

焊接钢桥的疲劳问题

译 文 集

人 民 交 通 出 版 社

焊接钢桥的疲劳问题

译文集

兰州铁道学院铁道工程系桥梁教研组译

人民交通出版社

1973年·北京

出版说明

本译文集是在无产阶级文化大革命前付排的，内容译自1957至1963年间德、俄、英三种外文书刊。据有关方面反映，本集内容对设计及科学研究人员尚有参考价值。特予付印出版。

目 录

低碳钢焊缝疲劳强度值的规律性.....	1
当反复应力为不规则变化时铁路焊接桥梁的疲劳计算.....	18
低合金钢焊接连接的疲劳强度.....	78
St.52钢焊接连接疲劳强度试验	92
焊接梁疲劳强度的研究.....	137
关于英国规范 B.S.153疲劳条文修订的依据	168
在主要受压情况下焊接连接的疲劳强度.....	191
西德新订“焊接铁路桥梁规范 (DV848)”中的疲劳强度问题.....	223
焊接连接疲劳强度理论的研究.....	239

低炭鋼焊縫疲勞強度值的規律性

〔德意志民主共和國〕 A. Neumann

近年來，司徒舍(Stüssi)提出了一個通用的“材料和缺口試件的疲勞強度理論”，其目的在於尋求疲勞強度問題的定量分析，因為伍勒(Wöhler)所建立的數學關係只表達了定性分析。司徒舍理論引用了伍勒的基本原理，同時還吸取了許多其他試驗結果。

本文所述的試驗研究工作是在這個基礎上建立了对低炭鋼焊接疲勞強度值的規律性。目的在於比較以前所有已記載的相同的或相類似的焊接連接疲勞試驗結果，並且確定其實際應用的最低值。

疲勞強度理論

一般講來，對於極限強度(f_B)、脈沖循環下的疲勞強度(f_{sch})及交變應力循環下的疲勞強度(f_W)三個數值之間的關係是已知的。

我們可以在近似的疲勞圖上得到一些數值的圖解。

司徒舍利用海氏(Haigh)疲勞強度曲線(f_A-f_m 圖)導出一個疲勞強度數值之間的數學關係。由於引入了一定的條件，司徒舍經過簡化後得出了下列脈沖應力與交變應力疲勞強度之間的關係式：

$$f_A = f_W \frac{f_B(f_B - f_m)}{f_B(f_B - f_m) + f_W \cdot f_m}。$$

式中 f_A ——應力幅；
 f_m ——平均應力。

這個公式可以導出正號的拉伸疲勞強度值，以及負號的壓縮疲勞強度值，因此一個完整的疲勞強度圖就可以得到。從這個圖上可以讀出全部疲勞強度的範圍(圖1)。

缺口效应（应力集中效应）对于疲劳强度有显著的影响，这是大家都熟悉的，这在焊接连接中特别显著。可以看出，在焊接连接中应力集中使疲劳强度和承载能力有很大的变化。司徒舍用理论计算建立起了形状特征规律性。无缺口的试件与有缺口的试件的疲劳强度之间的关系假定是线性的，且 f_m 是在整个应力范围以内。于是：

$$K_f = \frac{f_{kerb}}{f}, *$$

式中 f —— 无缺口试件的疲劳强度（最大应力）；

f_{kerb} —— 有缺口试件的疲劳强度（最大应力）。

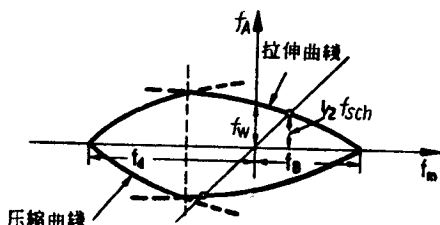


图1 疲劳强度的图示

有缺口试件的拉伸强度与无缺口试件的拉伸强度是接近于同序数字的关系，这是对这个推导的主要假定。这种情况在长时间的试验中是完全符合的，因为对于韧性材料可以在塑性范围内得到应力的调整。然而对于深缺口试件的正常的拉伸试验，这个假定是很不正确的。相反地，路德维克 (Ludvik) 的试验研究结果证明，在有缺口的试件，拉伸强度有显著的提高，因而产生多向的应力图。图2表示一个钢板和一个具有孔眼的铝合金 (24S-T) 试件的例子。

对于系数 K_f ，得到下列的结果：

$$\text{当 } \frac{f_{\min}}{f_{\max}} = +1 \text{ 及 } \frac{f_{\text{mean}}}{f_{\max}} = +1 \text{ (即静应力) 时, } K_f = 1 (f_m = f_B)。$$

* K_f 实际上相当于应力集中有效系数的倒数。——译者

当 $\frac{f_{\min}}{f_{\max}} = -1$ 及 $\frac{f_{mean}}{f_{\max}} = 0$ (即单纯的交变应力) 时 K_f (交变) 需要确定作为特征性数值。

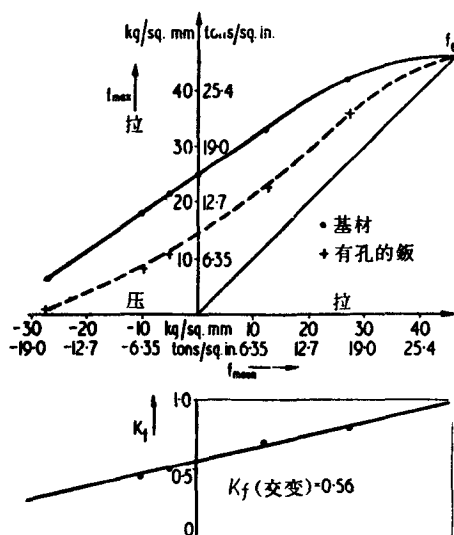


图2 轴向加载的铝合金(24S-T)试验系数 K_f 的计算(司徒舍)

某些试验指出, 司徒舍的假定是有一些分散性的。另一方面, 可以看出: 无缺口与有缺口试件的疲劳强度关系必定存在一个数学的规律。

最低疲劳强度曲线

为了引伸司徒舍疲劳强度理论, 这篇论文就以上述的有关缺口和无缺口试件的疲劳强度为直线关系的假定作根据。但是, 也要指出: 这个线性关系的假定并不能在所有情况下得到证实; 无论在无缺口试件之间, 或者在有缺口与无缺口试件之间, 应存在着显然不同的关系。这种关系的普遍性是不可能用单独一组试验来得到证实的。

在1956—1957年, 西德联邦铁路曾进行了大量大比例尺的试

验。虽然所记载的试验数据是很重要的，但并没有达成一个统一的概念（图3）。司徒舍根据疲劳强度理论分析了这些试验并且加以某些简化（图4）。应力集中效应必须有明显的规律作为根据，才足以使疲劳强度的较大差异成为不太可能的。

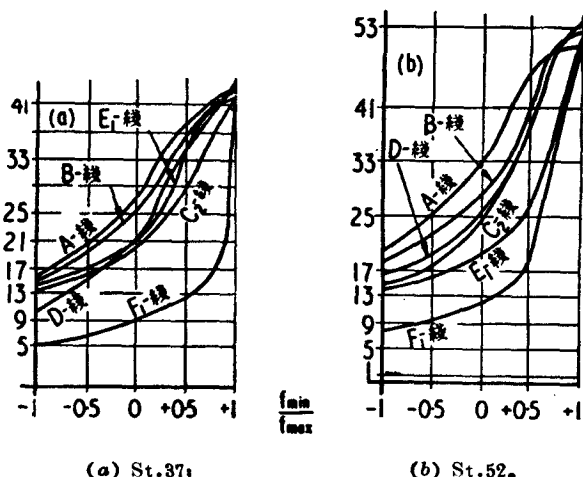


图3 考勒玛尔—柯老派尔 (Kollmar—Kloppel) 试验疲劳强度线

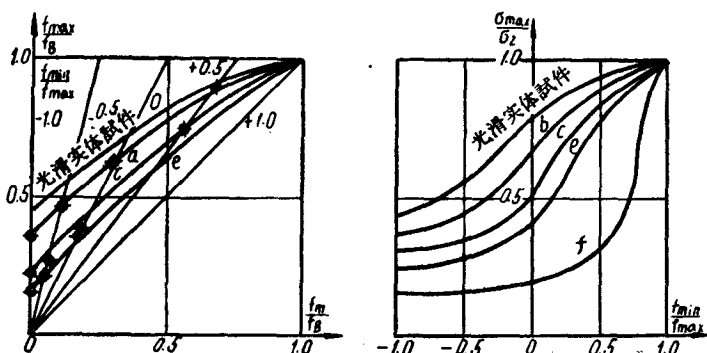


图4 西德联邦铁路 (司徒舍) 1957年进行的St.37号钢试验的分析

对于所有的焊接连接,当考虑其疲劳强度时,应建立一个统一的应力集中效应的关系。对于目前试验研究工作可采用下述方法。

可以预知:所有用任一种结构钢 (St.37和St.52) 做的结构杆件,其疲劳强度值是与基材本身的疲劳强度成比例的。

在这个基础上,并且根据司徒舍的假定,经过对不同深度的缺口杆件进行分析后得出了一系列的曲线,在交变应力下,选择了缺口系数 $K_f = \frac{f_{k \sigma r b}}{f}$ 为0.3或0.4到1.0之间(间隔是0.1),

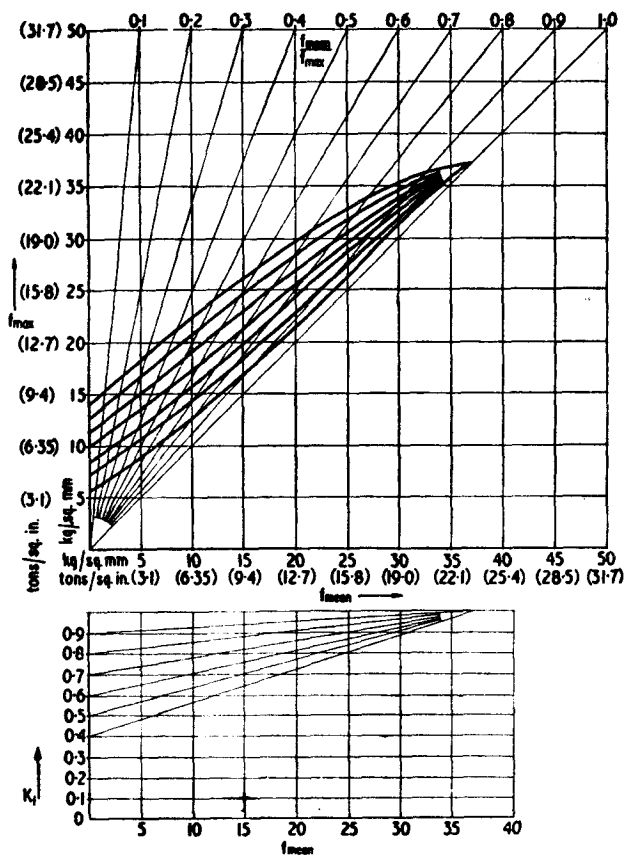


图 5 对于St.37的一族曲线的计算

同时，在 K_f 与 f_{mean} 间假定存在着线性关系，且在 $f_{mean} = f_B$ 时， $K_f = 1.0$ 。有了这些缺口系数，疲劳强度曲线就可以计算出来，并且按照斯密司（Smith）的方法将其结果绘出疲劳强度图。计算是对St.37和St.52分别进行的。

图5作为一个例子，表示出对于St.37一组曲线的计算。

用各种不同材料的最低强度值，可以从静拉伸试验估计出来。这是经过很久以来实践而得到的一般规则；也就是说，St.37号钢可以达到 37kg/mm^2 ，虽然个别的试验可以达到更高的数字，这些静力强度最低数值即形成了在静荷载下的计算公式和确定允许应力的根据。同样，疲劳强度的正常数值（即最小的疲劳强度值）可以用图解表示出来，而且也作为计算的根据。

对于St.37和St52钢材，用不同数值的缺口系数而在理论上确定的疲劳强度线就根据这些原理而绘制出来。图6和图7表示所得到的这些曲线。

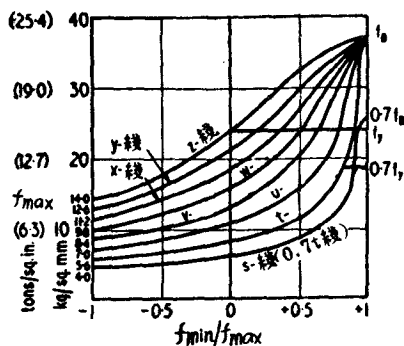


图6 St.37焊接接头的Z-S线

对已发表的疲劳试验分析举例

对于不同大小缺口系数的用理论确定的疲劳强度线，曾与试验结果进行比较。为了这个目的，我们对德国中央焊接协会（ZIS）进行的30组原始疲劳试验和在过去十年中所记载的60组试验进行了分析。六年多以来，德国中央焊接协会进行了大比例

尺的焊接连接疲劳试验。试件和许多工程的部件在6~8个疲劳试验基地用脉冲试验机、震动机等设备进行了和正在进行着试验。每年进行一千到二千个试件和结构构件的动载试验。

试验的比较和结论划分为许多特殊的分组，从而表示各种相类似的强度和疲劳强度的数值。这些分组是：

- (1) 基材——不受焊缝影响的基材。
- (2) 基材——受焊缝影响（横向焊缝及纵向焊缝端头）；
- (3) 对接焊缝；
- (4) 双面开坡口的对接焊缝；
- (5) 填角焊缝；
- (6) 梁的翼缘焊缝；
- (7) 刚性连接；
- (8) 构架拐角；
- (9) 节点。

这些分组又考虑其使用任务、荷载、材料、施焊程序等等而再分成小组，最好还考虑到同等运用条件（亦即不同类型焊接连接的加载循环次数）。

从所有这些试验的分析与比较，即可得到疲劳强度值，且接近于其有效强度，这也就是在工厂制造的焊接结构部件的疲劳强度值，可以认为是最低的数值。

试验结果与理论确定的疲劳强度线 $Z-S$ 相比较，各种不同类型的连接将可得以鉴别，其各参考线如下：

Z 线 = 基材——不施焊的。

Y 线 = 对接焊缝——高质量的——机械修平的。

X 线 = 具有从整体材料焰切出来并有圆滑过渡的节点板的轴向受力构件；

具有包含连续双面坡口的对接或填角焊缝的翼缘连接的横向受载的梁。

W 线 = 对接焊缝——正常质量、未经机械加工的（100% 经过X光透视的）；

具有经机械加工的横向填角焊缝的轴向受力构件；
具有纵向焊缝端部机械加工的轴向受力构件；

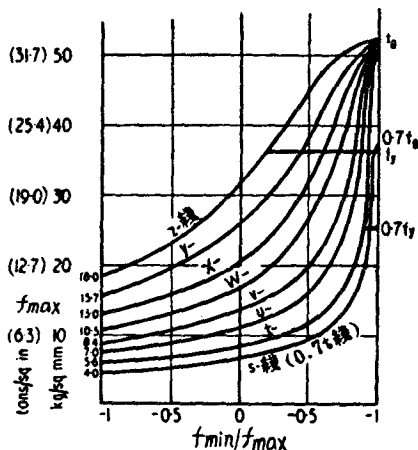


图7 St. 52焊接连接的Z—S线

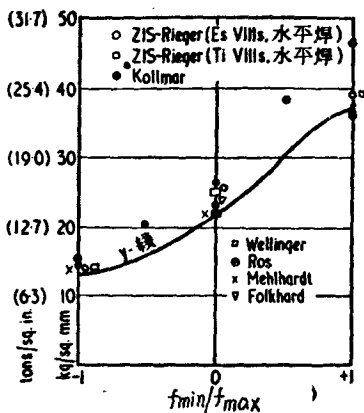


图8 St. 37高质量对接焊缝，经机械整平（100%通过X光透视），
轴向受载的疲劳强度图

具有焊连的节点板——经机械加工和圆滑过渡的轴向受力构件（包括梁的翼缘）；

焊连盖板端部的基材——板的端部有斜坡且有机械加工匀顺过渡的。

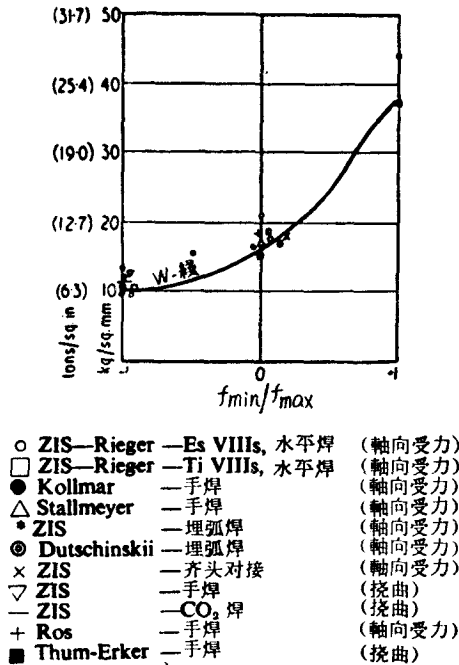


图9 St.37正常质量对接焊缝，未經机械加工（100%通过X光透视，水平焊的），軸向受力或弯曲的疲劳强度图

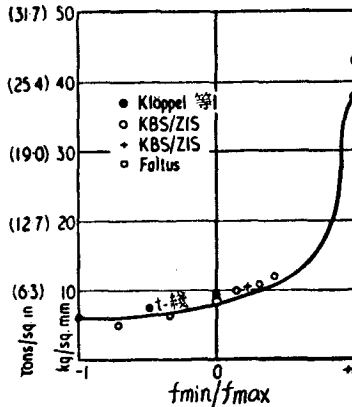


图10 横向的承载填角焊缝连接的St.37十字形连接（考虑焊缝趾部横截面）疲劳强度图

V线=双面开坡口的焊缝——未经机械加工无缺陷的；

具有未经机械加工横向填角焊缝的轴向受力构件；

具有未经机械加工的横向焊缝的梁；

具有纵向焊缝端部未经机械加工的轴向受力构件；

具有纵向焊缝端部未经机械加工的梁；

具有未经机械加工焊连加劲肋的梁；

在焊连盖板（横向填角焊缝）端部的基材——过渡处未经机械加工的。

U线=对接焊缝——未经机械加工的，竖焊，仰焊，未经X光透视的（可能有小缺陷）；

双面坡口焊缝——未经机械加工的，未经X光透视的（可能有小缺陷）；翼缘与腹板的连接焊缝为间断的梁。

t线=横向承载的填角焊缝（十字形连接），考虑结构的横截面；

纵向承载的填角焊缝（柔性连接）——考虑结构的横截面；

具有焊连的未经机械加工的矩形节点板的轴向受力杆件。

S线=横向承载的填角焊缝（十字形连接）——考虑焊缝厚度的横截面积；

纵向承载的填角焊缝（柔性连接），考虑焊缝厚度的横截面积。

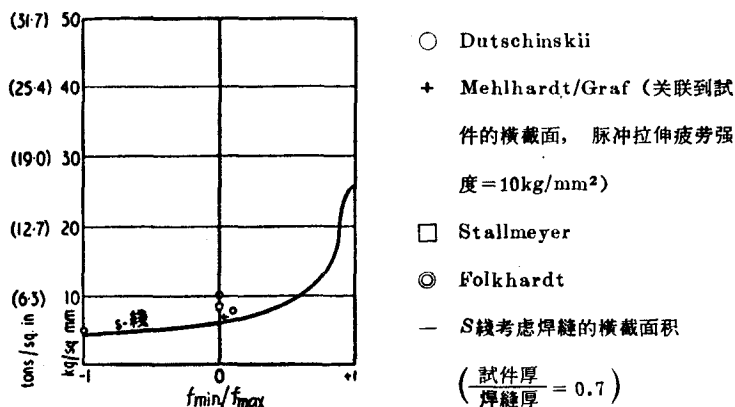
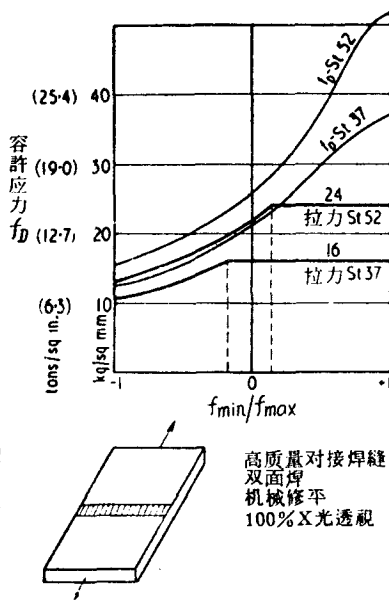
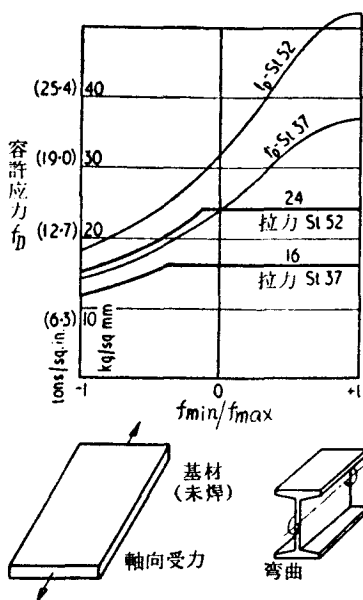
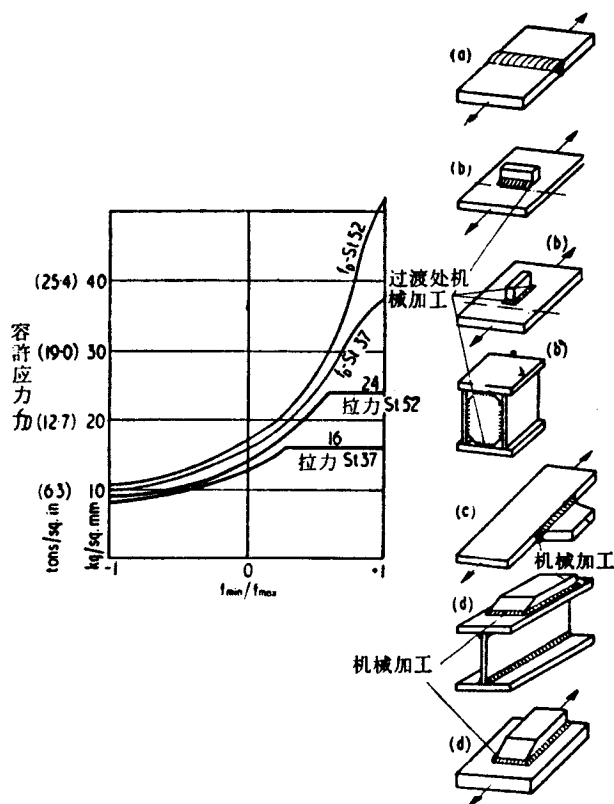


图11 St.37纵向的承载填角焊缝（考虑焊缝厚度的横截面积）的疲劳强度图

到目前为止所做的39个疲劳强度图的例子示于图8~11。这些图例是梁和其他构件的对接焊缝与填角焊缝连接的疲劳强度。差不多所有各种类型的焊接接头（横向焊缝——纵向焊缝端头，等等），以及全焊结构部件都经过了试验和分析。施焊对基材的影响也已进行了研究。

由于不可能在这篇简短的论文中详细叙述每个试验（亦即基材的鉴定，试焊的步骤，以及试件的类型），也不可能重新叙述本文所用的参考文献中探讨问题的过程，这将保留在以后发表的较详细的研究报告中。实际上，这项研究并不称为完备。许多组的试验仍然是空白点，特别是在很高的预应力下的交变应力（拉一压）和脉冲应力（脉冲拉伸）情况的疲劳强度试验更是如此。



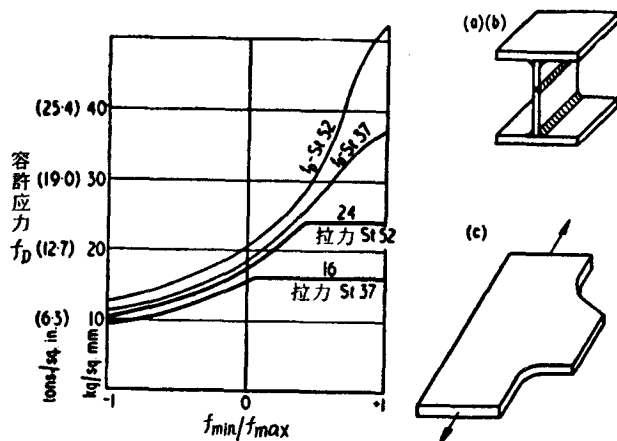


- (a) 正常质量对接焊缝，双面焊，未经机械加工，100% X光透视。只是水平焊成。
- (b) 具有横向填角焊缝和纵向焊缝端头的轴向受力构件和梁，经机械加工，亦即：具有焊速加劲肋的梁；焊有横隔板杆件。
- (c) 轴向受力构件和梁的翼缘，经机械加工，它具有磨圆过的节点板。
- (d) 轴向受力构件和梁在焊速盖板端部。盖板有斜坡，而且过渡处经机械加工的。

图14 容许应力，W线

然而，有这样一种期望：对于在国际范围内进行的所有的疲劳试验加以准确的分析，并且从这些结果引导出关系到焊接连接的疲劳强度进一步理论确定的结论来。

最低疲劳强度线的优点在于这些线具有一个统一的规律和具有固定的方向。更进一步的研究将指明，所建立的规律仍须在某种程度上加以修正，或者，指明该规律是否已明确地建立了。在任何情况下，已经可以表明，最低疲劳强度线将提供为在静载和动载下容许应力的系统计算的根据。



- (a) 横向受载的梁，具有连续的双面坡口对接焊缝或填角焊缝的翼缘连接。
- (b) 横向受载的梁，具有纵向对接焊缝，考虑梁的横截面中翼缘焊缝和纵向对接焊缝中主应力。
- (c) 具有从整体材料焰切出来并有圆滑过渡的轴向受力构件。

图15 容许应力，X线