

定向凝固和热等静压技术

美国普拉特·惠特尼公司设计研制了一种复合式（两半分扩散连接）柱状晶或单晶涡轮叶片，目前正在该公司的米德尔城工厂使用全自动铸造设备生产这种先进的叶片。复合式涡轮叶片具有普通精铸叶片设计所达不到的设计灵活性，它有较好的冶金结构和均匀性，少量的冷却空气可以达到有效的内部冷却；这种叶片重量很轻，但能承受高温转速下的大应力，从而获得发动机的高效率。试验表明，复合式柱状晶叶片至少是现有叶片寿命的两倍，而使用单晶材料的涡轮叶片，寿命改进的潜力是现有叶片的四倍，而二级涡轮叶片还可达五倍。

普拉特·惠特尼公司1976年铸出了第一批单晶研制件，1977年用自动设备铸造试验叶片，第一批复合式柱状晶涡轮叶片已用于空军F-15和F-16飞机的动力装置——F100发动机。目前已成功地完成了1500小时的飞行试验，其他试验项目亦于去年按计划进行。

复合式涡轮叶片的生产采用全自动程序控制，用计算机可同时监控4000个控制程序，全部工艺过程从蜡的注入到壳型制备和浇注都采用计算机控制，为了达到最佳质量控制，叶片的浇注一次只生产一个而不是生产一组。

叶片生产的大致程序是：先在一个蜡模中复制每个叶片的半分模，然后使模型进入自动控制线，厚度为1/4英寸的壳型大约在6小时内完成，在浇注金属前进行脱蜡，壳型在移入真空炉前需在1500°F的预热炉中预热清除油污，然后移入真空室用电子束熔化铸锭，保持2400°F温度并浇注在开底的放置在激冷板上的壳型内，金属的熔化和浇注约在20秒内完成。壳型在该设备的加热室中（有20个加热室）移动以便控制凝固过程，当冷却板在计算机控制下从加热室慢慢向下移动时，金属自下而上连续凝固，产生柱状晶组织。凝固结束后将叶片进行冷却，然后从真空炉中取出。

对生产单晶叶片来说，自动铸造设备不需做什么变动，但要改变蜡模的几何形状，将一个晶粒选择器置于壳型底部以便淘汰多个晶粒，只使一个柱状晶粒向上生长，便成单晶叶片。

铸造过程完成后，叶片的两半用瞬时液相联结法（TLPtm）进行连接，在TLP过程中将一种合金箔

置于叶片两半之间并加热至瞬间熔化，在连接温度下重新凝固，不需施加压力即可获得高强度扩散焊接。

普拉特·惠特尼公司的这种自动铸造设备目前年产50000涡轮叶片，还有很大潜力，可能会增至年产90000叶片左右。

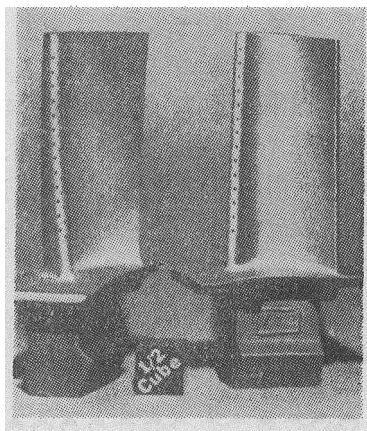


图1 普拉特·惠特尼公司研制的带有前缘冷却孔的复合式（两半分扩散连接的）涡轮叶片

热等静压技术

普拉特·惠特尼飞机公司生产的发动机涡轮盘采用了节省材料的热等静压技术（HIP）。

价值几百万美元的热等静压机可降低生产飞机发动机盘所要求的用材量达40%并节省机加工时间，生产的零件接近最终尺寸；另外，这种涡轮盘有较高的抗拉强度并能提高疲劳和蠕变性能。

JT8D-17发动机涡轮盘已采用热等静压技术，JT9D-7R发动机计划在1982年应用等静压涡轮盘。目前正在制造F-100发动机的等静压涡轮盘。

等静压的含义是各方向均匀受压，其过程是将粉末高温金属置入所要求零件形状的容器内，然后使容器经受2300°F的高温及在氩气保护下的29000磅/英寸²的压力。凝固结束便获得均匀的零件，而普通方法凝固的高温合金通常产生不均匀结构。

加压顺序如下：先在接近热等静压室的一个底部承载的炉中（共有两个）对盛有粉末的密闭容器预热

（下转第26页）

六、结 论

1. SD-1 型点焊质量监控仪具有在点焊过程中实时监视焊核直径和通电时间的功能, 并有报警系统和打印输出。它适用于交流和直流点焊机上铝合金、结构钢、不锈钢和高温合金的点焊质量监视。

2. 所监测的能量值随焊核直径的增加而相应增加。在本试验中, LY12CZ (1.2+1.2 毫米) 在 NJ-300 直流点焊机上点焊, 当能量值控制在 ± 12 时, 焊核直径能控制在 ± 0.3 毫米范围内。在工厂正常生产条件下, 监测可靠性在 90% 以上。

3. 焊核直径的实时监视, 从试验室研究和工厂生产中初步使用结果看是可行的。在生产中使用时应注意结合具体产品和焊机标定 Q 与 d 之关系。

本文所提生产试验工作, 受到三二〇和一一二厂的大力支持, 在此表示感谢。

(上接封三)

3~4 小时, 热等静压循环结束后, 压气机几乎全部回收氦气, 气压达到以后, 将容器从压力室中取出并用一个控制器将压实的零件送到冷却不加载的位置。

这种压力机有一个重 70 吨的压力室和一个高 24 英尺、重 12 吨的构架, 能对直径达 46 英寸和长 80 英寸的工件进行处理。瑞典 ASEA 公司为普拉特·惠特尼公司制造了这种压机。

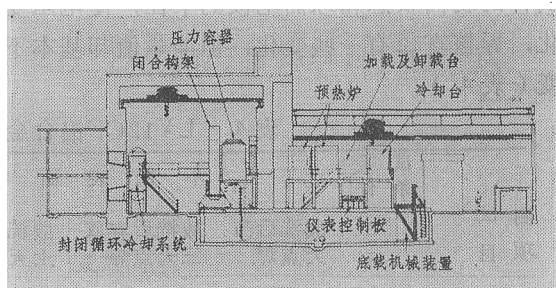


图 2 普拉特·惠特尼飞机公司的热等静压设备

(白春涛摘译自《Aircraft Eng.》1980, 2, No. 2, 孙传棋校)

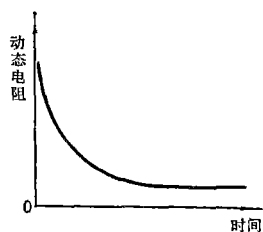


图 7 铝合金点焊时的动态电阻

基本不变。根据这种分析, 对铝合金不宜采用动态电阻法监视焊核直径, 而采用能量积分法则比较合理。

关于分流的影响, 图 8 给出 LY12 点焊时点距 l 与焊核直径 d 的关系。由图 8 看出, 随着点距 l 的增加, 电流分流减小, 焊核直径增加; 当 $l \geq 20$ 毫米时, 分流的影响可不计, 焊核直径基本不变。在生产中点距一般大于 20 毫米, 所以不会因分流而影响 Q 值表示 d 值的精度。另外, 我们是用能量的相对值来表示焊核直径的, 所以只要点距一定, 分流就一定, 对焊核直径的影响也一定, 只需用工艺试片标定 Q 与 d 的关系, 产品的点距与工艺试片相同, 即可用 Q 表示 d 。由此可见, 电流分流的影响, 不会影响这种监视方法的可靠性。

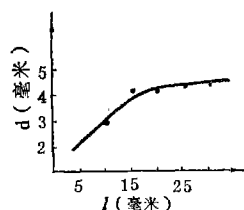


图 8 铝合金点焊时点距 l 与焊核直径 d 的关系

此外, 点焊时, 在输入能量相同的情况下, 散热条件不同时焊核直径也会变化, 但由于主要是从电极方向上散热, 所以只要保持焊接试片与零件的电极一样, 其散热的影响则可控制在一定范围内。从生产中的初步应用来看也是如此。

从上面的讨论可看出, 在生产中只要注意控制电极压力, 针对每一具体焊件和焊机进行标定 Q 与 d 的关系, 则可以成功地用积分法监视焊核直径。