

# 磁場焊接

译文集

第五机械工业部第五设计院

# 毛主席语录

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

## 前 言

磁场焊接是近几年发展起来的一种新技术，简单地说它是在磁场作用下完成焊接过程的一种焊接方法。

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，结合工艺改革的需要，我院翻译出版“磁场焊接译文集”。供参考。

在翻译过程中，得到清华大学机械系金属材料教研组、内蒙二机厂情报室等有关单位的大力支持，在此特致谢忱。

由于我们水平有限，译文中缺点、错误之处，望同志们批评指正。

五机部第五设计院情报组

一九七五年三月

# 目 录

|     |                                  |     |
|-----|----------------------------------|-----|
| 1.  | 熔焊过程中金属结晶的控制                     | 1   |
| 2.  | 外加交变磁场的气体保护焊                     | 14  |
| 3.  | 接触对焊同种和异种金属时外加磁场对接头强度<br>和塑性的影响  | 28  |
| 4.  | 用横向磁场控制焊接熔池的液体金属                 | 33  |
| 5.  | 明弧横向磁场的宽焊道堆焊                     | 42  |
| 6.  | 纵向磁场在管道迴转对接根焊缝埋弧自动焊中<br>的应用      | 47  |
| 7.  | 电磁搅拌熔池的奥氏体不锈钢的焊接                 | 53  |
| 8.  | 电磁搅拌熔池对 BT6C 合金接头组织及性能的影响        | 64  |
| 9.  | 电磁搅拌焊接 AMΓ6 合金焊缝金属的组织性能          | 70  |
| 10. | 电磁搅拌熔池对焊缝抗热裂性能的影响                | 80  |
| 11. | 磁场搅拌对低碳钢埋弧焊焊区焊缝形状、熔深<br>和凝固组织的影响 |     |
|     | —— 磁场对焊缝区各种性能的影响(一)              | 86  |
| 12. | 磁场搅拌对低碳钢埋弧焊焊接金属机械性能的影响           |     |
|     | —— 磁场对焊缝区各种性能的影响(二)              | 110 |

|     |                                 |     |
|-----|---------------------------------|-----|
| 13. | 气体保护钨极电弧焊的磁控 - - - - -          | 136 |
| 14. | 外加磁场对电焊方法的影响 - - - - -          | 161 |
| 15. | 纵向磁场焊接时的电弧性能及电极金属的过渡情况 - - - -  | 184 |
| 16. | 电磁搅拌熔池焊透深度的保持 - - - - -         | 192 |
| 17. | 空气——水冷割炬和交变磁场控制等离子弧刨削 - - - - - | 198 |
| 18. | 等离子电弧的磁控及其在焊接中的应用 - - - - -     | 209 |
| 19. | 关于熔池电磁搅拌控制设备的结构原理 - - - - -     | 230 |
| 20. | 焊弧的磁控 - - - - -                 | 236 |
| 21. | 熔池电磁搅拌规范的选择 - - - - -           | 247 |
| 22. | 纵向磁场对气体保护焊的影响 - - - - -         | 254 |
| 23. | 氧化膜对磁控焊弧(阴极斑点移动的)性能的影响 - - - -  | 278 |
| 24. | 磁控电弧焊接的展望 - - - - -             | 288 |
| 25. | 对熔池进行磁控的电弧焊 - - - - -           | 298 |
| 26. | 在焊接电弧燃烧区内外加磁场的磁感强度的分布 - - - - - | 304 |

# 熔焊过程中金属结晶的控制

〔苏〕

А. М. Болдырев, 等

众所周知，破碎和打乱熔池里的结晶体可以大大改善焊缝金属的性能。

## 控制焊接熔池结晶过程的方法

从焊接过程中结晶体形成和成长的条件中分析得出，焊缝金属组织的破碎可以用各种不同的方法来获得：借助于基本金属晶粒的破碎，往熔池里加变质剂；调节集中过冷和热过冷度；搅拌或者振动焊接熔池的金属。

К. В. Лубавский 和 Ф. И. Пашуканис 首先指出，将奥氏体钢零件待焊接的边缘加以冲打，以破碎基本金属的晶粒，从而在很大程度上细化焊缝金属的组织，并提高其抗结晶裂纹的性能(1)。但应当指出，用冲打待焊边缘的方法细化焊缝金属的组织，只有在焊接边缘熔深很浅的情况下才有效。因此，这种方法主要用于手工焊接。

往熔池里加入叫做补充晶核的难熔物质（变质剂），会使铸造金属的一次组织破碎。因为在熔池中心，金属的过热程度很高，而且在熔池边界上基本金属的半熔化晶粒已成了现成的晶核，所以，焊接时金属的变质效应并不经常出现。这是由于在高温条件下难熔质点表面

的活性減退，在其表面上难以形成新的结晶体。因此，应避开高温区，在熔池尾部加变质剂，但这有一定的困难。往熔池里加变质剂的方法，在工艺上不是随意可行的(2)(3)。因而为了改善焊缝金属的组织而广泛地应用变质剂就有困难。

在结晶不均匀的情况下，结晶体成长着的面前出现合金元素的高度集中，因而造成所谓的集中过冷。集中过冷在一定的条件下，促使新结晶体的产生和焊缝金属的破碎。正如 Чалмерса, Тиллера和其他研究工作者在其文献中所指出的，集中过冷的程度可以用改变液体金属的温度梯度和结晶体成长速度的方法来调节(4)。

И. Н. Прохоров 指出，结晶面上熔化潜热的放出，引起的不良温度梯度的产生，从而证明了热过冷的存在。改变焊接规范，散热量以及其他参数，可以改变这种过冷的大小，从而影响到焊缝金属的结晶过程。对于用选择液相的温度梯度与结晶速度的最佳比例来获得预定的焊缝金属组织的方法，研究得甚少，不过用这种方法来调节焊缝金属组织的可能性看来很大。

对焊接熔池的液体金属施加动力作用，是破碎焊缝金属最有效的方法之一。通常认为促进结晶体产生的机理有两种：成长着的结晶体的动力过冷和碎化(4)。根据动力过冷的原理，对不含有固相的液体金属施加振动，将会导致晶核的形成。这可用金属局部过冷来解释，这种过冷是由于液体金属振动时，压力局部升高所产生的。众所周知，对液体金属施加超声波振荡时，金属中出现产生微腔的涡腔现象。这些真空微腔的破裂，伴随着强烈的冲击，并使压力脉动地增大到 1，

$0.6 \cdot 10^6$  大气压(5)，结果使金属过冷（相对于大气压力下的熔化温度而言）数百度，这些过冷却区域就是晶核。

对结晶着的金属作低频振荡也会使组织细化，但这种情况与产生涡腔现象的情况不是一回事。这时，组织的细化不是由于液相内部产生晶核，而是由于成长着的结晶体被破碎（压碎）。结晶面前运动着的液体打碎正在成长的结晶体，这些结晶体的碎块便成为新的晶核。

在焊接条件下，对液体金属施加动力所出现的主要问题之一，是如何对熔池进行振动。至今，还没有找出对熔池进行超声波振荡的可靠方法。超声波振荡可以直接通过插入熔池的波导体，通过插入熔池的波导体，通过插入熔池的附加填充焊丝，通过被冷却的活动垫板或者是滑块（电渣焊时）等方法进行(6)。只有使振动系统的各部件（包括波导体在内）产生谐振时才能有效地把振动能从振荡器传送给液体金属。在焊接过程中要达到这点是很困难的，因为，波导体的温度差会使其声速发生变化。此外，波导体与液体金属接触，会产生不应有的腐蚀，甚至使振荡系统失调。由于熔池的容积小，波导体或传递振动的附加焊丝可能“冻结”（粘在一起——译者注）。

对焊接熔池里的液体施加电磁作用是自振荡器向熔池传递振动的最易操作和最通用的无接触方法之一（7—9）。

电焊时，熔池本身就是带电的导体，假如往熔池里施加外部磁场，那么作用于液体金属单位质量上的磁力  $\vec{f}$ ，就等于电流密度  $\vec{i}$  与磁感应强度  $B$  的向量积， $\vec{f} = \vec{i} \times \vec{B}$ 。

改变单位时间的电流和磁感应强度，就能用无接触法在液体金属

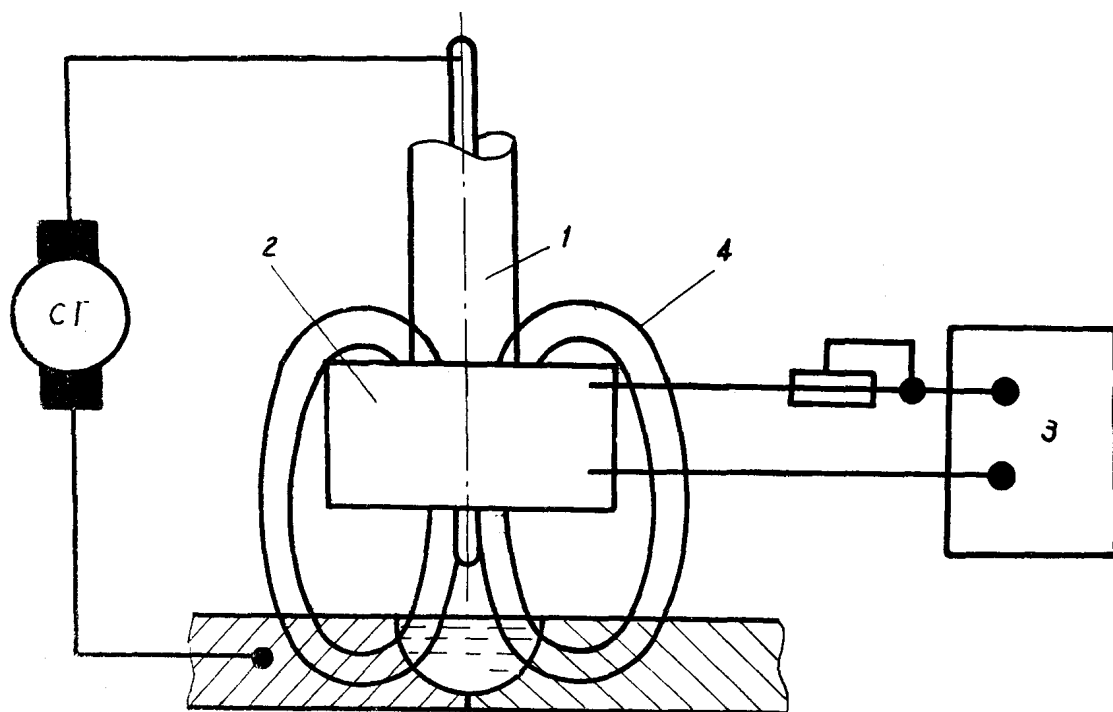
里产生按一定规律变化的磁场。例如，将高频磁场加到不断燃烧着的电弧上，就能使焊接熔池里产生超声波振荡。同样，也能在任何一种金属中获得符号交变的，脉动的，恒定的或其他的磁场。

### 在焊接熔池里产生电磁力的方法

在焊接的条件下，对结晶着的金属施加电磁场的方法有下列几种：

- (1) 自焊炬方向施加纵向（相对焊接电弧而言）的外部磁场；
- (2) 借助于一系列固定线圈或者一个随焊炬一起移动的线圈，自焊接夹具方向施加纵向磁场；
- (3) 施加贯穿熔池的纵向磁场。

借助于固定在焊炬上的螺线管对焊接熔池施加电磁场，是最易操作和最通用的方法之一。



(图1) 从焊炬方向对熔池施加磁场的示意图

1—焊炬； 2—电磁线圈； 3—线圈的供电电源； 4—磁力线； CT—焊接发电机。

### 外加磁场对焊缝金属组织的影响

通过电弧焊接平板尺寸为 $100 \times 200$ 毫米的试件(不熔化电极, 保护介质——氩, 直流, 正极性), 把外加磁场对焊缝金属组织的作用进行了研究。加到焊接熔池的外部磁场, 是借助于装在焊炬水冷喷嘴上的激磁线圈产生的(图1)。

激磁线圈通入交流(正弦曲线, 工业频率)和脉动(脉动频率在 $2.5 \sim 25$ 赫兹范围内)电流。磁场强度等于线圈匝数与电流大小的乘积, 在 $0 \sim 2000$ 安匝<sup>\*</sup>范围内变化。

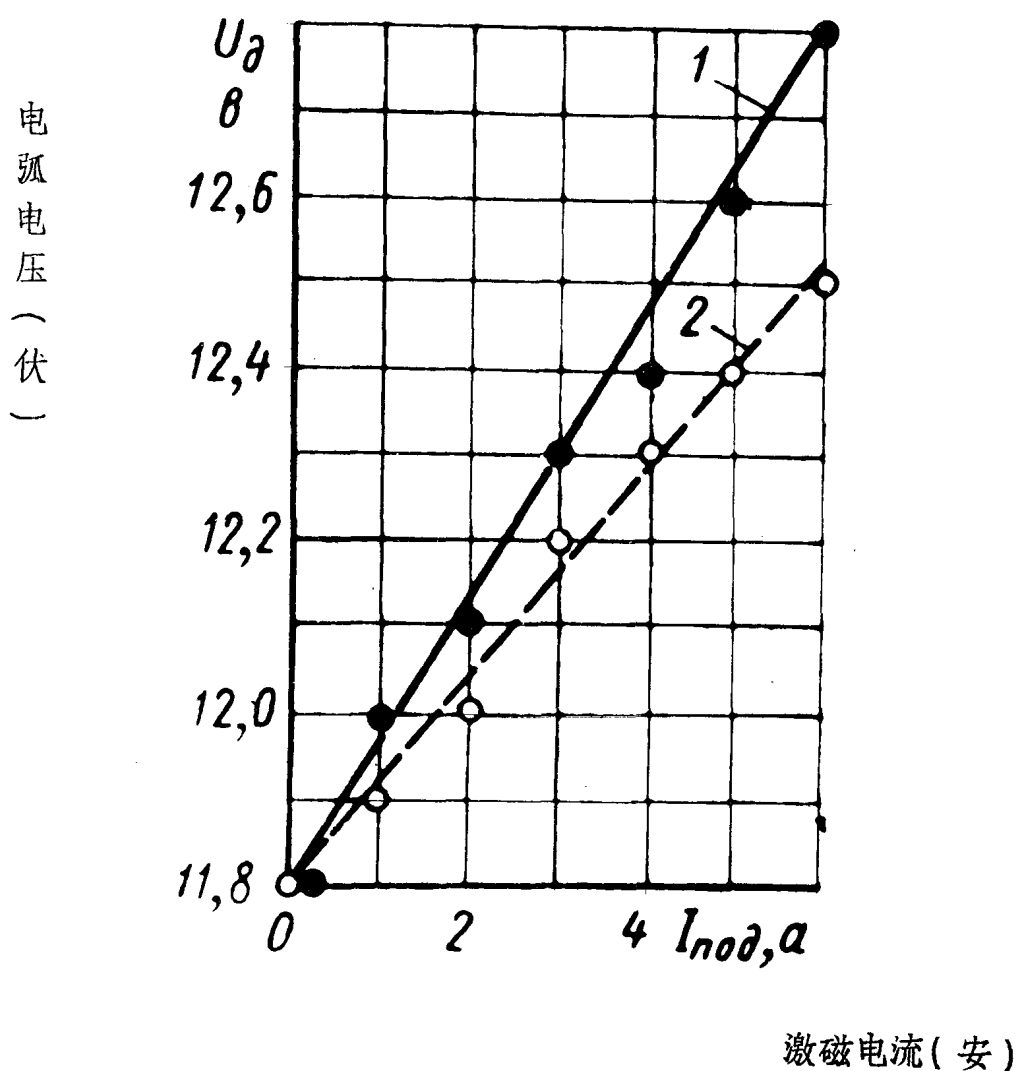
对厚度为10毫米尼莫尼克镍铬合金式的奥氏体热强钢和厚度为1.5毫米OT4—1型钛合金的焊缝结晶作了研究。奥氏体钢的焊接规范: 电流为 $150 \sim 250$ 安; 电弧电压为10伏; 焊接速度为 $15 \sim 18.4$ 米/小时。钛合金的焊接规范: 电流 $40 \sim 70$ 安; 电弧电压10伏; 焊接速度 $15 \sim 30$ 米/小时。

选择这样的研究材料, 是为了要查明起伏不平的结晶表面对成长着的结晶体有多大的破碎作用。

奥氏体钢的晶粒大小, 由长在1毫米线上的一级树枝状结晶体的茎轴数来决定, 这条线与结晶体的成长方向相垂直; 而钛合金的晶粒大小, 则由每1毫米线上的晶粒数(割线法)和晶粒的平均线性尺寸

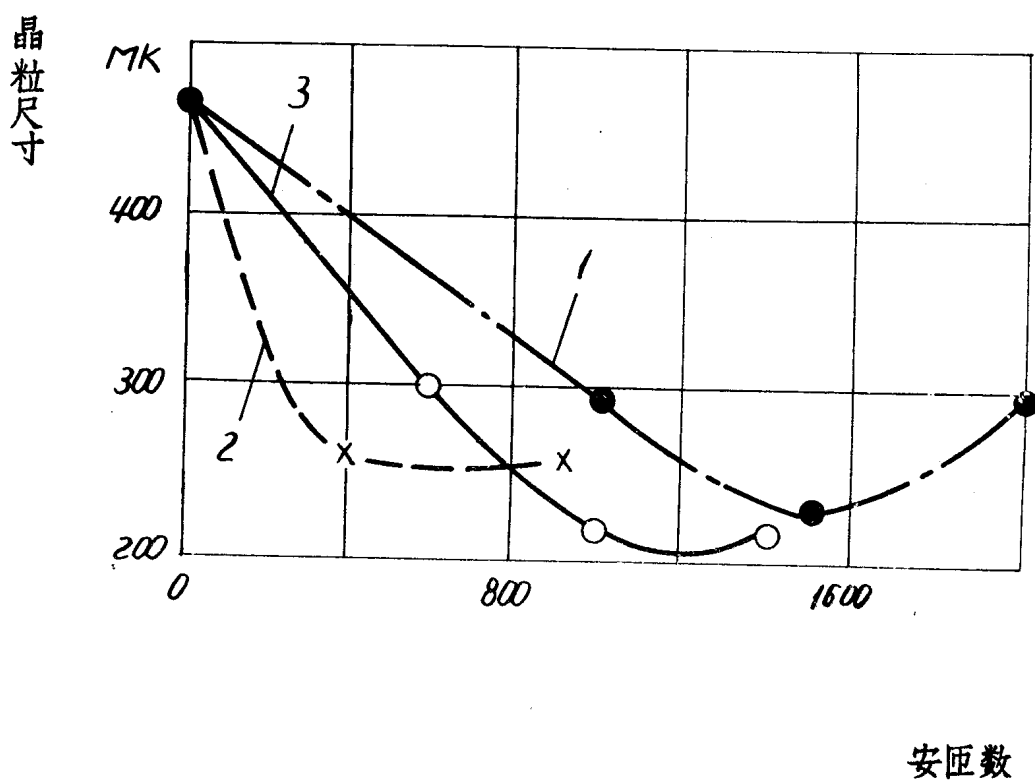
来决定。

当向焊接电弧施加纵向磁场时，阳极斑点的游动减少，焊接电弧燃烧得比较稳定。当焊接电流为40安，磁场强度为700安匝时，焊接电弧长度从80毫米（不加磁场）增加到230毫米（原文数字估计有误，译时未予改动——译者注）。对焊接电弧施加磁场会使电弧电压增高（图2）。目测和电影摄影表明，施加纵向磁场会使弧柱的直径减小。看来，电弧电压的增高能用这个来解释。



(图2) 激磁直流电流(1)和交流电流(2)对在直流  
200安、正接时,焊接电弧电压(长  
3毫米)的影响

电流种类和磁场强度对钛合金晶粒平均直径的影响,如图3所示。虽然在文献中强调指出,结晶金属的振动对金属组织有良好的作用,但是液体金属根本无需作交变运动,就是在金属沿一定方向以恒定速度运动时,成长着的结晶体也会细化,并能涉及到熔池未结晶的部分上,所获得的资料证明了这种推测的正确性。无论施加交流磁场,还是施加直流磁场,都能使焊缝金属的晶粒细化。但是交流磁场能保证焊缝有良好的成型。



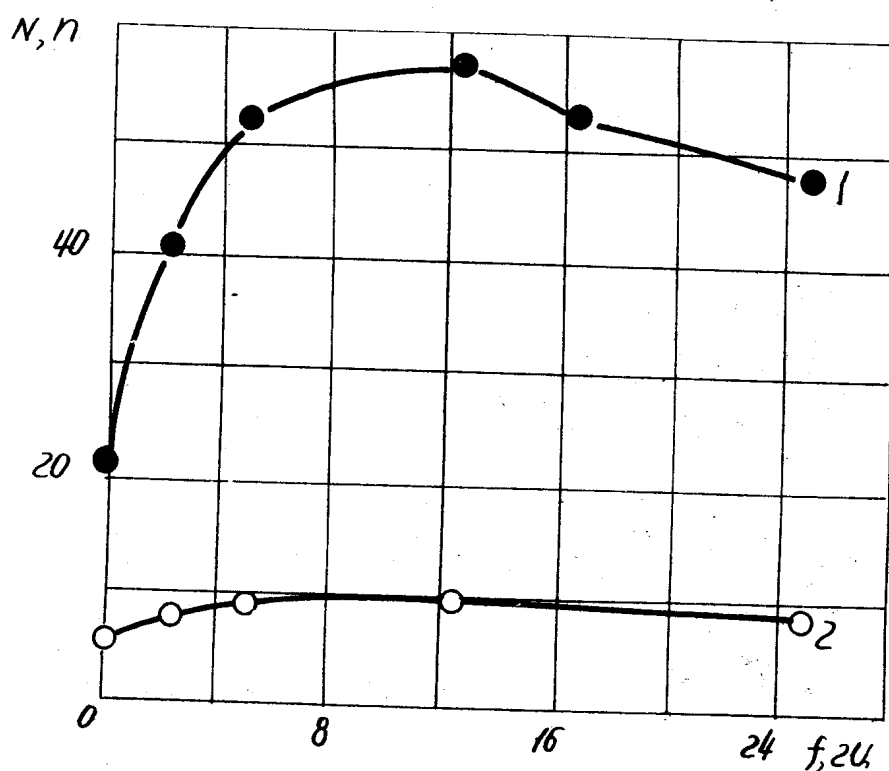
(图3) 在直流磁场(1), 12.5 赫兹脉动磁场(2)及 50 赫兹交流磁场(3)的作用下, OT4—1 焊缝中心晶粒尺寸的变化。

对不断燃烧着的焊接电弧施加脉冲磁场时, 焊接电弧被周期性地压缩。焊缝表面形成特有的鱼鳞斑状(图4), 正像电弧断断续续地燃烧那样。磁场频率在 5~12.5 赫兹间隔内时, 焊缝金属的组织得到最大限度地细化(图5)。这时磁场作用的时间依然是一定的, 等于 0.6 秒。所得到的最佳频率范围与参考文献(7)的数据相吻合。最佳的磁场频率范围看来得由熔池本身的振动频率来决定。但是, 这个问题有待进一步的研究。



(图4) 焊缝外观

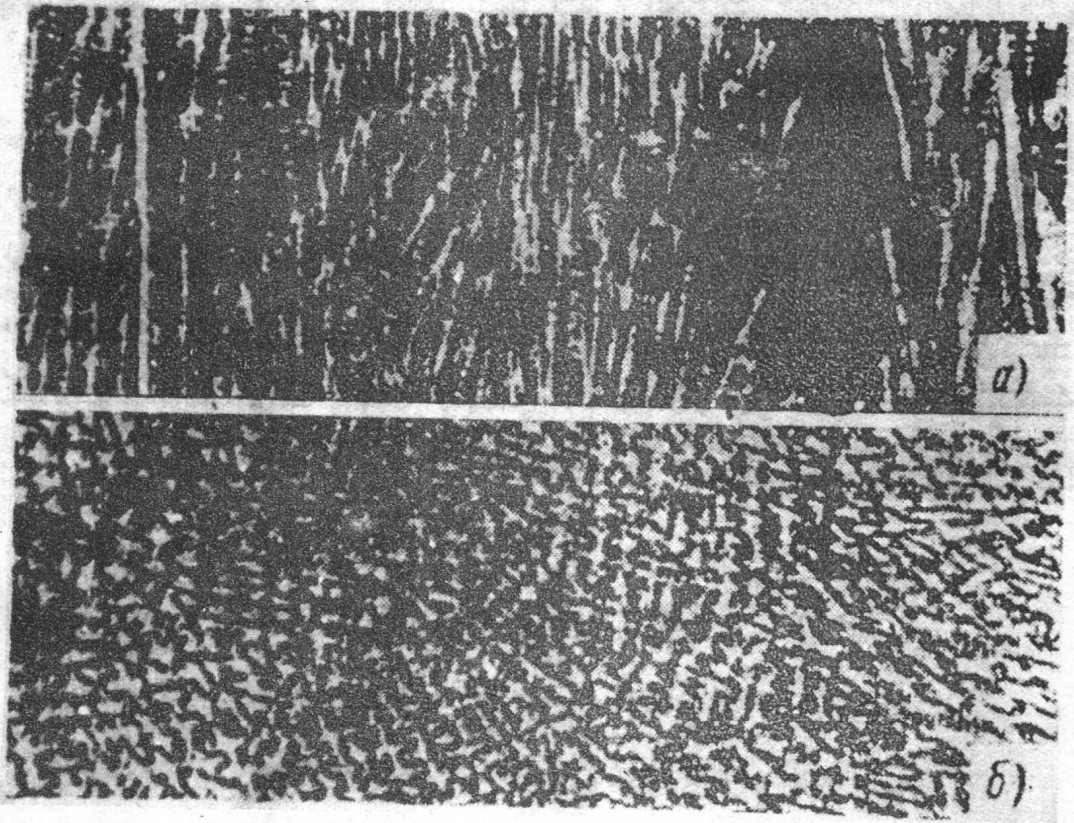
无磁场作用的连续燃烧电弧所焊的焊缝  
(a) 及加频率2.5赫兹( $\sigma$ )、5赫兹  
(б)、12.5赫兹( $\tau$ )、25赫兹( $\pi$ )  
脉冲磁场所焊的焊缝。



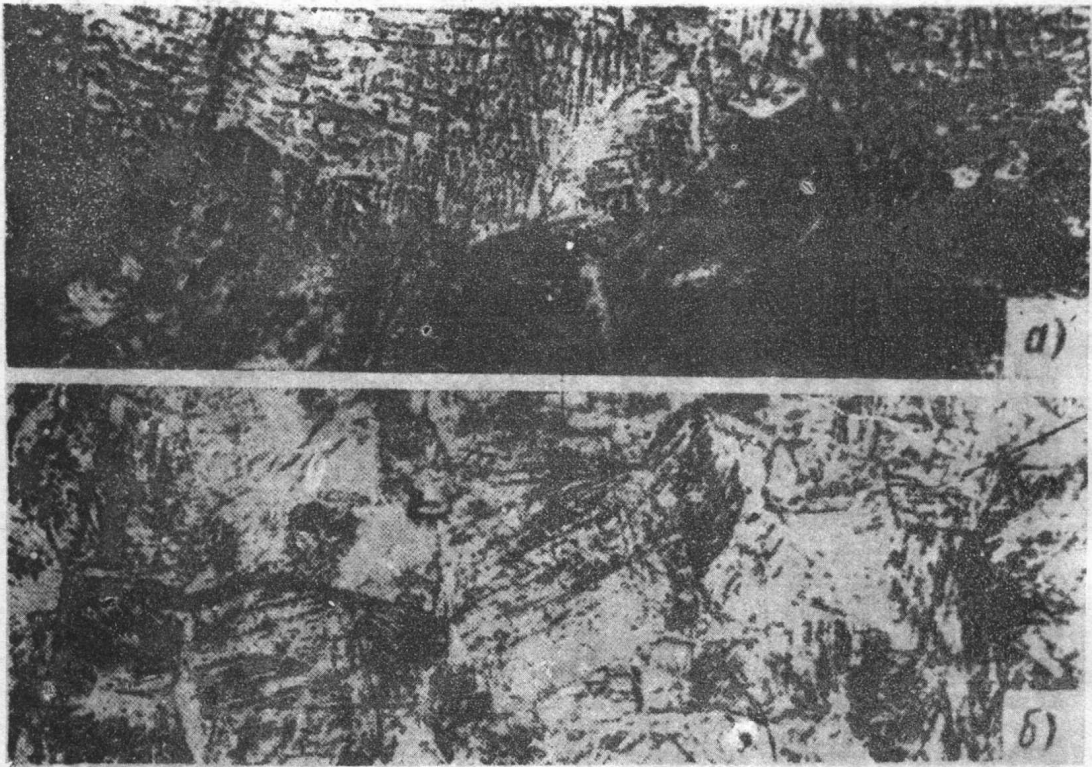
(图5) 电磁场的脉冲频率对奥氏体钢焊缝里树枝状晶体主枝数  $N$  的影响(1)和对钛合金焊缝里每一毫米晶粒数  $n$  的影响(2)

在其他相同的条件下，对奥氏体钢的焊接熔池施加电磁场能获得

最佳的细化效果，因为奥氏体钢具有明显的树枝状组织（图6）。磁场对OT4—1钛合金焊缝组织的影响较小（图7）。磁场对结晶着的金属影响的程度不一样，是因为所研究的金属结晶表面具有不同的结构。奥氏体钢的结晶表面是成长着的针状“森林”，而OT4—1合金的结晶表面看来比较平坦。破碎细长的树枝状结晶组织所花费的能量比在较平坦的结晶表面上折断圆形等轴晶体所花费的要小。



（图6） 未加外部磁场的（a）及加频率12.5赫兹、强度800安匝脉冲磁场的（b）奥氏体钢焊缝纵断面的显微组织（ $\times 200$ ）



(图7) 未加外部磁场的 (a) 及加频率 12.5 赫兹、  
磁场强度 900 安匝脉冲磁场的 (b) 钛合金  
焊缝的显微组织 ( $\times 200$ )

## 结 论

1. 调节集中过冷度和对熔池进行振动是焊缝细化最通用的方法。
2. 往焊缝熔池加磁场，使液体金属产生无接触的振动，这种振动熔池方法的工艺性最好。
3. 不管施加直流磁场，还是交流磁场，焊缝金属组织都能得以