

焊接金属学

(若干问题)

拉实柯、拉实柯-阿瓦坎著



机械工业出版社

焊 接 金 屬 学

(若 干 問 題)

拉实柯、拉实柯-阿瓦坎著

席聚奎译



机械工业出版社

1958

出版者的話

本書主要闡明了各種焊接接頭在硬焊、鑲焊和熔焊時的結晶、組織變化以及組織與性能間關係的分析。

本書可供研究金屬及合金有關的以及在焊接方面工作的科學工作者和工程技術人員參考。

蘇聯Н. Ф. Лашко, С. В. Лашко-авакян 著‘Металловедение сварки (Некоторые вопросы)’(Машгиз 1954年第一版)

*

*

*

NO. 1840

1958年12月第一版 1958年12月第一版第一次印刷

850×1168^{1/32} 字數 232 千字 · 印張 9^{2/16} 0,001— 6,300 冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號 定價(11) 1.90 元

目 次

原序	4
緒論	7
1 关于焊接和可焊性	7
2 关于固体金屬应用焊接方法的可能的接合	15
第一章 金屬在固态下的焊接 (硬焊)	24
1 冷硬焊	24
2 金屬在固态下有加热的焊接(热硬焊)	38
第二章 固体金屬借液体結合剂的焊接 (鑲焊)	62
1 鑲焊的方法和焊料成分的选择	62
2 金屬鑲焊时的物理-化学过程	71
3 鑲焊接头的强度	105
第三章 金屬的熔焊	112
1 熔焊时結晶的特点(結晶区)	114
2 合金在熔焊时的变質处理	149
3 关于鑄造金屬与变形后的金屬的某些性能的差別	160
4 熔焊时的結晶裂縫	162
5 焊接热影响区中的組織轉变	241
6 熔焊时在 Al—Mg 合金中發生的孔隙	270
7 作为焊接結構的一种破裂原因的焊接热影响区中 的組織不均匀性	284

原 序

焊接是在很早以前就被用来造成永久接合的。

在1882年以前,将金属加热利用锤击的焊接以及钎焊乃是唯一可做到的金属的物理-化学接合法。[焊接]一词只不过是指出在固态下的焊接,更正确一些说,它的变相就是锻焊。

自1882年起,焊接工艺的发展走上了一个新的方向。由伯纳尔多士(Н.Н.Бернардос)所提出的用彼得洛夫电弧加热及熔化金属的方法便是这一发展的转折点。

特点是,当时是把熔焊叫做金属的电钎焊或熔接。这是十分自然的,因为当时对焊接的概念只是局限为金属在软化状态下的接合,但毕竟是在固态下的,而与钎焊不同,在钎焊时接合是通过液体金属——焊料而实现的。

由于在电工学领域中的巨大发现而有可能使焊接新方法进一步发展,也就要求到焊接过程的冶金学的研究。

1888年,斯拉汶诺夫(Н.Г.Славянов)奠定了焊接冶金学的基础,并发展了用熔化电极的焊接方法。

在化学领域中所达到的成就,使得又能够利用了一种熔焊的热源:即铝热反应时所放出的热能。铝热焊是在1899年由高立德施米特(Goldschmidt)所提出的。

在化学工业方面进一步的改进及制氮方法的创出,促进了像氧-氮焊这种焊接形式的发展[1900~1904年,列-沙切列(Ле-Шателье)]。

乙炔在工业上的制得及其安全保存方法的创出促使建立起了另外一种气焊形式的乙炔-氧焊。各种熔焊方法是从1914年开始特别广泛地发展起来的。熔焊的显明优越性(普遍性,高生产率)是其较在固态下的焊接得到不可比拟的更广泛应用的原因。

金属局部加热法的研究是建立起在原则上为一种新的焊接形式——金属通过其本身的熔化而接合的基础,并对于金属在固态

下的焊接方法的發展，也有着極大的影响。除了鍛焊以外，同时还出現了像加壓氣焊（1938年），接觸電阻焊，壓焊及其變態——冷焊（1945年）這些方法。

現在不再像是鍛焊只是唯一的焊接方法那時一樣，不僅只是焊接鐵及低碳鋼了。經受焊接的金屬及合金的數量已經在無可比擬地迅速地增長着。因此除了焊接冶金學的問題以外，同时还發生了金屬學上的問題。原來，熔焊除了好的一面以外，還有其壞的一面；當在焊接具有較大結晶間隔、易溶共晶和金屬間化合物的合金時，以及在焊接在液態下可吸收氣體和易氧化的合金時，這些壞的一面就出現了。某些合金在熔焊時呈現有過度的形成裂紋的傾向，在焊接熱影響區中，特別是在金屬的晶粒發生局部熔化的地區中，會失去強度；有時在焊縫中會失掉它們的致密性。所有這些在熔焊時所可產生的缺陷，在極大的程度上，正是取決於被焊合金的相及化學成分的組成。因此，研究與焊接過程相關的金屬學上的問題，就成了焊接科學發展中的一個必經階段。

由於焊接金屬學的發展便激起了硬焊在新基礎上的應用。在研究雙金屬軋壓技術和包復金屬層技術時所積累的經驗，在許多方面都促進了新硬焊技術的發展，我們就是它的親眼見證者。軋壓雙金屬和包復金屬層實質上就是硬焊的變態。

金屬及合金在固態下的焊接雖然有多世紀的久遠年代，但沒有一個有充分根據的理論，而無此理論，現代的硬焊工藝學的發展就遇到了嚴重的困難。積累的經驗材料使得在這一方面有了某些進步。構成焊接接頭的工藝方法的改進，是與焊接時所可觀察到的綜合現象的研究成果密切相關的。

促進金屬結構焊接工藝改進的有下列各方面的研究成果：

- 1) 造成及移動集中熱源的方法和實現局部加壓的方法（焊接機及夾具的構造）；
- 2) 沿焊件的溫度分布；
- 3) 熔焊時所進行的冶金過程；
- 4) 在焊縫及近縫區的金屬中所發生的組織轉變；
- 5) 焊接接頭的結構特點及其對焊接時的應力狀態和在使用中的

可靠性的影响。

研究焊接时的热过程方面的各重要結果，是在莫斯科巴烏曼高等技术学校（Московское высшее техническое училище им. Баумана）及乌克兰科学院电焊研究所（Институт электросварки АН УССР）里得到的。

焊接冶金学是在各科学中心站里〔乌克兰科学院巴东电焊研究所（Институт электросварки АН УССР им. акад. О.Е. Патона）、中央机器制造与工艺科学研究所（ЦНИИТМАШ）等〕發展起来的。

在乌克兰科学院巴东电焊研究所、在莫斯科巴烏曼高等技术学校、在列宁格勒工学院（Ленинградский политехнический институт）、在铁路運輸工程学院（Институт инженеров железнодорожного транспорта）等各單位中，过去所进行的研究都是花費在研究焊接接头的机械强度及其形成条件的問題上的。

在本著作中只分析在焊接过程中及在焊接以后在合金中所發生的、引起焊接接头的金屬中的組織轉变的物理-化学变化。在本書中叙述若干焊接理論的金屬学問題。

当然，焊接金屬学并不是一門完全独立的科学，而應該以金屬中的物理-化学过程的普通学說的基础为出發点。

焊接金屬学应包括三个主要問題：1）熔焊时焊接接头的結晶；2）在固态下的組織变化；3）組織与性能間的关系，特別是焊接接头的組織与性能間的关系。

在本書中主要是分析那些作者們曾經亲身参加研究过的焊接理論問題。某些非成为作者們的注意中心的或未經他們研究过的問題，縱然它們可能是有价值的而且是值得較詳細說明的問題，但也只予以簡要的分析。当然，在值得爭辯的問題上，作者們即闡明出自己的观点，可以意識到，它可能会引起爭論，而在爭論的过程中得以促进其解决。

在叙述个别的焊接金屬学的理論問題时，作者們力圖指明各种見解和理論的爭端，并提供出其可能的进一步發展的前途。

緒 論

1 关于焊接和可焊性

当研究焊接中在金屬及合金中所發生的过程时，必須要以發生在各被焊金屬之間的結合性質的具体概念为出發点。

在分析金屬及合金所可利用焊接而接合的能力时，發生有两个主要問題：

- 1) 是否所有的金屬及合金都可以利用焊接的方法来接合；
- 2) 對金屬或合金能以焊接而构成足够坚强耐蝕的接头的能力的評定标准如何。

因而，應該分清，焊接的定义是一形成永久接合的过程，而可焊性的定义則是限制在焊接时能够形成优良永久接合的过程所可进行的可能性。

焊接是固体的接合方法之一。固体的接合方法可以分为两类：即应用机械方法的获得永久接合和通过物理-化学的接合而获得永久接合。

永久接合按照物理-化学的联接形式的分类是沒有的。仅有多少所公認的在均質固体中的物理-化学联接形式的分类法。

此等固体結合共有四种形式：1) 殘余結合(范德华尔結合)；2) 离子結合；3) 同極(配位)結合；4) 金屬結合。

會确定有三种殘余結合(范德华尔結合)的形式：1) 有賴于具有偶極矩分子間吸引力的定向結合；2) 有賴于分子邻近的分子电場使其对准分子的偶極間吸引力的誘导結合；3) 以量子力学观点所解釋的分散結合。

凝結的氫、氦等即为典型的由范德华尔[力]所結合的固体代表。

在許多有机化合物中，分子間的結合同样也是由范德华耳[力]所實現的。

离子結合为許多盐类所固有。在这些固体中，联接是通过晶格中带正电荷与負电荷的离子之間的靜电結合所實現的。

彼此間受原子价所約束的固体原子是由同極結合所联系起来的。在这种物体中，原子是由共用的双电子結合相联系着。这种固体結晶体的配位数等于原子价。金剛石及硅为具有同極結合的固体的典型代表。

在金屬結合的情况下，联接是在晶格中所分布的带正电荷的离子与构成金屬中[电子气]的自由电子之間實現的。

以上所列举的四种結合形式并不往往都是以單純的形式出現的；在某些复杂的物体中，还会建立起中間形式的結合。在焊接接头中，特別在焊接种类不同的固体时，要确定結合的形式，則更是困难。

对于固体的物理接合，必須要使一物体的原子列能趋近于另一物体的原子列达到約 10^{-6} 公分的原子間距，这时化学的联接才会起作用。必須指出，这一条件并不永远是联接的充分条件，因为在某些不形成化学結合的物体間，坚强的联接实际上是不可能的（譬如，在 Al 与 Pb，Bi 与 Cr，Fe 与 Pb 各純金屬之間的联接）。

要形成这些元素之間的結合，必須要引入一种能与以上所指出的各对元素能相互溶解的中間元素。

加压或加热（在物体靠近的条件下），或同时加压和加热，可以促进固体間的联接。加压和加热可促使各接合物体的趋近以达到化学联接能开始起作用的距离。

包括金屬在內的固体原子間的联接，可能有两种形式：1) 无扩散的，2) 扩散的。

在无扩散联接（附着）的情况下，物理結合的發生并无这一固体的原子沿着接合地区到另一固体中的相互浸滲。

无扩散的联接，可能在联接表面不破坏的情况下也相当容易發生破坏。

物体扩散式接合的特征是：接合地区（表面）与所接合的物体相比較，其本身的化学性質發生了改变。扩散式的接头借机械分离的方法是不能使固体回到原始状态的。

无扩散式的接头，在机械分离时，可能解离为具有最初状态的原始物体。

借物理-化学联接方法所实现的永久接合，可以分成如下两种形式：1) 联接的固体无原子或离子扩散互换的永久接合，2) 联接的固体具有原子扩散互换的永久接合。永久接合的这种分法无疑地是假定的，但是它初步近似地正确地反映了基本的联接形式。

为了表明一定的接合形式，我們故意地应用了結合与联接性的概念，而不应用力（[結合力]）的概念，因为在应用到原子之間的现象上，力的概念就会失去意义。

用粘接方法所得到的接合，属于被联接物体間无原子（或离子）相互扩散互换的永久接合。在粘接时所發生的物理-化学过程，目前还未曾完全查明。粘接是借助于附着的分子結合而达成的，其中静电結合起着很大的作用。在被粘接的物体之間，原子互换的扩散过程是观察不到的。金屬或合金借水胶的接合，可設想是在水胶分子与金屬或合金的巨大分子之間成附着联接的形式，此金屬或合金的巨大分子即是它們的单独的相或晶粒。

塊規的接合以及借中間液体薄膜所連結住的接合，均属于被联接的固体金屬无原子（或离子）扩散互换的永久接合的个别类型。大家知道，在这种情况下，联接的强度便是取决于液体与固体間的表面張力。可假定把这种接合也叫做粘接。于是可把被接合的固体之間无原子（或离子）扩散互换而获得永久接合的过程叫做粘接，而把金屬物体經原子（或离子）扩散互换在被接合的固体間形成金屬結合而获得永久接合的过程叫做焊接。

焊接的金屬借助于扩散的过程形成了一个整体，这与粘接的

固体是根本不同的。

在固态或液态下，在不同合金之間的扩散过程，当被焊合金具有一种或数种元素的可溶性时（在固态或液态下），是有可能的。自扩散就是具有无限自溶性时的一种扩散的个别情况。两种或数种元素在固态下的可溶性（部分的或无限的）是以其在液态下的可溶性为前提的。

反之，当在液态下具有可溶性时，在固态下則可能并无可溶性，譬如，在合金組元并无有限溶解度而形成共晶的情况下即是。因而，在这种情况下，焊接接头的形成則只有借助于熔焊的方法才有可能。

当彼此不可溶解而形成簡單共晶的二金屬相接触时，若无預先在液态下的相互扩散，在固态下便不可能建立起接合。所以，这些金屬在直接接触的情况下，便不能以硬焊的方法焊接。但在各元素加热时，在共晶溫度或高于共晶溫度的情况下，在相接触的地区可形成液体共晶，液体共晶在結晶时則会构成二元素的連續接合。我們不再援引这种二元系的例子了，因为某些好像是不可溶的元素，在进一步研究时，則都具有縱然是極小限度的相互溶解度。

金屬在液态下的完全不溶解，排斥了它們在固态下溶解的可能性。在它們之間，不借助于另外的結合体，要形成任何的焊接接头都是不可能的。例如，純銅与純鉛的焊接实际上就不可能，因为在这种情况下，在液态下有二分層形成。鋁与鉍在液态下的部分溶解度，使在固态下的溶解度極小的鋁与鉍有可能形成仅只微弱的結合。当联生熔焊时，它們可形成一种在結晶时可發生分离的微弱結合系。

因此，焊接两种或数种固体的原則上的可能性，是与其在液态下的相互溶解度有关的。毫无疑义，焊接的質量應該首先取决于被焊物体在液态下的扩散混合方式，而最終則是取决于焊接过程的工艺方法。

当被焊物体的各元素在固态下具有可溶性，从而在液态下也具有可溶性时，則熔焊及在固态下的焊接（硬焊），原則上便都有可能。

可焊性并不是一种物体自身的而不与其他物体相干的性能。两种或数种物体的可焊性的概念，包含着它們彼此間在形成彼此之間的或借助于另外物体的焊接接头的能力上的关系。

确定可焊性的概念是比較复杂的，它的意义也如同焊接的概念一样，是屢經改变的。

这一概念的定義的变化是一个反映着焊接工艺發展完全合乎規律的現象。

可焊性概念的定義的發展儼似固体可变形性概念的定義的發展一样。从前認為，固体可以按照它們的性能分成为两类：脆性的（不可变形的）与塑性的（可变形的）。这种固体的分法可适合于金屬变形工艺的低級水平。固体的工艺試驗和强度科学的發展証明，一切固体則都可能是塑性的和脆性的，并証明脆性和塑性并不是固体的一內在性能，而是随着不同的原因（应力状态的改变，物体的外形，溫度的变化，变形的速度）而改变的。

在工艺發展的低級阶段中，固体会按照它們可形成焊接接头的能力而分成为可焊接的与不可焊接的。而在近代焊接科学中，是沒有这种分法的。例如，雷卡林（Н. Н. Рыкалин）和弗黎德梁德（Л. А. Фридлянд）写道：「沒有不可焊接的鋼，但有其优良的焊接而必須施以复杂而繁重的工艺过程的鋼」。

这种說法对于任何具有相互可溶性的固体的結合，其中也包括金屬及合金在內，都是适合的。应用各种焊接方法的可能性是很多的，而且毫无疑問，它們尚随着加热方法、加压方法以及附加材料种类的研究的發展而在增加着。

更完善的可焊性概念的定義含有「能力」一詞的意思，名詞「能力」的同意字即「适应性」。大多数可焊性概念的定義都是能力（适应性）的形式，亦即固体在焊接过程中能形成一定質量

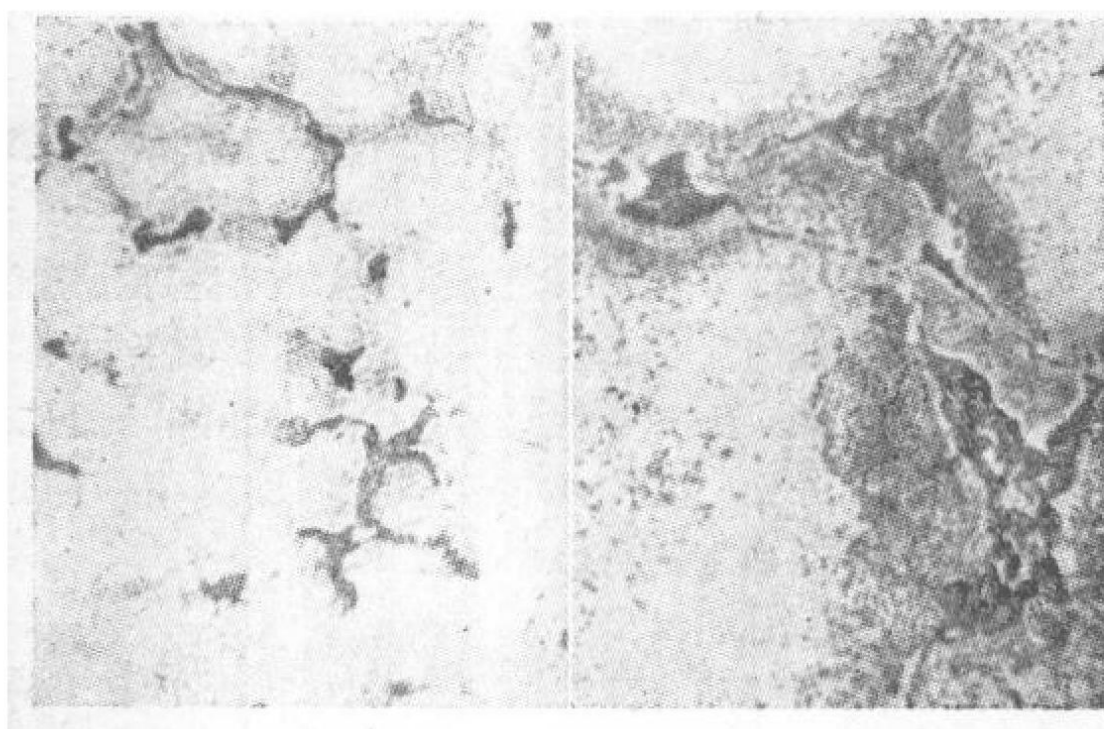
的接头的能力。在这些定义之間的主要分歧是对于焊接接头的質量（質的标志）的評定。

在优良实现的焊接接头中，金屬組織的均匀度并不是一个重要的标志：譬如說，在熔焊变形过的合金时，焊缝金屬具有鑄造的組織，而基体金屬則是变形过的組織并带有或多或少的熔化痕迹。焊缝邻接区的金屬的熔化程度愈小，焊接接头的性能便愈好；所以，在这种情况下，对組織均匀度的要求是根本不合理的，因为它不能表征出焊接接头的質量。

在很大的程度上是取决于組織特征的性能（机械性，物理-化学性）的均匀度，同样也不是焊接接头質量的标志。

一般說来，焊缝及过渡区的性能与基体金屬的性能是不同的。特别是在說到机械性能，这时金屬在焊接接头各区中的性能可能并不变坏，而有时甚至会比基体金屬的性能較优。例如，大家知道，在电弧焊接时，在应用某些焊条的情况下，焊缝的机械性能可能高于基体鋼的性能。大家也知道，在22-11-3型鑄鋼中，通常都含有会使鋼的机械性能显著变脆的脆性金屬間化合物 σ -相（FeCr）的析出物。在焊接这种鋼时，特别是在滚焊时，由于鋼中的加热达到了高于 σ -相稳定溫度区（至 850° ）的溫度， σ -相發生了溶解，而結果則使鋼在焊接接头中的机械性能得到改善。圖1a示出了滚焊22-11-3型鋼与Я1Т号鋼时所得到的焊缝的热影响区在100倍放大情况下的显微組織，那里沒有 σ -相。在圖16上示出了远离焊接接头的地区在300倍放大情况下的显微組織，此处 σ -相是从富有鉻的铁素体析出物中形成的。

在某些可焊性概念的定义中所說的焊接接头連續性的要求，对于焊接接头的質量來說，尤其是在高压或高液压条件下工作的情况下，毫無疑問，是具有重要意义的。在可焊性概念的定义中應該包括一定的焊接接头質量的評定，这种評定应可进行檢驗。如果說焊接接头的性能与基体材料的性能相当的話，即可認為是得到了高質量的焊接接头。



a

b

圖1 22-11-3型鋼的显微組織。在含50%正磷酸和50%甘油的溶液中电解侵蝕。

按照以上所述，可得出如下的可焊性的定义：即固体在一定的焊接形式下能形成与基体材料相当一样地抵抗規定应力状态和周圍介質化学作用的接头的能力叫做可焊性。

对于一定类型的合金的接头以及由其所制的具有共同性能的结构接头，或对于一具体的焊接过程，如对鋼的焊接，还可能有更具体的更狭义的可焊性概念的定义。

鋼的可焊性与接合地区的結晶条件和在焊接热影响区中所發生的金屬中的变化有关。鋼的可焊性主要是依基体金屬对焊接过程的热循环的感应而不同，焊接过程的热循环包括極迅速的达到熔化温度的加热及随后的較緩慢的冷却。

在研究关于鋼的可焊性的問題时，必然要發生关于在焊接接头中容許或不容許有馬氏体組織的問題。

在很多情况下，关于在焊接接头中的淬火介稳定組織的意义問題是值得爭論的，而且需要仔細地审查。

确实，含有馬氏体区的鋼的焊接接头是具有很低的塑性的。焊

接时裂縫的出現，在很多情況下都是因为馬氏体組織的產生。因此，雷卡林（Н.Н. Рыкалин）所作的在某些焊接形式下使焊接接头中有可能排除馬氏体形成的焊接过程的热的計算方法，有着理論上的和实际上的極重大的意义。

但是消除焊接接头中的馬氏体組織的意向是与提高結構强度的意向相抵触的，因为合金鋼焊接接头的高强度不可能沒有馬氏体型的稳定的組織。决不可否認在个别工业部門中有效地应用合金鋼焊接技术的事实，在这种情况下，在焊接接头中，不可避免地会产生可促使形成坚强接合的稳定的淬火組織。

十分可能，馬氏体組織对焊接接头質量的有害影响会因这时所产生的应力状态而加强。曾指出有不同的可使三度应力状态影响于焊接接头質量的程度減輕的方法：1)用奥氏体鋼焊条焊接；2)塗边焊接等。大家知道，在用奥氏体鋼焊条焊接合金鋼时，沿着鉄素体与奥氏体交接地区的附近，由于两种鋼混合的結果，通常有一薄層馬氏体間層形成。这种現象曾屡次在文献中叙述和討論过。虽然有这种脆性的間層存在，但沿此間層並沒有裂縫形成。想必是周圍的奥氏体鋼減低了馬氏体間層的有害影响。

在奥氏体焊縫中，即使沒有脆性的馬氏体間層，但在与基体珠光体鋼的交接处附近，有时可能發現有破裂。这种例子示于圖2中。30XГСА号鋼是以Я1T号奥氏体鋼为附加料用气焊方法焊接成的。焊接接头不含馬氏体。在与焊縫交接处的附近，30XГСА

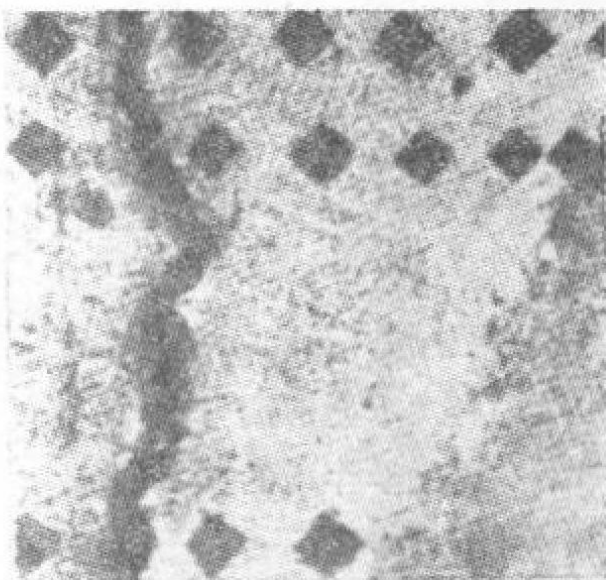


圖2 30XГСА号鋼以Я1T号鋼为附加料气焊时沿裂縫發生区的显微組織。压印是在ПМТ-3型显微硬度計上、在100克載荷下、經過10秒鐘的試驗得到的。侵蝕剂： HNO_3 4%乙醇溶液。 $\times 300$ 。

号鋼具有珠光体的組織，在奥氏体焊縫中沒看到有与基体鋼的明显混合層。在奥氏体焊縫中，在与基体鋼交接处的附近有裂縫形成，这大概是由于可促使金屬塑性降低的容积应力状态所致。

2 关于固体金屬应用焊接方法的可能的接合

金屬及合金的焊接就是两块或数块固体金屬借助于扩散和在它們之間构成金屬結合的方法以形成永久接合的过程。各被焊金屬或合金之間的金屬結合可在热和压力的作用下發生。

这种結合可以在被接合部分直接接合的情况下来实现，也可以通过一种中間金屬物体——[結合剂]来实现。

在各种焊接方法中，[結合剂]可应用向被接合金屬間的縫隙中加入焊料、附加料及填充料的方法以形成。

焊接时热和压力对物体的作用是局部的，因而焊接与制造金屬零件的其他工艺过程，例如鑄造、冲压、鍛造等，在本質上是不同的。

应用局部加热，有可能使被焊金屬物体在接合地区附近的物态向着所期望的方面改变。同时，焊接物体的相互扩散、塑性变形、結晶和再結晶的能力，也可能有所改善，所以可加速物体間实现金屬結合的过程。

应用局部加压，可促使实现焊接表面間的紧密接触，足以进行扩散过程。

在各被焊金屬之間加入液态的中間金屬物体可以促进实现[結合剂]与被接合金屬間的紧密接触，以及加强扩散过程，因而便可促使在它們之間不用加压而形成金屬結合。

中間固体[結合剂]的加入，当其成分选择适当时，可以从本質上改善整个接头的塑性变形和熔合的能力，并可加强被焊物体与中間物体間的扩散过程，这对于在具有低扩散系数的金屬間形成金屬結合來說，是很有意义的。

对于所接合部分的局部加热，可以利用通电流时所放出的热

能（电焊），或由于化学或电化学反应所得到的热能。

在对焊接形式分类时，主要就是以加热和加压的方法为出发点。例如，在赫列諾夫（К.К.Хренов）所作的系統圖中，金屬的焊接方法首先是分成为两大类：在焊接时利用化学反应热并仅以化学反应的方式所区分的各种焊接类型屬於名为「化学焊」的第一类；电弧焊与接触电阻焊屬於名为电焊的第二类。在对焊接方法进一步区分时，赫列諾夫則是根据压力的施加方法，附加料的加入方法，以及一些單純的工艺特征，例如手工焊、自动焊、在焊剂層下或具有焊条塗藥的連續焊或不連續焊等（圖3）。

在烏克蘭科学院技术名詞委员会所提出的基本焊接形式的分类中，金屬的焊接是首先依热源和压力的存在与否分成为六大类（圖4）。

此等分类方法具有很大的实际意义，但是在分析固体金屬焊接时在原則上可能有的实现金屬結合的情形时，重要的則还不是被焊金屬在焊接时的加热或压縮的方法，而是有无加热或加压存在的事实本身；不是中間結合物体「結合剂」的加入方法，而是它在焊接时的存在与否。从这一观点看来，就必須合理地审查一下在實質上代表着可促进金屬物体焊接的各基本因素可能配合的另一系統圖（圖5），这些基本因素是：压力，「結合剂」和决定焊接区中的金屬物态的热量。

自所援引的系統圖中很容易看出，由此三种基本因素的其他配合是不可能的。

我們来分析一下，在系統圖中所提出的哪些焊接方法具有现实的意义。同时也来分析一下，在用某一方法焊接时，在被焊物体中發生有什么样的引起呈現金屬結合的基本物理-化学过程。

按照系統圖中的第一种方法，二金屬物体在固态下的焊接是在被焊金屬无附加压力直接接触的情况下發生的。在这种情况下，在被焊物体間的金屬結合的产生，則只有在很高的而且長時間作用的加热影响下才有可能。