

YG30 硬质合金与 45 钢 TIG 焊接头组织中 η 相

赵秀娟¹, 杨德新¹, 田头孝介², 高泽幸治^{2*}

(1. 大连铁道学院 材料科学与工程系, 大连 116028;

2. 日本室兰工业大学, 日本室兰 050-8585)

摘 要: 选用 Ni-Fe 合金和纯 Ni 焊丝对 YG30 硬质合金与 45 钢进行了 TIG 焊试验。用扫描电镜、WDX 成份分析等对焊接接头中 η 相的形貌、分布、化学成份进行了分析。结果得出, η 相分布于 YG30/焊缝界面区域, 并在界面处聚集长大。当 Fe 浓度在 YG30 中达约 40% (摩尔分数) 时, WC 分解成 η 相, 此时 η 相中 Fe 浓度达 23% (摩尔分数) 左右, 属富 W 和 Fe 的 M_6C 型复合碳化物。

关键词: η 相; TIG 焊; 硬质合金; 焊接接头组织

中图分类号: TG406 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2003)03-35-04



赵秀娟

0 序 言

硬质合金由于其优异的性能被广泛应用于机械加工、地质勘探、矿山开采等工业领域。硬质合金与钢连接已成为解决硬质合金尺寸有限、形状简单、成本高、韧性差等不足的主要方法。但目前通常采用的钎焊结合强度和使用温度低^[1]、扩散焊存在生产设备要求高、硬质合金与钢界面易形成有害的 η 相, 使结合部位抗弯强度低等问题^[1,2]。所谓 η 相是指 M_6C 型复合碳化物^[1~3], 其中 M 包含 W、Fe、Co、Ni 等元素。其形成的主要原因是硬质合金与钢采用扩散焊连接时, 硬质合金中的碳向钢侧扩散, 使硬质合金中含碳量降低, 形成 η 相。与扩散焊相比, 钨极惰性气体保护焊 (TIG 焊) 具有适宜于各种位置施焊、速度快、易于实现自动化、成本低等优点, 并且由于有一定宽度的焊缝, 在一定程度上阻止硬质合金中的碳向钢侧扩散, 可抑制 η 相的形成。但到目前为止, 有关用 TIG 焊连接 WC-Co 硬质合金与钢的研究还未见报道。文中分析了用 Ni-Fe 合金和纯 Ni 二种焊丝 TIG 焊接头中 η 相的形貌、分布和化学成分等, 对 η 相的形成机理进行了探讨, 为硬质合金与钢 TIG 焊连接技术提供理论和试验依据。

45 钢, 焊丝直径为 1.2 mm 的 Ni-Fe、纯 Ni, 其主要化学成分见表 1。

表 1 试验材料的主要化学成份 (质量分数, %)

Table 1 Chemical main composition of experimental materials

Materials	C	W (Ni)	Co (Al Ti)	Si	Mn	Fe
YG30	4.29	65.71	30.00			
45	0.48			0.19	0.69	Balance
Ni-Fe wire	0.01	(57.02)	(2.00)	0.40	2.79	37.77

把圆盘状 (直径 32 mm, 厚 6 mm) 的 YG30 和 45 钢分别切成半园盘状, 沿直径开 30° 坡口, 每一种焊丝分别进行单层和四层 TIG 焊 (图 1 为焊接接头形成示意图)。TIG 焊工艺参数为: 焊接电流 90 A; 频率 80 Hz; 焊接速度 40 mm/min。焊后沿试样中心纵向剖开, 制备金相试样, 用村上试剂^[4]浸蚀组织。 η 相形貌用 PhilipsXL30 和 JXA-8900RC 扫描电镜进行了分析, 并在抛光状态下利用波谱 (WDX) 分析 η 相成分和 YG30/焊缝界面的元素分布。

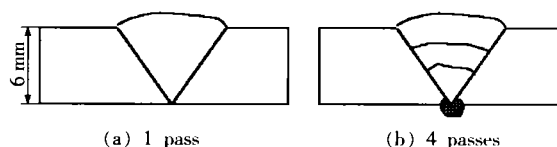


图 1 焊接接头示意图

Fig. 1 Illustration of welded joints

1 试验材料与方法

试验的被焊材料为 YG30 硬质合金和工业用

2 试验结果与分析

2.1 焊接接头的组织

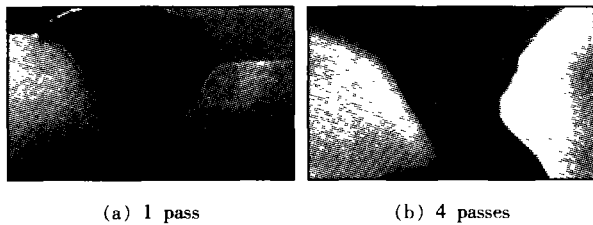
用光镜对 YG30/焊缝一侧焊接接头组织进行

收稿日期: 2002-11-22

基金项目: 大连市计划项目资助 (2001145)

* 参加本研究工作的还有: 山森英明、鸭田秀一等

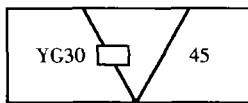
了观察, YG30/45 钢 TIG 焊的所有接头焊接界面接合良好, 没有焊接缺陷。当采用纯 Ni 焊丝单层焊和四层焊时, 焊接接头 YG30 热影响区中均没有发现 η 相, 采用 Ni - Fe 合金焊丝单层焊和四层焊时, YG30 焊接接头热影响区中有 η 相(η 相呈黑色)形成, 焊接接头全貌如图 2 所示, 焊接接头纵向坡口中部组织如图 3 所示。



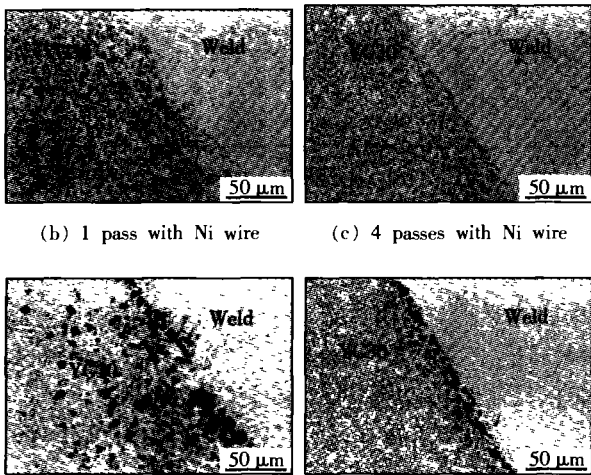
(a) 1 pass (b) 4 passes

图 2 焊接接头全貌图

Fig. 2 Macro images of welded joints



(a) Positions of samples



(b) 1 pass with Ni wire (c) 4 passes with Ni wire

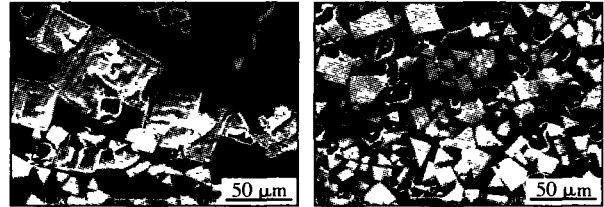
(d) 1 pass with Ni-Fe wire (e) 4 passes with Ni-Fe wire

图 3 焊接接头组织

Fig. 3 Microstructures of welded joints

对整个焊缝的金相观察表明, Ni - Fe 合金焊丝单层焊比四层焊 η 相少(见图 3d, e), 在单层焊试样的整个坡口上只有一层薄薄的 η 相形成, 厚 10 μm 左右。在四层焊试样整个坡口上, η 相层厚度有从坡口下部至上部逐渐减小的趋势, 但大小以坡口中部为最大。其次, 在上部也有一些大块的 η 相, 而下部没有。 η 相层厚度可达 100 μm 左右。采用 Ni - Fe 合金焊丝无论单层焊还是四层焊在界面处都有大块的 η 相, 这些 η 相具有较规则的外形, 在内

部大部分有明显的晶界(见图 4a)。一般大块 η 相中有未转变完全的 WC, 呈白色(见图 4a)。小块的 η 相有的转变完全, 有的心部也残留 WC(见图 4b)。 η 相的形成特点预示着这些大尺寸 η 相是在焊接的搅拌作用下由小尺寸 η 相聚合而成, 且只在界面处。在距界面稍远距离形成的 η 相尺寸较小(被强烈浸蚀而呈黑色), 见图 4b。



(a) Large-size η phases (b) Small-size η phase

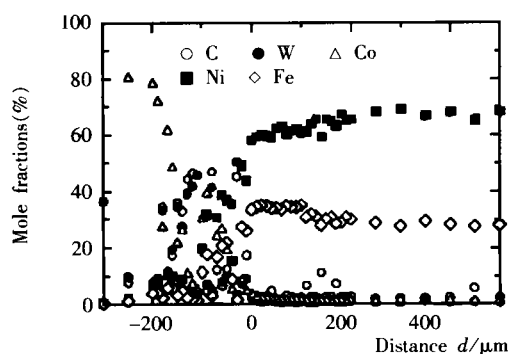
图 4 η 相扫描电镜形貌

Fig. 4 SEM images of η phases

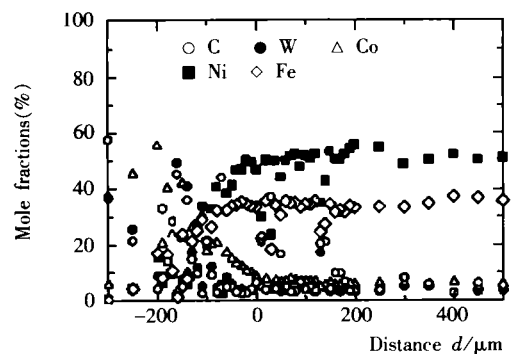
2.2 YG30/焊缝界面区域的元素扩散

用扫描电镜波谱(WDX)对四个焊接接头的 YG30/焊缝界面附近一定范围内进行了逐点成分分析, 结果见图 5。图中横坐标是距熔合线的距离, YG30 侧为负, 焊缝为正, 纵坐标是元素浓度(摩尔分数)。由图 5 可见, 在界面附近, C、W 和 Co 这三种元素在硬质合金基体中的含量均随焊接层数的增加而降低, 而在 Ni 或 Ni - Fe 焊缝中, 其含量均提高, 说明在焊接过程中, 存在这三种元素的扩散, 其中尤以 C 从硬质合金向焊缝的扩散最为显著, Co 其次, 最弱的是 W。Ni 和 Fe 的扩散可归纳为: (1) 由于焊接时的搅拌作用, 使得 45 钢中的 Fe 元素进入焊缝, Fe 元素在纯镍焊缝中也具有较高的浓度, 最高浓度可达 38% (摩尔分数); (2) Ni 和 Fe 在硬质合金中有明显的扩散层, 扩散深度随焊接层数的增加而增加; (3) Ni 和 Fe 在焊缝中的浓度直接影响了硬质合金中这两种元素的浓度, 并随着焊接层数的增加, 在焊缝与硬质合金界面处趋于连续变化; (4) 在四个接头中, 焊缝中的 Fe 浓度按着 Ni 焊丝单层、Ni 焊丝四层、Ni - Fe 焊丝单层、Ni - Fe 焊丝四层的顺序增加, Ni - Fe 焊丝试样在界面处的 Fe 浓度达 40% (摩尔分数)。

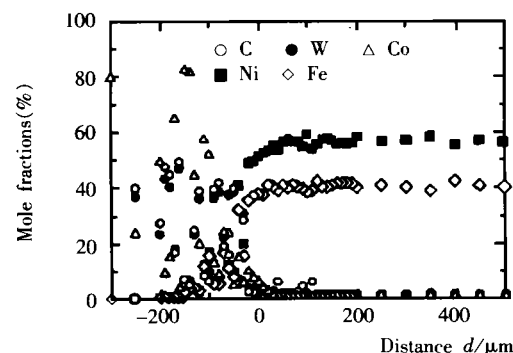
为探讨 Ni 与 Ni - Fe 焊接材料、碳以及合金元素扩散对 η 相形成的影响, 用扫描电镜波谱(WDX)分别对四种焊接接头中, 硬质合金一侧不同深度的碳化物(WC 和 η 相)成分进行了定点分析, 分析结果如图 6 所示。其中, 图 6a 是距离熔合线 5 mm 处碳化物(WC)的成分, 图 6b 是熔合线处碳化物(η 相和 WC)的成分, 图 6c、d 是所测碳化物的 SEM 形貌像。



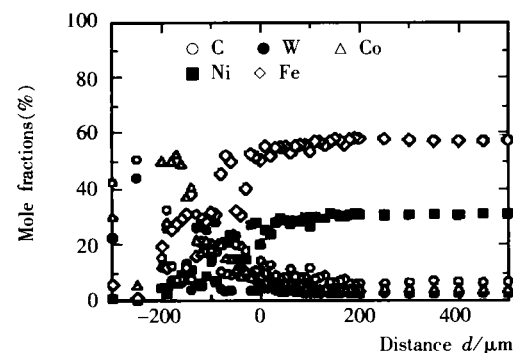
(a) 1 pass with Ni wire



(b) 4 passes with Ni wire



(c) 1 pass with Ni-Fe wire

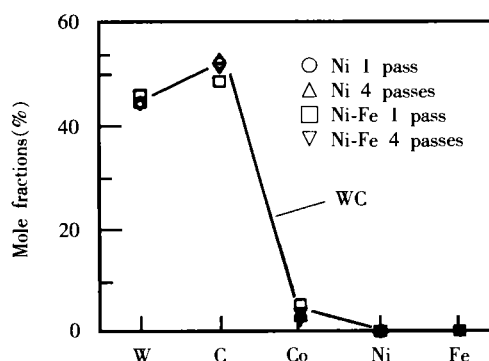


(d) 4 passes with Ni-Fe wire

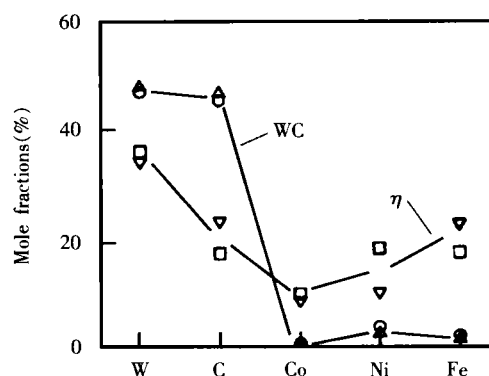
图 5 YG30/焊缝界面两侧的成分(摩尔分数)(WDX)

Fig. 5 Composition of YG30 sides of bond line (WDX results)

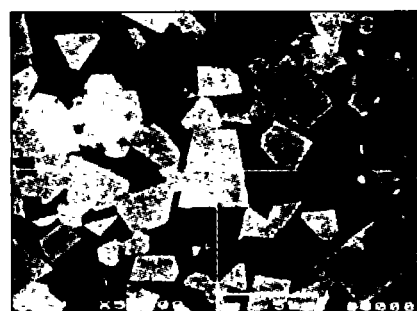
的摩尔分数略高于 W 的摩尔分数。



(a) WC composition at 5 mm apart from bond line



(b) Composition of carbides in YG30 side near bond line



(c) SEM images of carbides in figure(a)



(d) SEM images of carbides in figure(b)

图 6 碳化物成分分析

Fig. 6 Composition analysis results of carbides.

由图 6a 可见,无论是用 Ni - Fe 焊丝还是用 Ni 合金焊丝,单层和四层焊接后,在远离熔合线的 WC 中,W、C、Co、Ni、Fe 的含量几乎完全相同,而且,C

但在近熔合线处(见图 6b),碳化物的成分都发生了变化。即使 Ni 焊丝进行单层和四层焊接的组织中没有 η 相,WC 中 W 和 C 的摩尔百分比也发生了变化,C 的摩尔百分数低于 W 的摩尔百分数。这表明在焊接过程中存在碳的扩散。在用 Ni-Fe 合金焊丝单层和四层焊后形成的 η 相中,W 和 C 的含量都降低,其中 C 由原始的 52% (摩尔分数),降低到 20% (摩尔分数)左右。同时,Co、Fe、Ni 的含量大大提高(见图 6b),其中 Fe 的含量提高最大,达 20% (摩尔分数)左右,Fe 在 η 相中的含量随焊接层数的增加而增加,相反 Ni 在 η 相中的含量随焊接层数的增加而降低。

由前面的分析可知,在 YG30/焊缝结合界面上,焊缝侧的 Fe 扩散到结合界面邻近的 YG30 基体,并固溶在 Co 相中,取代部分 Co 而形成 Fe-W-C 体系。根据 Co-W-C 系及 Fe-W-C 系平衡状态图可知, η 相在体系含 C 量减少时形成^[3]。在焊接过程中,一部分 WC 分解,分解后的 W 和 C 原子固溶于 Co 相中,Co 相中固溶 C 的化学位如果比在焊缝的高,碳原子就从 YG30 向焊缝扩散,扩散的同时,Co 相中的 C 浓度降低,WC 将继续分解弥补 Co 相中 C 的损失,出现近界面 YG30 一侧 C 减少的区域,Fe-W-C 三元体系的正常相区(WC + γ)很窄,体系略有失 C 就能得到 η 相。这只是形成 η 相的一个条件,分析的四个试样都具备这个条件。但只有 Ni-Fe 焊丝的接头有 η 相形成,而且四层焊比单层焊形成的 η 相层厚,这表明, η 相的形成和焊缝中的 Fe 浓度有关(Ni-Fe 焊丝四层焊 YG30/焊缝界面 Fe 浓度最高,形成的 η 相最多)。形成 η 相时,Fe 在基体中的浓度达 40% (摩尔分数)以上,在 η 相中达 23% 左右,四层焊和单层焊相比,Co 浓度相同,Ni 浓度随焊接层数增加而降低,Fe 浓度反而增加。当采用纯 Ni 焊丝焊接时,由于 45 钢的熔入,焊缝中也有一定的 Fe 浓度,但不足以达到形成 η 相的程度。另一方面,焊缝中的 Ni 扩散到结合界

面邻近的 YG30 基体也形成 Ni-W-C 体系,但在 Ni-W-C 体系状态图中,体系的正常相区(WC + γ)的 C 含量范围较 Fe-W-C 体系要宽得多,因而体系远不如 Fe-W-C 那么敏感,体系中形成富 Ni 的 M_6C 型 η 相很困难。所以认为 YG30/焊缝界面区域形成的 η 相趋近于富 W 和 Fe 的 M_6C 型复合碳化物。

3 结 论

(1) 采用 Ni-Fe 合金焊丝单层焊和四层焊时,焊接接头中有 η 相形成, η 相分布于 YG30 一侧近焊缝区域,并在界面处聚集长大,四层焊比单层焊形成的 η 相层厚,达 100 μm 左右。当采用纯 Ni 焊丝单层焊和四层焊时,焊接接头中均没有 η 相形成。

(2) 当 Fe 浓度在 YG30 中达约 40% (摩尔分数)时,WC 分解成 η 相,此时 η 相中 C 和 Fe 浓度都为 20% (摩尔分数)左右。

(3) YG30/焊缝界面区域形成的 η 相属富 W 和 Fe 的 M_6C 型复合碳化物。

参考文献:

- [1] 宮腰康樹. 超硬合金と鋼の焼結接合応力緩和層材料としての WC-Fe 系合金[J]. 粉体及び粉末冶金, 1998, 45(12): 1111 ~ 1115.
- [2] 宮腰康樹ら. WC-40mass% Co 合金/炭素鋼の接合界面における組織と強度[J]. 粉体及び粉末冶金, 1997, 44(10): 951 ~ 961.
- [3] 陈飞雄, 李世魁. 硬质合金与金属的热等静压扩散连接[J]. 钢铁研究学报(增刊), 1994, 6: 58 ~ 64.
- [4] 佐藤知雄. 鉄鋼の顕微鏡写真と解説[M]. 东京: 丸善(株), 1963. 252 ~ 253.

作者简介: 赵秀娟, 女, 1960 年出生, 副教授, 大连铁道学院在读博士生。研究方向: 异种钢的焊接性, 已发表论文 20 余篇。

Email: mmren@mail.dlptt.ln.cn