

焊 接 手 册

第三卷 焊接方法

〔美〕美国焊接学会编



机械工业出版社

焊 接 手 册

第三卷 焊接方法

〔美〕美国焊接学会编
清华大学焊接教研组译



机 械 工 业 出 版 社

• 214856

焊接手册是美国焊接学会编写和出版的专业手册，第七版共分五卷。第三卷是继第二卷介绍电弧焊、气焊、钎焊、电渣焊等方法后的焊接方法续篇。本卷介绍各种电阻焊、各种特殊的焊接方法（高频焊、电子束焊、激光焊、摩擦焊、爆炸焊、超声焊和扩散焊）和粘接、热喷涂等。每种方法都包括基本原理、应用、设备、工艺、安全等方面。全书内容新颖、叙述简明扼要，每章都附有补充阅读资料，作为深入了解的参考。

本书可供从事焊接工作的技术人员和大专院校焊接专业师生参考。

Welding Handbook

Seventh Edition, Volume 3

Welding Processes—Resistance and Solid-State

Welding and Other Joining Processes

1980 by American Welding Society

* * *

焊 接 手 册

第七版 第三卷

焊 接 方 法

〔美〕美国焊接学会编

清华大学焊接教研组译

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $16^{3/4}$ · 字数 439 千字

1986年3月北京第一版·1986年3月北京第一次印刷

印数 0,001—9,200 · 定价 5.05 元

*

统一书号：15033·5978

焊接手册第七版共分五卷

第一卷 焊接基础

第二卷 焊接方法——电弧焊、气焊及气割、
硬钎焊及软钎焊

第三卷 焊接方法——电阻焊及固态焊、其
他焊接方法

第四卷 金属及其焊接性

第五卷 工程、质量保证和安全实践

出版者的话

美国焊接学会编写的焊接手册在美国有较大的影响。它内容丰富、新颖且不断更新，现已修改再版了第七版共五卷，其中第一、二、三卷已出版，其余二卷近期可以出版。鉴于我国目前还没有自编的焊接手册，特将美国焊接手册第七版各卷陆续译出，以供读者参考。

在翻译过程中，我们对原书作如下更动：

1. 原书同时采用英制和米制的计量单位，为了方便读者，及根据“我国统一实行法定计量单位的命令”。在译文中只采用国际单位制。此外，凡原书的正文、表格、插图、公式或方程式中用英制单位的系数、坐标均换算成国际单位制，并尽量把折算值取圆整数。

2. 本卷的索引部分，对我国读者无法使用，故删去。为了方便读者查找，全书的目录增加一层标题。

3. 由于本卷原版前言与译稿没有太大关系，故删去。

本卷中的第一、二、三、四、六、十一、十二章由吴志强同志翻译；第五、十三章由包芳涵同志翻译；第七、八、九、十章由鹿安理同志翻译。全书由郭世康同志审校。

由于译者水平所限，缺点和错误之处望广大读者批评指正。

目 录

出版者的话

第一章 点焊、缝焊和

凸焊	1
焊接方法基础	1
定义和一般介绍	1
工作原理	2
焊接循环	10
焊接电流	11
焊接时间	12
电极力	12
设备	13
电路部分	14
控制设备	16
机械系统	17
表面准备	17
点焊	20
应用	20
优点和缺点	20
各种点焊方法	20
热平衡	22
接头设计	23
滚点焊	27
电极保养	28
粘接焊	28
缝焊	29
应用	29
优点和缺点	29
各种缝焊方法	30

热平衡	33
焊接循环	33
焊接速度	34
电极	35
外部冷却	36
接头设计	36
凸焊	37
应用	37
优点和缺点	38
接头形式	39
凸点设计	39
热平衡	43
焊接循环	43
电极和焊接模子	44
接头设计	47
十字丝焊接	48
被焊金属	51
影响焊接性的因素	51
低碳钢	53
淬硬钢	53
不锈钢	53
镍合金	54
铜合金	55
铝合金和镁合金	55
覆层钢和电镀钢	56
焊接工艺规程	56
焊点质量	57
表面状况	58
焊点尺寸	60

熔深.....	60	应用	108
强度和延性.....	60	对被焊金属的影响	110
内部缺陷.....	62	电磁储能焊	110
板的鼓起.....	63	电容放电储能焊	112
质量控制.....	64	接头质量	114
焊接参数.....	64	安全	114
控制装置.....	65	机械方面	114
检验和试验.....	68	电气方面	114
统计学方法.....	72	个人防护	115
安全.....	73	补充阅读资料	115
机械方面.....	73	第三章 电阻焊设备	116
个人装备.....	73	引言	116
电气方面.....	73	点焊机和凸焊机	117
补充阅读资料.....	74	摇臂式焊机	117
第二章 闪光对焊、电阻		压床式焊机	119
对焊和储能焊	75	轻便式焊机	122
闪光对焊.....	75	多点式点焊机	124
焊接方法基础.....	75	滚点焊机和缝焊机	127
应用.....	78	焊机类型	127
设备.....	79	电极驱动机构	129
焊接工艺.....	81	专用焊机	130
过程参数.....	89	冷却	131
接头质量.....	92	闪光对焊机和电阻对焊机	132
检验和试验.....	94	闪光对焊机	132
钢的焊接.....	96	电阻对焊机	136
电阻对焊.....	99	电阻焊控制器	138
焊接方法基础.....	99	定时和程序控制器	138
对接接头.....	99	接触器	141
连续缝焊	103	辅助控制器	144
检验和试验	106	标准控制器	148
储能焊	106	监测和适应控制器	148
焊接方法基础	106	电特性	150
		单相设备	150

三相直流焊机	153	设备	193
储能焊机	155	电源	193
电极和电极夹头	157	阻抗匹配变压器	194
电极材料	157	触头	195
点焊电极	161	感应圈	196
电极夹头	168	阻抗器	196
凸焊电极	168	控制装置	196
缝焊电极	171	焊接工艺	198
闪光对焊和电阻对焊		表面准备	198
电极	172	对准和装配	199
电源	173	装卡	199
电源变压器	173	焊接质量	200
母线或馈电系统	174	检验和试验	201
安装	175	安全	203
安全	175	补充阅读资料	204
机械方面	176	第五章 电子束焊	205
电气方面	177	焊接方法基础	205
安装	178	定义	205
补充阅读资料	178	概述	205
第四章 高频焊	179	电子束焊的种类	207
焊接方法基础	179	优点和缺点	211
定义和一般介绍	179	焊缝特点	214
工作原理	180	设备	218
各种高频焊接方法	183	电子枪	218
高频电阻焊	183	电源	221
高频感应焊	185	真空抽气系统	224
优点和缺点	187	低电压系统	226
应用	189	高电压系统	227
概述	189	焊缝跟踪方法	229
各种管子焊接	190	工件装卡设备	230
结构梁焊接	191	低真空设备	233
螺旋管焊接	191	非真空设备	235
带散热片管子的焊接	192	焊接工艺	238

接头设计	238	各种功率激光器	268
接头制备和装配	238	功能和局限性	269
清理	240	激光焊	269
夹持	240	脉冲功率激光焊	271
添加填充金属	241	连续功率激光焊	272
选择焊接参数	242	激光焊的应用	275
被焊金属	245	工装和辅助装置	280
钢	245	激光切割和钻孔	281
铝合金	246	气体辅助切割	281
钛合锆	247	钻孔	283
难熔金属	247	安全	285
异种金属	247	补充阅读资料	287
应用	249	第七章 摩擦焊	288
焊接质量	251	焊接方法基础	288
引言	251	定义和一般介绍	288
气孔和飞溅	253	操作方式	289
缩孔	254	方法种类	290
裂纹	254	结合机理	291
咬边	255	优点和缺点	292
未填满	255	被焊金属	293
未焊透	256	接头设计	296
电子束偏离	257	摩擦焊机	297
未熔合	258	连续驱动摩擦焊机	297
安全技术	259	惯性驱动摩擦焊机	301
电击	259	焊接工艺程序	305
X射线辐射	260	表面准备与装卡	305
烟雾与气体	260	工装与夹具	306
可见光辐射	260	热处理	306
补充阅读资料	261	接头质量	308
第六章 激光焊和切割	262	接头的缺陷	308
焊接方法基础	262	检验与试验	310
定义和一般介绍	262	工艺过程的监测	310
工作原理	262	应用	310

安全	313	局限性	339
补充阅读资料	314	典型应用	341
第八章 爆炸焊	315	设备	345
焊接方法基础	315	概述	345
定义和一般介绍	315	设备类型	347
工作原理	315	声极极头与砧座	351
结合的本质	317	控制器	353
优点和缺点	319	自动化生产设备	354
爆炸焊应用	320	焊接工艺	354
被焊金属	320	接头设计	354
金属包覆	321	工件共振的控制	355
过渡接头	322	表面准备	355
其他应用	324	特殊焊接气氛	356
焊接工艺	326	工艺参数	356
接头形式	326	超声功率	356
表面制备	326	压紧力	356
固定和支托	326	焊接时间或焊接速度	357
工艺参数	326	频率调整	357
炸药	326	焊接参数的相互影响	357
分开间隔	327	功率-压紧力程序化	358
接头质量	327	焊接质量	359
非破坏性检验	328	影响因素	359
破坏性检验	329	物理和冶金性能	359
安全	331	机械性能	365
补充阅读资料	332	耐腐蚀性	367
第九章 超声焊	333	质量控制	367
焊接方法基础	333	安全	369
定义和一般介绍	333	补充阅读资料	370
方法种类	334	第十章 扩散焊和扩散	
超声焊的机理	335	钎焊	371
优点和缺点	337	焊接方法基础	371
应用	338	定义和一般介绍	371
被焊金属	338	扩散焊原理	372

X

扩散钎焊原理	375	表面准备	429
优点和缺点	376	金属的表面准备	430
表面准备	377	其他材料的表面准备	432
扩散焊	379	制备表面的检验	432
工艺参数	379	组装和固化	432
扩散焊种类	383	组装	433
设备与工装	384	夹持	433
扩散钎焊	389	加压	434
工艺参数	389	固化温度	435
设备和工装	391	烘箱	436
应用	391	加热压力机	436
钛合金	391	质量控制	437
镍合金	396	试验	437
铝合金	399	过程控制和质量保证	437
钢	400	产品的评定	439
异种金属组合	401	非破坏性检验	439
检验	402	安全实践	440
补充阅读资料	403	一般要求	440
第十一章 金属粘接	405	预防措施	441
粘接方法基础	405	补充阅读资料	442
定义和一般介绍	405	第十二章 热喷涂	443
工作原理	406	热喷涂方法基础	443
优点和缺点	407	定义和一般介绍	443
粘结剂	412	各种喷涂方法	443
概述	412	火焰喷涂	444
粘结剂类型	413	气体调节器	445
结构粘结剂	414	压缩空气源	446
粘结剂形式和涂敷方法	417	丝材火焰喷涂	446
膏糊状和胶泥状粘结剂	418	陶瓷棒火焰喷涂	447
涂料	419	粉末火焰喷涂	449
粘结剂选择	419	等离子喷涂	449
接头设计	421	概述	449
夹层结构	428	设备	450

气体	452
铺面材料	453
电弧喷涂	453
概述	453
设备	455
系统的操作	455
爆燃火焰喷涂	456
喷涂的准备工作	457
表面粗化加工	457
结合层	458
预热	458
熔合堆敷层	459
概述	459
自稀释合金	459
设备	460
母材金属	461
熔合	461
后处理	462
封填	462
扩散	463
表面精加工	463
机加工	463
磨削	464
其他方法	465
质量控制	466
性能	466
显微组织	467
硬度	468
结合强度	469
密度	471
收缩	472
应用	472
防止腐蚀和氧化	472
机器零件	473
电工器材	473

铸造	474
软钎焊和硬钎焊	474
飞机和导弹	474
安全	474
设备	474
防止火灾	475
人员防护	476
补充阅读资料	477

第十三章 其他焊接

方法	478
热剂焊	478
焊接方法基础	478
应用	480
安全	489
冷焊	490
焊接方法基础	490
设备	494
对接接头	496
搭接焊	501
热压焊	503
压力气焊	503
锻焊	514
滚焊	517
碳弧焊	517
定义和一般介绍	517
工作原理	518
设备	519
焊接技术	519
被焊金属	520
双极碳弧焊	521
安全	521
光焊条电弧焊	521
原子氢焊	522
补充阅读资料	523

第一章 点焊、缝焊和凸焊

焊接方法基础

定义和一般介绍

点焊、缝焊和凸焊是三种电阻焊方法。在这些方法中，由电流通过工件利用工件电阻所产生的热在接触面上形成金属结合。为了防止在接触面上发生电弧以及锻压焊缝金属，在通电前、通电中和通电后始终要施加压力。通常，接触面在焊接期间发生熔化。图 1.1 示出了这三种电阻焊方法。

点焊时，在工件的电极部位形成一个熔核 $\ominus$ 。使用多对电极时，可同时产生两个或多个熔核。凸焊与此相似，但其熔核位置由工件的一个接触面上的凸点或浮花决定。在焊接丝材、棒材（即焊接十字交叉接头）时，则由零件的交叉点决定。一对电极可同时产生两个或多个凸焊点。

缝焊是点焊的一个变种，它产生一系列搭接的熔核从而获得连续的气密焊缝。一对电极或都做成轮状，或将其中的一个做成轮状。当工件从电极间通过时，轮状电极转动。缝焊焊缝也可以

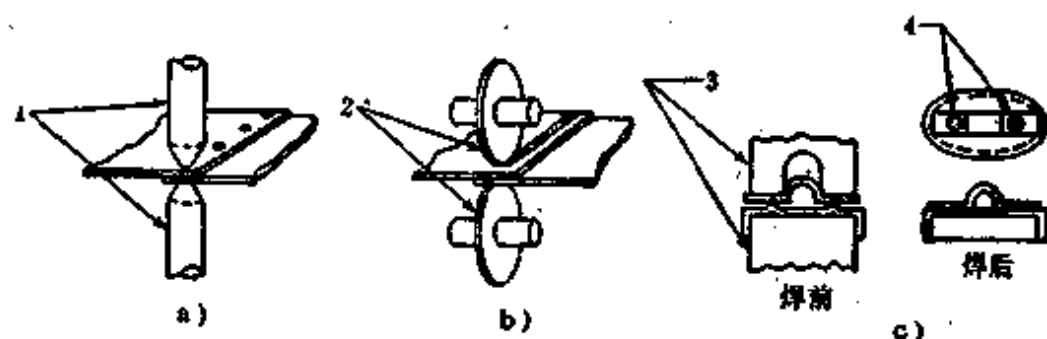


图1.1 点焊、缝焊和凸焊方法

a) 点焊 b) 缝焊 c) 凸焊

1—电极 2—滚轮电极 3—电极或模子 4—凸焊点

$\ominus$ 熔核指点焊、缝焊和凸焊时连接工件的焊缝金属。

用点焊设备来完成，但操作过程要慢得多。

用一台缝焊机和轮状电极，通过适当地调节工件送进速度和焊点之间的时间间隔，可以完成一系列不相连的焊点。在点焊期间，工件的送进可以停止，也可以不停止。这种方法称为滚点焊。

工作原理

点焊、缝焊和凸焊操作包括协调地运用一定幅度和持续时间的电流和机械压力。焊接电流由电极通过工件，并由施加于电极或凸点的压力确保电流的流通。要将电极或凸点做成一定形状以获得必要的电流密度和压力。操作顺序必须首先保证产生足够的热量，以便将有限容积的金属升温到熔化状态。然后，这部分金属在压力下冷却，直至它有足够的强度将两个零件连接在一起。电流密度和压力大小必须能形成熔核但又不至于把熔化金属从焊缝区挤出。通电时间（焊接时间）必须很短，以防止电极表面过热。这种过热会使电极粘于工件上并大大降低其寿命。

电阻焊所需热量是由电流通过工件电阻产生的。由于电流在工件中的通路很短，而且焊接时间有限，这就需要使用很大电流才能产生所需的焊接热量。

热的产生 在一个导体中，产热量取决于三个因素：（1）电流大小；（2）导体的电阻；（3）通电时间。这三个因素对产热的影响如下式所示：

$$Q = I^2 R t$$

式中 Q ——产生的热量(J)；

I ——电流(A)；

R ——工件电阻(Ω)；

t ——通电时间(s)。

产生的热量与焊接电流的平方成正比，也与电阻和时间成正比。热量的一部分用来形成焊缝，另一部分散失于周围金属中。完成一定焊缝所需的电流大体与时间的平方根成反比。因此，如果时间极短，则所需电流就会非常大。大电流和短时间的组合，可能会在焊缝区产生一种不合需要的温度分布，导致表面剧烈熔

化和电极迅速损耗。

电阻焊机的次级回路和被焊工件构成一系列的电阻。电阻的算术总和影响电流的大小。不论回路中任何部位的瞬时电阻值如何，在回路中各个部分的电流大小总是相同的，但任何部分产生的热量则与该处的电阻值成正比。

电阻焊的一个重要特点在于能快速地产生产焊接热量。点焊、凸焊和缝焊时，工件和电极末端内部温度分布如图 1.2 所示。实际上，在一个焊点中至少有七个电阻串联，这些电阻是形成温度分布的原因。对于由两个焊件组成的接头，这些电阻的组成如下。

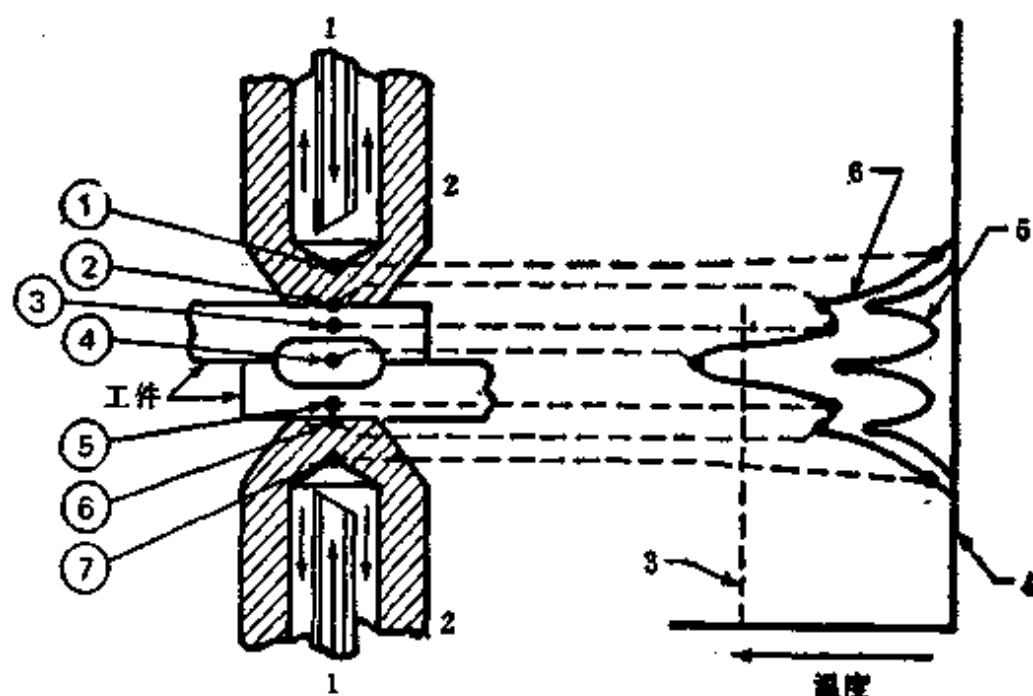


图1.2 点焊、缝焊和凸焊不同部位的温度分布

1—冷却水 2—电极 3—焊接温度 4—初始温度

5—在20%焊接时间的温度分布 6—焊接时间结束时的温度分布

(1) ①和⑦ 电极材料的电阻。

(2) ②和⑥ 电极和工件间的接触电阻。这个电阻的大小取决于工件和电极的表面状况、电极面的形状和大小以及电极压力（电阻与接触压力差不多成反比）。这是一个高热量产生点，但是由于电极（①和⑦）的导热性高而且它们通常是通水冷却的，因而与电极接触的工件表面在电流通过时没有达到熔化温度。

(3) ③和⑤ 工件本身的总电阻。它与电阻率和厚度成正

比，与电流通路的截面积成反比。

(4) ④ 工件间界面的电阻。这是焊缝生成的部位，也是电阻最高的部位，因之是产生热量最大的点。此外，因②和⑥处也产生热，所以在这个界面上产生的热不会很快传给电极。

热不仅在工件间界面处产生，也在所有上述部位产生。回路中各部分的电阻热形成的温度梯度决定了热量是流向工件界面还是从工件界面流出。而热的流向又加速或延缓适量的局部焊接热的产生。

在图 1.2 的七个部位中，每一部位都要产生热量，其大小与该处的电阻成正比。然而只有工件界面需要焊接热，所有其他部位产生的热应尽量减少。由于最大电阻位于④处，热量在该部位产生得最快。次大电阻位于②和⑥处，在这两处温度上升也很快，但不如④处快。在20%的焊接时间时，温度梯度约如图 1.2 中所示。②和⑥处产生的热迅速地散失到毗邻的水冷电极①和⑦。④处的热以慢得多的速度散失到工件中去。因此在焊接电流继续流动时，在平面④处的温度上升速度要比②和⑥处快得多。图中焊接温度用垂直虚线表示。在控制完善的接头中，首先在工件间交界面的无数接触点上到达焊接温度，此时这些点熔化并随时间的推移迅速地生长成熔核。

在单位焊接时间内影响给定电流在接头中产生热量的因素是：(1)被焊金属和电极的电阻；(2)工件之间和电极与工件之间的接触电阻；(3)工件和电极的散热。

焊接电流的影响 在公式 $Q = I^2 R t$ 中，电流对产热的影响比电阻和时间两者都大。因之，它是一个重要的要加以控制的参数。引起电流变化的因素是：(1)电网电压波动；(2)交流焊机次级回路阻抗变化。阻抗变化是因回路的几何形状变化或因焊机次级回路中引入不同量的磁性金属。对于直流焊机，次级回路中的磁性金属对阻抗没有明显影响，回路的几何形状则毫无影响。除了焊接电流大小变化以外，在工件交界处的电流密度也可能变化。电流通过已焊成的焊点和待焊点以外的接触点而形成的分流会导

致这种变化。增大电极接触面积或凸焊时增大凸点的尺寸都会降低电流密度和焊接热。这可能会使接头强度明显下降。

为使工件间界面熔化，对应于一定时间要有一个最低的电流密度。产生的热量应足以弥补向周围金属和电极散热的损失。熔核尺寸和强度随电流密度增加而迅速增加。电流密度过大将导致焊缝金属喷溅、形成空腔、焊缝开裂以及机械强度降低。典型的焊点剪切强度与电流大小的关系如图 1.3 所示。点焊和缝焊时，电流过大将会使母材过热，从而在工件上产生深的压痕，还会使电极过热并迅速损耗。

焊接时间的影响
产生热量的速度应有利于生成具有适当强度的接头而又不使电极过热和迅速损耗。产生的总热量与焊接时间成正比。热量基本上是通过传导散失于周围的母材和电极中，只有很少量通过辐射散失。这些损失随着焊接时间和金属温度的增加而加大，而且基本上是不可控的。

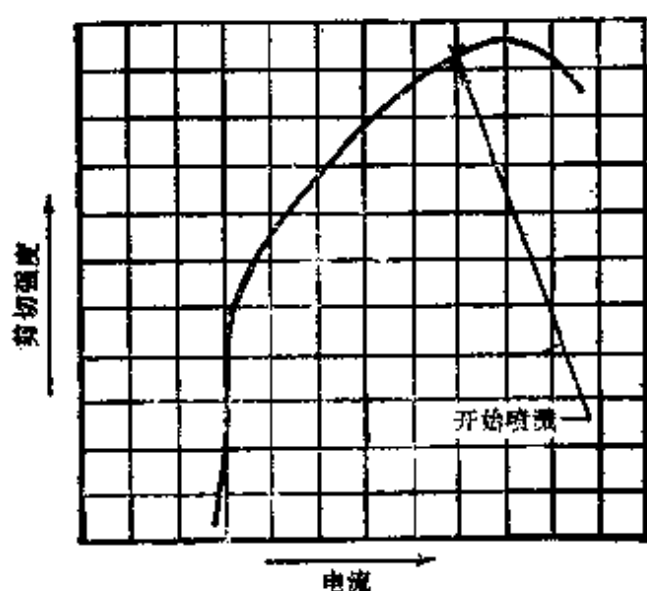


图1.3 焊接电流对焊点剪切强度的影响

图 1.2 的温度分布曲线表明在七个部位上的温度随时间的增加而上升。在某一适当的电流密度时需要有一个最短的焊接时间，以达到熔化温度。如果电流继续流通，界面④处的温度将大大超过熔化温度，因而内压力会把焊缝金属自接头处排出。产生的气体或金属蒸汽可能引起金属质点喷射（称之为“飞溅”）。如果工件表面有氧化皮或有凹痕，则在②和⑥处也可能发生“飞溅”。焊接时间过长对母材和电极的影响与电流过大的影响是相同的。此外，接头的热影响区将更深地扩展到工件内部。大多数情况下，在延长了的焊接期间内，某点的热损失将等于热输入，