

局部快冷减少焊接热裂纹的研究*

王者昌 崔 岩**

(沈阳 中国科学院金属研究所)

摘 要 N N Prokhorov 认为随变形速度增加金属热塑性降低,降低冷却速度可以降低变形速度和焊接热裂纹倾向,并把预热和缓冷作为减少焊接热裂纹的措施。研究结果表明,焊缝局部快冷可以减少脆性温度区内的变形量,另外提高变形速度可以提高脆性温度区下半部金属的热塑性,从而增加允许变形速率和减少焊接热裂纹。在此理论研究的基础上,进行了 30CrMnSiA 钢鱼骨形试件的焊接试验,焊接时用热管强制冷却焊缝。实验结果表明,强制冷却焊缝可有效地减少焊接热裂纹。

关键词 焊接热裂纹; 热塑性; 快冷; 热管

0 序 言

焊接热裂纹的产生是由于晶间变形超过该处晶间变形能力所致。Prokhorov 认为,随变形速度增加金属热塑性降低^[1,2],预热和缓冷可以降低焊缝金属的冷却速度,因此可以减少焊接热裂纹。作者研究认为^[3]:在脆性温度区的下半部,随变形速度增加,金属的热塑性增加,示意图如图 1 所示,试验研究证实了这一点^[4]。从图 1 可看出,随变形速度增加,允许变形速率增加,焊接热裂纹倾向降低。

关于焊缝金属在脆性温度区范围内冷却时变形的计算问题,作者曾给出薄板变形量的计算公式^[5]:

$$\Delta l = 2a \cdot \frac{\alpha}{C \cdot r} \cdot \frac{q_{\varphi}}{\delta} \cdot \frac{BTR}{\omega_{\varphi}} \quad (1)$$

式中

Δl —变形量 a —修正系数

α —金属线膨胀系数 ($1/^{\circ}\text{C}$) C —热容量 ($\text{Cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

r —金属比重 (g/cm^3) δ —板厚 (cm)

q_{φ} —表面散热比热流量平均值 ($\text{cal/cm}^2 \cdot \text{s}$)

BRT—脆性温度区大小 ($^{\circ}\text{C}$) ω_{φ} —在脆性温度区内平均冷速 ($^{\circ}\text{C/s}$)

如果对处于脆性温度区的金属进行强制冷却, ω_{φ} 将正比例增加,而 q_{φ} 因是局部快冷,显

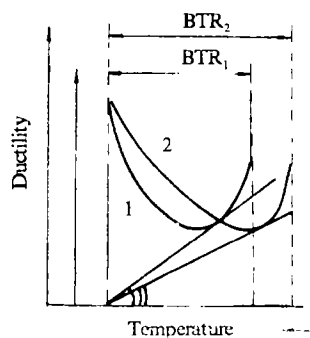


图 1 变形速度对金属热塑性的影响^[4]

Fig.1 Influence of deformation rate
on metal hot ductility^[4]
1—Rapid deformation
2—Slow deformation

* 国家自然科学基金资助项目。 ** 郑凤珍、白良谋等参加了部分实验工作。

然会略有增加,但增加量比 ω_{φ} 小,因此 $q_{\varphi}/\omega_{\varphi}$ 将会减小,即变形量减小。

根据图 1 和式 (1) 可以得出如下结论:提高冷却速度可以减少焊接热裂纹^[3~5]。在上述理论分析的基础上进行试验研究。焊缝的跟踪快冷是借助于热管实现的。

1 试验方法与结果

1.1 30CrMnSiA 钢的焊接

采用鱼骨状可变拘束裂纹试验,试验装置示意图如图 2 所示。试验材料为 30CrMnSiA 钢,厚 1.0mm,材料化学成分列于表 1。用自动钨极氩弧焊进行熔敷焊接。焊接规范列于表 2。在氩弧焊炬之后用外径为 8mm 的热管进行跟踪冷却,调整热管与焊炬的距离即得到不同的冷却效果,该距离越小,冷却效果越大。不加热管则相当于热管与焊炬距离为无穷大。每组在相同条件下焊 6 个样品,研究裂纹长度与热管距离之间的关系,结果如表 3 和图 3 所示。

表 1 30CrMnSiA 钢化学成分 (%)

Table1 Chemical compositions of 30CrMnSiA steel (%)

C	Cr	Mn	Si	S	P
0.33	0.91	1.00	1.08	0.017	0.015

表 2 焊接工艺参数

Table 2 Welding conditions

Welding current	Arc voltage	Welding speed	Argon flow rate
(A)	(V)	(mm/min)	(L/min)
130	19	240	8

表 3 热管与钨极距离对 30CrMnSiA 钢热裂纹长度的影响

Table 3 Effect of distance between hot pipe and tungsten electrode on hot cracking length of 30CrMnSiA weld

Distance (mm)	Crack length (mm)						Average crack length (mm)
5	18.10	21.30	19.46	15.50	15.80	16.10	17.71
8.5	11.06	11.50	11.56	11.20	11.40	9.82	11.09
14.5	26.48	30.40	29.60	16.34	15.60	14.50	22.15
∞	44.90	30.20	49.06	24.00	25.74	42.20	36.02

(Without hot pipe)

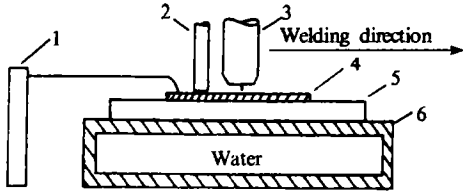


图 2 裂纹试验装置示意图

Fig.2 Schematic illustration of experimental apparatus used for cracking test

1. Press bar 2. Hot pipe
3. Argon arc welding torch
4. Specimen 5. Graphite plate
6. Cooling copper plate

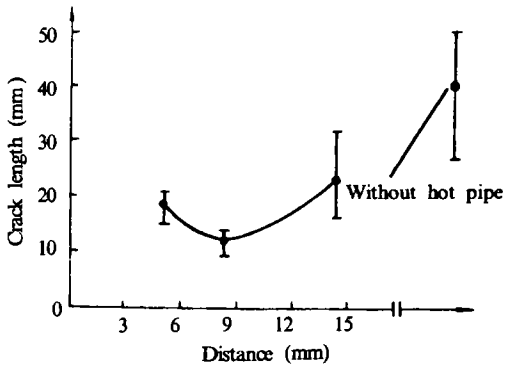


图 3 热管与钨极距离对热裂纹长度的影响

Fig.3 Influence of distance between hot pipe and tungsten electrode on hot cracking length

从表 3 和图 3 可知,加热管都比不加热管焊接裂纹长度要短,最短的只相当于不加热管的 30%。而且不是热管距焊炬越近裂纹越短,而是存在某一最佳距离,即当这一距离在 8 ~ 9mm 时,焊接裂纹最短。

金相检验表明,裂纹沿晶间分布。

1.2 焊缝热循环曲线的测量

在如图 2 所示的装置上进行焊缝测温试验,结果如图 4 所示。热管与钨极的距离为 8.5mm。从图 4 可知,加热管后冷却速度比不加热管明显提高,从 290℃/s 提高到 570℃/s。

1.3 焊缝变形的动态测量

测量加热管冷却熔池尾部焊缝金属(热管与钨极的距离为 8.5mm)及不加热管冷却两种情况下垂直焊缝长度方向上的变形量。试验装置是由引伸计,动态电阻应变仪,X-Y 记录仪及铡刀开关等为主体组成的焊缝横向位移测试系统。图 5 中(a)和(b)分别为加热管和不加热管时焊缝的横向变形情况,从图中可以看出,加热管时的变形量明显小于不加热管时的变形量,考虑到加热管冷却速度将近提高一倍,在脆性温度区间内的停留时间只及不加热管的一半左右,因此在此温度范围内加热管的变形量比不加热管变得更小。

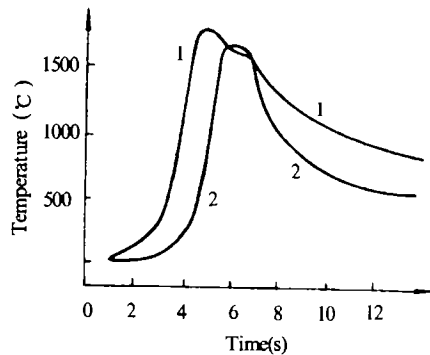


图 4 焊缝热循环曲线
Fig.4 Weld thermal cycle curve
1- Without hot pipe
2- With hot pipe (8.5mm apart from tungsten electrode)

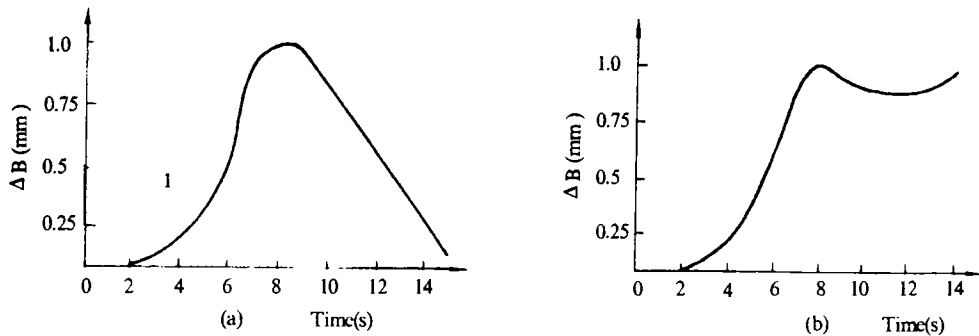


图 5 焊缝变形的动态过程
Fig.5 Dynamic process of welding deformation

ΔB—Cross deformation (a)Without hot pipe (b)With hot pipe (8.5mm apart from tungsten electrode)

2 讨论

- (1) 试验结果表明,对 30CrMnSiA 而言,用热管局部快冷可以减少焊接热裂纹。此材料用手工电弧焊比用气焊裂纹少,似乎也能说明这一问题。
- (2) 快冷减少 30CrMnSiA 焊接热裂纹是由于快冷引起变形速度增加,引起允许变形速率增加,同时引起焊接变形量减少共同作用的结果。由于局部快冷对变形速度的增加有限,从而对金属热塑性以及对允许变形速率的影响可能不大,因此快冷减少焊接变形的作用可能更重要些。
- (3) 从图 3 和表 3 可以看出,并不是热管离钨极越近,即越接近脆性温度区上限开始快冷

越好。热管与钨极的距离有一最佳值,在本试验条件下,这一最佳距离在 8~9mm 处,此时裂纹敏感性最小。大于此值时,由于距离增加,冷却效果变差,因此裂纹敏感性增加;小于此值时,由于热管距熔池太近,在接近脆性温度区上限开始快冷,从图 1 可知,这将引起热塑性降低和裂纹敏感性增加。另外,由于热管离钨极太近,冷却速度太快,柱状晶更加明显,偏析也加剧,这可能降低金属的热塑性,从而使裂纹敏感性增加。

(4)强制冷却可能不是对所有材料都适用,因为有些材料,例如快速凝固而引起严重偏析的材料,当快冷产生少量低熔点共晶时,将对金属的热塑性以及焊接热裂纹敏感性产生明显的不利影响。另外快冷对应力状态可能也有影响。

(5)在许多情况下预热和焊后缓冷不仅不降低而且还增加裂纹敏感性^[6~8]。对此,Prokhorov 是无法解释的。本研究用快冷减少焊接热裂纹的事实,也就可以说明在许多情况下慢冷会增加焊接热裂纹。

(6)快冷减少焊接热裂纹的实验研究是在以往理论研究的基础上进行的,这一实验研究的成功反过来证明过去理论研究的正确性。

3 结 论

- (1)对 30CrMnSiA 焊缝金属快冷可以明显减少焊接热裂纹。
- (2)热管与钨极的距离有一最佳值,此时裂纹长度最小。
- (3)快冷减少焊接热裂纹是由于减少变形量以及允许变形速率增加共同作用的结果。

(1995 年 4 月 28 日收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 Прохоров Н. Н. Сварочное Производство. 1962,(4):1 ~ 5
- 2 Прохоров Н. Н. Межкристаллическая Прочность Металлов Горячие трещины в сварных соединениях, слитках и отливках Москва, издательство Академии Наук СССР. 1959, 108 ~ 130
- 3 王者昌.在脆性温度区内变形速度对金属塑性的影响.第三届全国焊接年会论文, H-IXa-06-79, 1979.
- 4 王者昌.金属的热塑性,第六届全国焊接学术会议文集,第二集,1990, 268 ~ 272
- 5 王者昌.焊缝及近缝区金属在脆性温度间隔内冷却时变形的计算问题,第三届全国焊接年会论文, H-IXa-034-79(b), 1979.
- 6 Мебвар б и. Сварка хромоникелевых аустенитных сталей Киев-Москва, Машгиз, 1958. 302~ 303
- 7 Рабкин д. м. Предупреждение Трещин при сварке алюминиевого сплава АМц Усадочные процессы в металлах Москва, Издательство Академии наук СССР. 1960, 222 ~ 227
- 8 Wilkison F J. Welding and Metal Fabrication 1958, (5): 171 ~ 184

Investigation of decrease of hot cracking in welding by local rapid cooling

Wang Zhechang , Cui Yan

(Institute of Metal Research, Academia Sinica, P. R. China)

Abstract Prokhorov considered that the hot ductility decreased with the increase of deformation speed, the decrease of cooling speed could reduce the deformation speed and susceptibility to hot cracking in weldment, preheating and slow cooling were therefore proposed to prevent hot cracking in weldment. Our investigations show that local forced cooling to the weld can reduce the deformation in hot brittle temperature range and the increase of the deformation speed could enhance the hot ductility of the metal in the lower part of the brittle temperature range. It therefore increases the allowable deformation rate and decreases the hot cracking in weldment. On the basis of the theory the experiments were carried out with the material 30CrMnSiA. The hot pipe was used to follow the welding torch to cool the welding beam. It is shown that the local forced cooling to the welding beam greatly decreases the hot cracking in welding.

Key words hot cracking in welding; hot ductility; rapid cooling; hot pipe