu	Zn	Ni	Mn		
I#	54	14	22	3.5	6.5	640	~690

表 2 钎剂的化学成分和活性温度

Tab 2 Chemical composition and active temperature of soldering flux

钎剂牌号	化学成分 (wt%)			活性温度	
	氯化钾	氟硼酸钾	硼酐		
QJ102	42	23	35	550	~850

首先,对 PCD 复合片和刀槽待焊接表面进行去氧化膜及油污处理;然后将糊状钎剂涂敷在刀体刀槽内,依次放置钎料和 PCD 复合片,并在钎料和 PCD 复合片之间再涂一层钎剂;最后在国产 GP15CW6 型高频感应加热设备 (自制加热感应圈) 上进行钎焊,并用“感应加热模糊控制及同步数据采集系统^[5]”进行加热温度控制。感应钎焊工艺参数为:加热温度 $T_p = 640 \sim 710$,保温时间 $t = 16$ s,压力 $p = 0 \sim 10$ MPa。焊后用体式显微镜测量焊缝厚度,用 JEOL JSM6360LV 扫描电镜观察焊缝微观结构,然后在自制的剪切强度测定装置上测试剪切强度。

2 试验分析及结果

钎焊过程中 PCD 复合片和 YG8 硬质合金之间会产生一系列物理、化学、冶金及力学等方面的变化,直接或间接地影响到钎焊过程及接头质量;而钎焊工艺的制定直接影响接头的界面结构及应力分布,从而影响接头的使用性能。因而选择合理的工艺参数是获得优良钎焊接头的关键。本文对 PCD 复合片高频感应钎焊的钎焊温度和钎焊压力进行了细致的研究,对不同钎焊工艺参数下,获得试件的焊缝厚度及抗剪强度进行了测定。

2.1 钎焊温度的影响

图 1 所示为钎焊压力 7.661 MPa 时,钎焊温度与焊缝剪切强度之间的关系。由图 1 可见,随着钎焊温度的升高,剪切强度增大。这与一般的钎焊规律相同,这是因为随着钎焊温度的升高,钎料对硬质合金的润湿角逐渐减小,润湿性能提高;同时增强了钎料金属的流动性,熔融钎料能充分填满母材表面的凹坑,从而增大钎焊界面的有效接触面积;此外,焊接温度越高,原子越容易激活,扩散系数增大,界面间原子相互扩散越充分,扩散层厚度增大,使得界面的结合强度提高。由

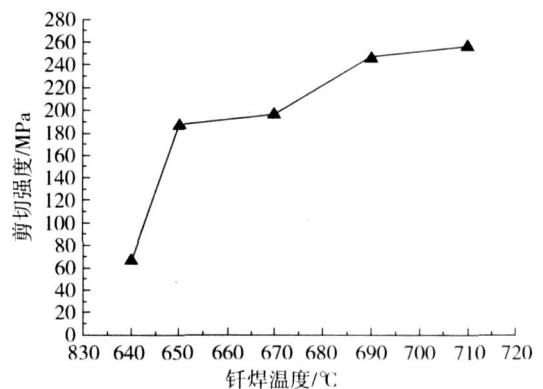


图 1 钎焊温度与剪切强度的关系

Fig 1 Effect of brazing temperature on shearing strength

图 1 可见,当钎焊温度达到 670 以后,剪切强度增长幅度较大,690 附近剪切强度趋于稳定。这是由于钎料的熔化温度区间较大,温度较低时钎料的熔化不充分,流动性差,易产生夹渣、造成假焊,导致钎焊接头的强度较低。当钎焊温度超过钎料熔点温度 30 ~ 50 以上时,液态钎料的表面张力逐渐降低,改善了润湿和填缝条件,钎料与母材能充分相互作用,有利于提高接头强度;温度越高,钎料中金属原子扩散所具有

的能量越高,从而界面间原子相互扩散越充分,接头结合强度越高。然而,当钎焊温度达到 690 后,钎料的氧化加剧,造成夹渣缺陷,而且合金组分急剧蒸发引发气孔,因此钎焊焊接头结合强度的增加随焊接温度的升高不明显。

由试验结果可知,焊缝厚度随着温度的升高而减小,670 以后焊缝厚度相对稳定(25 μm 左右),如图 2 所示。这是由于温度较低时,钎料的低熔点部分先熔化并沿焊缝流走,而留下未融的钎料瘤,未融钎料在

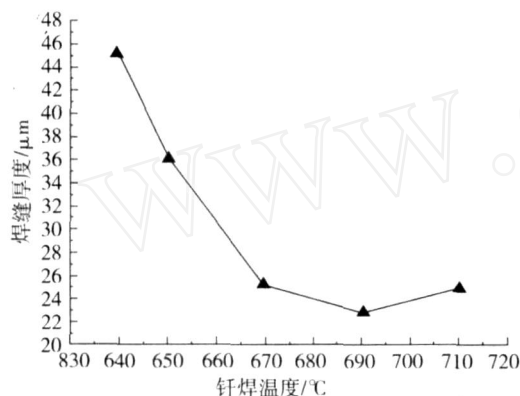


图 2 钎焊温度与焊缝厚度的关系

Fig 2 Effect of brazing temperature on brazing joint width

一定的压力下,只发生微弱的塑性变形,因此形成的焊缝较厚;随着温度的升高,钎料充分熔化,流动性增强,填缝均匀,此时钎缝中熔融的钎料受力状况差别不大,故 670 以后焊缝厚度波动幅度小。

图 3 是钎焊温度分别为 640、670 和 690 时 PDC 刀具焊缝区的显微照片。由图 3 可见,640 时(图 3a)钎料没有充分熔化,钎焊接头中未焊透,缺陷明显;温度达到 670 时(图 3b),钎料填缝均匀,与母材接触紧密,并与 YG8 硬质合金在界面形成一个 2~4 μm 厚的过渡带;温度达到 690 后(图 3c),Zn、Cd 元素剧烈蒸发,同时由于界面处元素的偏析,脆性化合物数量增多,使接头强度降低。

综上所述,在选定钎料的条件下,为获得钎焊强度较大的接头,可采用较高的钎焊温度,但并非越高越好。因为随着钎焊温度的升高,钎料元素的蒸发流失、脆性相的产生和聚集,将上升为影响剪切强度的主要因素。通过大量试验研究发现,PCD 复合片的钎焊温度最好控制在 690 左右。

2.2 钎焊压力的影响

钎焊时施加一定的压力,可以增强钎料在钎缝内

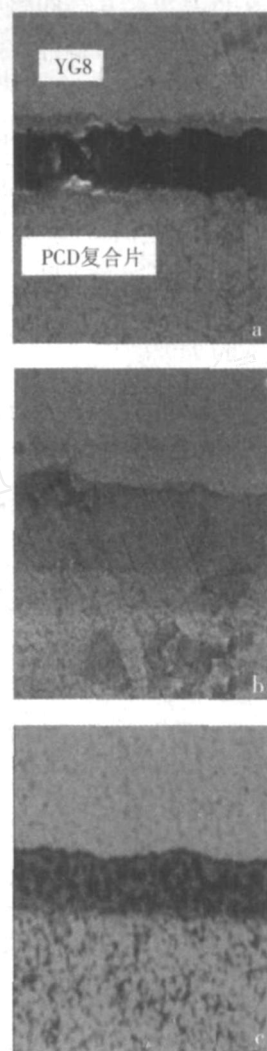


图 3 不同钎焊温度下的 PDC 刀具高频感应钎焊接头的微观形貌

Fig 3 Microstructure in PCD/YG8 joint with different temperature

的毛细填缝作用,而且还可以挤出多余的钎料,获得厚薄均匀的钎焊接头。钎焊温度为 690 时,本文对钎焊压力与剪切强度及焊缝厚度之间的关系进行定量分析,如图 4、图 5 所示。

由图 4 可知,钎焊压力达到 3.911 MPa 之前,随着钎焊压力的增大,剪切强度逐渐增大。由于 PCD 复合片和 YG8 硬质合金是粉末烧结体,其结构中不可避免地存在大量孔隙,微观表面有许多凹坑。压力的增大,使得钎料与母材紧密接触,增大了钎料的铺展面积,促进了钎料组元及母材原子穿越界面相互扩散、迁移,有利于钎料和母材在钎焊界面实现冶金结合,因而接头剪切强度随之增大。

当压力达到某值时(3.911 MPa 左右),剪切强度

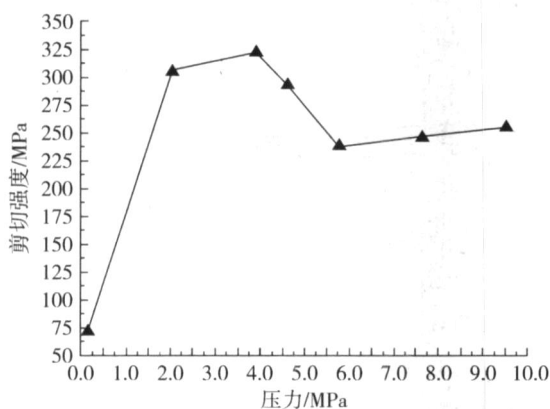


图 4 钎焊压力与剪切强度的关系

Fig. 4 Effect of brazing pressure on shearing strength

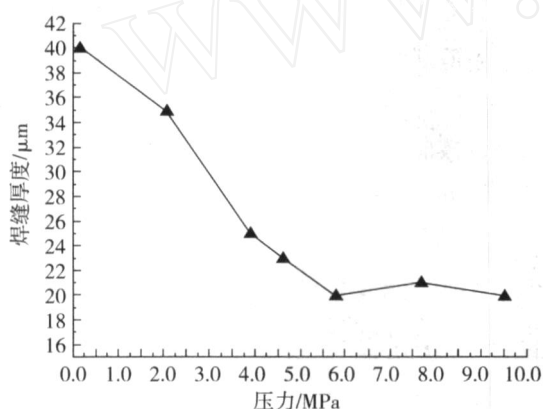


图 5 钎焊压力与焊缝厚度的关系

Fig. 5 Effect of brazing pressure on brazing joint width

开始降低。因为当压力增大到更高时,使得结合面实现紧密接触,所需的时间大大缩短,即延长了钎料和母材的实际扩散时间,故母材中以溶解的形式转移到焊缝中的碳的相对量必然升高,增大了界面碳原子浓度梯度,容易产生脆性相。作者认为可能是这一过程抵消了冶金结合所起的接头强化作用,因此剪切强度有所降低。

由图 4 可见,钎焊接头的剪切强度于压力达到 5.786 MPa 时趋于平稳。这是由于当压力增大到一定程度后,钎缝中熔融钎料的物理、化学、冶金及力学等方面的性能趋于稳定,钎缝中钎料的数量基本不变,剪切强度的波动亦不大。

压力的变化必然会引起焊缝厚度的变化,由图 5 可见,随着施加压力的增加,焊缝厚度将减小。施加压力小于 5.786 MPa 时,焊缝厚度减小速度较快;之后,焊缝厚度在 20 μm 左右波动。随着压力增加,钎缝中的液态钎料不断挤出,焊缝厚度变薄;当压力增大到一

定程度后,焊缝厚度波动很小,这可以用平行板间油膜受力模型来解释^[6],由于熔融钎料的动力粘度产生的静压力与外部压力基本平衡,钎缝中的钎料数量保持不变,因而焊缝厚度趋于定值。只有压力足够大到使动力粘度发生显著减小时,焊缝厚度才可能进一步减小。

综上所述,一定条件下,压力是决定 PCD 复合片高频感应钎焊接头强度和焊缝厚度不容忽视的工艺参数。增加压力会使接头强度有所提高,但是压力过高会使接头结合面脆性相增厚,还可能导致焊缝出现微裂纹,影响刀具钎焊接头的剪切强度。

3 结论

(1) 钎焊温度越高,钎焊接头的剪切强度越大,焊缝厚度越小。为了获得综合性能较好的钎焊接头,PCD 复合片的钎焊温度应控制在 690 $^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 随着钎焊压力的增大,剪切强度先增大后减小,当达到一定值后剪切强度基本不变;而焊缝厚度却随着压力的增大而减小,最终趋于定值。690 $^{\circ}\text{C}$ 钎焊温度下,钎焊压力为 2 ~ 4 MPa 时可获得剪切强度较高的钎焊接头。

参考文献

- [1] Bex P A, Shafto G R. The influence of temperature and heating time on PCD performance[J]. Industrial Diamond Review, 1984(3): 128 - 132
- [2] 董海, 张弘强, 李嫚, 等. 聚晶金刚石复合片钎焊基础研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2005(4): 25 - 28
- [3] 王适. 金刚石热稳定性及其刀具受热损伤的研究[D]. 大连: 大连理工大学机械工程学院, 2003: 93 - 108
- [4] 刘华, 寇亮. PCD 刀具在非金属材料加工中的应用[J]. 工具技术, 2006(9): 85 - 86
- [5] 王适, 张弘强, 于宏图, 等. PCD 高频感应钎焊模糊控制及同步数据采集系统[J]. 中国机械工程, 2003, 14(1): 53 - 55
- [6] 王忠平, 白向钰, 汪维斌, 等. 镍基钎料钎焊不锈钢的加压钎焊工艺[J]. 航空工艺技术, 1994(3): 33 ~ 34

作者简介

王立,男,1984年出生,大连理工大学机械工程学院硕士研究生,主要研究方向为超硬材料刀具。

E-mail: wanley2006@126.com

李嫚,女,1964年生,大连理工大学机械工程学院副教授。

贾乾忠,男,1982年生,大连理工大学机械工程学院博士研究生。

张弘强,男,1952年生,大连理工大学机械工程学院教授。

董海,男,1971年生,大连理工大学机械工程学院副教授。

收稿日期: 2008 - 01 - 28

(编辑:张慧)