

大间隙钎焊工艺因素对接头成形与组织特性的影响

北京航空材料研究所 卢寿平 孙计生 刘效方

本文研究了大间隙钎焊工艺因素对接头成形与组织的影响。研究表明,采用适当比例的金属粉的预置方式,可以获得稳定的优质接头。同时探讨了大间隙钎料的形成机理。

关键词: 钎焊, 高温合金

Effects of Technological Factors of Wide Clearance Brazing on Formation and Microstructure of Joints

Lu Souping Sun Jisheng Liu Xiaofang
(Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

The effects of technological factors of wide clearance brazing on formation and microstructure of joints are investigated in this paper. It is found that the joints of stable high quality can be obtained by the metal fines preset type with suitable proportion. The formation mechanism of wide clearance brazing is discussed.

Keywords: brazing, superalloy

一、前言

在生产中常常因某些不可克服的因素,造成钎焊间隙不均匀或过大(可达0.8mm)。对0.4mm~0.8mm的间隙,用通常依毛细作用的钎焊工艺,是达不到质量要求的,甚至不会形成钎缝。这时必须采用大间隙钎焊工艺。

大间隙钎焊工艺是指接头间隙在丧失毛细作用情况下的钎焊。其原理是在钎料中填加一定的高熔点金属粉,在钎焊温度下金属粉不熔化,起骨架作用,造成毛细现象,将熔化的钎料吸入,形成钎缝。大间隙钎焊工艺早在60年代初即已提出,并有一些应用实例。但针对研究的材料的大间隙钎焊还未见到,因此我们开展了该项试验研究。

二、试验条件及方法

1. 试验材料

我们对DZ22和GH3044高温合金进行钎焊研究。DZ22是用 γ' 相强化、固溶强化、晶界和枝晶间强化的复杂合金化的镍基高温合金。由于合金元素含量很高,形成镍基过饱和固溶体,并使钎料中的合金元素不易扩散。合金中含与氧亲和力很强的表面活化元素Hf形成的 HfO_2 很稳定,而且比重大,使钎料不润湿母材。

钎料选用Ni-Cr-W-B系的621-17号钎料。该钎料的工艺性和高温强度均为优良。

金属粉选用纯金属粉和合金粉,前者粒度为37 μ m

和90 μ m两种,后者为50 μ m。

2. 试验设备

试验用设备为真空高温扩散焊炉,其最高温度为1250 $^{\circ}$ C,真空度为 6×10^{-3} Pa。

清洗设备为CSF-3A型超声波清洗机。

测试设备为MIM-8金相显微镜、M-400显微硬度计和ACP-14数字测量显微镜、JXA-3A电子探针分析仪。

3. 试验方法

填入方式试验采用两种:一种是通常使用的混合装入方式,它的好处是将金属粉与钎料按比例混合,其比例可控制。另一种是我们设计的预置方式。它是先将金属粉填满钎缝,再将钎料装于钎缝口处,达到钎焊温度时,钎料熔化并沿金属粉的毛细间隙流入钎缝,形成良好的接头。用这两种方式对工艺因素的影响进行试验研究。

试验的焊接热循环设计了两种,如图1。

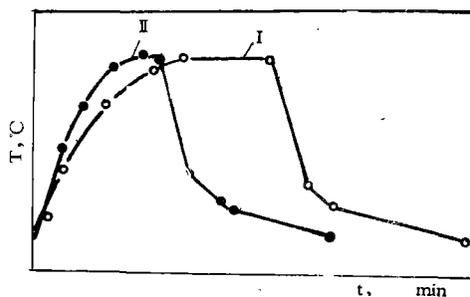


图1 焊接热循环曲线

三、试验结果及分析

1. 工艺条件对钎缝成形的影响

(1) 加入不同粒度和比例纯金属粉的影响

用粒度为 $37\mu\text{m}$ 和 $90\mu\text{m}$ 、比例为 20%、40%、60%、80% 的纯金属粉与 17 号钎料混合，填入接头间隙，经两种焊接热循环后，检查焊缝成形质量，结果见表 1。由表

可知，对 0.2mm 的间隙无论用大粒度或小粒度的金属粉，其比例 $<60\%$ 均可获得较好的钎缝，说明该间隙仍有毛细作用。对大于 0.2mm 的间隙，金属粉粒度则是钎缝成形好坏的主要影响因素； $37\mu\text{m}$ 的粒度对 0.4mm~0.8mm 的间隙几乎不能成形；而 $90\mu\text{m}$ 的粒度则基本都能适应。纯金属粉的加入量应随间隙的扩大而增加才能形成良好的钎缝。如 0.6mm~0.8mm 的间隙，加入量应

表 1 不同粒度和比例的纯金属粉的影响

间隙, mm	粒度, μm		37				90			
	比例, %		20	40	60	80	20	40	60	80
第 I 焊接热循环										
0.2			100%	$>80\%$	$>80\%$		100%	$>80\%$		
0.4			$>80\%$	$\sim 50\%$	$\sim 50\%$		100%	$>80\%$		
0.6			$\sim 50\%$	$\sim 50\%$	$<10\%$	$<10\%$		$>80\%$	100%	100%
0.8			$\sim 50\%$	$\sim 50\%$	$<10\%$	$<10\%$		$>80\%$	100%	100%
第 II 焊接热循环										
0.2			100%	$>80\%$			100%	100%	$>80\%$	
0.4			$\sim 50\%$	$\sim 50\%$	$\sim 50\%$		$>80\%$	$>80\%$		
0.6				$\sim 50\%$	$\sim 50\%$	$\sim 50\%$		$>80\%$	100%	$<10\%$
0.8					$\sim 50\%$	$\sim 50\%$			100%	100%

注：试验结果为钎着率。

$>60\%$ ；两种焊接热循环对钎缝成形无明显影响。

(2) 不同金属粉的试验结果

除上述纯金属粉外，还用合金粉填入进行了试验。结果表明：加入合金粉的钎缝成形略好于纯金属粉，这是与合金粉体积收缩小有关。

(3) 不同填入方式的影响

表 1 已列出混合加入方式的试验结果，表 2 列出预置方式的试验结果。由表 2 可知，大粒度的纯金属粉和合金粉采用预置方式都能获得满意的焊缝。用 $37\mu\text{m}$ 纯金属粉也可得到较好的结果（优于混合方式）。这比较充分地说明，预置方式要比混合加入方式容易获得优良的焊缝，预置方式比较先进。显然它也存在缺点：金属粉与钎料的比例不能精确控制。

表 2 预置方式的试验结果

材料 粒度, μm	纯金属粉		合金粉
	37	90	
间隙, mm			
0.4	$>80\%$	100%	100%
0.6	100%	100%	100%
0.8	100%	100%	100%

注：试验结果为钎着率。

综上所述，对大间隙钎焊，最好选用大粒度的纯金属粉或合金粉，随着间隙加大，金属粉比例在 20%~60% 之间加大，并采用预置方式可获得满意的结果。

2. 大间隙钎焊的组织特点

(1) 不同金属粉比例的组织特点

为研究金属粉比例对钎缝组织的影响，将它按 0%、20%、40%、60% 的比例与钎料混合后装入接头间隙中，经 II 焊接热循环后进行金相分析。结果表明，不加金属粉，钎缝中存在较多的硼化物相，而且硼向母材扩散，形成针状硼化物相。这种组织的接头脆性较大。当金属粉比例小时，金属粉与钎料互相溶解和扩散，形成较均匀的固溶体和小质点的金属化合物（图 2）。原来大块的金属粉已不存在。当比例增大（40%~60%）后，钎缝中有“游离”的金属粉粒存在，在其表面有与钎料互溶的明显痕迹，在金属粉粒大空隙之间存在硼化物相聚集（图 3、4），显然这是不希望出现的组织。也说明金属粉与钎料的混和均匀程度是控制硼化物聚集的主要因素。

(2) 不同接头间隙的组织特点

对装配间隙为 0.2mm、0.4mm、0.6mm、0.8mm 的接头进行组织分析。

对 0.2mm 间隙，在钎料中加入金属粉和不加入金属粉均可获得良好的钎缝，但组织结构上有较大区别：在加入 20% 金属粉的钎缝中，形成连续的固溶体，使硼化物呈分散状分布，经扩散处理后，大块硼化物相消失，钎缝与母材均有细针状硼化物相。

在 0.4mm~0.8mm 间隙的接头中，易产生偏析，在靠母材的钎缝边缘出现富镍的固溶体条带，钎缝中部为固溶体+硼化物。当金属粉比例加大后出现“游离”态

金属固溶体（见图 5 和 6）。

(3) 钎缝中相组成的分析

进一步分析了钎缝中相的组成（表 3）。由表中数据可知，靠近母材的白带状固溶体和钎缝中部的白块固溶体均为镍基中溶入 Cr 和 W、Si 的固溶体。它随金属粉加入量而变化，随扩散时间的延长，W、Cr 元素含量略有增加。钎缝中黑白相间的相为 Ni(W) 或含 B 的金属化合物。表 4 列出有关相的显微硬度。显然，黑白相间的相硬度很高，是 Ni-Cr-W-B 的金属化合物。在近缝区有硼化物相，其硬度也较高。

四、问题讨论

1. 钎料加入方式

资料认为，大间隙钎焊不同于毛细钎焊，必须把钎料同金属粉装入接头内并捣实。若把钎料预先放在钎缝口处，则不能填满间隙，不能形成钎缝。从我们的研究看，这种填入方式存在金属粉与钎料混合不均匀，产生硼化物相聚集的问题，也存在钎缝填不满的问题（不是用捣实可以解决的），因此我们提出预置方式。该方法可以克服前一种的缺点，可以保证获得稳定的钎缝质量，推荐采用预置方式。

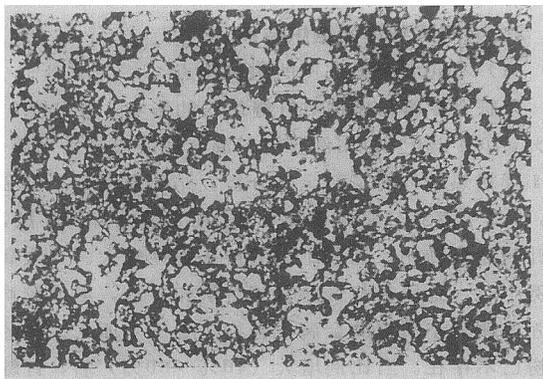


图 2 20%金属粉（粒度 37 μ m）+17 号钎料的钎缝组织 200 \times

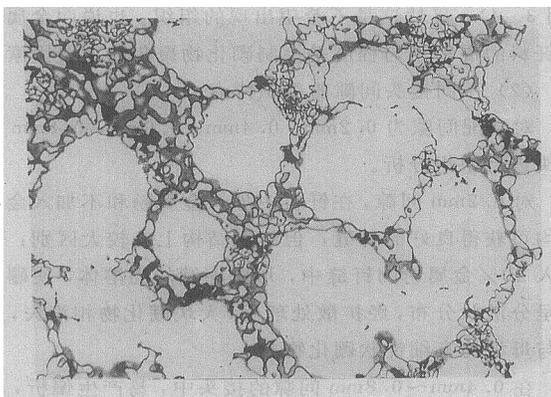


图 3 40%金属粉（37 μ m）+17 号的钎缝组织 100 \times

2. 关于大间隙钎焊形成机理的看法

资料对大间隙钎焊的描述为“钎料用手工方式预先安置并分布在接头连接表面之间，其数量应足以填满接头，并且在钎焊时，钎料中的某些元素产生原子扩散”。这里强调钎料置于连接表面和接头形成靠原子扩散的机理。

我们提出的预置方式：大间隙钎焊是金属粉或合金粉预置入钎焊间隙中，在钎焊温度下它并不熔化，它用来构成毛细管。因此位于钎缝口处的熔化钎料，可以自

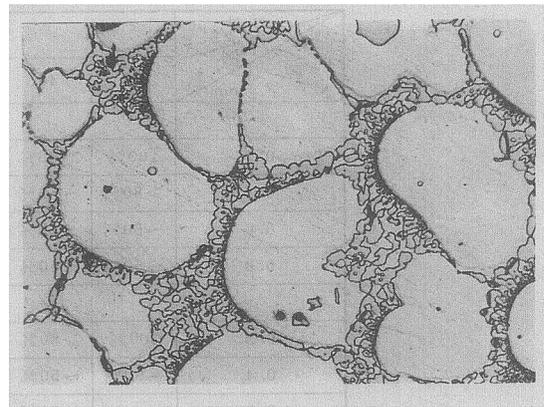


图 4 60%金属粉（37 μ m）+17 号钎料的钎缝组织 200 \times

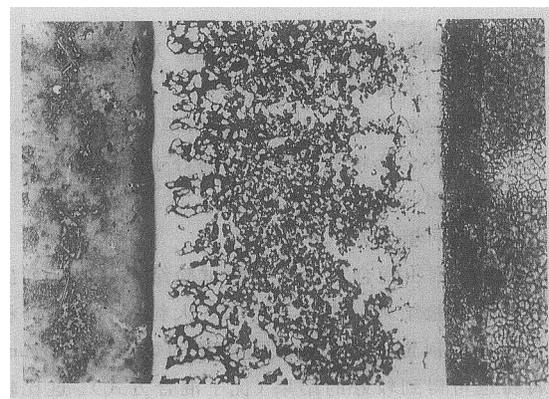


图 5 40%金属粉+钎料、间隙 0.4mm 的钎缝组织 100 \times

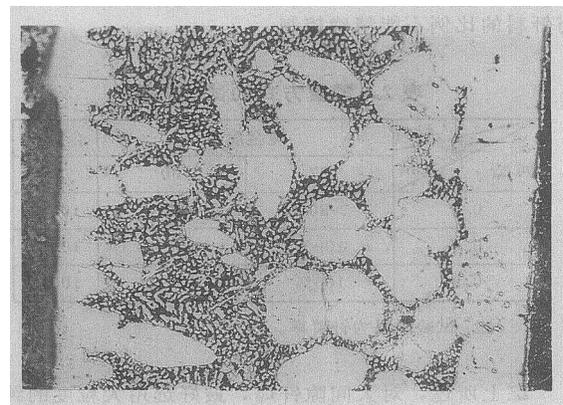


图 6 40%金属粉+钎料、间隙 0.6mm 的钎缝组织 200 \times

表 3 钎缝的相组成

1 μ m 20 (S)

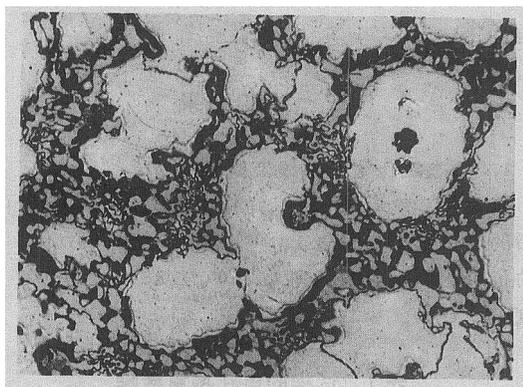
金属粉加入量, %	相形态	组成元素, wt%						
		Si	Cr	Fe	Ni	W	Co	元素总量
20	GH3044 近缝区	0.197	24.56	2.25	51.29	16.05	0.035	94.3849
	带状白相	0.88	8.93	3.37	71.05	8.32	0.364	93.2715
	黑白相	0.353	4.49	1.14	56.89	29.29	0.602	92.168
	白块相	2.13	9.77	3.81	78.01	5.87	0.932	100.53
	针状硼化物	0	7.92	0.097	52.77	15.64	10.35	86.734
60	GH3044 近缝区	0	23.12	2.20	45.58	14.45	0	90.3481
	带状白相	0.158	6.49	0.33	70.35	12.5	7.66	97.484
	黑白相	0.3198	2.342	0.65	92.73	0.58	0.094	96.712
	白块相	0	3.459	1.244	90.29	2.74	0.107	97.839

表 4 钎缝中相的硬度

(50g)

条件*	GH3044 母材	GH3044 近缝区	带状 固溶体	白块状 固溶体	黑色 化合物	白色 化合物	DZ22 近缝区	针状 硼化物
20%金属粉	358	554	315	371	857	405	409	490
40%金属粉	—	576	247	294	933	397	480	—
60%金属粉	—	—	—	292	—	394	—	—

注: 试样按第 I 焊接热循环处理。

图 7 预置方式钎焊的组织 200 \times

动吸入钎缝中, 形成良好接头。钎料与金属粉在钎焊过程中发生扩散和溶解 (图 7、表 3), 产生冶金反应而形成整体的钎缝。它的原理在于金属粉的毛细作用 (对粒度有一定要求) 和金属粉与钎料的相互作用。从图 7 可以看出金属粉表面已溶解, 而且纯金属粉中已固溶入 Cr、Si、W 等元素, 也会有 B 元素扩散入内, 因此该种钎焊应包括钎料向金属粉毛细管吸入的过程, 也包括金属粉与钎料相互扩散与溶解的过程。这与资料介绍的机理有所不同。由该原理出发, 金属粉的作用不单纯起毛细作用, 而且是钎缝中必不可少的组成, 它将使钎料中 B、Si 元素稀释起抑制硼化物相的作用。

五、结 论

1. 大间隙钎焊推荐采用预置方式加入钎料, 它比混合方式容易获得满意的钎焊质量。

材料工程

2. 大间隙钎焊时应预置入一定粒度一定比例的金属粉或合金粉。这不仅有利于钎缝填满和成形, 而且有利于钎缝组织的改善。

3. 大间隙钎缝中, 出现“游离”块状金属固溶体是允许的, 它有抑制硼化物聚集的作用, 关于它的大小及数量对接头性能的影响有待进一步研究。

参考文献 (略)

* * * * *

高温聚氯乙烯

美国 BFGoodrich 公司研制的高温聚氯乙烯 HTX6220 具有良好的高温性能。用这种材料制成的零件在 7h 的热烤试验中经受了 78 $^{\circ}$ C 的高温而不发生变形, 而现有最好的聚氯乙烯 HTX6210 只能承受 70 $^{\circ}$ C, 普通的刚性聚氯乙烯, 例如 CIM87371, 在 62 $^{\circ}$ C 便发生变形。这种高温聚氯乙烯可望与阻燃材料 ABS、改性的聚苯氧以及聚碳酸酯/ABS 混合物相匹敌, 这三种材料的抗热冲击性能分别为 78、80、90 $^{\circ}$ C。HTX6220 具有刚性乙烯基聚合物的力学性能, 例如, 其拉伸强度为 51.7MPa、弯曲模量为 2516MPa, 但其悬臂梁式冲击强度只有 3.0 英尺·磅/英寸 (HTX6210 为 10.0 英尺·磅/英寸)。由于它与阻燃材料 ABS 的收缩性相似, 故可采用为 ABS 设计的模型来制造。该材料可用于工作时承受高温的办公室自动化设备, 例如用于生产高清晰度监控器和高速印刷机壳体以及复印机零件。

(东华)