

焊接裂縫問題譯文集

科學出版社

焊接裂縫問題譯文集

徐子才等譯

科學出版社

1962

內 容 簡 介

本集所选譯文系近代国外焊接科学界对焊接技术中，特别是合金鋼焊接中最关键的問題——热裂縫与冷裂縫所作研究的有关文献。譯文中可以反映出当前各学派对此基本理論所持的主要观点（热裂縫理論中側重力学和側重冶金的观点，冷裂縫中的“氫”观点和“应力”观点）之分歧及其相互爭鳴情况。

焊接裂縫問題譯文集

徐子才等譯

*

科学出版社出版（北京朝陽門大街117号）

北京市书刊出版业营业許可証出字第061号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1962年11月第一版

书号：2632 字数：200,000

1962年11月第一次印刷

开本：850×1168 1/32

(京) 0001—1,600

印张：7 9/16

定价：1.40元

目 录

关于“热”(结晶)裂縫問題.....	
.....薄契瓦尔,雷卡林,普罗荷罗夫,諾維可夫,莫夫昌	1
金屬的晶間強度.....	普罗荷罗夫 5
鉻鎳奧氏体鋼焊接中的熱裂縫.....	密德瓦尔 31
鉻鎳奧氏体鋼焊接中裂縫的几种形态.....	鮑兰,楊格 48
堆焊高碳高鉻鋼时的熱(结晶)裂縫.....	伯霍特涅 129
測定焊縫金屬产生熱裂縫傾向的新方法.....	彼得罗夫 155
鉴定焊接中鋼抵抗冷裂縫能力的方法.....	
.....	普罗荷罗夫,馬卡洛夫 173
自淬鋼焊接近縫区冷裂縫本質的研究.....	馬卡拉 183
低合金鋼焊肉裂縫.....	琼斯 215

关于“热”(結晶)裂縫問題

苏联科学院院士 А. А. 薄契瓦尔 (Бочвар)

苏联科学院通訊院士 Н. Н. 雷卡林 (Рыкалин)

技术科学博士 Н. Н. 普罗荷罗夫 (Прохоров)

技术科学副博士 И. И. 諾維可夫 (Новиков)

技术科学副博士 Б. А. 莫夫昌 (Мовчан)

結晶裂縫或所謂“热裂縫”是金属焊接或鑄造中出現废品的主要原因之一。对于金属抵抗結晶裂縫能力,也即是对金属在鑄造或焊接中的制造強度曾經有过很多研究工作。到目前为止,已积累了大量試驗数据,而可以綜合出有助于今后提高金属制造強度的理論:

在閱覽了一系列研究論文和討論意見之后,本文作者認為有必要提出下列关于結晶裂縫問題的基本概念。

1. 当分析制造強度的时候,必須考虑焊接和鑄造过程中制造強度的两个特定条件。

第一个特点是:制造強度是在工件冷却中发生相变和組織变化时表現出来的。因此研究制造強度时不能只运用某一个温度下的参数,而必須考虑这些参数随温度的变化。

第二个特点是:制造強度是在应力平衡条件下呈現出来的,也就是在冷却金属“比体积”(比容)局部发生变化处的应力(例如收縮应力)是和与它相連处的应力互相平衡的。这种与它相連的部分可能是鑄件或被焊工件本身,也可能是鑄模或焊接夹具。所以测量鑄造工件或被焊工件的尺寸并不能确定鑄造或焊接中的弹-塑性变形。在这种情况下,实际的弹-塑性变形應該是自由温度变形(收縮)和焊接(鑄造)过程中尺寸变化之差。

2. 結晶裂縫在金屬結晶溫度區間發源，而可能在固態下冷卻中擴展。

在結晶“有效”區間可以看到合金有明顯的塑性下降，這區間在後面我們稱之為脆性溫度區。

在固-液態下塑性變形的基本機理是晶塊作相對移動，同時晶塊本身也可能發生變形。

結晶“有效”區間的上限是結晶骨架樹枝狀組織增大和互相交錯時的溫度。但如果結晶中的金屬在變形時發生晶塊楔合的話，那末即使枝晶不增大也可能形成這種情況。

結晶“有效”區間的下限即真實的固相限。在鑄造和焊接中常見的變形速度範圍內，固相限事實上確是脆性溫度區域的界限。經過此溫度以後，金屬變形機理就有很大變化，也就是除了晶間移動外，晶塊本身的塑性變形也已經強烈地發展起來了。

3. 在研究焊接和鑄造中的製造強度理論時，必須要以變形過程和變形能力（塑性）變化過程的相互比較作為基礎。

認為合金在固-液態下不具有塑性的觀點是錯誤的。如果是這樣認為，那末就不可避免地要得出在鑄造和焊接中結晶裂縫必然會發生這樣的結論了。這樣的結論是和事實不相符合的。

在脆性溫度區里合金是固-液態，它的塑性確是很小的，但也足以測出延伸率的值（百分之零點幾）。已經有實驗數據說明，在結晶“有效”區里，合金的延伸率可與該區中變形（收縮）等量，這個事實是很重要的。

正是因為合金在固-液態下具有變形能力，所以能保證焊接和鑄造中的製造強度。而依據關於固-液態下合金塑性的資料就可以判斷它的製造強度。

4. 焊接和鑄造中製造強度儲備量取決於三個因素的相互關係。這三個因素是：脆性溫度區域，此區域內的塑性以及彈-塑性變形隨溫度降低的增長速度，此速度我們將稱之為變形率（變形對溫度的導數）。如果只考慮上述三因素之一，而片面地企圖定量地衡量鑄造和焊接中的製造強度，必將造成大錯。

換句話說,分別地以脆性溫度區域大小,以該區域延伸率的大小或以變形率的大小都是不可能定量地衡量製造強度的。

5. 要想根據在第4點中所指出的三個因素之一來初步判斷紅脆性變化的方向,只有其他兩個因素實際上是不變的情況下才可能。

例如研究某二元系統圖成分對紅脆性的關係,初步地可以用成分對結晶“有效”區大小的關係來確定它。但如想用“有效”區大小來評價不同系統合金相對紅脆性,那是沒有意義的,因為這些合金可能在變形率或結晶區內塑性上有很大差異。

在分析雜質或微量合金元素對多元合金紅脆性的影響時,只有在變形率實際無變化時,才可以只考慮脆性溫度區域大小的變化和塑性的變化。

6. 澆注過程中生成的裂縫可能由於靜液壓作用或毛細管作用而被液態金屬填補(“醫療”)。

7. 脆性溫度區的大小由以下幾個因素所決定:

- a) 合金基本組成成分。
- б) 分布於晶界上的雜質含量。
- в) 枝晶偏析。
- г) 晶塊尺寸與形狀。
- д) 冷卻速度與變形速度。

脆性¹⁾“有效”區間大小,在考慮了結晶的不均勻性和雜質的影響的條件下,可以用狀態圖初步地來估量它。但脆性溫度區間的大小必須通過直接試驗,在一定的焊接或澆鑄規範下,測定它的溫度上限和下限,才能真正確定。

8. 合金在結晶“有效”區間的塑性取決於下列諸因素:

- a) 固相和液相數量之比例。
- б) 晶塊尺寸與形狀及液態相分布狀況。
- в) 化學成分的微觀不均勻性,及與此相應的組織微觀不均勻

1) 系“結晶”之誤——譯者。

性。

r) 变形速度。

結晶中合金的塑性可以用延伸率与温度的关系图来衡量。

9. 变形率，亦即弹-塑性变形随着温度下降的增长速度，取决于下列諸因素：

a) 綫胀縮的温度系数。

б) 焊件的刚度或鑄型的可压缩性。

в) 温度分布状态，它决定变形的集中程度和鑄件(或焊件)的外形变化情况。

10. 金属对发生結晶裂縫的抵抗能力和对裂縫扩展的抵抗能力是不同性質的事，只要举出下列一个差別就可說明了：結晶裂縫发源在結晶“有效”区間，而其扩展則可以在这区間也可以在更低的温度里。所以裂縫的长度和寬度不能作为抵抗裂縫发生能力的标准。

11. 定量地測量金属抵抗結晶裂縫产生能力可以用金属在結晶“有效”区間最低延伸率和当此温度时(即金属具有最低延伸率时)金属所受自由温度变形(綫收缩)两个数值之差来衡量。

[徐子才譯自“Сварочное производство” 1960 年 № 10]

金屬的晶間強度

Н. Н. 普罗荷罗夫(Прохоров)

金屬破坏的几种类型

所有技术上应用的金属都具有双重的构造特征。除了可以看到原子在晶格中整齐地排列着的现象以外，还可看到大量的排列歪扭的情况，这种情况是由现代生产金属的技术中与金属加工技术中许多因素所造成的。多晶体金属的晶格歪扭在金属体积内的分布是不均匀的。在晶界附近，这种歪扭情况有高度的集中。

与实际金属构造的双重特征相应，金属的变形机理(механизм 或譯机构)也具有双重特征。晶格构造有序化的金属能够作有序变形——剪切变形和双晶变形等等。在这类变形的发展中，晶格上的离子以位錯羣形态移动，也就是在移动中这些离子失去一部分原子联系而保持着另一部分原子联系。

晶格被破坏之后，就促使无序变形的发展。在无序变形中离子以个体状态移动。这时变形是在一批原子联系完全失去而新产生另外一批原子联系的情况下进行的。这种变形称为扩散变形。在扩散变形中金属适应形状变化的能力称为扩散塑性。

实际金属的变形总有二种情况同时存在，既有原子有序的、成羣的移动，也有无序的——扩散性的移动。但是由于温度、变形速度和其他因素的影响，可以使得变形方式中之一得到优先发展。当温度提高和变形速度降低时，扩散变形得到优先发展。而当前述因素向反方向变化时，有序的剪切变形就获得优先发展。因为扩散变形集中在晶格歪扭得最厉害的地方，也就是晶界上，所以扩散变形占优势的地方也就是晶間变形占优势的地方。

破坏过程是变形的完成阶段，所以不同类型的变形占优势的

情况下就会导致相应的不同的破坏。扩散变形占优势的时候导致发生晶間破坏，而剪切变形占优势的时候就导致发生晶內破坏。在1951年我們曾提出过一个图(图1)。該图把低碳鋼的破坏划分为晶間破坏和晶內破坏两个区域^[1]。

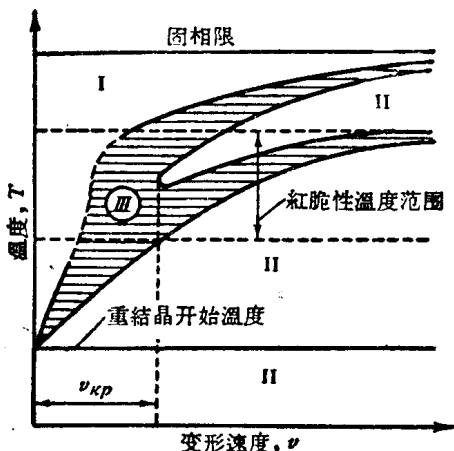


图1 各种类型破坏占优势区域图
I——晶間破坏；II——晶內破坏；III——既有晶內又有晶間破坏(混合破坏)的区域

就使得金属的变形能力,也就是金属的塑性,在晶間变形占优势的区域中比在剪切有序变形占优势的区域里小得多。所以在前一情况下金属显现出脆性破坏的特性,而在后一情况下则显现出韧性破坏的特性。

因此要討論金属脆性破坏的可能性,就必须掌握在各种不同温度下金属性能和金属变形速度的知識。

焊接中金属变形的測量

我們拟訂了測量內变形的微分方法^[2]。借助于两个試驗来測定內变形。在第一块試件上加以集中的焊接热量,并用变形仪記錄試件受約制的变形(外形变化)随時間的变化情况。

在这个試驗中也記錄下受試驗点上的随時間变化的温度。

第二个試驗进行方式如下。从受試驗的金属切割下試样，使它受热循环作用。在这个热循环中，温度随时间的变化情况是和第一个試驗中的是相似的。和第一个試驗不同的是温度在試件中是均匀分布的。因此金属能够与它的綫膨胀系数及相变相适应地自由变形。

在試件上装置变形仪，记录下自由热变形、受約制变形(外形变化)量和自由变形量之間的差值就是代表金属内部的剪切变形和位移。变形量的正負值和应力的正負值相关联。

这变形称之为內变形。在每一个瞬时温度下这变形值都按下列公式計算：

$$e_{BH} = e_{\phi} - e_{CB}^{1)}.$$

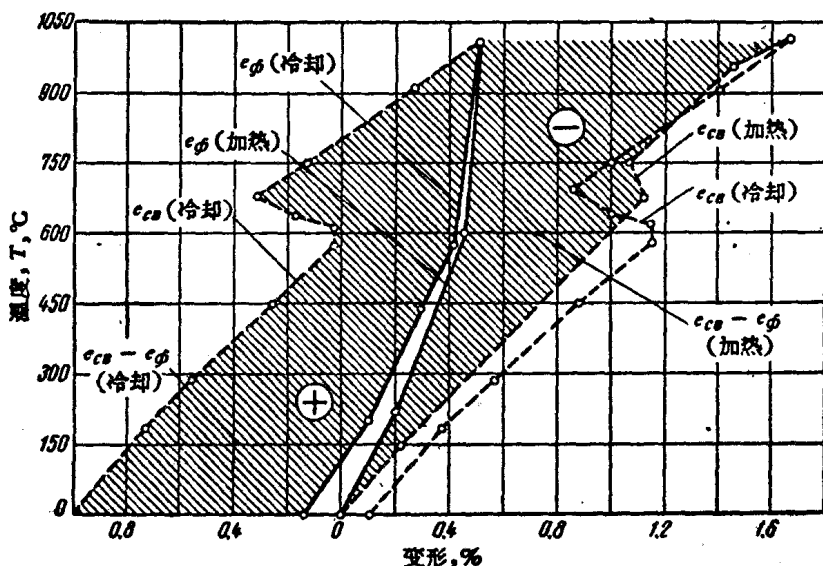


图2 焊接中焊縫区域内变形之发展图解

在图2中所引的是在低碳鋼 CT.3 鋼板边缘上堆焊焊道时，沿焊縫方向变形的測量結果。在这里 $e_{CB}(T)$ 和 $e_{\phi}(T)$ 分别表示自由热变形和外形变化。变形值用瞬时温度的函数来表示，温度

1) e_{BH} ——內变形； e_{ϕ} ——受約制变形(外形变化)； e_{CB} ——自由变形——譯者。

是在試驗过程中不断記錄下来的。

所有 $e_{\phi}(T)$ 的数值都是在离开焊道 5 毫米处母材上选点測定的。測量的都是沿焊縫方向的变形。

以加热过程中的 $e_{cs}(T)$ 和 $e_{\phi}(T)$ 作比較，可以看出，随着温度升高，自由变形 $e_{cs}(T)$ 显著地超过变形 $e_{\phi}(T)$ 。在图中 $e_{cs} - e_{\phi}$ 的差值等于阴影区域的水平截距。在加热过程中这差值是一直在增加的，直到奥氏体出現温度为止。在奥氏体形成区域差值縮小。待温度繼續上升后差值又重新增加。

因此在焊接中金属加热过程里紧接熔潭的区域里发展着压应力。拉应力仅在奥氏体形成过程里才会出現。

但是这拉应力是存在在金属有很高塑性的温度下的，高的塑性可以保证有应力松弛过程产生，而当鋼处于脆性状态的温度下則存在的是压应力，所以从强度观点来看，在焊接中加热过程里是没有危险的。因此在下面我們对这个部分將不加討論。

图 2 中在冷却过程里当奥氏体开始分解时和分解完成时，导

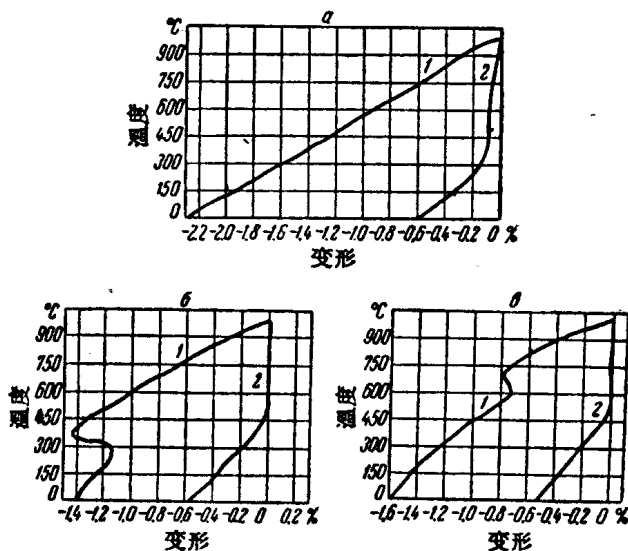


图 3 自由热变形和外形变化
 a——鋼 30X1T; б——鋼 25XH4; в——鋼 Ct.3.
 1——曲綫 $e_{cs}(T)$ 2——曲綫 $e_{\phi}(T)$

数 $\frac{\partial e_{BH}}{\partial T}$ 都改变符号。

由于内变形在奥氏体分解区域中两次改变符号，曲线的特征就很大程度上取决于在既定规范下焊接过程中钢对奥氏体过冷的倾向性。

图3至图5提出了钢 ЭЯ1Т, 25ХН4 和钢 Ст. 3 的 $e_{\phi}(T)$ 和 $e_{cs}(T)$ 变形曲线, 以及这些钢的 $e_{BH}(T)$ 函数图解。可以看出, 钢中剩余应力取决于它们的成分。例如在钢 24ХН4 (图3, б) 中奥氏体的分解发生在这样低的温度下, 因此在熔潭凝固以前近缝区里完全不会发生拉伸内变形。

图6提出了几种牌号钢的 $e_{cs}(T)$ 和 $e_{\phi}(T)$ 曲线组。可以看出, 对于奥氏体易于分解的钢, $e_{cs}(T)$ 曲线在分解区域里有转折处, 而对于奥氏体稳定的钢 (ЭЯ1Т), 则 $e_{cs}(T)$ 曲线上没有这种转折。

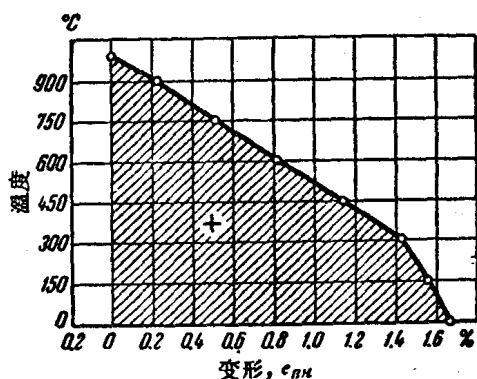


图4 在钢 ЭЯ1Т 板材边缘堆焊焊道时, 在焊缝区域内变形过程的发展

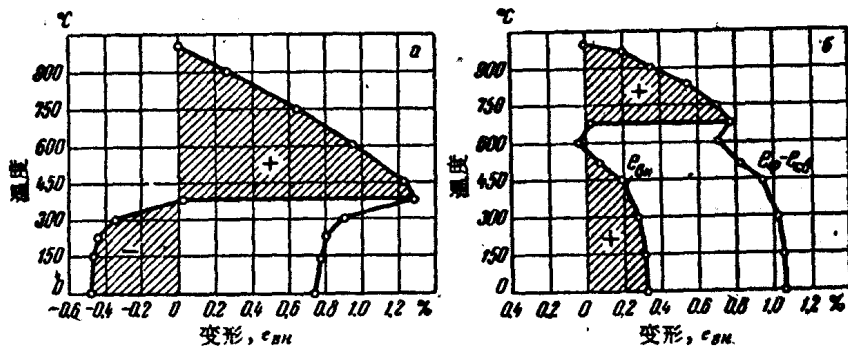


图5 在板材边缘堆焊焊道时, 在焊缝区域内变形过程的发展
a——钢 25ХН4; б——钢 Ст. 3

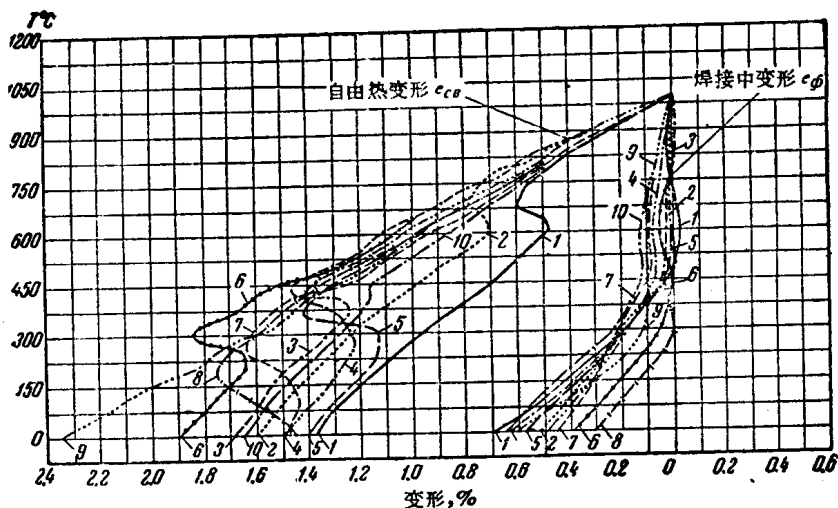


图6 几种牌号鋼焊接中的 ϵ_{cb} 和 ϵ_{ϕ} 曲线

1—Cr. 20 (0.15%C; 0.35%Mn; 0.17%Si); 2—Cr. 5 (0.19%C; 0.49%Cr);
 3—40 X (0.38%C; 0.9%Cr); 4—ШХ15 (0.95%C; 1.2%Cr); 5—
 25XH4 (0.20%C; 0.85%Cr; 4.18%Ni); 6—35Cr (0.6%C; 0.9%Mn; 1.0%
 Si; 0.49%Ni; 0.04%Mo); 7—5XBC (0.52%C; 0.13%Mn; 7.45%Cr; 0.3%
 Ni; 2.14%W); 8—5XBC (0.51%C; 0.13%Mn; 7.45%Cr; 0.05%Ni; 2.43%
 W); 9—ЭП1Т (0.13%C; 16.9%Cr; 8.3%Ni); 10—30ХГСА (0.32%C;
 0.78%Mn; 1.0%Si; 0.93%Cr)

变形量的增长在 $\epsilon_{\phi}(T)$ 变形过程中要比在自由热变形 $\epsilon_{cb}(T)$ 过程中小得多。金属自由变形中变形对温度的导数要比焊接过程中的这个导数约大十倍。

因此鋼的成分改变时显现出来的 $\epsilon(T)^{1)}$ 对温度的导数不大的变化不能改变自由变形和约束变形之间量的关系，也就是说不能改变应力和变形的符号。

工件的刚度、焊时加热和加外力能显著影响焊接中变形的特征。

图7表明，随着板材的刚度增加(增加板材的宽度)，内变形量和它的进行速度都增加。

图8提出在奥氏体分解开始和焊缝完全冷却时 ϵ_{sn} 量与板材

1) 原文印漏 ϵ 之脚注字母，疑系 $\epsilon_{\phi}(T)$ ——譯者。

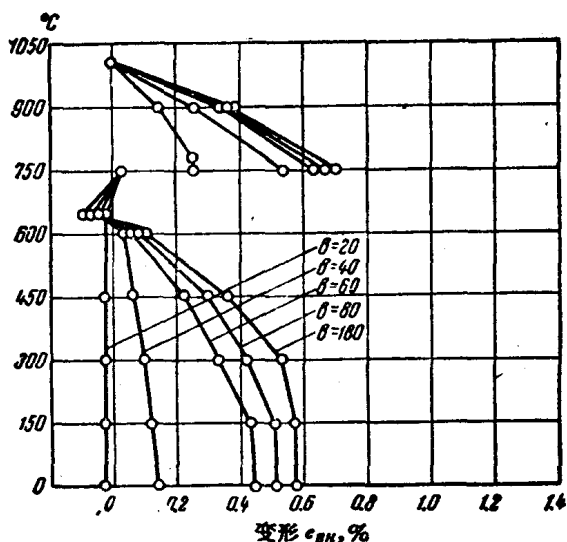


图7 各种不同宽度板材边缘上堆焊焊道时,焊缝区域内变形曲线(δ 毫米)

宽度的关系曲线。从这些曲线中可以看出,随着板材刚度的增加,内变形不是均匀增加,而是按渐减曲线增加的。也就是说,小刚度时刚度的变化对内变形量的影响十分显著,而随着刚度增大它的影响就逐渐减小了(在既定焊接规范下)。

焊接中同时加热会急剧降低内变形量,而变形的速度也降低了。图9提出了在各种不同加热温度下测量变形的结果。可以看出,焊时加热对减少内变形的效果在奥氏体分解后特别显著。焊时加热到 630° — 670° 时,奥氏体分解以后内变形过程几乎完全停止了。图10提出了到奥氏体分解

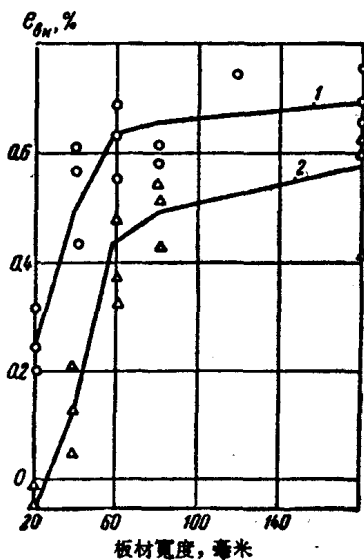


图8 内变形量和板材宽度的关系
1——奥氏体分解开始时; 2——焊缝完全冷却时

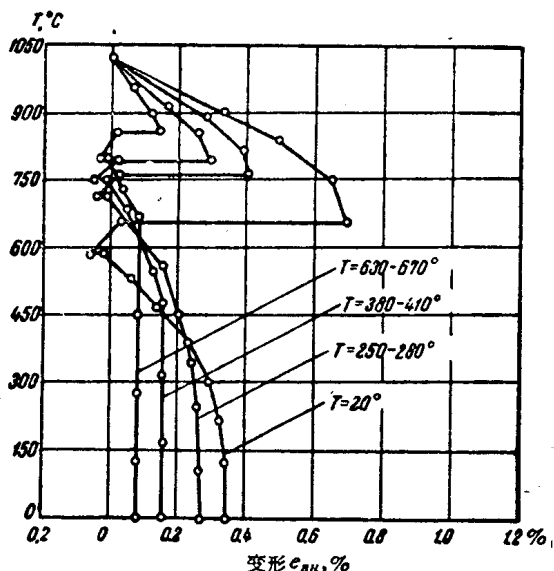


图9 在各种不同焊时加热温度下焊缝区域中的内变形曲线

前及到焊缝完全冷却前在焊缝区域内变形量 e_{BH} 与板材焊前加热温度的关系。

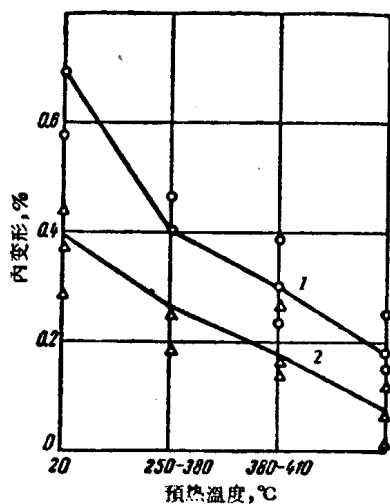


图10 内变形量与焊时加热温度的关系
1——奥氏体分解开始前； 2——焊缝完全冷却前

在焊接时外力的作用（作用与反作用）对变形过程亦有影响。这些力常促使裂纹产生。

对外力影响的研究是这样进行的：把 CT.3 钢板先进行纯弯曲，并使要堆焊的边缘处在拉应力状态下，然后在板材边缘上进行堆焊。

在图 11 中的曲线表明，随着外加载荷增加，焊缝区域的内变形量亦增加。

图 12 表示了内变形量与截荷量的关系。

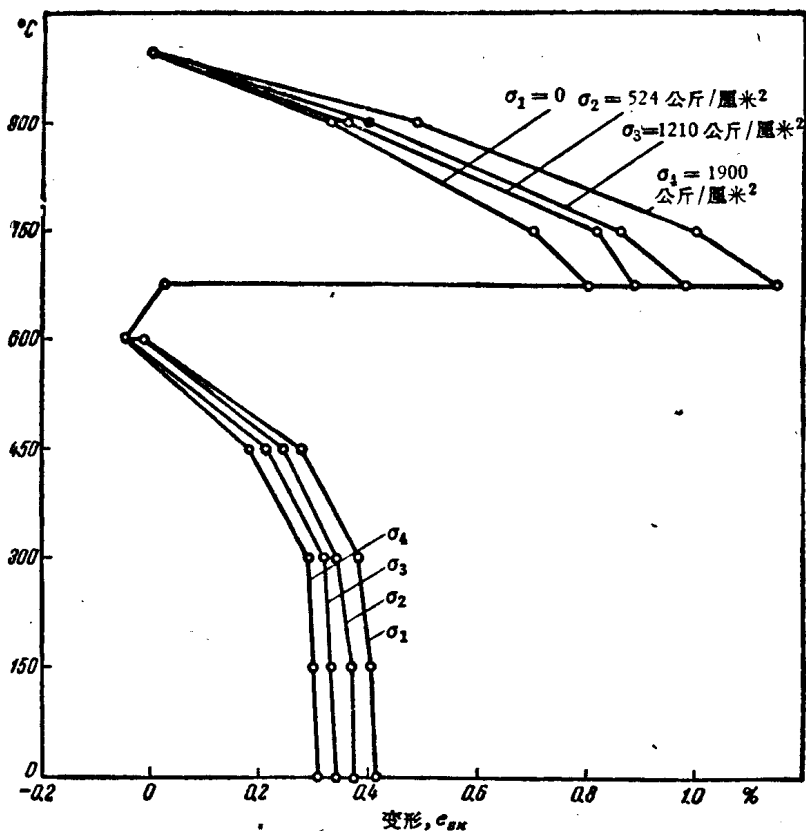


图 11 对焊接板材加以各种不同载荷时,焊缝区域内变形曲线
 σ ——由外力引起的焊缝区域的应力

高温下金属性能的研究

我們曾研究了金属在固相限区間里的高温性能。研究方法如下。把平板状試件用电流加热到高温,然后在冷却过程中加以破坏。这样来确定在某个温度下的强度和塑性瞬正值。

首先拿根据实际經驗已知对产生热裂縫傾向大的金属来进行試驗。此外也将对热裂縫傾向較小的低碳錳鋼进行了試驗。

图 13 引出了几种鋼高温下的試驗結果。可以看出,强度曲綫由两部分組成:韧性强度部分代表金属在一定条件下的抗塑性变