

摩擦焊译文集

哈 尔 滨 焊 接 研 究 所

一 九 七 六 年 十 月

摩 擦 焊

(译 文 集)

编 译 出 版 : 哈 尔 滨 焊 接 研 究 所

(哈尔滨市南岗和兴路15号)

1976年10月出版

(工本费: 1.00元)

编 后

目前，摩擦焊在我国机械制造业中已得到了比较广泛的应用。遵照毛主席关于“**洋为中用**”的教导，我们编译了《摩擦焊》译文集，以供广大焊接工作者参考。

本文集从国外有关期刊、文献和专利说明书中选译了十六篇文章，重点介绍了近几年来国外摩擦焊的现状、发展趋势和工艺、设备改进情况。希读者遵照毛主席“**学习外国的东西，是为了研究和发展中国的东西**”的教导，有批判、有鉴别地参考。

由于我们水平所限，一定会存在不少问题，希读者批评指正。

一九七六年九月

摩 擦 焊

前 言

摩擦焊是一种固态焊接方法，由于摩擦表面在用力压紧的情况下做机械的滑移运动产生热而形成连接。摩擦焊方法的基础，是一个工件以比较高的可控制的速度相对于另一个与其焊接的静止的工件回转。

由于摩擦接触将接触表面加热到很高的温度，并且由于相互的顶锻而形成可靠的高强度接头。焊接是在接触以后的几秒或一秒以下的时间内完成的。因而，热影响区相当窄。

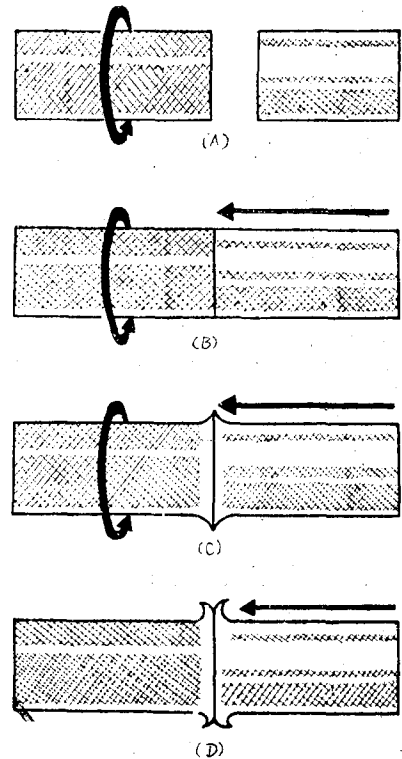
用此方法可以焊接大量的同种及异种材料。其中某些材料要求严格控制能量、转速、焊接压力和顶锻压力值以及它们的保持时间。在摩擦焊方法中，不需要填充金属、焊剂或保护气体，并且工件的准备要求不高。

设备及原理

普通摩擦焊 在普通摩擦焊方法中，控制的参数是：转动速度、轴向焊接压力、焊件顶锻或“缩短”量（可以用这个参数取代焊接的时间）、由刹车装置使主轴停止的速度及顶锻压力。因为必须使其中一焊件以相当高的速度转动，所以它的断面应对称于轴线；另一焊件可为任意形状，只要可以被夹紧不动并能承受需要的轴向力即可。过程情况如图1所示。

任一焊件所需的焊接参数取决于焊接断面的尺寸及材料的物理及冶金性能，特别是熔点、热传导性（或更确切地说，是热扩散性），加热时产生的冶金变化以及在异种金属焊接情况下，合金化可能产生的相。相在普通摩擦焊中比在飞轮摩擦焊和惯性摩擦焊接中更为重要。一般来说，这种方法要求焊接时间短，所以在某些金属相互焊接时更要考虑扩散问题。

屈服强度较低的、氧化膜薄的或氧化膜疏松的材料是容易焊接的，对焊接参数的要求也不严格，如低碳钢、商用纯镍及退火奥氏体不锈钢等。但是，强度高的材料或带有厚而坚实



(A) 把转动件加速到要求的速度；(B) 将非转动件向前推进与回转件接触并施加压力；(C) 加热阶段——在规定时间内维持压力和转动；(D) 顶锻阶段——停止转动并在规定的时间内维持或提高压力（总焊接时间——2~30秒）

图1 摩擦焊的基本过程

的氧化物材料（如果不易溶于母材中），对焊接条件的要求非常苛刻，并且几乎总是需要顶锻及较长的焊接时间才能得到效果良好的连接。这些材料包括可热处理的铝合金、低合金钢、马氏体不锈钢以及包括“超合金”在内的高温合金。

铜和铝等导热性高的材料，可以利用高转速、高速输入能量和缩短焊接时间从而使热影响区缩小到最小的方法实现最有效的连接。

飞轮摩擦焊 飞轮摩擦焊的基本过程与普通摩擦焊和惯性摩擦焊相似。但是，飞轮摩擦焊是将能量储存在飞轮中，并且它所储存的能量可以通过一套离合系统按规定的数量释放。

飞轮焊机的主要优点是它能够在装料时间内把能量储存在飞轮中，从而缩短了每个焊件的总的焊接时间。当焊接面积很大时，这一优点更为显著。它的主要缺点是因离合装置而增加了设备的复杂性并在焊接面积小的零件时受到限制。

惯性焊 和飞轮摩擦焊一样，惯性焊也是利用在回转的飞轮——主轴系统中所储存的动能。但是，与飞轮焊不同之处在于它把飞轮的全部能量都消耗在接头上，因而在飞轮和被焊件之间不用离合器。

与普通摩擦焊或飞轮焊相比，需严格控制的参数较少，因为变量仅有推力、转速及飞轮——主轴的总惯量。

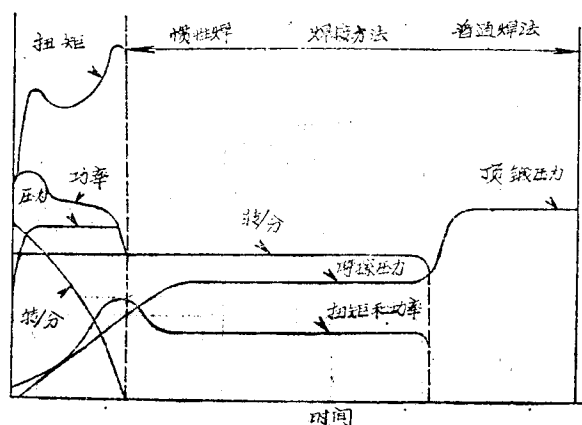


图2 惯性焊与普通摩擦焊参数示意图

接近于最高速度时，在焊接循环初期出现初始扭矩峰值，并且说明在接头处产生了显著的峰值功率消耗。此峰值功率消耗总是由飞轮减速提供的，因为直到飞轮将全部动能传给接头以前，飞轮是不会停止的。当飞轮变慢时产生了最终的扭矩峰值，并且在整个焊接表面上产生了连接。最终的高扭矩（“第三阶段”扭矩）加上推力作用使材料的位移比普通的方法更为容易，因而更加容易焊接直径较大及难于锻造的材料。

图3示出由扭矩和轴向力产生的剪切应力以及产生顶锻作用的综合剪切应力。工件直径与扭矩和推力的关系曲线是从大量的钢焊接件试验中得到的。对特定的材料组合及零件直径选用特定的圆周速度得到了最佳的接头，即小零件的转速必须比大零件更高。因为随接触面面积的减小所需的能量和推力迅速降低，因此设计一种适应焊接面积范围

普通摩擦焊与惯性焊参数的比较示于图2。从此图可以看出，除所需的焊接循环时间相差悬殊以外，这两种焊接方法均具有初始的扭矩峰值。在普通焊接中，这种峰值降低到一相对稳定的数值，并一直维持到停止转动。但是，在惯性焊中，在焊接循环结束时，扭矩重新增加到更高的数值。

因此，在使用时，用一个转动惯量适当的飞轮加速到预定的角速度，并生成所需的热量。

很宽的焊机是不切合实际的。

一种型号的焊机适应焊接工件直径的范围大约是 3:1, 有些型号 可用来焊接直径 3.2 毫米到 6.3 毫米的低碳钢件。推力范围可从数百公斤到 225 吨以上。惯性焊机基本设计特点示于图 4。

焊接夹具 夹紧工件的夹紧装置必须可靠。零件在夹具内的滑动不是降低焊接质量就是损坏夹紧装置。夹紧装置的夹紧和承受推力的表面应很坚硬, 并且应尽可能靠近焊接接触面, 以便减少偏斜, 从而减少偏心和不对称度。夹紧直径必须等于或大于接头直径。带锯齿的夹具是最可靠的。

基本的工具可以分成转动的与不转动的两类, 每一类又可分成手动和机动操作两种。通常, 手动工具仅用于试运转、小批量生产或普通产品的生产。

回转工具必须经过很好的平衡, 使其惯性矩尽可能小, 整体强度高, 并且在高回转时夹紧力大。筒形夹头完全满足上述要求。

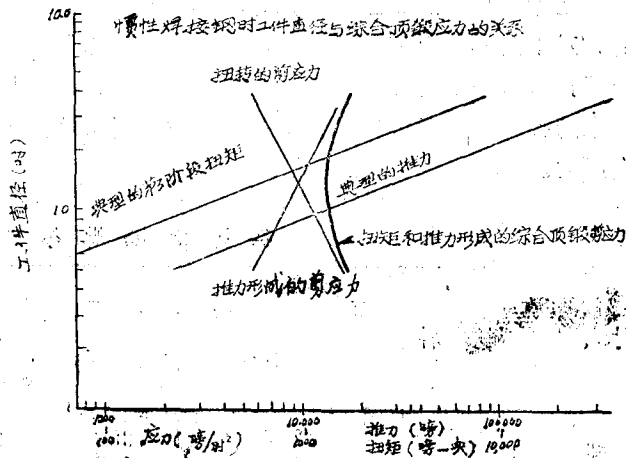


图 3 惯性焊的最终峰值扭矩和推力产生焊接区顶锻

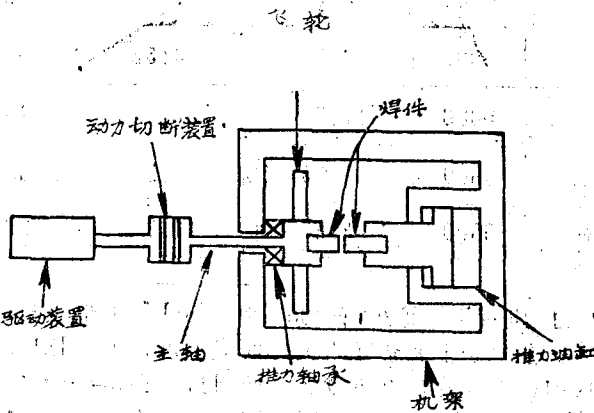


图 4 惯性焊机示意图

因为典型筒形夹头的径向总移动量约为 0.5 毫米, 所以焊件的直径和椭圆度公差必须考虑在这个范围以内。特殊设计的筒形夹头可能有较大的移动, 但是一般来说, 这种夹头有较大的惯性矩。

最通用的非回转夹具, 是带有承受推力装置的自动定心虎钳式夹具。

工件的自动定心允许焊件有较大的公差, 但是仍保持与筒夹中来紧的部件的同心度。非自动定心夹具可以用在同心度要求不

大的地方。

能够同时承受扭矩和推力的楔式夹具可以用来夹紧长焊件, 然而, 假如使用标准夹具, 则需有辅助的抗翘曲措施。

焊件的平行和同心度不仅取决于焊件的精度，同时也取决于焊接表面从夹具伸出的长度和装置的刚性。通常，焊件愈长，所需装置的偏心、刚性和强度就愈大。

焊接参数

普通摩擦焊 虽然三种摩擦焊的焊接时间都比较短，但是普通焊的每个周期是比较长的，对于同样材料和尺寸的工件，所需时间为飞轮焊或惯性焊的十倍。普通焊采用的典型焊接参数列于表1。但是，此表仅供参考，因为利用与此表相差很大的参数也可焊成满意的接头。普通摩擦焊设备的制造者，通常趋向于利用比此表稍低的转速和稍高的轴向压力。

表1 典型摩擦焊参数

材 料	直 径 (毫米)	转 速 (转/分)	摩 擦 压 力		总时间 (秒)
			加 热 阶 段 (公斤/毫米 ²)	顶 锻 阶 段 (公斤/毫米 ²)	
碳 钢 ①	12.7	3000	3.5	3.5	7
	25.4	1500	5.25	5.25	15
不 锈 钢 ②	25.4	3000	8.4	11.2	7
	139.7 外径	800	14	14	35
	114.3 内径	—	—	—	—
不锈钢与碳钢	19.05	3000	5.25	10.5	10
工 具 钢 ③	19.05	4000	10.5	14	10 ^④
铜 ⑤	25.4	6000	3.5	7	18
铝(市售纯铝) ⑤	19.05	3800	2.8	4.55	6
合 金 钢 ⑥	9.52	5000	17.5 ^⑦	28	10 ^④
合金钢与碳钢⑧	44.45 外径	6800	1.75 ^⑨	4.2	42 ^④
	31.75 内径	—	—	—	—
	114.3 外径	3000	3.85 ^⑩	11.2	26 ^④
	82.55 内径	—	—	—	—

注：① AISI 1010、1020、1030及1045钢等；② 300和400系列；③ T—1型或相同类型；④ 要求焊后热处理；⑤ 少量的合金元素可大大地改变参数；⑥ AISI 3140与21%铬—4%镍—9%锰钢；⑦ 3秒钟内压力从0升到17.5公斤/毫米²；⑧ AISI 4140与1035钢，AISI 4140预热到316℃；⑨ 在20秒内压力从0升到1.75公斤/毫米²；⑩ 在26秒内压力从0升到3.85公斤/毫米²。

飞轮摩擦焊 飞轮摩擦焊是利用一个飞轮，飞轮储存着转动的能量并按预定速度所决定的数量传给工件。飞轮释放的能量由飞轮初始接触速度及离合器使主轴与飞轮脱开时的速度决定。在焊接表面上施加恒定的轴向压力。

控制参数是：①转动速度，②飞轮的尺寸，③脱开速度，④轴向力。飞轮法的主要优点在于焊接大截面部件，因为一旦焊件被装好，几乎立刻就从飞轮得到焊接能。在装卡焊件时，用脱开离合器的方法可将飞轮加速到全能量状态。

虽然许多的飞轮焊机仍在使用着，但已不再生产。

惯性焊 有三个相互关联的焊接参数，即在焊接表面上的初始滑移速度（它同飞轮-主轴每分钟的转数及接头直径有关）、飞轮-主轴系统的惯性矩以及焊接接触面上的轴向推力（公斤/毫米²）。如果每分钟的转数和惯性质量被视为焊接参数，则接头的能量用下式表示：

$$Ek = \frac{WK^2(RPM)^2}{5873}$$

式中：Ek的单位是公斤·米（它可以换算成用英国热量单位“Btu”表示的热能），W是以公斤计的飞轮系统重量，K是以米为单位的旋转半径，RPM 是以转/分表示的转速。

可用表 2 所列数值确定惯性焊接头的正确焊接参数。这些参数可能有很大的变化，但仍可得到质量良好的接头。图 5 说明因焊接参数在很宽的范围内变化所引起的飞边及热影响区形状变化的情况，但是接头的质量并未受到影响。可以按接头断面的变化，凭经验来选择焊接参数。其中包括改变作为直径平方根函数的单位压力（公斤/毫米²）。例如，直径50.8毫米工件所需的单位压力是直径25.4毫米工件的 $\sqrt{2}$ 倍。选择单位能量时，可以应用相同的函数关系。在工件直径改变时，圆周速度保持不变，因而主轴每分钟转数的变化与工件直径成反比。在这种条件下，焊接时间和接头顶锻量的变化大致与工件直径成线性关系。

通常，管状截面工件的圆周速度比实芯工件大约高50%。管状截面的单位能量和单位压力是外径-内径的函数，其变化规律与实芯工件直径同这两个参数的关系相同。实心棒或管与板的焊接所需的能量和压力比实芯棒或管焊接时大约高10%。

对特殊的应用，往往要求不同于上述的焊接参数。当去除飞边时，可降低接头的能量，以便最大限度地减小飞边的尺寸。例如，使用的焊接能量比通常小，产生

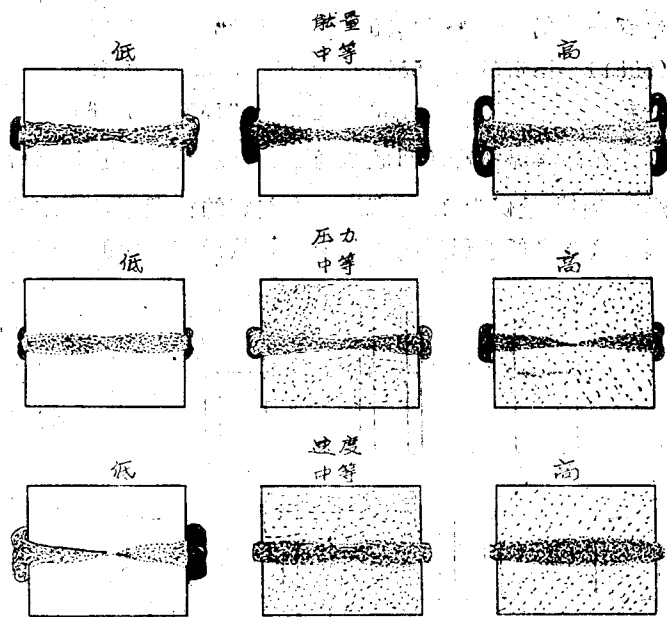


图 5 由于焊接参数变化的影响，钢棒惯性焊时热影响区和飞边形状的变化情况

表 2

直径24.5毫米棒料的惯性焊典型参数

材 料	焊 接 参 数			总 焊 接 规 范		
	速 度 (转/分)	推 力 (公斤)	惯性质量 (公斤·米 ²)	能 量 (公斤·米)	顶 锻 量 (毫米)	焊接时间 (秒)
低碳钢	4600	5400	0.283	3312	2.54	2
中碳钢	4600	6300	0.329	3864	2.54	2
低合金钢	4600	6750	0.35	4140	2.54	2
特级合金	1500	22500	5.49	6900	3.81	3
马氏体时效钢	3000	9000	0.845	4140	2.54	2.5
不锈钢(铁素体)	3000	8100	0.845	4140	2.54	2.5
不锈钢(奥氏体)	3500	8100	0.591	4140	2.54	2.5
铜	8000	2250	0.0422	1380	3.81	0.5
黄铜	7000	2250	0.0507	1380	3.81	0.7
钛(6—4)	6000	3600	0.0718	2208	2.45	2
铝(AA1100)	5700	2700	0.11	2070	3.81	1
铝(AA6061)	5700	3150	0.127	2346	3.81	1
铜—碳钢	8000	2250	0.0591	2070	3.81	1
工具钢—碳钢	3000	18000	1.14	5520	2.54	3
特级合金—碳钢	1500	18000	5.49	6900	3.81	2.5
不锈钢—碳钢	3000	8100	0.845	4140	2.54	2.5
烧结钢—碳钢	4600	5400	0.35	4140	2.54	2.5
铝(6081)—不锈钢	5500	* 2250~6750 *	0.164	2760	5.08	3
铜—铝	5500	* 2250~6750 *	0.164	2760	5.08	3

* 在焊接加热阶段用较低的推力，在接近焊接结束时提高到较高的推力。

的焊件 顶锻 量仅为 0.51 毫米。在其它的情况下，要求的能量比通常高，以便加宽热影响区。这就降低了焊后的冷却速度，从而使飞边的硬度减低。在考虑焊接状态下的机械

加工性能时，这样做是很必要的。普通的合金钢，如果不是含碳量较低的话，则需焊后回火，以便将飞边的硬度降到可加工的程度。

金属组织 普通摩擦焊及惯性焊所产生的金属组织一般是由相互焊接的相同成分的材料的时间-温度循环所确定的。然而，如前所述，受热时间是短暂的，并且对所有的摩擦焊过程而言，所达到的温度往往低于熔点。因此，象低碳钢

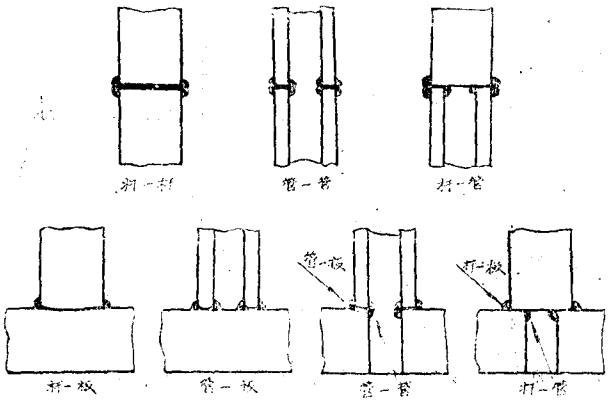


图 6 飞边形状和热影响区的典型接头设计

这类材料，整个焊接区的硬度变化是很不明显的。对可淬硬钢来讲，热影响区内发生明显的组织变化。这些比较硬的（及可淬硬的）材料也需要较长的焊接时间，并且产生较宽的热影响区。

异种金属焊接接触面的组织和所采用的摩擦焊方法有很大的关系。焊接时间愈长，愈应注意焊接接触面上的扩散影响。适宜的焊接参数通常可以防止形成不应有的扩散和化合物，铝合金与不锈钢间的接触面由于采用比较快的惯性焊过程而看不出有明显的扩散区。

接头的设计和准备 摩擦焊的特点是至少其中一个焊件的焊接表面必须基本上是圆形的。因为回转速度较高，所以回转件在形状上必须保持一定程度的同心。图6表示由杆、管和板所组成的典型接头设计。在杆或管与板焊接时，飞边主要产生在更容易锻造的杆或管件上。

图7是在同心圆柱体上同时焊接的特殊接头设计。对于这种设计的要求是在合适的速度范围内产生两个接头，并且保证两个接头在焊接循环的适当时间接

触，以便按一定的比例分配能量。除方形对接接头外，也可采用角接头或锥形接头。

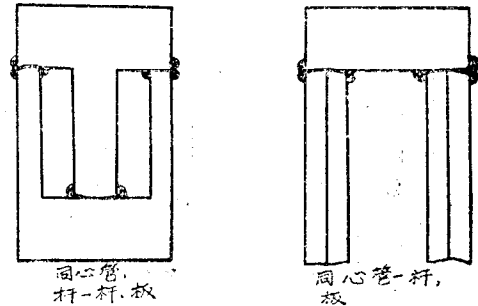
角接头通常设计成端面与中心线成 30° 到 45° 角，但也采用过象 8° 这样小的角度。对比较容易锻造的材料，最好用比较大的角度，以防工件从孔中推出。图8示有另外一些特殊设计的接头。带有飞边槽的接头用于不能去除飞边以及由于使用或美观上的原因不许飞边暴露在外面的地方。虽然产生的飞边非常粗糙和不对称，但成功地焊接了非圆形工件，如果必须去除飞边，是有困难的。

对非圆形接头的要求是，对应连接件的面积必须足够大，以便能完全接受非圆形回转件的摩擦。板与板的焊接不能采用回转摩擦焊法。但是，这样的接头，可用管辗成板的方法制成。

锻造温度或热扩散系数相差悬殊的异种材料间的某些焊接，需调整接触面的相对尺寸，以使每个工件的缩锻及顶锻适当平衡。

因为在部份接头的初始接触表面及焊接过程中完全被挤出，所以接头表面的准备不是很严格的。假若供给足够的能量以修正不平度及过多的飞边是无害的话，则剪切、火焰切割及锯割的表面通常都是合乎要求的。表面不平度太差，可能产生径向力，影响接头的同心性。不平度必须保持在（直径25.4毫米焊件）0.26毫米以内。切割工具造成

复式同心接头



锥形接头

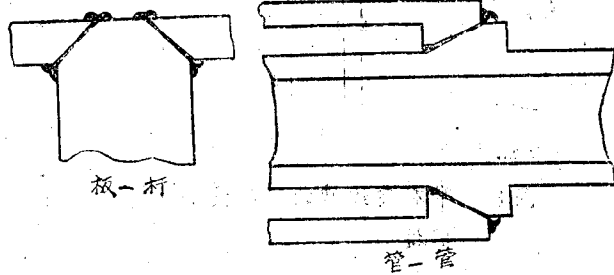


图7 特殊设计的复式接头及锥形接头

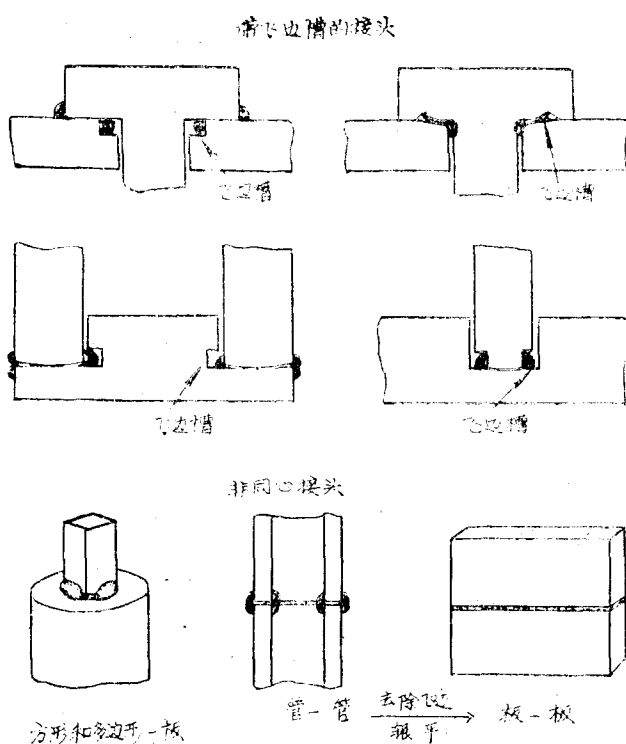


图8 带有飞边槽的特殊接头设计和非圆形接头

一旦按照上述的检验方法确定了正确的焊接条件以后，基本的质量控制方法就是焊件的物理测量。

抽验焊件的顶锻量，是保证焊机不发生误动作或工件不发生变化的有效方法。过程的良好再现性，在惯性焊时仅包括控制速度（因飞轮的尺寸是固定的）和推力，允许保持顶锻量在名义数值的5%以内。

各种原因都可能产生焊接缺陷。例如，在惯性焊时，热影响区外周边缘的撕裂是由于使用的飞轮过大，并且速度低于正常的速度。在这样的条件下，焊接区达不到足够的温度，并且由于焊接表面上发生的连接引起焊接区过度的扭变。

由于各种原因，在接头中心可产生另外一种形式的缺陷。使用的焊接参数可能在中心处达不到充分的加热。在焊接初期防碍相互接触的凹陷表面将限制中心处的加热，并且使氧化物聚集在中心，因此产生了缺陷。工件有中心孔时往往会在中心处产生缺陷。如果必须采用中心孔，其深度除必须足以容纳飞边外，还要有足够的容积，以防止孔中的空气挤入焊接表面中。如果中心孔有足够的深度，它是增加焊接横断面积的一个有效方法，因为可采用比实芯断面优越的管形断面的参数。当然，这也降低了要求的单位压力，通常它是评价焊机能力的限定因素。

由于顶锻不足而在中心处会产生中心未焊透缺陷。惯性焊接头是用同样的速度和惯性质量焊成的，但是压力从左到右递减。经深腐蚀显露出中心缺陷的两个接头，是由于

的中心凸起没有影响。然而，为防止空气和氧化物陷入接头内，应避免表面有中心孔或中间凹陷现象。锻造鳞屑或轧屑必须清除，因为它有时不可能挤出焊接接触面。通常必须避免表面渗碳、渗氮及镀层。

接头质量的控制 接头质量主要是由正确选择焊接参数来保证，对大多数材料讲，允许参数有较宽的变化范围。因为它是不用填充材料或焊剂的固态焊过程，所以象气孔、夹渣及脆性合金物等缺陷实际上是不会存在的。断裂或弯曲试验、微观检查、飞边尺寸和性质的宏观检查、超声波、磁粉探伤或着色检验等方法都可以用来确定接头的质量。

顶锻量小于合适的顶锻量3.5毫米和1.6毫米。通常50.8毫米的棒料用5.1毫米的顶锻量足以防止产生这样的缺陷。在一般的摩擦焊接头中，假如速度或焊接时间不够以及加热或顶锻压力不足，也可能产生这种缺陷。

图9所示的压缩机轮代表了一种允许公差必须保持在精加工范围以内的焊件。毛坯的准备是仔细控制的，使用的刚性装置使同心度保持在0.38毫米以内，顶锻量在0.26毫米以内。这个610毫米外径的因科镍718合金（高温镍基合金）制的压缩机轮要求在538℃温度及大约5600公斤/厘米²的离心力下工作。90厘米²的接头用惯性焊在2.5秒内焊成。

接头的热处理 焊件焊前的热处理通常对它的可焊性的影响是不大的，但热影响区的机械性能可能会受到影响。在焊接合金时，它的热处理条件可能使焊接参数改变，特别是在一般的焊接法中更是如此。

不过，为使离开焊接区的材料能够满足所要求的机械性能，或者解决处理焊件时产生的问题，有时总要进行焊前热处理。钢—铝焊件不必进行焊后热处理（铝的时效处理除外），因为316℃以上的热处理将由于形成铁—铝化合物而使接头严重脆化。

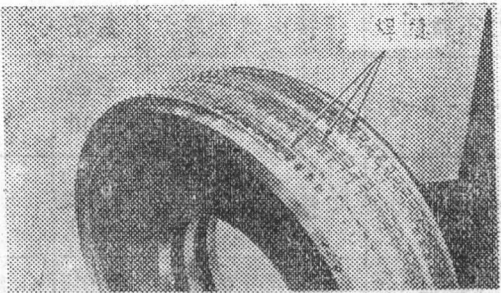


图9 惯性焊焊成的因科镍718压缩机轮（轮的外径610毫米，接头90厘米²，在2.5秒内焊成）

图10表明，6061—T6铝与钢惯性焊接时发生的软化现象。软化是由于接头界面附近的退火或固溶处理及热影响区边缘附近的过度时效所引起的。

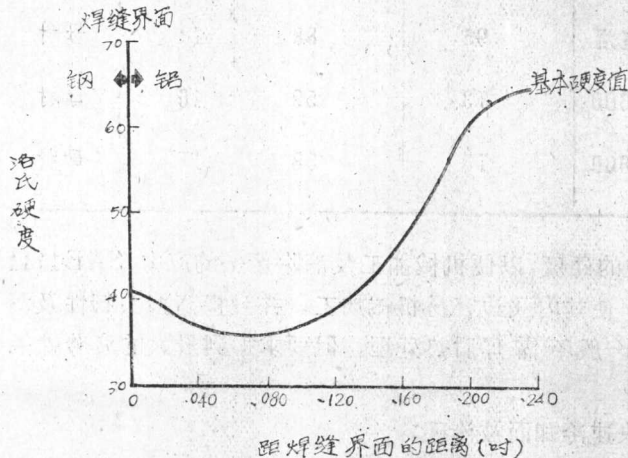


图10 6061—T6铝与钢焊接时由于接头时效过渡及重熔温度所引起的软化

在用一般的方法焊接2024—T4铝时，在热影响区内也可观察到类似的软化现象。

因科镍718等某些特级合金是在下述的状态下焊接的：①固溶处理+时效+惯性焊+固溶处理+时效；②固溶处理+惯性焊+时效；③固溶处理+时效+惯性焊+时效。

由这些焊件取出的试件所作的机械性能试验没出现任何变化。电子显微镜观察表明，焊接表面无任何缺陷。接头的强度等于或高于母材的强度。

因此可以推论，惯性焊法的热锻作用对某些时效硬化合金有固溶作用，这样就允许焊后进行再时效处理。

表3为时效及非时效硬化合金的抗拉强度。试验表明，接头强度随给定的焊后处理

而变化。

表 3 各种合金惯性焊的拉伸性能

合 金	条 件	温 度 (°F)	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)	屈 服 强 度 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 (%)	破 坏 位 置
4340钢	焊接	室温	154	144	12	母材
321不锈钢	焊接+消除应力	室温	61	24	65	母材
钛-6-6-2	焊接+消除应力	室温	127	124	12	母材
		600	103	84	16	母材
钛-6-2-4-2	焊接+消除应力	室温	102	93	14	母材
		900	77	58	18	母材
200型马氏体时效钢	焊接+时效	室温	159	153	12.5	母材
udimet700	焊接+热处理	室温	132	95	13.5	母材
		1400	101	88	15	母材
因科镍718	焊接+时效	室温	147	120	13.5	母材
	焊接+时效	1200	113	102	8	母材
钛-6-4	焊接(A)	室温	101	92	12	母材
	焊接+1750°F +1300°F(B)	室温	95	88	14	母材
	焊接(A)	600	73	59	16	母材
	焊接+1750°F +1300°F(B)	600	73	58	17	母材

通常要进行焊后退火,降低飞边的硬度,以便机械加工及消除接头的应力,SAE1141钢焊件在热影响区内进行感应回火,使其内飞边容易机械加工,并且提高接头韧性及消除应力。碳含量约低于0.20%的钢一般不需焊后热处理,但要求得到最大的疲劳性能时,则需焊后热处理。

中碳或高碳合金钢由于焊后的快速冷却而被淬硬。

直径5T毫米的SAE86B30钢惯性焊后,在熔合线两边的硬度是最高的。在熔合线上硬度稍低些,估计是由于该部位的晶粒很细,淬硬能力较小所致。焊后淬火及回火热处理可使接头区及母材的晶粒尺寸及硬度均匀。焊件经重新奥氏体化后,接头区的显微组织与母材是一致的。预先淬硬的工具钢的接头必须经204℃回火(回火温度最好更高些),这需由钢的型号来决定。通常,鉴于摩擦焊的热过程是由快速加热和冷却循环所组成,所以,在要求作焊前或焊后热处理时,必须进行适当的冶金学方面的考虑。因为这是一

种固态的焊接方法，所以热影响区对热处理的反应与离开焊接区的未受影响的材料对热处理的反应是相同的。

机械性能 由于摩擦焊是固态的焊接法，不受熔化焊时的铸造组织、粗大晶粒及大气污染等这些降低接头强度的因素的影响，所以，接头的强度通常等于母材的强度。钢与6061铝的接头就是一个明显的例子，摩擦焊（惯性焊法）接头的静载及疲劳强度均超过铝的强度。这种固态焊接方法不会产生熔化焊常见的脆化现象。接头基本上没有铁-铝化合物，至少用电子探针和电子显微检验不能发现。

图11所示的疲劳曲线表明，这种钢-铝合金接头的疲劳极限是±10.5公斤/毫米²，刚好在未经焊接的铝的离差带以内。象2024这样的热脆铝合金与钢焊接时，不能期望得到100%的焊接效果。这对高度再硫化的热脆钢也同样适用。这类钢有强烈的方向性，可能由于在焊接区内横向的流动方向使其静载及疲劳强度损失很大所致。

SAE8630、渗碳 SAE 8620及SAE10B35钢惯性焊接接头的疲劳试验结果分别示于图12、13及14中，非焊接试件的疲劳极限是用以作比较的。在限定的负荷范围内，当钢的硬度大约超过Rc45时，惯性焊接头大概降低10%。

在焊后即进行淬火及

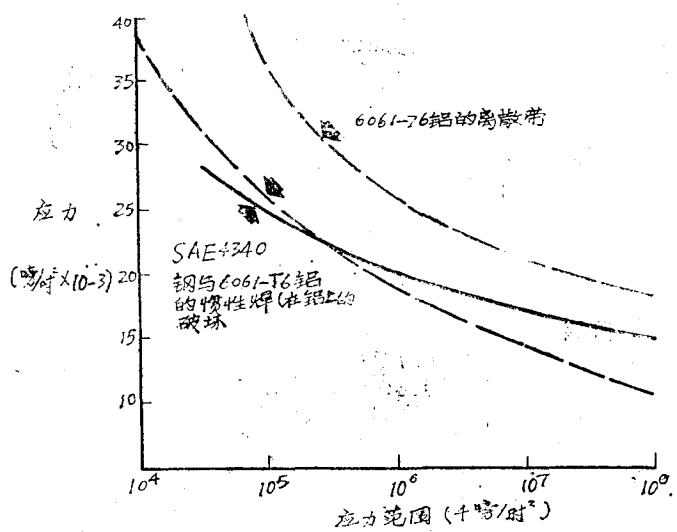


图11 破坏发生在离焊缝界面的铝的硬度最小的地方

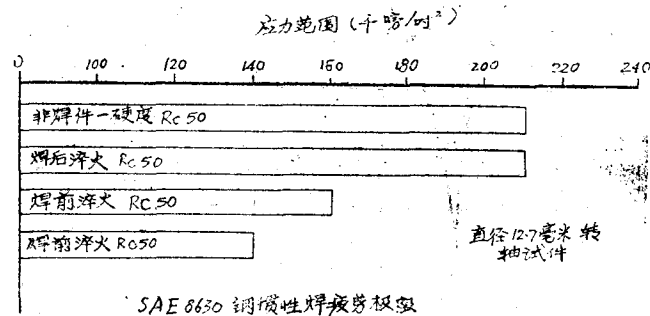


图12 惯性焊接头在焊后热处理后得到了所要求的强度（在焊接状态下试验时，由于热影响区的回火作用，强度稍低）

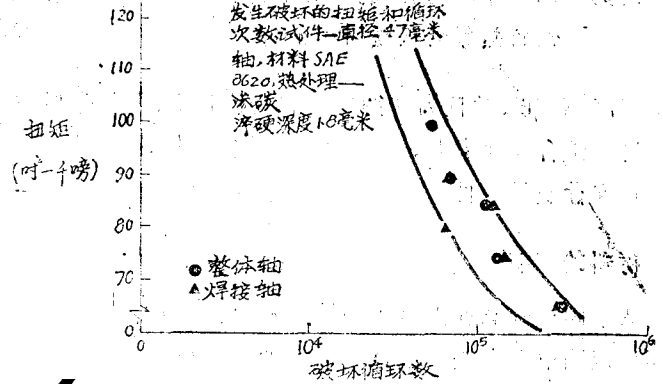


图13 非焊接轴（整体的）和惯性焊轴的疲劳试验比较

回火处理时，可使焊件得到最好的疲劳强度。图12中所示的较低的疲劳强度是因为预先淬火的焊件在热影响区受到回火处理的影响，如图15及16所示。如果需要得到最大的疲劳值，必须机械切除焊接飞边，以消除缺口的影响和进行焊后热处理。

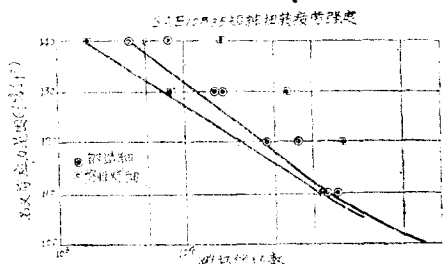


图14 锻造轴（非焊接的）和惯性焊轴的疲劳试验比较（直径50.8毫米的试件经过热处理达到 R_c50 硬度）

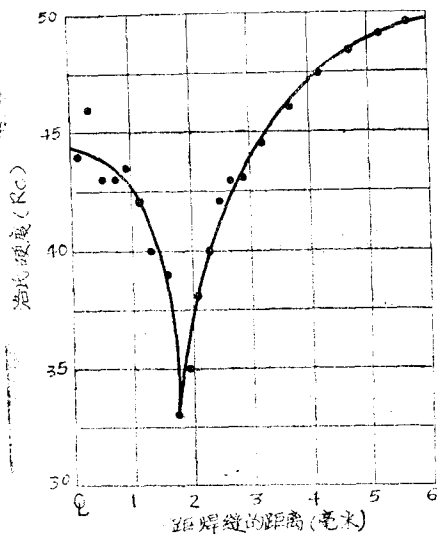


图15 焊前淬硬到 R_c50 的SAE8630钢的热影响区横断面上的硬度

图17表明一个组合焊件的扭转疲劳试验结果。这个试件的法兰是用低碳合金板制成的，而轴则是由中碳硼钢棒制成的。焊后热处理使低碳钢的法兰得到可机械加

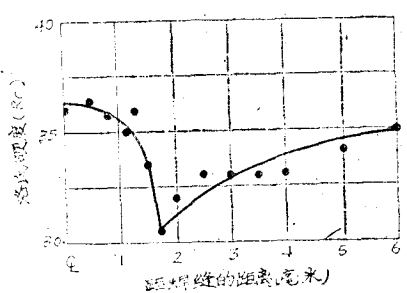


图16 焊前淬硬到 R_c35 的SAE8630钢的热影响区横断面上的硬度

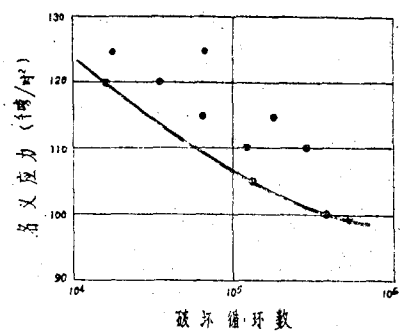


图17 低碳钢法兰与中碳钢轴的组合作用性焊件的疲劳试验数据

工的硬度(R_c35),并且为获得良好的疲劳强度,经预先机械加工的轴获得了 R_c50 的硬度。这种组合焊件表明,这种焊接方法应用范围较广,热处理或机械加工简单,并能生产出特殊性质的零件。

材料的焊接

从低碳钢到高速工具钢的铁基材料均可进行焊接。低碳钢的焊接是比较容易的。并且参数范围很宽。高合金钢,如高速钢,也可焊得很好,但是参数范围相当窄,并且为与它的较大的锻造应力相适应,需要较大的轴向推力。由于韧性低及对缺口和热冲击的

摩 擦 焊 的 发 展 方 向

前 言

目前,摩擦焊能够可靠地连接各种不同截面形状及很多种材料(直径5~100毫米的实芯截面以及外径达400毫米的管子)。当前,各国对摩擦焊的研究,主要集中于以下几个方面:

1. 研究摩擦焊的工艺过程,以达到控制工艺过程的目的;
2. 新的工艺方法的研究;
3. 对于一定的材料及结构部件拟定最佳的工艺;
4. 研究和制造摩擦焊设备。

本文的目的在于,根据近几年来所进行的研究来估价哪些发展方向是可行的。

已知方法原理的改进

方法原理的拟定 尽管摩擦焊已得到广泛的推广,但在国际文献中,对于冶金过程与工作条件和材料选配有关的腐蚀数据,以及可达到的疲劳强度,几乎还没有基础理论方面的说明。近几年来,通过对接头形成过程和温度分布的研究以及通过对使用条件下摩擦焊接头行为的系统研究,充实了这种工艺的基础理论。

摩擦焊过程的控制和调节 大家知道,在采用适当的工艺参数进行摩擦焊时,可以获得质量相同、强度相等的接头。除了确定适宜的工艺参数外,使这些参数保持稳定也是特别重要的,因为工艺参数对焊接质量的稳定性、接头性能及方法的经济效果起着决定性的影响。目前,大部分现有设备尚不能保证工艺参数的稳定。因而,监督和控制或调节摩擦焊过程的重要参数是必要的。有的文献已论述了控制轴向力和轴向行程,调节力矩及能量,以及控制和调节温度变化过程的可能性。

鉴于采用过程计算机和先进的测量方法来掌握焊接过程中材料性能的变化,可以预期,用未焊部件的几何形状、机械-工艺性能、化学-冶金性能以及物理性能作为摩擦焊的输入值,通过过程计算机控制的摩擦焊过程作为输出值,就足以能获得具有必要性能的摩擦焊部件,藉助于摩擦焊过程的控制和调节,首先对于连接小截面及薄壁管提供了良好的可能性,这是因为使焊接这类部件所需的较小的轴向压力得以稳定,所以保证了正常的焊接过程。

微型摩擦焊 微型摩擦焊(连接部位的直径小于5毫米)已有很大的用途。可以预料,采用夹紧部件用的相宜的附属设备,就有可能焊接最小直径为0.5毫米的工件。因而,对程序过程的控制,特别是对轴向压力数值的控制提出了更高的要求。

预热摩擦焊 为了减少摩擦过程开始时出现的径向振动和大大地缩短摩擦加热(回转运动)的时间,最好是采用预热摩擦焊。在摩擦焊过程开始之前,先用适当的热源(例如气体火焰,电阻或感应加热)加热准备焊接的端面。由于避免了干摩擦,在紧接