

材 料 的 扩 散 焊 接

〔苏〕 H.Φ.卡扎柯夫 著

何康生 孙国俊 译

殷志强等 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书阐述了材料扩散焊接方法的工艺和理论基础。指出了这种焊接方法和焊接接头的优点，介绍了所使用的设备。与1968年第一版《真空扩散焊接》比较，本书更详细地分析研究了金属、合金和非金属材料的扩散焊接工艺过程，介绍了这一先进焊接方法在生产中积累的经验和它的发展远景。

本书可供从事金属和非金属连接（焊接、钎焊）的工程设计和工艺人员使用。

ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА МАТЕРИАЛОВ

Н. Ф. КАЗАКОВ

《МАШИНОСТРОЕНИЕ》1976

*

材料的扩散焊接

〔苏〕 Н. Ф. 卡扎柯夫 著

何康生 孙国俊 译

殷志强等 校

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张 $11\frac{1}{2}$ 296千字

1982年2月第一版 1984年11月第二次印刷 印数：5,301—8,120册

统一书号：15034·2282 定价：1.45元

2400100

目 录

序言	1
第一章 扩散焊接的特点	4
第二章 扩散焊接的理论基础	12
第三章 基本参数和推荐的规范	51
第四章 扩散焊机	79
第一节 真空技术的概述	79
第二节 真空焊室	85
第三节 焊机的分类	88
第四节 感应加热的焊机	90
第五节 电子束加热的焊机	103
第六节 辐射加热的焊机	105
第七节 应用太阳能的焊机	108
第八节 电阻加热的焊机	109
第九节 在气体介质中电接触加热的焊机	110
第五章 提高生产率的主要途径和焊机的机械化及自动化	111
第一节 焊机的生产率	111
第二节 工件的安装、调整和卸料	112
第三节 夹具的应用	114
第四节 抽气时间的缩短	116
第五节 加压的连续性	117
第六节 缩短加热和冷却的时间	119
第七节 多工序同时作业	119
第八节 扩散焊接规范的自动调节	123
第六章 钢的焊接	127
第七章 铸铁的焊接, 铸铁与钢的焊接	149
第八章 镍和镍合金的焊接	156
第九章 异种金属及合金的焊接	171

IV

第一节 铝及铝合金与钢的焊接	172
第二节 铜及铜合金与其它金属的焊接	176
第三节 难熔和活性金属及其合金的焊接	186
第十章 磁性合金的焊接	212
第十一章 硬质合金及金属陶瓷与金属的焊接	215
第十二章 多孔金属的焊接	231
第十三章 非金属材料与金属材料的焊接	241
第一节 玻璃及玻璃状材料的焊接	245
第二节 陶瓷的焊接	256
第三节 光学陶瓷的焊接	265
第四节 半导体材料的焊接	267
第五节 铁氧体的焊接	272
第六节 石墨的焊接	275
第十四章 扩散冶金学	278
第十五章 焊接接头的质量检验	286
第十六章 工业应用	290
结束语	312
参考资料	315
附录	319

序 言

现代科学和技术的发展，需要用金属、合金和非金属材料制造各种构件。这些金属、合金和非金属材料在不同温度和各种载荷下应该具有良好的机械性能；在不同介质中应具有耐腐蚀性和耐浸蚀性；在电场、磁场或放射性射线等作用下物理性能应不起变化。这些材料有：某些高碳钢（结构钢和耐热钢）和某些铸铁；耐腐蚀钢；热强合金；有色金属（铜、铝、镁）；超硬合金；难熔金属和活性金属及其合金；金属-陶瓷材料（陶瓷、石英、玻璃、石墨、硅玻璃、金属陶瓷、蓝宝石等）。其中，有许多材料是昂贵、塑性差、互相不溶解和有高熔点。在多数情况下，这些材料的连接会发生一定的困难。常用的熔焊和接触焊都不能克服世界上现有金属、合金和非金属互相不溶解的困难来获得它们的优质接头。在苏联，由本书作者研究发明并应用到工业生产的真空和气体介质中的材料扩散焊接方法有助于解决这个困难。

作者以前提出的扩散焊接的定义是：“借助于高温下相互接触着的材料之间有局部的塑性变形，表面间的紧贴和表面层之间的互扩散而产生金属键的结合从而获得一定形式的整体接头”。这一定义扼要而又正确地表达了连接过程的基本特点。

近来，扩散焊接既在金属材料，又在非金属材料 and 金属与非金属的连接中获得了广泛的应用。在连接区域内，不但会出现金属键，而且还可能出现其它的原子间结合的方式。因此，1973年在西德的杜塞尔多夫市举行的国际焊接年会第四委员会上通过了更为确切、更为严密的扩散焊接的定义：“固态的扩散焊接是一种获得整体接头的方法。是靠高温下材料表面的局部塑性变形使接触面之间贴紧来保障连接材料表层上的互扩散，因而产生了原

子量级上的结合，便形成了整体的接头”^[36]。

扩散焊接——在可以控制的压力作用下，把处于紧密的接触状态的零件，加热到预定的温度并保温一定时间的过程。这些条件使两个需要连接的零件的表面产生塑性变形与达到最大程度的接近和原子的扩散，从而保证接头与基体材料的强度相同。

扩散焊接具有一系列的优点：不需昂贵的钎料、焊条、熔剂和保护气体；此外，也不需要焊后的机械加工，因为没有氧化皮、焊渣和焊瘤，从而消除了贵重金属的损失；不会增加构件的重量，这一点是其它形式的焊接、钎接和胶接所无法避免的；因为是局部的加热，所以零件不会发生翘曲以及连接区的金属性能不会发生变化；由于焊接是在不太高的温度和较小的压力下进行的，所以就没有必要进行热处理；此外，还可以提高部件的质量并可以增加部件的使用期限^[34]。

应用真空扩散焊接，即使是对活性很高的金属进行焊接，也可以获得有害夹杂物含量最少的接头。若与惰性气体相比较，真空具有这样的优点，诸如抽气和控制都比较简便；不需要运输和仓库保存的费用。因此，采用真空在经济上就更为合算。

扩散焊接接头能够完全满足任何重要构件对强度、塑性、致密性能、热稳定性和耐腐蚀性的要求。

真空扩散焊接时，不会像熔焊那样要产生辐射能、气体和粉尘。这一点，对于保护工作人员的健康是极为重要的。扩散焊接就其本质来说，它是一种高生产率的可作批量生产的方法，容易实现自动化。可以一次装炉焊接成百上千个由冲压、轧制或锻压等金属利用率高的加工方法制成的复杂零件。因此，应用扩散焊接可完成最后的工序，即完成组装和焊接工序。

综上所述，扩散焊接是一种生产率高，不需要很大压力，能够制造精密的、与基体材料强度相同的接头的方法。

在苏联真空扩散焊接科学试验研究室作为主导单位和许多其他单位、企业进行了重要的理论探讨和试验研究，研制了具有多

种形式加热热源和加压系统的新型真空扩散焊机。这样，就扩大了扩散连接的应用范围。

借助于真空扩散焊接，制造成功了陶瓷与可伐、铜、钛的优质接头；耐热金属、耐热合金、难熔金属、难熔合金、电真空玻璃、光学陶瓷、蓝宝石、石墨与金属的优质接头；以及多孔性、纤维状和粉末冶金等材料的优质接头^[34]。

材料的扩散连接方法已经在 700 多个企业中获得了工业上的应用。在工业生产和试验性工作中，约有 700 台扩散焊机正在对 560 组以上的异种材料进行焊接。近年来的这种经济收益已经达到几千万卢布。随着新型焊机的继续交付使用，这种经济收益还将不断地增长。苏联在这方面的工作也会有利于国外的扩散焊接的发展^[35]。

自从本书的第一版问世以来，在苏联和其他国家完成和发表了有关真空扩散焊接的大量理论性和应用性的著作。这些成果不断在生产中得到了应用。

因此，很有必要写一本书来概括和阐述金属、合金和非金属扩散焊接的最新成果。

以最新的内容来改写和补充的第二版本，其中包含对从事机器、设备和仪表生产方面的设计师、工艺师和焊接专家有用的大量情报资料。

正如其他的著作一样，本书自然也不免会有缺点。在此，作者预先向那些提出指正和建议的单位或个人，致以谢意。

第一章 扩散焊接的特点

现有的焊接方法一般可以分为两大类：熔焊和（不熔化的）压焊。

熔焊时，焊件的接口处金属被加热而熔化，以熔化了了的金属填满接口间隙。由于熔化的焊件金属和填充金属（如果添加填充金属时）的冷却和共同结晶而形成了不可拆卸的接头。

钎焊可归在熔焊之内，其差别是，钎焊时只有填充金属（钎料）熔化，需要钎焊的基体金属却不熔化。

压焊是在温度低于焊接金属的熔点（不用钎料）时，并施加一定压力以使连接处产生必要的塑性变形（见ГОСТ2601-74），使焊接的表面接近到原子间结合力起作用的距离以内，从而使焊接面上的原子之间产生结合力的方法。为了使固态的物质能够连接成一个整体，需要化费较大的能量和采取复杂的技术措施，来促使被连接材料的原子相互接近^[14、18、36、61、72、78]。

某些塑性好的金属在室温，甚至在更低的温度下也可以压焊。而另一些金属在室温下，甚至施加了很大的压力，也不能形成焊接接头，这是由于这些金属的硬度大和表面不平的关系。一些技术上非常重要的金属、合金，特别是非金属材料，由于硬度大以及表面的不平，尽管对表面进行了细致的加工和调配，也只能使个别的点发生接触。此外，在表面上还存在气体、水的吸附层、氧化膜和油膜等。在这样的情况下，为了顺利地进行压焊，就必须把焊接的表面加热到较高的温度（但不能超过它的熔点），以此来提高金属和合金的塑性^[18、34、49、58、68、82]。

扩散焊接是压焊的一种形式。它是在高温下保温一定时间使焊件产生微量塑性变形，以便使接触部分产生原子互扩散的过程

(见 ГОСТ2601-74)。焊接接头的形成是由于连接件的原子通过固态的，有时（当采用熔化的中间夹层时）甚至还可能是对接面之间液态的物质互扩散结果。利用所施加的挤压力，使对接面相互接近到原子间力的作用距离之内。如果连接过程是在有液相存在的情况下进行的，那就不再需要压力了，因为液膜早已润湿了连接的表面^[42]。

焊接是在特制的焊机内进行的。扩散焊机的构造并不复杂(见图1)。将两个需要焊接的零件装入真空室1，在焊接过程中，真空室由流动水2进行冷却。为了保护零件，防止在加热和焊接过程中在对接面上产生剧烈的氧化，工作室要用真空系统3进行抽气。加热

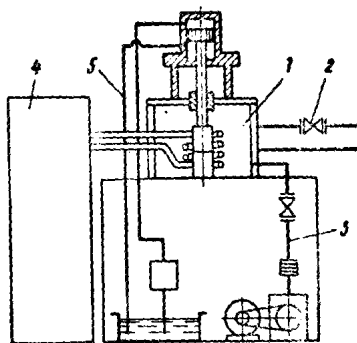


图1 扩散焊机的原理图

焊接零件是应用高频感应电流发生器及感应线圈4，由液压系统5来施加挤压力。焊后，零件要在真空室中冷却到适当的温度^[84, 87, 88, 84]。

在这一焊接方法中，接头的形成是取决于三个主要的参数。这三个主要参数是温度、压力和给定的温度及压力下的焊接时间；对于这三个参数需要严格的监控^[84, 86, 87, 46]。

温度 同种材料的焊接温度通常为金属和合金的熔化温度的0.5~0.7；而异种金属的焊接温度是取熔点较低金属的熔化温度的0.5~0.7。提高温度是为了加速对接面上材料的原子的相互扩散，也是为了使金属有一定程度的软化，促使表面的变形以减少不平度。这样，就能使对接面之间相互接触得更为紧密，因此又加速了扩散过程。

压力 施加压力的主要作用之一是保障对接面之间有紧密的接触。所施加的压力要足以使连接件表面产生变形，从而将对接处

8510345

所有的空隙由焊接材料填满。如果压力不足，那就会留下来一些微小的空隙，接头的质量就要大大地下降。压力还可以破除表面上的氧化物，使连接表面达到需要的清洁度。

时间 在给定的温度和压力下，无论从接头的物理机械性能，还是从经济性来考虑，通常的情况下，焊接的时间应该是越短越好。对于扩散焊接说来，焊接的时间只要能够保证紧密的接触和扩散就够了。过分的扩散，反而会在焊缝中（在连接区）形成空洞；在许多情况下，会产生金属间化合物的脆性相（在连接异种金属和合金时）。为了获得牢固的接头，需要在连接面之间形成紧密的接触，连接面之间的原子有最低限度的扩散就可以了。

扩散焊接的最佳条件是在真空度不低于 10^{-2} 托或无氧的惰性气体保护下进行。为此，需要应用干燥的氩或氦（露点低于 -57°C ）。有时，为了还原，为了防止连接面上产生氧化物和其它的沾污，需要采用氢的气氛。

为了顺利地进行连接，零件结合的表面应该相当光滑和互相贴紧，使结合处具有良好的表面接触。

软金属在低的压力下就能自由地变形，所以焊前，不必对连接面作特殊的处理。这样的软金属有：铝、铜、镁、锡和金。而诸如硬质合金、难熔金属、热强合金、工具钢和非金属材料等硬质材料的连接面的加工，就需要特别注意。在此种情况下，连接面应该加工到六级光洁度，最好添加塑性较好而又容易变形的材料作为中间夹层。

扩散焊接是一种对同种的或异种的金属、合金和非金属材料进行连接的工艺过程，它是在一定的时间范围内，加压和加热使对接面之间的原子相互扩散，来实现连接的。需要连接的表面应该十分平整和清洁。扩散焊接与熔焊的不同之处在于：扩散焊接时，连接材料的表面并不熔化，因为焊接温度低于基体金属的熔化温度。它与钎焊的区别在于：熔化了中间夹层，在扩散的过程中，完全弥散到被焊接的基体材料中去了。

当前，为了叙述扩散焊接的过程，有时要借用其他工艺过程的一些术语。这样，会给扩散焊接本质和机理的定义和阐述带来差错。苏联的国家标准ГОСТ2601-74和ГОСТ19521-74中明确地规定真空扩散焊接的概念和实质的术语。除此以外，国际焊接学会（MHC）采纳了在序言中已经提及的、本书作者对扩散焊接所下的定义^[86]。

从连接的本质来看，在连接中起主要作用的是扩散过程，所以术语“扩散连接”或“扩散焊接”比其它术语更好地反映了这一过程的实质。

当连接材料不熔化和接触表面上的原子没有明显的扩散情况下，仅仅是由于接触面之间建立了金属键的结果而导致接头的形成。有时，在对接面之间建立了金属的伪晶格，使对接表面之间发生相互作用^[83]。

要具体地实现既无明显的扩散，又要使连接表面有牢固的结合，有很大的困难。因为，如果要依靠原子之间的引力来保障结合，那就必须使表面避免吸附层、氧化膜和常见的污染等其中的任何一种沾污，而且还要求使连接面接近到原子之间能够相互起作用的距离以内。因此，为了形成接头，就需要施加压力，以引起对接面的塑性变形，从而增大连接面的接触面积。

与现有的焊接和钎焊方法比较，扩散焊接具有一系列的优点。可将其中的某些优点，列举如下：

一、扩散焊接最为重要的优点之一——在焊接接头质量好的同时，金属接头还能保持均质的金属和合金原有的主要性能。如果焊接规范（焊接温度、焊接压力和焊接时间）选择得当，对接处的金属及其邻近的区域都具有高的强度和高的塑性。

在真空中进行焊接，不但能够保护零件表面不再被沾污，例如不再被氧化，而且由于解吸作用、升华作用或者氧化物的溶解和它们向材料深处溶解和扩散等过程，还能够使零件表面净化。在对接处不会出现诸如未焊透、气孔、氧化物的夹杂以及其它缺

陷。在热影响区域中，也不会出现熔焊和钎焊常见的缺陷，例如冷裂纹或热裂纹、气孔、翘曲等。

这种连接的新方法不需要贵重的钎料（如金、铂、银及其它等等），特制的焊丝和焊条、熔剂和保护气体（如氩、氦、氢等）。

二、从瞬时抗拉强度、弯曲角、冲击韧性、真空致密性等技术指标来说，扩散焊接批量生产的零件，接头质量通常是稳定的。这些指标值的波动不会超过 $2 \sim 5\%$ 。这是因为主要工艺参数（焊接温度、焊接时间和焊接压力）和辅助参数（真空度和表面加工）是稳定的，而且焊接接头的质量与供电网路电压的波动、辅助材料的质量、焊工的疲劳程度和技术水平等这样一些外部因素是无关的。这些因素对于其它焊接方法却有很大的影响。

因为连接过程是在固态下进行的，就排除了熔焊和钎焊时出现的那些主要缺陷。由于采用了真空，不仅保护了金属在加热时不氧化，而且还能够去除表面上的氧化膜和各种沾污的吸附膜，从而使表面净化。甚至对化学活性很大的金属进行焊接时，也能够获得有害夹杂含量很低的接头。

由于焊接接头具有高度稳定的机械性能指标，所以完全有理由对产品采用抽查法，对质量进行检验。例如从某一批量中选取某些零件，对其全部参数进行细致的检查。关于这一点，在目前的生产条件下，是很重要的，因为在许多情况下，实际上还没有一种适用于焊接车间和装配车间的、既简便经济而又安全可靠的焊接接头非破坏性检验方法。

三、生产中所积累的大量经验表明，扩散焊接的应用，非但能够获得同种金属和合金的牢固接头，而且也能够获得异种金属和合金，其中包括热物理性能相差极大的异种金属和合金的牢固接头。对于塑性差、熔点高、互相不溶解或在熔焊时相互之间会产生脆性的金属间化合物的那些异种材料，扩散焊接看来是唯一可靠的连接方法。工业生产已经能够用扩散焊接方法成功地焊接一些其它焊接方法不能或很难焊接的金属和合金的组合件。例如：

钛与不锈钢、钛与铝、紫铜与钢、钢与铸铁、紫铜与铝、钨与铌、铝与钢等等。

扩散焊接特有的优点——能够获得高机械性能和特殊性能的金属、合金和非金属材料的优质接头，还能够焊接几何形状复杂的异种材料（耐热合金、高合金钢、难熔金属和活性金属、超硬合金和硬质合金以及非金属材料：陶瓷、石英、玻璃、石墨、硅玻璃、蓝宝石等等）^[34, 38, 39, 45, 58, 66, 84]。

四、由于扩散焊接过程是在 $0.5 \sim 0.7$ 的熔化温度下和短时间（ $1 \sim 5$ 分钟）内进行的，所以焊接时消耗的能量和焊机的功率都很小。若与接触焊相比，要小 $\frac{3}{4} \sim \frac{5}{6}$ 。扩散焊接是一种高生产率、批量生产的焊接方法，可以作为最后组装的工艺，而且还容易实现自动化。

五、扩散焊接与其它形式焊接的区别还在于它的无害性：没有紫外线；不放出有害的气体；没有灼热的金属飞溅和粉尘。这对于保障工作人员的健康是十分重要的。因此，扩散焊机可以安装在对零件和部件进行机械加工和组装的生产线上，从而免除了由机械加工车间到焊接车间往复的厂内运输过程。

六、扩散焊接的主要参数——温度、压力、真空度和焊接时间——容易程序化。通常，所有的扩散焊机都是半自动并附带最低限度手工劳动的和实际上不需人工操作的自动焊机。

扩散焊机的高度机械化和自动化以及工艺过程的无害性，与常规的焊接方法相比，明显地改善了劳动条件。

这种焊接方法的一个很重要的特征——所焊接的零件，不受大小、断面尺寸和表面形状的限制（棒状和管状的对接、具有平面零件的对接和搭接、角接和套接、卷边的和锥形接头、球形接头、渐开线形状的接头等），这些只不过影响到加热器和加压夹具的选择而已。

为了提高间歇性作业的工作室的利用率，研制了多工作室（旋转型）的焊机和附有闸式专用卸料斗的连续生产焊机。现在

还正在研制具有程序控制的焊机和把真空室直接装到工件上去●的焊机等等。正是这种局部真空焊机可以焊接重达 75 吨、长度为 50 米、直径为 58.8 毫米的巨型零件，这是依靠气垫装置把工件输送到焊接工作位置上的。用同样方式，也可以焊接远洋轮船的船体、飞机的蒙皮、干线的导管。也可以加工制造诸如衬银的化工设备（高度 3 米，直径 1.8 米）金属与陶瓷复合件的密封引线、铁氧体和金属与陶瓷的部件、极牢固的冲压模具、传感器的弹性元件、飞行器的钨喷嘴、蜂窝结构、离心式涡轮机中的涡轮、涡轮发动机的叶片、化学工业和气体工程的多孔性材料的管道、发动机汽缸的气门和缸体以及珠宝制品等这样一些复杂而又精密的构件。

用这种焊接方法，还可以把厚度只有 3 微米的镍箔焊接到巨型的零件上去。也可以把厚度只有 3 微米的铝箔焊接到紫铜网上去。也就是说，被焊材料的厚度可以达到从几微米（箔状）到几米这样宽广的范围〔38〕。

不很高的温度和不太大的压力是不会使焊接金属的性能发生变化的。这一点具有特别重要的实用价值。焊好后的接头可以满足各种重要构件对强度、塑性、致密性、耐腐蚀性的要求。扩散焊接的一系列产品的使用期限可以提高 9~11 倍；扩散焊接可以提高一系列产品的质量和可靠性，可用来研制结构全新的仪器和机器，简化生产的工艺，更替稀有的和贵重的材料。因为冷却是缓慢的，所以就不需要进行热处理来消除应力。也不需要焊后的机械加工，从而不会损耗贵重的金属。构件的重量也不会增加。

扩散焊接在解决苏联科学的综合性问题时也获得了应用。例如科学院院士 Г. Н. Флеров 认为：门捷列也夫周期表中第 106 号元素的发现，也有真空扩散焊接试验室的功劳；它提供了处于等离子体中工作的电源电极与工作物质之间的牢固的连接接头。根据 А. М. Прохоров 院士的要求，扩散焊接促成了大功率气体

激光的重要研究工作。

上述的以及这一焊接方法的其它的优点，使它成为金属与非金属材料有发展前途的连接方法。但是，正像其它现有的焊接方法一样，扩散焊接也有它的缺点：它需要消耗时间来对工作室的空间进行抽气；对连接的表面要有很好的选配和细致的清洗。

显然，扩散焊接顺利的发展和在生产中成功的应用是与生产设备的规模和设备研制的质量有直接关系的。

近来，由于进行了很重要的科学研究工作和试验工作，大大地扩大了扩散焊接的应用范围，实际上几乎可以将它用于一切工业部门。在扩散焊接发展的同时，开始出现了一种新的科研趋向——扩散冶金。还研究成功了一种真空热处理的新方法，可以提高机器、机械装置和工具的可靠性。进一步研制了由金属、合金和非金属组成的各种性能的复合材料^[34, 36, 76]。

因此，扩散焊接在较短的时间内就获得了广泛的应用；这种非常先进和经济的焊接方法日益引起了人们的重视，扩散冶金学和以真空热处理来改善金属和合金性能的方法也在不断地发展。

第二章 扩散焊接的理论基础

现代技术应用着各式各样的金属焊接方法。其中，压焊日益广泛地被用于各工业部门。压焊是在比被焊金属熔点低的温度下，不添加焊料、施加足以使连接件产生所需的塑性变形的压力从而实现焊接的方法（见ГОСТ 2601-74）。

关于压焊接头的形成机理，存在着各家学说，这些学说所论证的接头形成过程及其机理都具有不同程度的可信性。例如：薄膜学说薄膜学说论者（Айбиндер С. Б. 等人）主张：对所有的金属与合金，只要两个清洁的表面相互接近到原子间力的作用半径之内，就具有粘合能力。他们用表面上出现薄膜的理由来解释在试验中出现的，不同金属具有不同的可焊性问题。

妨碍金属和合金连接的氧化膜，可能是硬的、脆性的，也可能是韧性的、塑性的。当需要连接的金属进行冷塑性变形时，硬的和脆性的氧化膜就会破碎，使清洁的金属裸露出来，当它们相互接近到原子间力的作用距离以内时，就会牢牢连接在一起。但是，表面薄膜如果是塑性的（即使其中的一种金属的氧化膜是塑性的），在变形的时候，塑性氧化膜随同金属层一起漫流开来，就可能妨碍接头的形成。如果使金属的变形按给定的方式进行，则可以使薄膜所起的作用降低到次要的因素。

再结晶学说 再结晶学说者认为，再结晶是在固态下形成接头的主要因素。由于协调一致的塑性变形而生成界面层，同时，在高温的作用下，变形和伴随变形而产生的金属冷作硬化使被连接件中的原子在晶格中重新排列，从而在它们的界面层上形成同属于两个焊件的共有的晶粒。这样，也就使两个接触着的金属件连接在一起。

许多试验说明，赞成这一学说的人并没有掌握足以使人信服的证据。例如：在低温（ -150°C ）下，也可以进行金属的焊接；高硬度出现在连接区域内；变形的速度并不会影响到冷压焊接接头的强度；对冷压焊的铝进行 x 光结构分析时，并没有发现再结晶现象等等。

能量学说 作为能量学说的基础是如下的概念：对于某种金属来说，必须使处在金属接触处的原子或离子具有一定的能量级。这种能量级的数值可以称为粘合的能量界限。当达到了能量界限时，减弱了原子键的方向性，在两个表面的原子之间，就会形成金属键。这样，两个相互接触的物体之间的分界面就消失了。为了金属间产生粘合，所需能量与两种被焊金属塑性变形时的协调程度有关，协调程度越低，需要的能量就越高。加热和弹性变形可以提高原子的能量，能够促使金属接近于结合的状态。

A. П. Семенов 认为，在金属的结合过程中，并不存在扩散过程。但是，在高温下的接触区域内，在“无扩散”的粘合基础上，随后还是要发生扩散过程的。

采用术语“定向键”的理由是不充分的。众所周知，导致晶格能量增加的冷作硬化会使金属的粘合能力变差。金属间的结合是与被连接金属的那些物理化学性能有关，这一点用能量学说就无法解释。

位错学说 根据这种学说，产生协调一致的塑性变形时，位错都向着金属的接触表面迁移，从而使氧化膜破除并形成高度只有一个原子间距的小台阶。一方面可以把金属接触表面上出现位错看作塑性变形的阻力的减小，而有利于金属的连接。但从另一方面说来，根据推测，表面上出现位错，却会增加表面的起伏不平。这就创造了如下的条件，即使接触表面的塑性变形要比金属内部的塑性变形大得多。由此可知，粘合过程是由于接触区金属的塑性流动的结果^[5,78]。

位错学说论者认为，在粘合过程进行时，也可能产生扩散过