

电子束焊接和摩擦焊接的应用

哈尔滨焊接研究所译

机械工业出版社

电子束焊接和摩擦焊接的应用

哈尔滨焊接研究所编

只限国内发行

*

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 787×1092¹/₁₆·印张 7·插页 1·字数 167 千字

1975 年 11 月北京第一版·1975 年 11 月北京第一次印刷

印数 00,001—15,000·定价 0.54 元

*

统一书号: 15033·(内)661

目 录

一、用电子束焊接解决实际制造问题	1
二、便于电子束焊接件设计的指导要点和参考数据	4
三、大厚度材料的电子束焊接	7
四、电子束焊接在通用机械中的应用	11
五、电子束焊接在欧洲福特汽车厂的应用	15
六、电子束焊接在阀门生产中的应用	18
七、电子束焊接在飞机发动机制造中的应用	20
八、电子束焊接在航空发动机制造中的应用	26
九、电子束焊接在航空、电子设备及机械装置中的应用	30
十、高强度铝合金和镁合金部件的电子束焊接	33
十一、发动机制造中的电子束焊接	37
十二、电子束焊接在精密机器部件上的某些应用	40
十三、电子束焊接在修补中的应用	44
十四、大功率电子束焊接的自动聚焦	47
十五、电子束功率、焊接速度及束柱振荡对电子束焊接自动聚焦的影响	51
十六、摩擦焊方法的质量保证	55
十七、摩擦焊在产品生产中的作用	66
十八、摩擦焊在欧洲福特厂的应用	69
十九、惯性摩擦焊在履带拖拉机上的应用	72
二十、英国摩擦焊应用概况——大量生产的产品制造	74
二十一、英国摩擦焊应用概况——小批量生产的产品制造	81
二十二、摩擦焊在日本的应用	86
二十三、脉冲摩擦焊	89
二十四、摩擦焊接法的改进	93
二十五、日本的摩擦焊机	95

一、用电子束焊接解决实际制造问题

前 言

最初，电子束焊接只用于原子能工业、飞机制造业和宇宙空间工业中的贵重特种金属焊接。一般来说，这些材料不可能用其他焊接方法来焊接，即使能焊，成本也很高。

最近几年来，电子束焊接已在一般工业生产中广泛应用。例如，已用于汽车制造业齿轮的大量生产。电子束焊机已成为整个生产线的组成部分。

电子束焊接的优点

1. 焊接变形的可能性很小，能在允许公差范围内把精加工过的部件焊接在一起；
2. 速度快，周期短；
3. 控制方便而精确，易于自动化。

电子束要在真空中形成，承受焊接的材料也得放在真空中，这似乎限制了它的各种用途，但是通过不断地改进，使这种方法也可应用于大量生产中。

为大量生产的应用，特别设计和研制了电子束焊机。这些焊机的可靠性完全取决于机械部分和电子控制部分。经过长期发展，电子束系统和真空系统已得到改进，保证其可靠性不低于焊机的其他部分。

应用实例

齿轮 最初，用于制造齿轮同步环的方法很多，但是在可靠性和经济性上，没有一种方法是完全令人满意的。当人们想采用电子束焊接时，必须考虑一些关键问题：既要求精加工后的部件焊后变形最小，也要随着焊缝硬度的提高形成窄焊缝。现在，这些部件都可以满意地焊接(图1)。有时，为了使废品率降到0.5%以下，需将焊件预热至200℃以上。低真空电子束焊接可以缩短制造周期。在高真空中产生电子束，然后通过升压的阶梯区进入真空度为 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ 毫米汞柱的工作室，此室大小刚好能放置工件。这样，便有可能在几秒钟内达到操作真空。

图2是用于把同步环焊到齿轮上去的焊机，一个焊接周期为12~14秒。装有自动瓣阀的电子枪是研制这种自动焊机的一种标准件，它可以和不同真空室和夹具组合；小工作室的底部是可以打开的，装在密封板上的轴把工件自动地升到真空室内，工作室就关闭。分度台上有四根轴，在此台上能连续放



图1 电子束焊接的齿轮

进工件，在12~14秒的周期内，齿轮一个接一个地进入焊接位置，在真空室中，传动、焊接、放气和转位，这样每班可焊一千多个工件。当焊接另一尺寸的齿轮时，夹具可迅速调换，同时，电子束的位置也能用电磁偏转来改变。

某些焊机不仅可以焊接各种齿轮的轴向焊缝，还可焊接径向焊缝（图3）。

这种双联齿轮是经两次热处理、回火和全部机械加工过的零件焊成。过去，这种双联齿轮是采用成本相当高的加工方法由一个整块坯料制成的。

飞轮 汽车发动机飞轮、齿轮缘和平衡块是一道工序焊到肋板上（图4），以前，要采用几种不同的工艺过程和采用几种不同的机器来加工。

图5是这种用途的最初焊机之一。这台焊机有两个焊接工位。这样能在一个位置焊接的同时，在另一位置可更换零件和抽真空。焊工用手把零件放进夹具内，工作周期启动后就自动运转。夹具升至焊接位置，同时小焊接室上升，真空密封。几秒钟后，真空室抽到 5×10^{-2} 毫米汞柱，然后，按给定参数焊接。电子束可自动调节不同焊接半径和工作距离。焊接结束后，真空室放气，夹具和真空室下降，取走焊好零件。完成两个焊件的总工作周期大约是20秒。

为此用途改装设计的焊机，有一个枪和两个装卸台，飞轮则处于斜度几乎为垂直的位置。

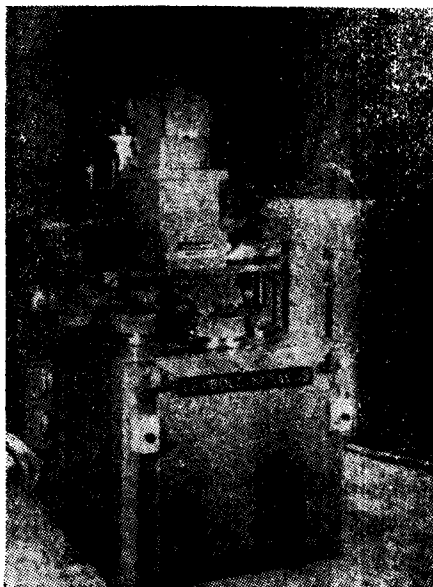
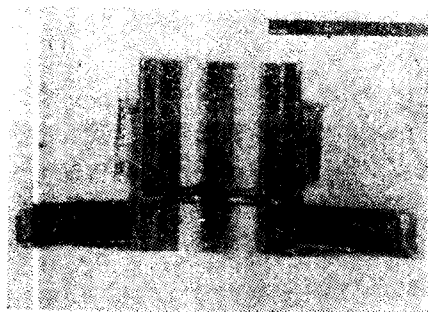
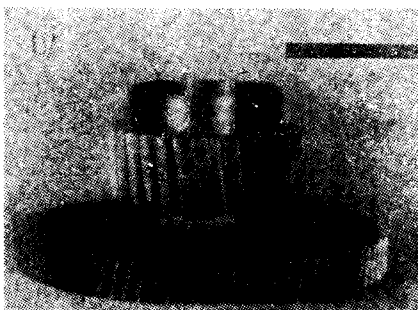


图2 焊接齿轮的低真空自动焊机



a)



b)

图3 双联齿轮

变扭器 也是自动低真空焊机应用的例子，如图6所示。

发动机气缸 用普通焊接方法来连接铸件、锻件或轧钢件不太可能。图7所示发动机气缸，气缸头和套筒用电子束焊接后，没变形。工作时，不管气缸内压力波动多高，无断裂或泄漏现象。工件和工作室都很小。焊机以零点几分钟的焊接周期工作。

转向柱 过去转向柱由加工好的管子制成，但是在管子中，许多精密凸块的制造尚有问题，要解决它，成本很高。目前，把凸块压进未成型的钢板上，再把钢板弯成管子，在允许变形量的条件下，用非真空自动电子束焊机进行焊接。

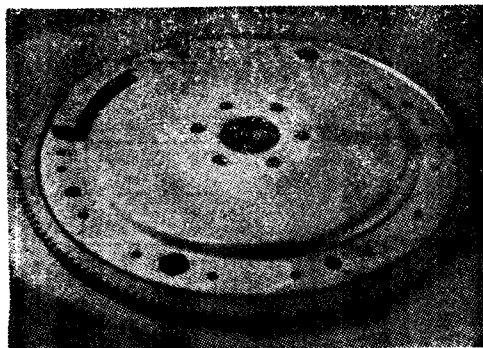


图4 飞轮

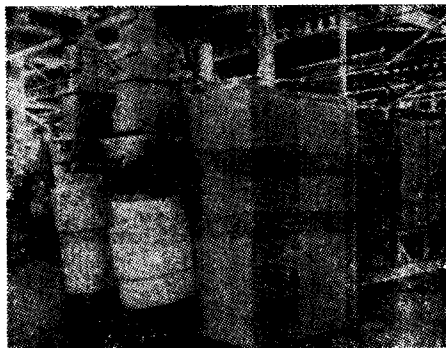


图5 焊接飞轮的焊机

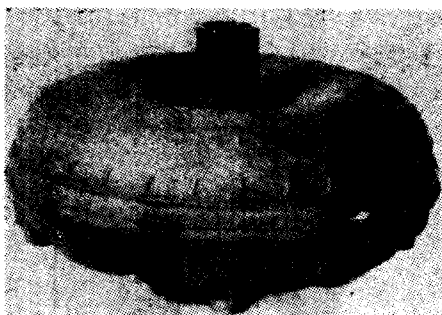


图6 变扭器

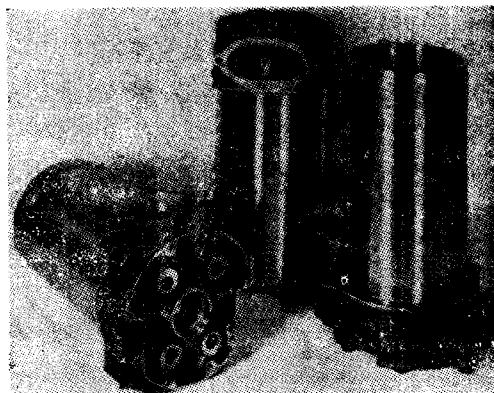


图7 电子束焊接的发动机气缸

除低真空自动焊机外，还有非真空电子束焊机。用这种焊机，可不必把工件放进真空室，可以高速焊接，生产大量焊件，并可建立生产线。

非真空焊接时，电子束在电子枪里通过几段压力逐渐增高的阶梯区，最后通过枪嘴进入大气。因此可用电子束来焊接薄壁工件，其条件是焊件要尽量靠近枪嘴。这种方法的优点是不必抽真空，这样一来，如果焊接大约100毫米长的焊缝，通常只需二秒钟。由于电子束在枪外的自由通道短，熔深浅，所以非真空电子束焊接在应用上更要受到限制。

用低真空或非真空自动焊机时，最主要的是，必须克服焊接过程中的烟雾和飞溅传染。

卡车轴 低真空电子束焊在连续生产中，可用于大型件的焊接，如两个半球形构成的卡车轴的两条纵缝（图8）。



图8 卡车轴

电子束焊接的 888 平方厘米截面的 St22 钢的卡车轴两个半壳的尺寸，见图 9。

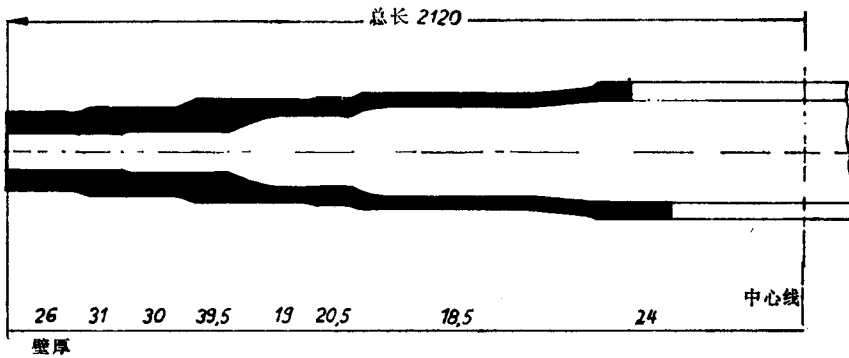


图 9 卡车轴的直线图

电子束焊接时要求焊接区有干净的表面，其由下列程序保证：把事先锻过的半壳（公差为 ± 0.5 毫米）对直，放置在大型平车上，并按图 10 进行铣削，然后半壳就留在夹具里，成对地装好，平车再通过生产线中的电子束焊接工序。在程序控制的焊机中，他们由两个水平的电子枪焊成（在 150 千伏时，每支焊枪的最大电子束功率是 12 千瓦）。

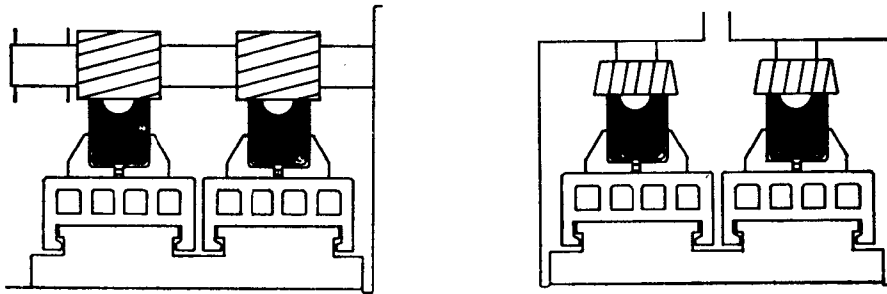


图10 二步铣削

二、便于电子束焊接件设计的指导要点和参考数据

材料和加工费

电子束焊接方法不仅是一种方便的连接方法，而且能节省材料和简化成形的工艺过程。几何形状比较复杂或不太复杂的工件，一般都是开始用滚轧或锻造制成毛坯，再进行机械加工而成形的。经常需要为切削工具提供空间，以便在切削后退刀。这种退刀槽意味着要增加工件的体积和重量。另一方面，还需要某些辅助加工。这个问题可以这样解决，将工件分成能够分别加工的几个件，而且这样加工要比整体件更经济，然后再用电子束焊接方法将几个件焊接在一起。

图1为齿轮轴的局部视图。在不同节圆的两个齿轮之间，用普通制造方法，必须有退刀槽。如果把齿轮轴分两段并用电子束方法把这两个件焊接起来，就可以消除这个没用的空间，可节省一定数量的材料，省去热处理和轴颈成形的工序。

电子束焊接复杂组合件的机械加工，实际上是简化了。以齿轮轴为例，不同的齿轮是从连续铣出的具有所要求节圆的长齿轴上切下来，然后再用电子束焊接方法焊接在一起，因此，消除了每个齿轮的单独加工过程。同样也可用组合设计和电子束焊接方法，方便地获得由冲压件或冷压件组成的机械加工件。

复合材料

选择材料时，必须作多因素的考虑，因为对同一个件有各种不同的要求。无论什么时候，材料的费用都是重要的。希望把昂贵的材料只用于局部地方，因为它们在那里的性能是必不可少的。在这种情况下，复合材料提供了有利的解决途径。在制造复合材料的各种方法中，电子束焊接是有希望的，并且还在发展之中。目前，异种材料的板材和带材采用了连续的电子束焊接，同样也用电子束对焊的方法制造两种或多种异种材料组成的圆筒形的毛坯。电子束焊接的复合材料的一个令人信服的例子，是用弹簧钢做为背材和高速钢做为窄刃的双金属锯条。使用这种锯条，不仅节省了昂贵的材料，而且获得了极长的使用寿命。

焊接接头的几何形状和坡口准备：

电子束焊接方法可以焊各种不同的接头，如图2所示。

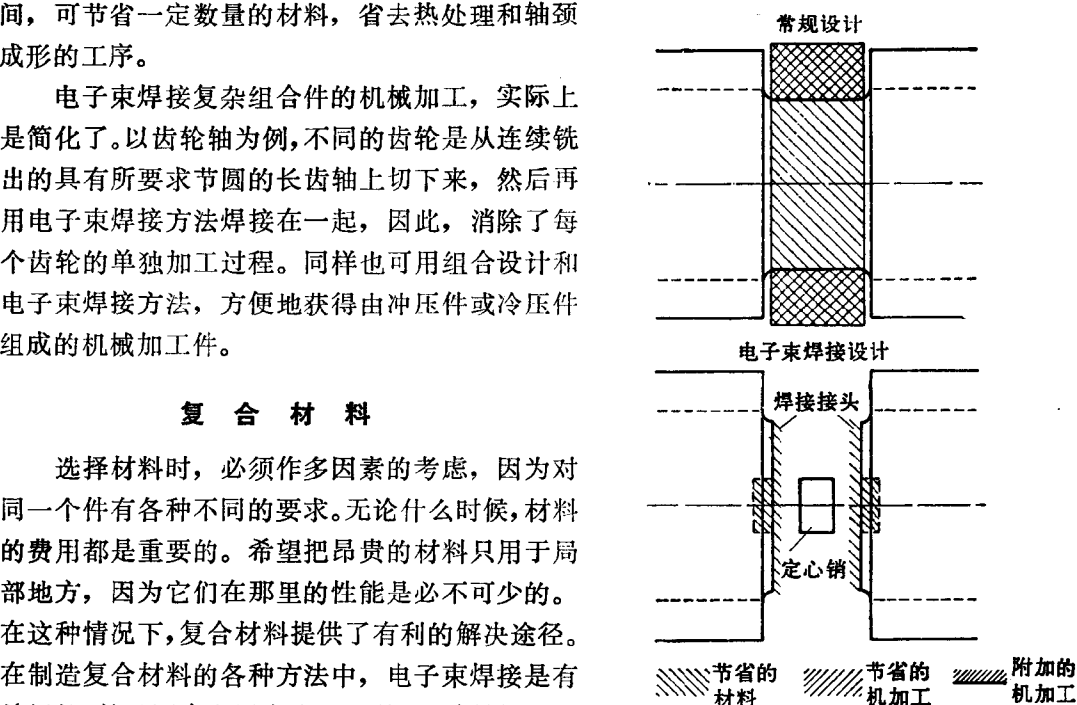


图1 齿轮轴的局部视图（常规和电子束焊接设计；材料：渗碳钢）

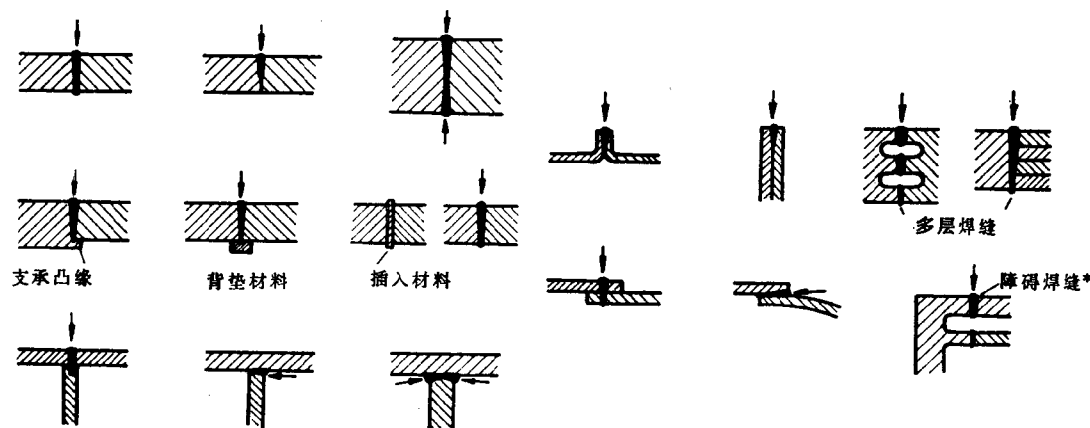


图2 电子束焊接结构的例子

*由于上面的一块板遮挡着下面的焊缝，而在上面一块板上焊出的焊缝。——校者注

制备电子束焊接接头时，必须考虑下列各项：① 因为电子束焊接一般地是不添加材料的，焊件的上部边缘必须进行粗略的机械加工，清除任何沟槽；② 接头相对的两个表面允许的光洁度取决于焊接的深度。对于焊接深度小于 20 毫米者，机加表面光洁度推荐为 $\nabla 2$ ，较深的焊缝，机加表面达 $\nabla 1$ 就够了；③ 接头的两个相对的表面必须是平的而不造成较大的缝隙。若焊接深度大于 20 毫米，又采用摆动电子束来焊接时，可容许的间隙为 0.3 毫米；④ 焊接边缘和附近区域必须清除灰尘、氧化皮和油污；⑤ 由于焊接接头的几何形状造成的内部空隙，必须有除气口（图 3）。因此，在焊接前的抽气阶段，将那些能够妨碍焊接过程的存留空气能够除去。

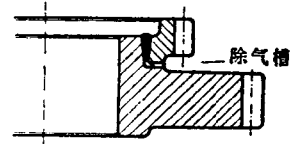


图 3 工件内部的除气槽

尺 寸 精 度

由于采用电子束焊接，热输入量低，焊接件的收缩和变形与其他焊接方法相比较是非常小的，甚至在许多情况下可以忽略不计。因此，重要的是了解怎样才能使收缩和变形减到最小，以及在什么情况下必须考虑尺寸的变化。

收缩和变形不单取决于焊缝单位长度的热输入量，重要的是，对于某一个热输入量则因焊接速度高低而异。因为在这个意义上，焊接区域内热量的分布与时间有关。除了焊接材料的物理性能之外，工件的特定几何形状（妨碍收缩，导热快或慢）都与尺寸变化有关。在这些设想的情况下，要精细地预测收缩和变形，实际上是不可能的。

目前，可以给出一些以实际经验为基础的数据。直线焊缝的横向收缩量大约为焊缝熔化区平均宽度的 0.05 倍。如果用直线焊缝将两块平板焊接在一起，可以发现某些角变形。这种变形取决于熔化区的横截面。对薄板，熔化区的横截面多少成梯形，而随着板材厚度的增加，而接近于矩形的几何形状。板材厚度约大于 10 毫米时，角变形可忽略不计。

通常，所焊成的环形焊缝，它的接头或者平行于或者垂直于旋转轴。在第一种情况下，收缩可能导致两个工件的偏心。只要考虑焊接过程，也就会明白了。收缩首先发生在紧靠电子束射入区的背面；工件中积聚着热量，而被连接的两个工件由于热量所引起的尺寸变化的自由度，又逐渐受到限制。为了解决这个问题，可使收缩由靠近焊接接头区域材料的预先弹性变形来补偿，使两个工件实际上保留其同心位置。

对于接头垂直于旋转轴的情况，一侧收缩的这种变形，可以通过在轴向对两个组合件加一个压力而使变形成为最小。变形取决于焊缝的直径和径向厚度。适当的焊接起点和终点位置，亦有助于得到良好的尺寸精度。例如，若把外径为 50 毫米和壁厚为 10 毫米的两个筒状组件焊接在一起，轴线的角偏差，预计不会大于 3 分。

环形接头的焊接时间

为了对比不同焊接方法之间的经济性，必须了解电子束焊接某些工件所需要的时间。焊接速度取决于材料的尺寸与种类，例如，淬硬钢，焊接速度必须保持稍低。对于一个给定的问题，热输入量和焊接速度，可以在某一范围内变化。遗憾的是，就焊结果而论，在这两个参数之间并没有相关性。而且，一般说来，如果提出一个新的焊接问题，最佳的工作条件必须根据经验来确定。

然而，根据初步的测定，能够给出某些指导要求。图4所示的曲线图，适用于绝大多数的环形焊缝。纯焊接时间是由焊接速度和焊缝的环形长度而得出的，再加上重叠部分的时间。从图4查得的数值，是用15千瓦焊机以低碳钢和铬镍奥氏体钢为基础的实际试验而得出的。自然，工件从装上焊机到卸下之间的时间要较长些，而且因焊机的型式而异。采用最新的带有回转台的焊机，可获得小于10秒的辅助时间。

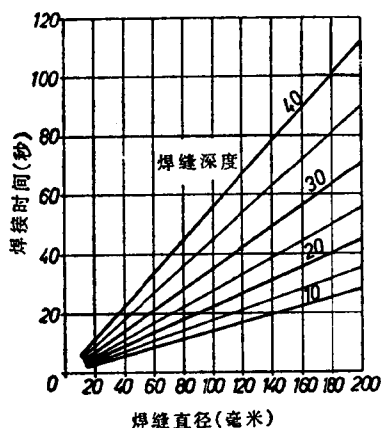


图4 不同深度的环形焊缝的焊接时间

三、大厚度材料的电子束焊接

作者现在正采取有效的措施，对材料厚度大于100毫米的大型结构，应用高能量密度电子束来获得可靠而经济的焊接接头。

在本报告中，分别评述和讨论了下列两个问题：

1. 对较厚材料进行单道焊的超高能电子束焊接工艺的研究；
2. 采用普通焊机焊接较厚材料的窄间隙电子束焊接方法的研究。

100千瓦级的电子束焊接技术——焊接装置和作为热源的某些情况

设计并装配了100千瓦级的电子束焊接装置。采用这种装置，对高达120千瓦的大功率电子束作热源的特性，以及采用这种热源所焊焊道熔透性能进行了研究。并指出单道焊接和切割厚度达100~200毫米材料的可能性。

电子束热源得出了比人们所熟知的任何其它热源更为深的焊接熔深。电子束热源的特点是功率和密度都非常大，而且容易控制。

因为它的功率比较大，所以对厚板材料极为有利。100千瓦级或更大功率电子束，对焊接100~200毫米或更厚的超厚材料，所具有的优点超过其它任何热源。根据这种观点，制造了100千瓦级的电子束焊机，并进行了性能试验。此外，还研究了大功率电子束作为热源

的性能，然后将这些性能应用于焊接和切割。

1. 100千瓦电子束焊机的特性

图1为这个焊机的外观。若以 V_b (千伏), I_b (毫安) 和 W_b (千瓦) 分别表示电子束的加速电压、束流和功率的最大值, 此焊机的容量如下:

$$V_b = 100; I_b = 1000; W_b = 100$$

而且还可能选用下列的参数:

$$V_b = 200; I_b = 500; W_b = 100$$

此焊机曾在短时间内输出高达120千瓦的功率, 以获得实验数据。真空室的容积为1.3米³。抽气系统的容量分别为: 旋转泵2000升/分钟; 增压泵10000升/分钟; 扩散及喷射增压泵360000升/分钟。最大焊接速度为5米/分钟, 阴极材料为直径3毫米的圆形钨棒。

2. 某些结果和讨论

焊道试验是采用相当于AISI304的SUS304不锈钢(碳0.05%、锰1.74%、硅0.74%、镍10.9%、铬19.5%、钢0.12%、钼0.16%、铝0.015%、硫0.01%和磷0.03%)。所得的结果如图2~5所示。图4中a), b) 为50千瓦和100千瓦的电子束焊件的典型焊道横截面。

图2为在100千瓦条件下焊接速度对熔深的影响, 根据这个图得出 h_p 对 $1/\sqrt{v_b}$ (h_p : 穿透深度, v_b : 焊接速度) 的关系见图3。这与作者在焊接研究学会杂志(JWRI)的另一报告中给出的 $h_p I_b v_b^{1.3} / \sqrt{v_b}$ 公式是一致的。



图1 100千瓦电子束焊机的外观

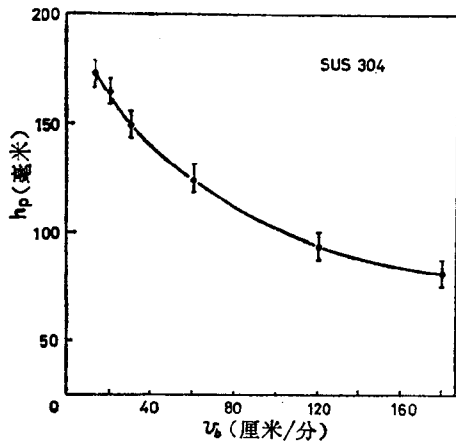


图2 v_b 对 h_p 的关系

$$V_b = 100 \text{ 千伏}; I_b = 1000 \text{ 毫安}$$

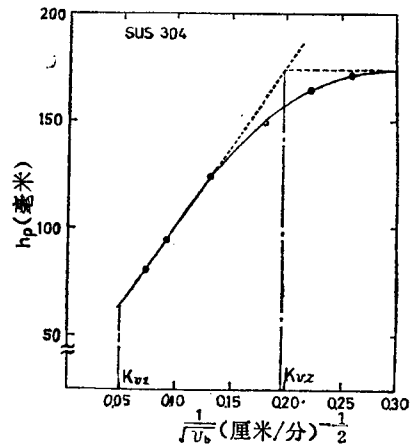


图3 h_p 对 $1/\sqrt{v_b}$ 的关系

$$V_b = 100 \text{ 千伏}; I_b = 1000 \text{ 毫安}$$

图5为100千瓦电子束切割的一个例子, 它说明大功率电子束对切割大厚度材料是有用的。用100千瓦电子束焊接时, 超过100毫米的极深的熔池发生剧烈的波动, 这种情况就象

熔化金属流入深窄的切割区一样，这个区域象一个深而窄的间隙。这种大功率电子束，较之象 50 千瓦较低功率或更低功率电子束，特别是在焊接时，由于熔池的剧烈沸腾而蒸发，这种间隙就更大。

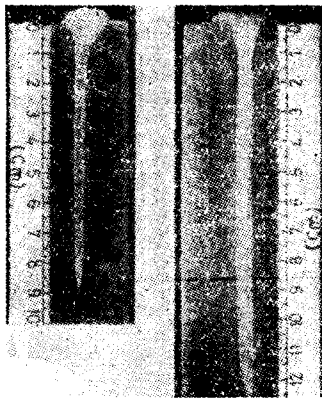


图 4 焊道横截面图

焊接规范： $v_b = 60$ 厘米/分 (对 SUS304 型)；
 a) $V_b = 160$ 千伏， $I_b = 500$ 毫安， $W_b = 50$ 千瓦；
 b) $V_b = 100$ 千伏， $I_b = 1600$ 毫安， $W_b = 100$ 千瓦

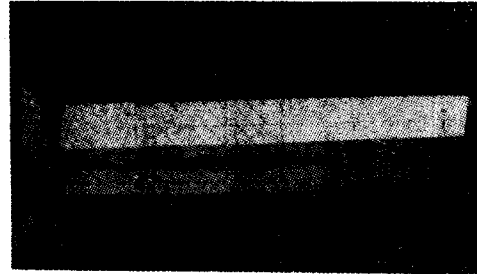


图 5 电子束切割 (SUS304 型)

$V_b = 100$ 千伏； $I_b = 1600$ 毫安；
 $W_b = 100$ 千瓦； $v_b = 20$ 厘米/分

这种“金属蒸气”从靠近电子束的熔池中突然逸出，严重地污染了电子束通道和电子枪的空间及枪壁表面，从而导致在电子枪打弧。

为克服上述现象，考虑可有下列几种措施：

1. 使电子束通道的每个缝或孔尽可能做得小而长；
2. 使电子束轴线在电子枪、电子束通道和工作室互相错开；
3. 在电子束通道和工作室之间的区域造成一个压力较高的气层，并且要使气层的压力高于任何其他压力；

4. 这种高功率焊机在相同功率的情况下，高电压低电流的电子束，似乎比低电压高电流的电子束对减少焊接蒸气更为有利。

窄间隙高能量密度电子束焊接原理

窄间隙焊接方法对厚板来说，是一种最好的焊接方法。

通常的窄间隙焊接，是用电弧热源对大约 5~10 毫米宽的间隙和几十毫米到 100 毫米深度的矩形坡口进行多道焊。这种焊接方法，焊丝、保护气体和它们的导管均插入窄间隙区域内移动，因为手工操作是非常困难的，所以必须进行自动控制。精确地自动控制电弧的特性和操作这些装置，一般说来是非常复杂的。间隙愈小，困难就愈大。因此，这种焊接方法，目前还有待新的控制技术的发展。

在本文中提到的窄间隙焊接中，高能密度的细束，例如，电子束或激光束，采用图 6 所示的方法射入窄间隙区域。由于它的能量很高，使适当的填料或嵌入的金属丝、板或粉末熔化，将窄间隙区焊接起来。

大家知道，高能量密度的电子束热源与电弧热源之间的根本差别是它们的熔透深度。电子束或激光束产生深的熔深 (最大熔透深度： h_p)，可能连接的最大板材厚度小于 $3h_p$ ，如图 7 所示。若从钢板两面熔透的焊接接头，最大板材厚度则小于 $2h_p$ 。

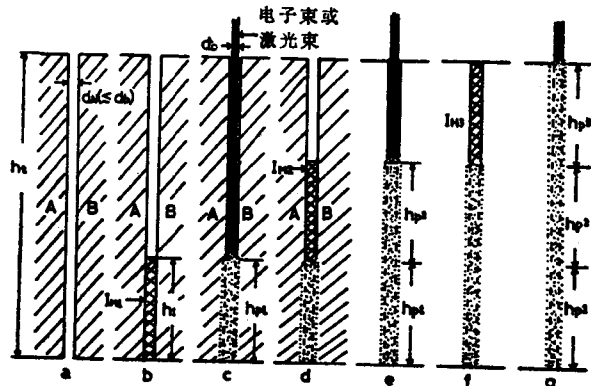


图6 窄间隙高能密度束焊接示意图

A、B—被焊接的厚材料； I_{M1} 、 I_{M2} 、 I_{M3} —插入金属； h_{p1} 、 h_{p2} 、 h_{p3} —熔化区； d_m —A和B之间的窄间隙； d_b —电子束或激光束的直径

反之，以图6中提出的窄间隙焊接方法为例，假定可以连接几百毫米厚的超厚板材，如图8所示。大家都知道，如果电子束或激光束与材料壁的夹角 θ_b 小于某一角度时，束能在侧壁表面上有效地反射，而且反射的束能要比侧壁吸收的束能大得多。因此，采用这种窄间隙焊接原理，束能可以输送到非常深的区域，而且分布范围很宽。因为这种束不散焦，还由于侧壁而聚焦的现象，而称之为“壁聚焦”。

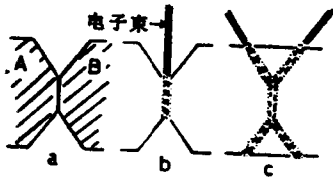


图7 得出最大厚度的连接方法

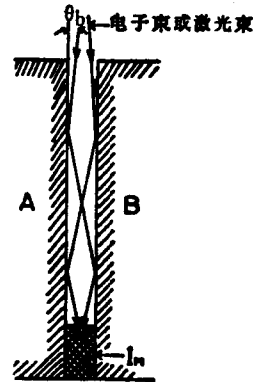


图8 “壁聚焦”的示意图

这里所提及的窄间隙焊接方法，把壁聚焦束大部分集中在填料或插入金属上，它们和母材金属一起熔化。在这种情况下，通常采用多道焊。焊道的层数取决于束的输出，由它确定可选用单道焊的最大熔透深度(h_p)。因此，这个根据焊接区域的冶金性能来决定单道焊的最大熔透深度，通常就确定了每层的高度或层数。图9为采用这种方法的一个试件例子。在这种情况下，每层的焊接深度为20毫米，而100毫米厚的焊接接头用5层焊道完成。因为已经采用电子束作为热源，如图9所示的这种焊接方法称为“窄间隙电子束焊”(NG-EBW)。同样，也可以采用激光束，称之为“窄间隙激光束焊”(NG-LBW)。这些焊接方法的优点

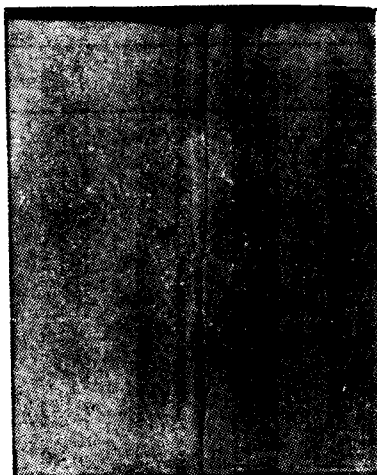


图9 窄间隙电子束焊接一例

厚度：100毫米；异种金属：SM41和SUS304；焊层数：5层；SM41碳钢板材（0.15%碳），SUS304相当于AISI304

如下：

1. 在进行超厚板材单道焊时，需要输出很大的高能量密度束。而这里提出的窄间隙焊接方法，将可能连接超厚板材，而不需要如上所述的极高功率的束能输出。此外，与窄间隙电弧焊接方法相比，这种方法充分显示出窄间隙焊接方法的真实能力。可以预计，窄间隙的宽度通常约为2~3毫米，而它的深度甚至可能达到几百毫米；

2. 采用这种方法焊接异种材料要比其它方法容易得多。但是，在焊接非常厚的材料时，诸如裂缝或由于冶金性能造成的焊接困难等问题通常也可能发生。

在这种情况下，熔敷金属不是采用单道，而是采用多道方法来提高焊接接头的性能。

四、电子束焊接在通用机械中的应用

本文论述了英国电子束焊接在非航空工业部门的应用（见表1），并调查在通用机械中使用电子束焊接时所遇到的一些问题。在欧洲，在许多情况下，电子束焊接似乎仍处于初始阶段。因此，评论了某些发展中的最新设计。

设备的研制

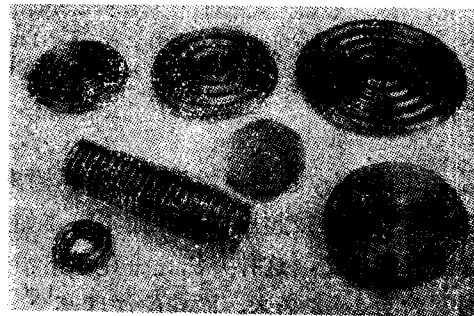
就设备来说，有一种为大量生产应用提供专用焊机的趋向，而且现在大多数焊机都被做成适合这种场合。在英国使用的高压电子束焊机，中压和低压电子束焊机大致各占一半。高压焊机在航空工业中占优势，而较低压的焊机主要用于焊接小型部件。最近几年内，根据对每年所供应的绝大多数焊机的统计表明，利用电子束制造小型部件是电子束的应用部门中发展最快的部分。在英国由两个制造厂商，提供焊接小型部件用的价格便宜焊机，如图1所示。

表 1

工 业	焊 机 台 数	焊 机 类 型
航空发动机	26	除一台外, 其余都是高压
飞机骨架	5	高 压
汽车工业及制造厂	20	一半中压, 一半高压
承包公司	10	两台中压, 八台高压
锯条制造厂	4	高 压
电气工程	4	高 压
核工业	8	两台低压, 六台高压
微型设备和电子设备	30	多数是低压和中压
研究部门	10	低压和高压
其他部门	10	低、中和高压
总 计	128	



a)



b)

图 1 典型的低功率小型部件电子束焊机 (a) 及焊接的典型部件 (b)

对重型制造业中应用广泛的材料来说, 要想在经济上合理, 设备至少能焊接厚度约为 150 毫米的较厚材料和厚度约为 50 毫米的较薄材料。焊接研究所制造了一台 75 千瓦的焊机。尽管其输出功率在世界上不是最大的, 但却焊出了最深的焊缝, 它在钢上的熔深实际上达到 200 毫米。这个结果是在电子枪的设计和阶段中除了电子光学以外, 还通过考虑电子束—金属相互间的反应问题而获得的。厚度为 150 毫米低合金钢的典型焊缝如图 2 所示。

电子束焊接在设计上的考虑和典型的应用

这种工艺方法促进设计人员用若干个简单零件来制造部件的想法, 而不是采用铸、锻和机械加工等整体加工方法。加工几个小型零件与加工一个较大、形状较复杂的部件相比, 通常是较经济的。例如, 图 3 示出的铝合金骨架由四块 HE30 平板构成。为了在每个拐角上进行平对接焊, 在装配前, 这些平板都加工好。与加工比较薄的环状组合件的侧面 (如果使用整体铸件, 就是这种情况) 相比, 当能在平板断面上完成全部加工时, 则节省的费用是相当可观的。而且, 使用经过挤压的断面, 可提



图 2 在焊接研究所的 75 千瓦电子束焊机上焊接的 150 毫米深低合金钢焊缝

供一个在材料的质量和强度方面超过铸件的附带优点。

图 4 中的刮刀组合件说明，通过一条正弦曲线形的焊缝把一块 0.25 毫米厚的不锈钢刀片贴焊到低碳钢底板上，正弦曲线形的焊缝是靠 X 方向上直线移动工作台和在 Y 方向上使电子束振动相结合的方法而获得。焊接结果，接头强度良好，而且刀片的变形最小。

图 5 示出的在不锈钢管和法兰盘组合件上，对每种方法的优点及经济效果进行了比较。最初，各零件是使用钎接法连接的，为避免在随后的食品加工应用中产生污染，焊后应把所有的熔剂痕迹清除干净。当直接与钎接操作比较时，电子束焊接似乎是一种成本较高的方法，但是如果把清除熔剂的处理费计算在内的话，则两种方法实际上没有什么差别。而在接头性能上，电子束焊接的接头强度高、质量好。改成电子束焊接以后，从来没有被刮伤的零件。

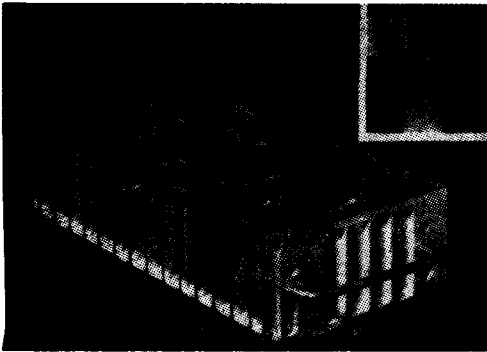


图 3 铝合金骨架的精密制造，由四块完全机加工好的平板构成

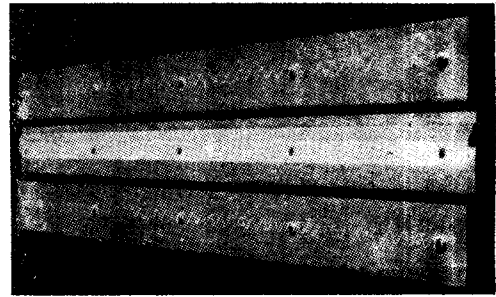


图 4 利用正弦曲线形贴焊焊缝焊接到底板上的刮刀刀片

这种方法变形小的特点，使它特别适用于工件的修复工作。图 6 所示为修复铝合金液压缸上磨损了的轴的密封装置（构成飞机制动系统的主要零件）的情况。磨损的密封装置向外开孔，以便可放下经过加工的塞子和垫圈（提供支撑焊缝并防止任何根部气孔）。焊接后，垫圈和焊缝顶部的焊道加工到最初的铸件厚度，密封孔要重新加工到它的原始直径。

图 7 所示为电子设备外壳，这表明电子束焊接作为一种精密加工方法用于焊接薄板件的可能性。在这种情况下，用 0.9 毫米厚的 HS30 铝合金板做成一个符合尺寸公差要求的罩，此公差使它能严密地装到固定电子设备的外壳上。

图 8 为在加工小型泵齿轮与轴的组合件中，电子束焊接在异种材料上的应用。在把

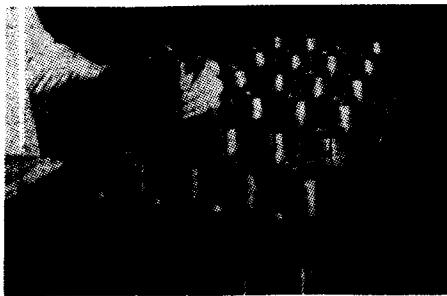


图 5 星形对接焊的不锈钢法兰套管

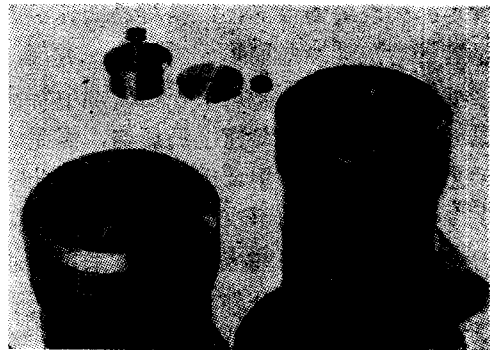


图 6 已磨损的飞机轴密封装置的修复

EN34 齿轮用电子束焊到经局部加工的 FV520 轴上以前, 这个齿轮已经精加工并淬火。EN58B 销子起到了一个定位塞作用, 并使焊接坡口的加工简化 (两个铰过的孔和磨过的销子在成本上比一个经加工的塞子要便宜)。在化学工业中也使用组合轴, 例如, 把一个耐腐蚀的合金轴焊到一个耐磨损的驱动齿轮上。



图7 0.9毫米厚铝合金板的精密焊接, 罩由三条平板对接焊缝构成, 具有最小的变形, 能很好地与经过加工的外壳装在一起

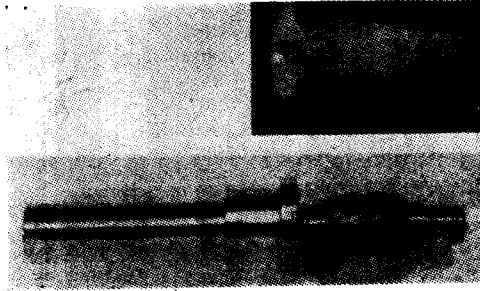


图8 EN34齿轮和FV520轴, 通过EN58B销子焊接在一起获得异种金属件

飞机六分仪的棒状联动装置由两个经过精密磨光的轴承钢球组成, 这两个球用电子束焊到与中心管相连接的不锈钢棒上, 如图9所示。两个球的球面精度实际上不受焊接过程的影响, 当棒的装夹良好时, 这时棒被保持到相对球心约为0.1毫米或更小的范围内。

冶金方面的问题

电子束用来焊接碳钢和低合金钢时, 产生了某些冶金问题。其中最大的问题, 是焊缝金属的气孔和裂缝, 这些缺陷的产生与氧、硫、磷等一些杂质有关。

材料的含碳量对缺陷的产生和焊缝的硬度都有影响。一般地讲, 含碳量越高, 焊缝金属由于硫、磷而形成结晶裂缝的机会就越大。对含碳量非常高的材料来说, 在焊缝中有形成由马氏体组织引起的淬火裂缝的可能性, 这种马氏体组织是由于焊缝区的快速冷却而形成的。另一方面, 这些含碳量较高的钢, 不易产生在低碳钢中常常遇到的气孔问题。

焊缝区的淬火受冷却速度的影响, 因此, 尽管在某些情况下低的焊接速度是有利的, 而焊接工艺却很少能起作用, 因为焊缝非常狭窄。在有淬火问题的地方, 预热一般是必要的。因为大多数冶金问题的解决要求使用低的焊接速度, 因此未必总能发挥出电子束方法高速度焊接的全部优点。对某些应用来说, 采用普通合金钢就能成功地使用很高的焊接速度。

除材料的厚度和成分外, 裂缝的产生还受接头设计的影响。理想的接头设计, 应当是在焊缝区上始终有最小的约束。

至于通用机械中使用的其它材料, 如各种铝合金, 存在的冶金问题不多。假如采用适当

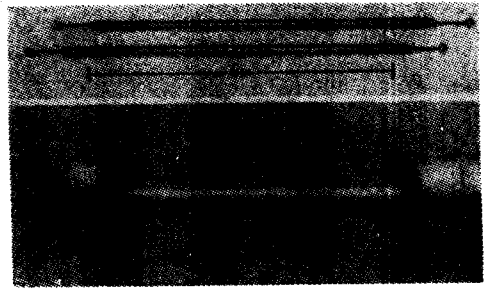


图9 飞机六分仪的精密棒状联动装置。两个轴承钢球的球面精度实际上不受焊接过程的影响