

譯文集之五

气体保护焊

哈尔滨焊接研究所

一九七五年六月

丝极 CO₂ 焊的电弧气氛

前言

目前, 尚无法分析确定纯CO₂保护的金属电弧(钢焊丝)的活性气体成分。因此, 应当通过试验从物理—化学数值中计算这一成分。在电弧气氛中存在的气体, 部分地或全部地被离解。其离解度是根据温度确定的(表1)。为了计算气体的成分, 必须了解弧柱以及熔池内的平均温度。在电弧燃烧期间, 是否能保持一种稳定状态, 取决于电流密度、电弧电压、焊丝直径及成分, 以及保护气体。

锥形保护气幕内的电弧

图1的电弧纵断面具有等边三角形形状, 其尖端位于焊丝的端部(正极), 其底部位于熔池上(负极)。三角形的高度根据电弧电压确定, α 角保持不变。随着三角形高度的增加, 电弧的底部变宽, 焊道也随之加宽。保护气幕的外层呈锥状。它在母材上的有效底部直径稍大于焊道宽度。在33~34伏的电弧电压及1.6毫米的焊丝直径下, 电弧的有效基面等于保护气幕基面的82~85%。

表1 气体在不同温度下的离解度

温度 (K)	离 解 度		
	CO ₂ =CO+O (%)	H ₂ =2H (%)	N ₂ =2N (%)
2000	6.65	0	0
3000	55.0~60.0	10	0
4000	95	60	3
5000	100	95	5
5500	100	96.5	17
6000	100	98	30
7000	100	100	90

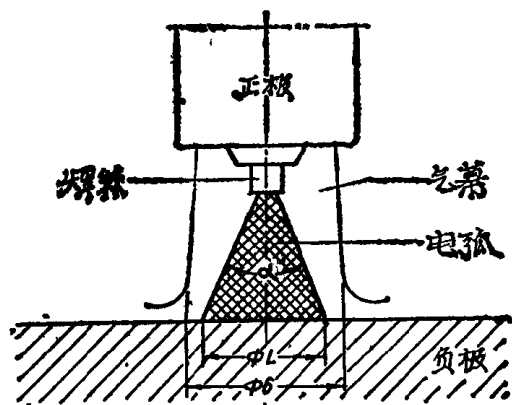


图1 锥形保护气流内的电弧

弧柱内的温度

熔池温度可以根据熔池的含氧量计算。表2为熔池温度与焊丝直径的关系。如焊丝直径增加, 则熔池温度升高, 因为热输入量增高及熔池变大, 母材的温度降低较少。平均温度在2178及2298 K之间, 熔池接触面上的气体温度约为2300 K。也就是说, 熔池表面上的活性气体成分与电弧中心的活性气体成分是不同的。

弧柱的平均温度可以根据氮的离解度计算。裂解成原子的氮, 均被液态的、滴状的钢以及焊缝金属所吸收。图2为焊缝金属中的含氮量与保护气体内的含氮量的关系。当电流为320安、CO₂气体流量为16~18升/分时, 用直径1.6毫米的0.006% (N) 的焊

丝, 可获得0.0080~0.0122% [N] 的纯焊缝金属, 平均为0.010% [N]。从图 2 中可知, 0.010% [N] 约等于保护气体中的0.5容积%的 [N₂]。在100克的焊缝金属上, 保护有27.8升的二氧化碳。表 3 列有离解度, 其范围在 7.2~9.8%之间。这一数值大致相当于5100~5200 K。计算弧柱平均温度的另一个可能性, 是水蒸汽或氢的离解度。

表 2

焊丝直径 (毫米)	温 度	
	范 围 (℃)	平均值 (K)
1.0	1890~1920	2178
1.6	1970~2000	2258
2.4	2000~2050	2298

27.8升CO₂消耗量时100克
表 3 焊缝金属的含氮量及离解度

焊缝金属内 溶解的氮 [N] (%)	弧柱气体内 离解的氮 (N) (升)	总含氮量 [N ₂]		离 解 度 (%)
		(升)	(容 积%)	
0.0122	0.0140	0.192	0.7	7.2
0.0100	0.0115	0.193	0.5	8.2
0.0080	0.0086	0.088	0.34	9.8

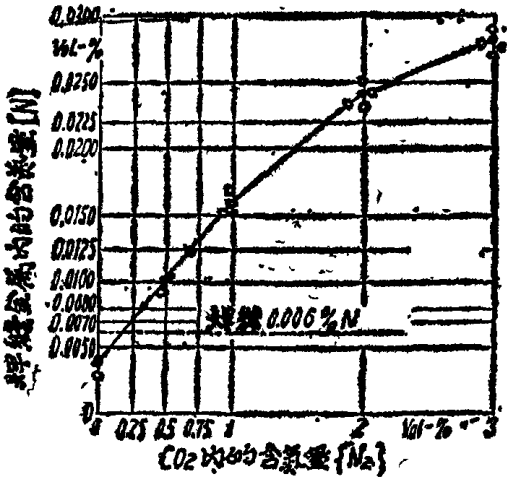


图 2 纯焊缝金属内的含氮量 [N] 与 CO₂ 保护气体含氮量 [N₂] 的关系

氧 化 过 程

试验时采用了各种成分的焊丝 (直径1.6毫米)。表 4 为试验条件。

表 4 采用, 的焊丝及焊接条件①

	化 学 成 分 (%)											金属熔敷 效率 (克 焊缝金属 /100克焊 丝)	熔渣数 量 (克 熔渣/ 100克焊 缝金属)
	C	Si	Mn	Al	N	Cu	SiO ₂	MnO	⑥	FeO	⑦		
焊 丝 A ②③	0.14	1.11	1.35	0.018	0.006	0.15⑤	—	—	—	—	—	98.8	—
焊缝金属 A	0.09	0.69	0.88	—	0.011	0.22	—	—	—	—	—	—	—
熔 渣 A	—	—	—	—	—	—	49.8	34.6	2.0	9.1	4.6	—	1.80
焊 丝 B ②④	0.09	1.10	1.68	0.019	0.006	0.14⑤	—	—	—	—	—	98.9	—
焊缝金属 B	0.09	0.69	1.18	—	0.010	0.20	—	—	—	—	—	—	—
熔 渣 B	—	—	—	—	—	—	47.4	39.2	2.2	8.5	3.4	—	1.79

①含≥99.7% CO₂ 的干CO₂, 露点-35℃ (0.18毫克水分/升气体), 气体流量16升/分, 电流密度190安/毫米², 电弧电压32~34伏, 熔化率83.3克焊丝/分=82.5克焊缝金属/分; ②直径1.6毫米焊丝, 镀铜 (层厚0.21~0.23微米); ③0.035毫升氢/100克焊丝; ④0.038毫升氢/100克焊丝; ⑤无表面镀铜层。⑥Al₂O₃; ⑦Fe₂O₃。

根据烧损计算得出的熔渣化学成分及其数量列于表 5，和测量结果相比，两个数值极其一致。此外，焊丝的一部分碳被燃烧成一氧化碳，但其数量与离解的保护气体相比，是微不足道的。

为使焊丝的合金元素及铁得到氧化，每100克的焊缝金属大约需要0.695升的 O_2 。

表 5 根据焊丝烧损而计算的熔渣数量、熔渣成分及氧需要量的比较①

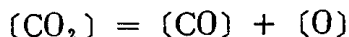
反 应 式 因 数	熔 渣 数 量②	
	焊 丝 A	焊 丝 B
$Si + O_2 = SiO_2$ 2.15	0.900克 $SiO_2 = 50.0(49.8)\%$	0.880克 $SiO_2 = 51.0(47.4)\%$
$2Mn + O_2 = 2MnO$ 1.30	0.610克 $MnO = 33.6(34.6)\%$	0.650克 $MnO = 37.4(39.2)\%$
$4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3$ 1.89	0.034克 $Al_2O_3 = 1.92(2.00)\%$	0.036克 $Al_2O_3 = 2.02(2.20)\%$
$2Fe + O_2 = 2FeO$ 1.29	0.156克 $FeO = 8.70(9.1)\%$	0.142克 $FeO = 8.10(8.50)\%$
$4Fe + 3O_2 = 2Fe_2O_3$ 1.43	0.085克 $Fe_2O_3 = 4.80(4.60)\%$	0.071克 $Fe_2O_3 = 4.00(3.4)\%$
熔渣数量/100克焊缝金属	1.785(1.60)克	1.779(1.79)克

①为了氧化，需要0.695升氧/100克焊缝金属；

②括弧内为测得值（三个值的平均值）。

弧 柱 内 的 CO_2 离 解

根据 5 公斤/小时的熔化速度计算，即每分钟熔化83.3克焊丝，则98.8%熔敷率时的焊缝金属为82.3克。100克焊缝金属需要焊1.22分钟。在16升/分流量的保护气体时，有19.4升 CO_2 进到100克焊缝金属上(室温)；在120℃下，有27.8升 CO_2 进到100克焊缝金属中。因为电弧气氛也可能含有水蒸气，因此，在1巴压力下选择120℃的原始温度。 CO_2 的离解适合于下述条件：在5000K以上的温度下， CO_2 全部离解（表1），其关系式为：



120℃及1巴压力时所得出的 CO_2 容积为：32.2升 $CO_2 = 32.1$ 升 $CO + 16.01$ 升 O ，100克焊缝金属的 CO_2 容积为27.8升 $CO_2 = 27.6$ 升 $[CO] + 13.6$ 升 $[O]$ ，其中平均有0.695升 O_2 用于将焊丝元素氧化为熔渣。这样，可得出100克焊缝金属的电弧气氛由27.6升 $[CO]$ 及12.9升 $[O]$ 组成。

氢 含 量 与 水 分 关 系

氢的来源有两种途径：a) CO_2 的水分，其露点为-35℃，即每1升 CO_2 有0.18毫克的水分。室温下100克焊缝金属上有19.3升 CO_2 ，相当于 $19.3 \times 0.18 = 3.47$ 毫克 H_2O ，由此得出，在120℃下，气体中的 H_2 为4.4毫升；b)焊丝表面的水分及其溶解的氢：试

验三种状态,即650℃下真空退火的镀铜焊丝、未退火的镀铜焊丝以及表面有薄润滑层的焊丝。

焊丝表面上的水分是通过650℃下的真空退火来确定的。此时,钢中溶解的原子氢也挥发。100克焊丝(直径1.6毫米)所测得的数值列于表6。焊缝金属中的氢,是根据两种方法测定的(表7)。

表6 在120℃及1巴压力下100克焊缝金属上可能含有的氢

焊 丝 状 态	焊丝中溶解的氢 (H) (毫升)	焊丝表面水分产 生的氢(H) (毫升)	气体水分产生 的氢(H ₂) (毫升)	总 含 氢 量 (H+H ₂) (毫升)
650℃真空退火	—	—	4.4	4.40
未 退 火	0.50	4.85	4.4	9.75
表面涂有薄润滑层	0.50	12.45	4.4	17.35

表7 100克焊缝金属中含有的氢①

焊 丝 状 态	焊缝金属中的含氢量	
	30分钟时效 后(毫升)	在液态氮中淬 火后(毫升)
650℃真空退火	3.46	4.11
未 退 火	7.64	9.22
表面涂有薄润滑层	11.82	15.56

①在室温下测定并换算成120℃下的数值;取三个试件的平均值。

a) 试件在室温下时效30分钟;

b) 试件焊后在液态氮中淬火1~3秒。这样将能求出焊缝金属中溶解的最大含氢量。

100克焊缝金属的氢平衡列于表8,在5000K下有94.2~98.2%气体被离解。这些测量结果全部概括在图3内。从此图中可进一步看出,电弧平均温度接近于5000K。由于水蒸气的离解($[H_2O]=[H_2]+[O]$),氧也变成游离状态(表9)。

表8 100克焊缝金属的氢平衡

焊 丝 状 态	焊缝金属中溶解 的氢(H) (毫升)	电弧气氛中的 分子氢(H ₂) (毫升)	总 含 氢 量 (H)+(H ₂) (毫升)	可能的含氢 量(H+H ₂)① (毫升)
650℃真空退火	4.11	0.21	4.32	4.40
未 退 火	9.22	0.42	9.64	9.75
表面涂有薄润滑层	15.56	0.79	16.35	17.35

①氢的离解度约为95%。

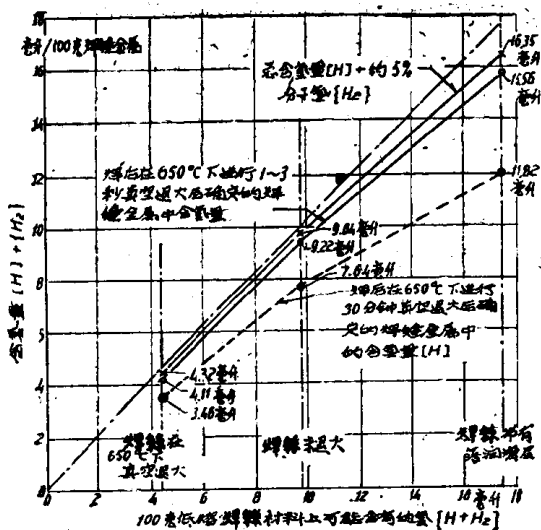


图3 焊缝金属中溶解的氢[H]及电弧气氛中存在的分子氢[H₂]与焊丝(溶解的[H]、焊丝表面的水分[H₂O])及每100克焊缝金属的CO₂保护气体水分(指120℃及1巴压力时的气体数量)所产生的氢(三个试样的平均值,熔敷率98.5%)的相互关系(焊丝直径1.6毫米,焊接电流密度180~190安/毫米²)

在5100~5200K下弧柱内含气量平衡

从弧柱内的含气量平衡中可看出混合气体的氧化性质(表10)。CO₂及水蒸气不在所研究的温度范围内。

对100克焊缝金属由水蒸气

表9 离解而产生的游离氧的数量

焊丝状态	游离氧[O] (毫升)
650℃真空退火	3.19
未退火	7.03
表面有薄润滑层	13.60

表10 在5100~5200K下弧柱内的含气量平衡(对100克焊缝金属、120℃及1巴压力。)

	焊丝未退火① (升)	焊丝表面有薄润滑层①(升)
供给:		
来自CO ₂ =CO+O反应		
一氧化碳[CO]	27.60	27.60
氧[O]	13.60	13.60
氧:来自空气[O]	0.04	0.04
来自焊丝表面上的水分解[O]	0.00703	0.01360
氢:来自焊丝表面上水分解及溶解[H]	0.00964	0.01635
氮:来自空气[N ₂]及焊丝(N)	0.139	0.139
消耗:		
氧:用于形成熔渣[O]	0.695	0.695
氢:溶解于焊缝金属中[H]	0.00922	0.01560
氮:在焊缝金属中[N]	0.01150	0.01150
扣除消耗后的供给量:		
二氧化碳[CO ₂]	—	—
一氧化碳[CO]	27.60(67.8)	27.60(67.8)
氧[O]	12.95(31.7)	12.958(31.8)
氢[H]	0.0004(0.001)	0.0008(0.002)
氮[N ₂]	0.1275(≈0.31)	0.1275(≈0.31)
总计	40.6779	40.7863

①括号内数值以容积百分数为单位。

接近熔池弧柱内 (2300 K) 的含气量平衡

焊接熔池 (焊丝直径1.6毫米) 具有2223~2273 K的温度。熔池上的温度以2300为基础计算。在此温度下, 采用表1的离解度 (1巴压力): $\text{CO}_2 = \text{CO} + \text{O} 10.5\%$, $\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{O} 10\%$, $\text{H}_2 = 2\text{H} 3\%$, 及 $\text{N}_2 = 2\text{N} 0\%$ 。在1巴压力、120℃及100%离解度下, 27.6升[CO]和13.6升[O]进至100克焊缝金属上。在10.5%离解度下, 处于平衡状态 (表11): 24.8升[CO₂] + 2.9升[CO] + 1.43升[O]。由于电弧气氛内的氧不足, 采用未退火的焊丝时, 可能有1.6升的CO未被氧化为CO₂; 与此相反, 带有润滑层的焊丝, 氧的供给却稍有过量 (0.12升)。因此, 前者能提供23.2升[CO₂] + 4.5升[CO] + 1.43升[O]; 而后者为24.8升[CO₂] + 2.9升[CO] + 1.55升[O]。鉴于水蒸气的压力低及离解度小, 实际上几乎没观察到分解为[H]及[O]。因此, 只将水蒸气归纳入气体平衡内 (表11)。

在100克焊缝金属的熔池表面 (2300 K)

表11

上的弧柱内含气量平衡 (120℃及1巴压力) ①

	焊 丝 状 态	
	未 退 火 (升) ②	表面上有薄润滑层 (升) ②
供给: 二氧化碳[CO ₂] = 24.8升	1.6	—
一氧化碳[CO] = 2.9升	1.6	—
氧[O] = 1.43升	—	0.12
水蒸气[H ₂ O]	0.00302	0.00605
氮[N ₂] = 0.1275升	—	—
最终状态: 二氧化碳[CO ₂]	23.2 (79.3)	24.8 (84.4)
一氧化碳[CO]	4.5 (15.4)	29 (9.8)
氧[O]	1.43 (4.9)	1.55 (5.3)
水蒸气[H ₂ O]	0.00302 (0.01)	0.00605 (0.02)
氮[N ₂]	0.1275 (≈ 0.43)	0.1275 (≈ 0.43)
总 计	29.26052	29.38355

① 由于CO₂的离解度低 (10.5%), 气体容积和弧中心 (表10) 相比有所减少, 约为27.95~28.07容积%; ② 括号内数值以容积%计算。

两个弧柱温度范围内的含气量平衡比较

在5100~5200 K的温度范围内, CO₂完全分解为CO和O, 在2300 K温度下, 仅仅发生少量的离解 (表10)。在5100~5200 K之间, 水蒸气分解为H和O; 在2300 K温度下, 存在少量的水蒸气, 但无游离的氢。在5100~5200 K时, 所有的原子氮 (7~9%) 被液态金属所吸收, 仅分子氮尚存在于电弧气氛中。在5100及5200 K之间, 焊丝的部分合

金元素被氧化,为此消耗了氧。

从平衡中可以看出,二氧化碳、水蒸气及氮的离解以及焊丝元素被氧化等重要反应,在5100~5200 K的平均电弧温度下就已经发生。如果液态熔池稍低于2300 K,则几乎没有发生可能改变这种状态的其他反应。

在2300 K下的焊接过程热平衡

电弧,以及焊丝元素的燃烧是产生热量的来源,这些热量一方面消耗在离解弧柱的气体上,一方面在熔池表面附近通过气体的再结合而获得热量。温度对于反应有很大的影响。

热量用于熔化焊丝及达到必要的熔深(熔化极活性气体保护焊时的熔深很大,在50厘米/分的焊速下,焊透的截面为焊缝截面的1.5倍)。此外,熔化少量的熔渣尚要求一定的热量。混合气体也有一热焓。热焓是从混合气体恒定压力(1巴压力)的分子热 C_p 中计算的。辐射及导热引起的热损失,只能被确定为输入及消耗热量的差值。

因为缺少离解热的容许值,所以,不能提出5100~5200 K温度范围内的热平衡。只是对于2500 K以下的温度才存在这种容许值。因此,热平衡系指2300 K下接近熔池表面的电弧气氛及焊缝(表12)。辐射及导热引起的损失约为总热量的14.2%。根据表12可了解 CO_2 电弧造成大熔深的原因。看来其原因不仅是电弧熔滴过渡过程缓慢以及电弧在母材上长时无阻碍地燃烧,而且也 and 熔池表面上离解气体重新结合为 CO_2 的自由能有关。从以下现象中可证明这种观点:

在5000 K下, CO_2 全部离解成CO及O。在重新化合为 CO_2 时,离解热变为自由状态。熔池上的温度达到2300 K。在此处仅有10.5容积%的 CO_2 离解。对于100克的焊缝金属,每54.37克 CO_2 中有533733卡变为自由热量。这些巨大的热量就是造成深熔的原因,它约占总热量 Q 的60%(表13)。在此计算中,未考虑N、H及O的离解热。与 CO_2 相比,它们的作用是不大的。

热 量 计 算

电弧提供的总热量 Q_{Σ} ,可用一量热计测量。对于药皮焊条是可行的,而对于在 CO_2 下熔化的焊丝尚未掌握。因此,应当试验计算出总的热量。

总热量是由电弧输入的热量(Q_E)、放热过程(氧化)输入的热量(Q_o)以及离解过程消耗的热量(Q_{Σ})所组成的。从电参数中可得出 Q_E 。对于2673 K温度,可以可靠地计算出由于焊丝元素氧化而变为自由状态的热量(表13)。在较高的温度下,不能可靠地求出这一数值,因为不了解反应熵值。根据评价结果得知,5000 K下的热量小于2673 K下的热量。

在电弧的下部,剩下约10.5容积%的CO没有燃烧为 CO_2 。在焊丝端部的电弧顶端,由于100%的 CO_2 离解而产生的气体中,可能有10.5容积%的CO不再重新结合为 CO_2 ,而作为离解热而消耗的能量89.5容积%的CO被送回到系统内。表13列有在此情况下保持的吸热量 Q_{Σ} 。

表13中重新计算了总热量 Q_{Σ} 。因为 Q_o 与 Q_E 之比小于1,看来必然产生热损失。

表12

100克焊缝金属在2300K下的焊接过程热平衡

(A) 输入的热量	
来自电弧 Q_E	+ 932400卡
放热反应 Q_o	+ 18874卡
总热量	+ 951274卡
(B) 消耗的热量	
100克熔化焊丝的热焓①	- 138164卡
2克熔渣的热焓 ②	- 5024卡
混合气体的热焓 ③	- 113044卡
焊缝的热焓 ④	- 198873卡
熔透的热焓 ⑤	- 298310卡
吸热过程10.5容积% CO_2	- 62802卡
	- 816217卡
幅射造成的热损失 ⑥	- 135057卡
总的消耗热量 Q_G	- 951274卡

热幅射损失占输入热量的14.2%。焊缝及熔透要求 $198873 + 298310 = 497183$ 卡，即93.2%的 CO_2 自由离解热(533733卡)及57%的总热量 Q_G 。

① $1354 \text{卡} \times 102 = 138164 \text{卡}$ ；② $2512 \text{卡} \times 2 = 5024 \text{卡}$ ；③混合气体：24.0升 CO_2 ；7.2升O；4.0升CO，根据分子热计算；2000℃下的 C_p ；④系指100克焊缝金属：显热171910卡，潜热26962卡；⑤系指150克熔透的焊缝金属：显热257865卡，潜热40444卡；⑥作为差值。

表13

总热量 Q_G 计算

(1) 从电弧中输入的电热量 Q_E	- 932400卡
(2) 从焊丝烧损中变为自由的热量 Q_o	- 18874卡
(3) 由于吸热过程 $CO_2 = CO + O$ 在电弧下部结合的热量 Q_D	+ 62802卡
总热量 Q_G	- 888472卡
$Q_G / Q_{Eoe} = 0.950$ ，热损失 $(Q_E - Q_G)$ ： $Q_E \times 100 = 47\%$	
焊接过程拥有的热量 Q_G 比 Q_E 小4.7%	

这是由于在电弧的下部CO没有完全燃烧成 CO_2 所造成的，因为在2673K以上的温度下，减少了放热 Q_D ，所以差值(4.7%)可能还要大一些。

(译自《Schweissen und Schneiden》1974. № 8)

保护气流流动的某些规律

气电焊焊接接头的质量通常取决于是否能可靠地保护焊缝，使其免受周围空气的影响。保护的可靠性又与一系列因素有关：焊炬喷嘴的结构特点、喷嘴出口处的气流流动状态、干扰因素的影响（电弧燃烧，气体对流）以及喷嘴端部到待焊金属的距离等。在确定最适宜的焊接工艺和焊炬喷嘴结构时，必须考虑这些因素。但是，目前尚很难计算这些因素，因为还没有理论能够说明焊接条件下的保护气流流动状态。如果把自由紊流气流（从喷嘴流出）的理论用在保护气体上，则要求对它作一定的修正，因为焊炬喷嘴的结构，气体通入焊炬的特点和气流速度等，都与理论研究时有本质的区别。为此，本文研究了焊接条件下保护气体由焊炬喷嘴流出的规律性。这样的气流属于低速运动的紊流。对此，可采用图 1 所示的圆形截面气流系统。

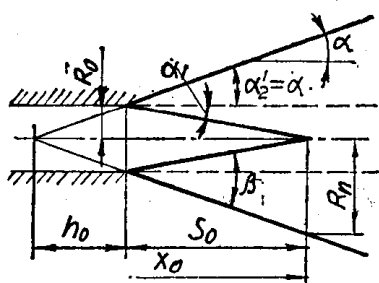


图 1 圆形截面气流示意图

气流开始部份的长度 S_0 （100% 浓度的保护气体）与它的性质和紊流性有关。当从喷嘴流出的气流有比较均匀的流速时，气流初始截面的紊流强度不超过 1~2%，开始部份长度接近等于喷嘴直径的 4 倍。增大气流的速度或流量对紊流程度的变化影响很小。

但是，焊炬喷嘴结构（图 2）与圆柱形喷嘴结构有很大的区别。由于喷嘴的长度较短，并装有导丝嘴（或者固定非熔化极用的夹头）和保护气体流入喷嘴须经过一系列的径向孔，这样使整个系统产生了人为的紊流。结果导致气流结构系数 α 的急剧增加，该系数以及开始部分的长度成为保护气体流速的函数。

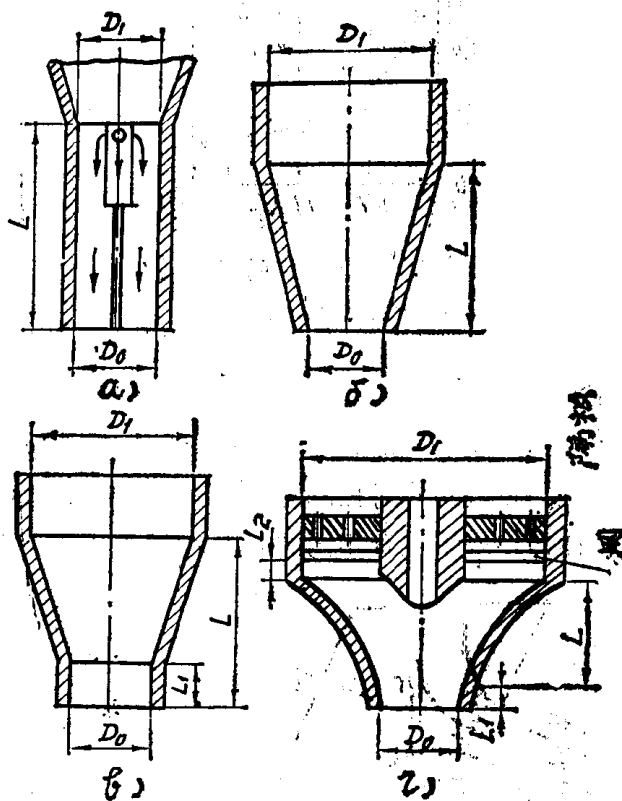


图 2 焊炬喷嘴

- a——圆柱形；Б: 圆锥形；
- в——带有圆柱形部分的圆锥形；
- г——根据 Витошинский 曲线构成的喷嘴。

例如, 根据A—547P型半自动焊焊炬(有圆柱形喷嘴)的试验结果得知, 气流开始部分的长度 S_0 取决于从喷嘴中流出保护气体的流动速度 $V_{r(o)}$, 并且可以用下列方程式计算:

$$\frac{S_0}{d_0} = \frac{1}{V_{r(o)}} \dots \dots \dots (1)$$

对于直径为16、17及18毫米的圆柱形喷嘴来说, 保护气体开始部分的长度与气体流动速度之间的关系按方程式(1)的计算值和试验值间的比较示于图3。

当考虑方程式(1)的相互关系时, 可以得出求定圆柱形喷嘴(径向进入保护气体)结构系数 α 的方程式:

$$\alpha = 0.335 V_{r(o)} \dots \dots \dots (2)$$

100%浓度的保护气体区域的长度变化与气体流量的关系示于图4(根据气流理论计算公式并考虑到方程式(2)所获得的数据以及直径18毫米圆柱形喷嘴的试验数据)。从图中可以明显看出, 理论数据与试验数据极其符合。

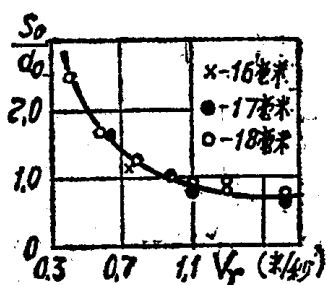


图3 气流开始部分的长度变化与气体流速的关系

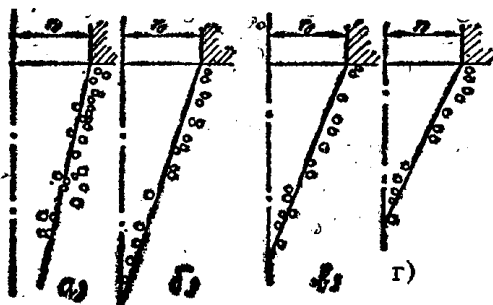


图4 100%浓度的保护气体区域的长度变化与气体流量的关系(a、б、в和r——分别表示0.38、0.625、0.79及0.955米/秒的流动速度)

气流流到壁部时发生变形(图5), 在这种情况下了解边界层的外部界限位置是很重要的, 因为它对100%浓度的保护气体区域的大小具有决定性的影响, 因而对熔池的气体保护效果也有相同的影响。根据气流理论可以得出气流函数 ψ 的方程式:

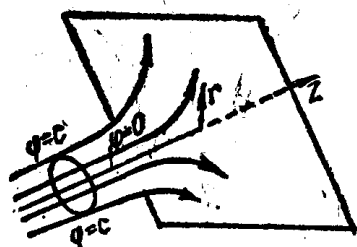


图5 轴对称气流受到阻碍的环流图

$$\psi = -\frac{Q_0}{hr_0^2} Zr^2 \dots \dots \dots (3)$$

鉴于气流函数可用气体流量来表示, 而 Q_0 和 Z 可用气流几何参数和流速来表示, 则可将气流的流动半径 r 作为气流结构和喷嘴端部到待焊金属的距离的函数。经相应的换算后得出:

$$r = r_0 \left[1 + \frac{2(h+Z)}{d_0} - \operatorname{tg} \alpha \right] \sqrt{-\frac{h}{Z}} \dots \dots \dots (4)$$

式中: h 为喷嘴出口端面到待焊材料的距离; r_0 为喷嘴出口截面的半径。由于在喷嘴出口处气流转换方向, 边界层外部界限的扩散角扩大, 其增量为 $\Delta\alpha$ 。将

方程式(4)微分并代入 $Z=-h$ 后,可以求得在喷嘴出口处气流外部界限的转向角度:

$$\left(\frac{dr}{dz}\right)_{z=-h} = \operatorname{tg} \alpha + \frac{r_0}{2h} \dots\dots\dots (5)$$

从方程式(5)可得出,喷嘴出口处边界层外部界限的扩散角增加,其增量为 $\Delta\alpha = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r_0}{2h}$ 。因而推测出,100%浓度的保护气体的锥体收缩角就会减少同样的数值,即 $\alpha'_{cr} = \alpha'_1 - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r_0}{2h}$ 。

根据所获得的关系式,可以得到确定被焊材料表面上的保护区域直径的公式:

$$d_s = d_0 - 2h \operatorname{tg}(\alpha'_1 - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r_0}{2h}) \dots\dots\dots (6)$$

反之,也可以求出设计和选择喷嘴时的重要算式,亦即设保护区的直径为 d_s ,则可由方程式(6)中求出焊炬喷嘴的必要直径。

对100%浓度的保护气体区域的形状及尺寸与其流速和喷嘴出口端部到被焊材料的距离的关系进行试验检查,以此检查来确定所获得的关系。

根据熔池防止周围空气影响的有效保护方面的文献资料,可以计算某些最常用喷嘴的氩气流结构系数(参阅图2和表1),计算数据列于表2。从该表得出,根据喷嘴结构特点不同,系数 α 有明显变化。从径向孔进气的圆柱形喷嘴具有最大的气流结构系数。

表 1

喷嘴 编号	喷 嘴 剖 面	喷 嘴 尺 寸 (毫 米)					收 缩 系 数	附 注
		D_0	D_1	L	L_1	L_2		
1	按照 Витошинский 曲线	16	39	32	4	6	6	参阅图2,г
2	同 上	16	28	32	4	6	3	同 上
3	同 上	16	36	16	4	6	5	同 上
4	带有圆柱形出口部 分的圆锥形	16	26	37	16	—	—	参阅图2,в
5	同 上	16	26	27	6	—	—	同 上
6	圆锥形	16	30	37	—	—	—	参阅图2,б

对于截面按 Витошинский 曲线制成并带有网格的喷嘴来说,当气体流速小于和等于2~2.5米/秒时,这个系数变化不大。然后,该系数急剧增大,显然,这可用气流在喷嘴出口处受到破坏来解释。在其它相同条件下,系数 α 随着喷嘴长度的减小而增大,而且它的增长速度随着流速的增大而增加。圆锥形喷嘴也有类似的情况。

表 2

喷嘴编号	保护气体在下列流动速度下 (米/秒) 的结构系数 (XIO^2)							
	0.415	0.830	1.245	1.660	2.075	2.49	2.905	3.32
1	2.68	2.98	3.35	3.70	4.30	4.66	5.96	7.0
2	2.82	3.35	3.57	4.46	5.10	6.70	8.26	13.4
3	3.25	3.59	4.46	5.36	6.70	10.7	15.3	35.8
4	3.35	4.12	4.66	5.97	8.25	13.4	15.3	—
5	3.57	4.86	6.70	13.4	53.0	—	—	—
6	4.66	5.64	7.15	11.9	26.8	—	—	—

图 6、7 及 8 示有 100% 浓度的保护气体区域及保护区的直径与气体流速的关系的理论及试验数据比较。两者的某些差别 (参阅图 8) 显然可作如下解释: 试验数据是用堆焊焊点的研究方法, 即是在有电弧燃烧的情况下测得的, 而理论计算的气流结构系数却没有考虑电弧的影响。

根据对所获得的关系的试验检查结果, 可以提出计算气流参数的方法。

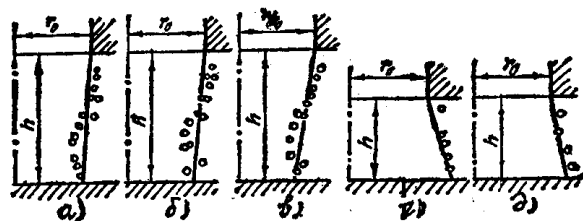


图 6 当 $h=0.835$ (а, б, в), $h=0.5$ (г, д) 和流动速度分别为 0.625、0.79、0.955、0.38 和 0.625 米/秒时; 100% 浓度的保护气体区域的尺寸与其流量的关系

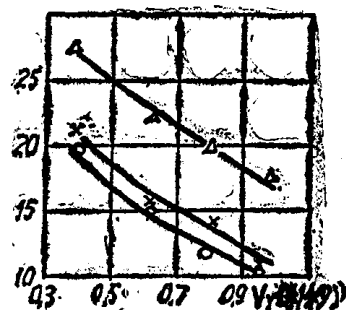


图 7 保护区的直径与气体流动速度和喷嘴到被焊材料的距离的关系 (X、 Δ 和 $\circ$ 分别表示在 $h=9.15$ 及 18 毫米时的试验数据)

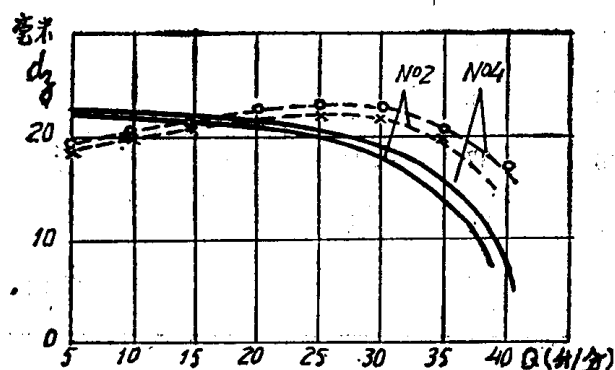


图 8 当 $h=d_0$ 时, No2 和 No4 喷嘴的保护区直径与气体流量的关系 (虚线表示文献中的数据, 实线表示理论数据)

计算方法归纳如下:

1) 根据表 2 或计算公式 (2) 来确定所选择的喷嘴的气流结构系数 α ;

2) 确定气流外部界限扩散角的正切 $\tan \alpha = 3.4\alpha$ 和 100% 浓度的保护气体区域界限的收缩角正切 $\tan \alpha' = 1.5\alpha$;

3) 求定气流在壁部的漫流半径 (函数):

$$r=r_0\left[1+\frac{2(h+Z)}{d_0}\operatorname{tg} \alpha\right] \sqrt{-\frac{h}{Z}}$$

4) 考虑到壁对100%浓度保护气体区域尺寸的影响, 求定 $\Delta\alpha$ 角:

$$\Delta\alpha=\arctg \frac{r_0}{2h}$$

5) 考虑到壁部的影响, 求定固定速度下的核心界限收缩角 $\alpha'_{\text{core}}=\alpha'_1-\arctg \frac{r_0}{2h}$

6) 根据下列公式求定保护区直径:

$$d_3=d_0-2h \operatorname{tg}(\alpha'_1-\arctg \frac{r_0}{2h})$$

7) 根据所得结果绘出气流外部界限和100%浓度的保护气体区域的界限(图9)。

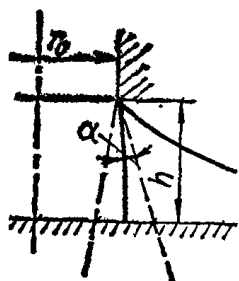


图9 100%浓度的保护气体区域的界限和气体外部界限(虚线表示自由气流的上述界限)

结 论

1) 从焊炬喷嘴中流出的保护气流符合于自由紊流气流理论的一般规律。但是, 气流结构系数在这种情况下不是常数, 而是气流流量和喷嘴结构特性的函数;

2) 保护气体受阻于待焊金属对熔池的保护效果有利, 当流速不变时, 它使核心界限收缩角减小(变量为 $\Delta\alpha$), 喷嘴出口端面到待焊金属的距离越小, 收缩角变量 $\Delta\alpha$ 越大;

3) 利用所拟定的保护气流参数计算方法, 可以预先判断使用各种类型喷嘴时的熔池保护效果。

(译自《Сварочное производство》1973. №6)

钢的CO₂脉冲电弧焊的金属过渡

试 验 装 置 及 方 法

试验是用脉冲电源及整流器进行的。下列焊接规范可利用闸流晶体管控制的平降静特性脉冲电源调节: 基值电流20~200安(电压14~26伏), 脉冲电流50~500安(电压18~40伏), 占脉冲周期5~80%的脉冲时间, 脉冲频率20~160赫兹。基值电流及脉冲电流可分级调节, 脉冲时间及脉冲频率可连续调节。CO₂气体保护下的大电流(大于450安)焊接试验, 可采用50~500安(18~40伏)的平降静特性整流器。

试验是用堆焊方法完成的, 焊炬固定不变。在全部试验中, 气体及混合气体(CO₂、Ar、CO、He、Ar—O₂、Ar—He、Ar—H₂)的流量均为15升/分。焊炬离试件的距离为17.5及10毫米。直径为0.6、0.8、1.0及1.2毫米的焊丝具有下列的近似成分(%):

①低合金钢焊丝: C 0.10~0.14, Mn 1.5~1.8, Si 1.0~1.3, P<0.03, S<0.03。

②高纯铁焊丝： $C < 0.015$, $Mn < 0.07$, $Si < 0.006$, $P < 0.016$, $S < 0.025$ 。

图1所示的试验装置系统，用于测定电压跳变后的瞬时电流特性曲线。通过欧姆串联电阻 R_v 的分路，在欧姆电阻 R_L 上以及在熔化极及非熔化极Ar及CO₂气体保护焊时能够产生电压跳变。随着欧姆电阻 R_L 上的电压跳变，可确定出电路电感对电压跳变后电流特性曲线的影响。

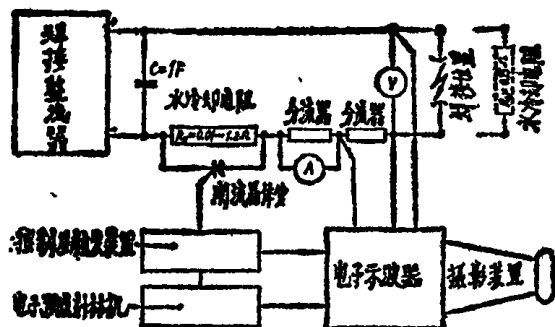


图1 测定电压跳变后瞬时电流特性曲线的试验装置系统图

试验评价

电压跳变后的电流特性曲线 假定在CO₂脉冲电弧焊时，离解过程使电压跳变后脉冲阶段的电流增加延迟，那末，由于颈缩效应，平稳的增加电流将形成较小的熔滴脱解力，从而难以实现可控的金属过渡。

非熔化极Ar及CO₂气体保护焊电弧长度不变时，电压跳变后的电流及电压特性曲线示于图2,a。

如果用一欧姆电阻来代替电弧，则可得出近似的电流及电压特性曲线。图2,b为熔化极Ar及CO₂气体保护焊的电压及电流特性曲线。

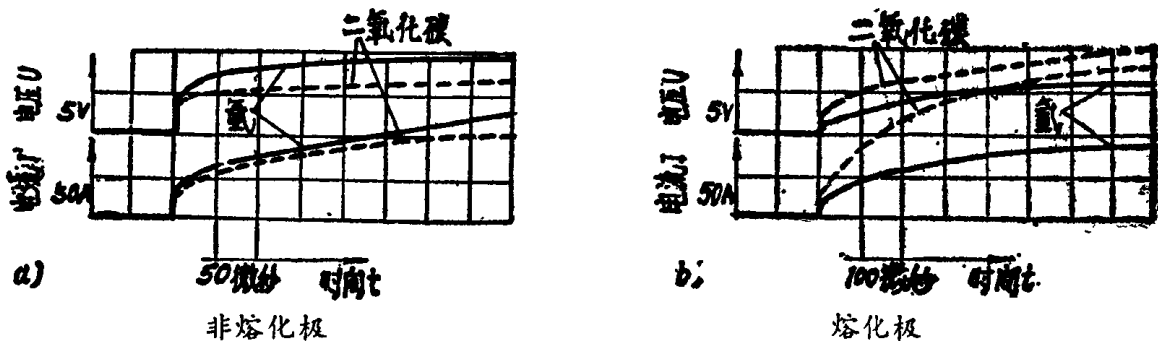


图2 非熔化极及熔化极Ar及CO₂气体保护焊时电压跳变后的电流及电压特性曲线

从上述对比中可看出，两种气体的电弧电压跳变后的电流增长近似相等。在熔化极及非熔化极Ar及CO₂气体保护焊，电流的增长，是在电压跳变后大约经过0.7毫秒后停止。高速摄影表明，Ar及CO₂气体保护焊时，出现了所预想的无短路的金属过渡。只是大约经过10毫秒后，才能从照片上看出由于能量跃变而引起的弧长变化。Ar及CO₂气体保护脉冲电弧焊时的电弧电压及焊接电流波形（图3），也显示了近似相同的电流脉冲的形成。

由此可证明，CO₂气体保护焊时的离解过程，不致于严重地影响电流脉冲的形成。在电弧内通常所拥有的5000K以上的温度下，CO₂继续离解。此外，电弧内存在的电离金属蒸气参与了导电。金属蒸气电弧也是如此，因为铁及其合金成分的蒸发温度位于电弧温度之下，其电离电位低于CO₂。从高速摄影中也可看出，Ar及CO₂气体保护脉冲电弧焊时，在电弧形成及金属过渡上存在着原则区别。

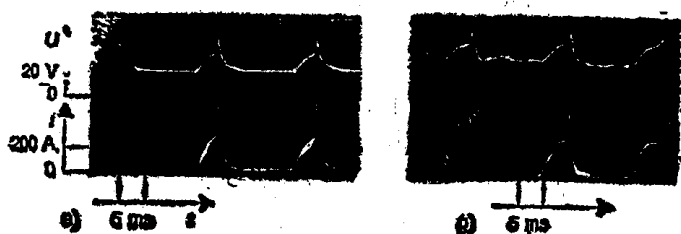


图3 熔化极Ar及CO₂气体保护脉冲电弧焊的电压及电流特性曲线；脉冲频率 $f_p=50$ 赫兹，脉冲占空因数 $V=20\%$ ，低合金钢焊丝（直径1.2毫米）

- a) Ar保护气体，焊接电流 $I_s=130$ 安，电弧电压 $U_s=23$ 伏，送丝速度 $V_n=3.9$ 米/分；
b) CO₂保护气体，焊接电流 $I_s=160$ 安，电弧电压 $U_s=23$ 伏，送丝速度 $V_n=3.7$ 米/分。

Ar及CO₂气体保护焊的电弧形成及金属过渡 氩弧集中地在脉冲阶段燃烧。氩弧包围着在颈缩作用下形成在焊丝端部上的金属蒸气。通过颈缩效应引起的引缩力使熔滴脱落，并且加速流进熔池内。在电弧轴心线内过渡的熔滴尺寸与焊丝直径近似相等。在最佳的焊接规范下，每次脉冲发生一次无飞溅的短路过渡。CO₂气体保护脉冲电弧焊时，电弧燃烧是轴射式的，其引燃点限于熔化焊丝的下端。在脉冲阶段，

由于在阳极辉点区内局部地加强了金属氧化蒸气的形成，致使熔融金属的侧部凸起，并靠向焊丝。使用直径 $d_s=1.2$ 毫米的焊丝时，在下列条件下可获得细熔滴的、飞溅少的、接近可控的金属过渡：脉冲电流 $I_p=400$ 安；脉冲占空因数 $V=40\%$ （ $V=(t_p/T) \cdot 100\%$ ，式中： t_p —脉冲时间， T —周期时间）；脉冲频率 $f_p=30$ 赫兹；基值电流 $I_0=20$ 安。

在使用直径0.6~1.2毫米的焊丝作试验时，即使分阶段地改变下述的焊接规范，也未能进一步改善金属过渡： $I_p=150\sim 400$ 安； $V=10\sim 80\%$ ； $f_p=20\sim 100$ 赫兹； $I_0=10\sim 100$ 安；在CO₂及Ar气保护脉冲电弧焊时，一定还有其它原因，例如保护气体的导热性及其化学成分的不同，造成电弧形成及熔滴过渡的差异。

保护气体的化学成分及导热性对电弧形成及熔滴过渡的影响 Ar—O₂混合气体及CO气体保护焊试验了CO₂的离解组份对可控金属过渡的影响，尽管Ar中加入50%的O₂，仍然保持着可控的金属过渡。只是形成了强烈的金属氧化蒸气及飞溅。由此可以看出，CO₂保护气体的氧化性对脉冲焊接过程不起决定性作用的不利影响。正如试验所证明，焊丝的化学成分对CO₂气体保护脉冲电弧焊的熔滴过渡也无严重的影响。

在CO气体保护焊时，采用Ar保护脉冲电弧焊所常用的调节值没有观察到与脉冲有关的金属脱落。所形成的大熔滴只是在形成短路的条件下经过多次脉冲后才过渡到熔池中。堆焊焊道平整、无咬肉及气孔。在电流脉冲开始后，短时地形成强光的弧心，这个弧心迅速地扩大。然后，电弧辐射式地燃烧，在熔滴的下侧形成微小的阳极辉点。CO电弧的扩大，可能是由于这种气体的导热性高所引起的。

如果在保护脉冲电弧焊时充以He，则在相同的电源调节下，由于电离电位增高而引起电弧电压的提高。电流密度相应于平降静态电源特性曲线而下降。He含量达到50%时，在相同的调节下，可控的金属过渡仍然可稳定地进行，而在纯He条件下，则不再可能，因为电弧温度范围内的高导热性（图4），以及这种气体的大电离电位，导致具有微小阳极辉点的电弧，在熔化大熔滴的下端燃烧。如果电弧不包围熔化的焊丝端部，则不可能由于颈缩效应而使熔滴脱落。有的文献认为，阳极辉点直径与焊丝直径近似相等，颈缩效应才能行之有效。

可以通过大的焊接电流（约260安）来减轻He比Ar具有导电性高及电离电位高的影响。此时，脉冲阶段中的电弧围绕着在颈缩作用下形成的焊丝端部的熔滴调节成可控的金属过渡。

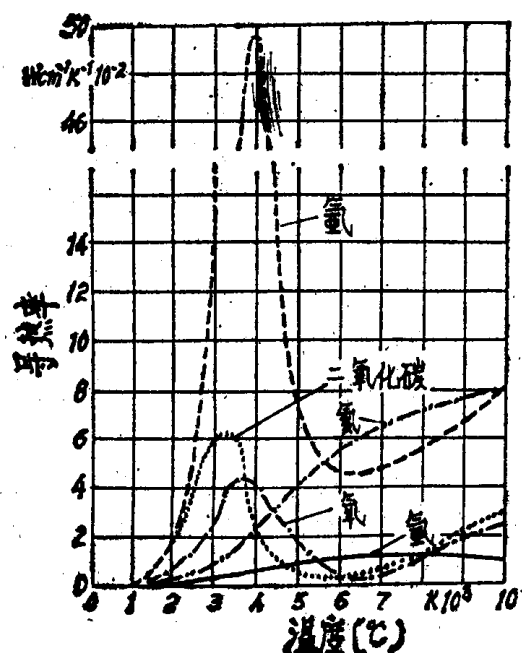


图4 温度对等离子状态中的数种气体的导热性的影响

Ar及25%He混合气体脉冲焊试验证明，高导热性及大电离电位的气体，将导致形成一种阳极辉点直径小的电弧。此外，在采用高导热性的混合气体进行焊接试验时，电流脉冲开始后，可以观察到电弧直径迅速地扩大。

采用大电流的CO₂气体保护直流电焊接试验 采用大功率、直流电源的试验表明，即使CO₂的导热性比He大，在应用大电流并保持较小的电弧长度及焊丝干伸长的条件下，电弧仍然包围着颈缩作用下形成的熔滴。细小的熔滴以高的频率在无短路及无飞溅的状态下过渡到工件上。由此可得出结论：在大的脉冲电流时，可实现CO₂气体保护下的可控金属过渡。当脉冲阶段中的电流密度达到1200安/毫米²时，可获得细熔滴的及无短路的脉冲金属过渡。

采用含碳酸铯的焊丝焊接 为了在使用脉冲电源时获得大电流，而保持较小的焊丝干伸长及电弧长度的情况，可通过采用含碳酸铯的焊丝进一步降低电弧电压(碳酸铯的电离电位低)。由于脉冲电流高($I_p=600$ 安)，同时电弧气氛容易电离，因而电弧能围绕着焊丝端部激烈熔化。与氩弧焊时喷射电弧区内的情形相似，在脉冲阶段中，焊丝端部由于颈缩效应亦呈尖形，并且在颈缩作用以后，许多细小的熔滴在电弧轴心线内无短路地过渡到工件上去。此时就要出现飞溅。可以想象，在准确的调节焊接参数时，每次电流脉冲只能获得一个无飞溅的熔滴。

结 语

在采用直径1.2毫米的焊丝及400安以下电流的CO₂气体保护脉冲电弧焊时，由于气体的导热及电离电位高以及阳极辉点小，电弧在熔化焊丝的下端燃烧。在下端局部加热熔滴，导致形成金属氧化蒸气射流。这种射流对熔滴的脱落以及在电弧轴心线中的过渡起着反作用。CO₂的氧化性对可控的金属过渡没有显著的不利影响。电压跳变后，弧柱内的离解过程也没有延迟电流的增加。

但是，由于提出了脉冲电流以及在电弧区内加入碳酸铯，抵制了大的导热性及CO₂的高电离电位，并且使电弧包围着熔化的焊丝端部，从而实现了颈缩效应，即金属的脉冲过渡。常用的富氩混合气体具有实用价值。

(译自《Schweissen und Schneiden》1974.№6)