

低碳钢和低合金钢 焊接接头的动载强度

〔苏联〕 A.E. 阿斯尼斯 著
戴雅康 译 邓锡予 校

中国工业出版社

本书对焊接接头的动载强度问题作了全面的研究和分析，系统地阐述了交变载荷下焊接结构和焊接接头的合理设计原则，并以较大的篇幅探讨了冶金因素、工艺因素以及钢材化学成分和显微组织对焊接接头的动载强度的影响。最后论述了动载荷焊接结构所用的高强度钢合金化的基本原理和采用新锰钢的优越性。

本书可供从事焊接结构设计制造的科研工作者和工程技术人員参考；也可作为焊接专业师生的参考书。

书末附有苏联“焊接生产”杂志对原书的一篇评论文章，以使读者对本书的优缺点有概括的了解。

А.Е.Аснис

**ДИНАМИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ИЗ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ И
НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**

МАШГИЗ Москва 1962

* * *

**低碳钢和低合金钢
焊接接头的动载强度**
戴雅康 译 邓锡予 校

*

机械工业图书编辑部编辑(北京苏州胡同141号)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路西10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $5^{3/4}$ ·字数138,000

1965年8月北京第一版·1965年8月北京第一次印刷

印数0001—7,564·定价(科五)0.80元

*

统一书号: 15165·3601(一机-706)

目 录

原 序

第一章 提高焊接接头动载强度的若干设计原则	1
1 动载荷的分类	1
2 承受动载荷的焊接结构的设计缺点	2
3 结构尺寸对振动疲劳和冲击疲劳的影响	6
4 焊接接头的各种加工方法对振动强度的影响	8
5 低碳钢焊接接头疲劳的若干特点	13
6 作为提高焊接接头振动强度措施的部件挠度	20
7 提高焊接接头振动强度的若干结构措施	26
8 焊接接头在反复冲击载荷下的强度	32
9 提高反复冲击载荷构件中许用应力的可能性	36
第二章 组织和化学的不均匀性及其对焊接接头动载 强度的影响	39
1 钢中的磷对焊接接头振动强度的影响	39
2 砷引起的不均匀性对焊接接头振动强度的影响	43
3 钢和近缝区的显微组织对焊接接头振动强度的影响	55
4 局部塑性变形引起的不均匀性对振动强度的影响	70
5 氧气切割引起化学的和组织的不均匀性对钢的振动强度的 影响	78
第三章 提高焊接接头振动强度的工艺措施	80
1 焊缝的化学成分对焊接接头振动强度的影响	80
2 焊条牌号对焊接接头振动强度的影响	84
3 焊剂对焊接接头振动强度的影响	86
4 提高振动强度的措施	89
第四章 各种牌号低合金钢焊接接头的振动强度和 冲击强度	92
1 HJ-2号钢和硅锰钢焊接接头的试验	92
2 低合金钢焊接接头振动强度较低的原因	106

V

第五章 承受交变载荷的焊接结构对高强度钢的

化学成分和显微组织的基本要求117

1 钢的化学成分对焊接接头冷脆性的影响119

2 钢的组织对焊接接头冷脆性的影响122

3 钢的脆断性与焊接接头振动强度之间的关系123

4 承受交变载荷的焊接结构钢的化学成分128

第六章 新锰钢特性的研究.....136

1 钢的可焊性138

2 锰钢的振动试验145

3 焊接接头的振动试验147

4 焊接接头的反复冲击试验157

5 全金属客车转向架焊接构架的振动试验160

总结164

参考文献168

附录 对原书的评论174

第一章 提高焊接接头动載強度的若干設計原則

1 动載荷的分类

機車、鐵路車輛、電車、起重機、挖土機等等，是研究焊接接头动載強度最典型的对象。

很多年来，人們都在研究这些結構所承受的动載荷的特性、大小和数量。

使用經驗表明，上述各种机械的焊接結構，往往經過很短的工作期限后就破坏了。我們认为这种情况主要是由于結構上的毛病，以及由于設計所依据的載荷特性及大小不够精确所致。

分析已破坏的結構（主要是焊接接头上的裂縫），可认为有振动載荷和反复冲击載荷作用在这些結構上的緣故。結構制成后，有时經過很短的时间就出現裂縫，这就証实了反复冲击載荷的存在。例如，在電車轉向架軸箱切口的部件內，即使在很小的靜載荷应力下，也产生裂縫（图 1）。这些裂縫是由于車輪进入道岔或弯道时輪緣的刚性側向冲击而引起的。另一个实例是在四軸貨車轉向架搖枕內的裂縫。产生这些裂縫的主要原因是彈簧的能力不足，以致在滿載的情况下，彈簧便失去了作用，因而搖枕承受了車輪通过軌道接头和道岔时所产生的反复刚性冲击。在干綫內燃機車轉向架构架和其他結構內，也出現由于反复冲击載荷而产生的裂縫。

承受冲击疲劳的結構远不止所列举的实例。但是，即使这些資料已足以引起对这种載荷的重視。大家知道，振动疲劳和冲击疲劳的載荷极限次数相差很大；振动疲劳的載荷极限次数可达几百万次，而冲击疲劳只有几万次。

研究車輛、機車和其他結構与单独冲击有关的破坏表明，所

有的破坏通常是在不正常的使用条件下产生的。上述情况可以认为，在设计機車、車輛、起重机及其他类似的結構时，必須考虑两种类型的动載荷——振动載荷和反复冲击載荷。由于意外情况而产生的个别“事故性的”冲击，不应納入計算。

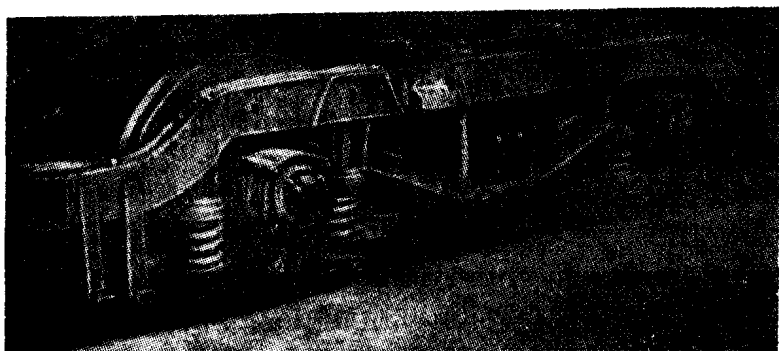


图 1 电車轉向架构架內的裂縫

2 承受动載荷的焊接結構的设计缺点

把承受动載荷的焊接結構的計算，主要归結于驗算靜載应力，并将其与对于所有构件都相同的許用应力相比較^(1, 2, 5等等)，这样的見解不能认为是正确的，因为要使結構可靠地工作，它的所有构件应尽可能具有相同的安全系数。这并不是一种新的要求，而适用于任何类型的載荷。在靜載荷的情况下，提出这种要求是为了經濟。在动載荷的情况下，采用相同的安全系数，則是为了安全，因为在此处个别构件的强度过大，則由于从一个截面到另一个截面的急剧过渡，往往降低結構的总强度。

按振动疲劳和冲击疲劳进行計算时，許用应力决定于載荷量、交变应力的振幅大小和接头的形状，并且对于各种不同型式的接头，許用应力可有很大的变化。

影响焊接接头强度最重要的因素是焊縫的质量，因为焊縫中的每种缺陷，都是应力集中的根源^(4, 5)。

無論是焊接的、鉚接的或螺釘連接的接头，通常都有从一个截面到另一个截面的过渡部分，大家知道，这些过渡部分都是应力集中点；其应力集中的程度取决于接头型式。为了提高结构的振动强度和冲击强度，必須力求把結点布置在应力最小的地方。例如，一根梁在长度上如果由两部分組成，并且接头必須在最大力矩区段的中央时，那么比較合理的，是把这根梁用三部分制成，并将焊縫布置在应力較小的地方。

承受振动載荷和冲击載荷的接头設計，与承受靜載荷的結構設計应有很大的区别。在靜載荷的情况下，不管結点的布置在什么地方，如果它的几何形状对结构的强度不会有重大影响，那么在振动載荷和冲击載荷情况下，结构的强度便取决于結点的构造，并且主要地取决于結点从一个构件向另一构件过渡处的截面。

在焊接结构中，有可能制成比鉚接和螺釘連接更为合理的接头型式。在这种情况下，必須注意到由于焊接热影响，对制造焊接结构用的鋼材的性能，应提出更高的要求（我們将在下面論述这个问题）。接头合理性的程度最好用專門的試驗来查明。

很多研究人員已經研究了焊接结构的振动强度，并且設計时正在利用他們的 研究成果^(6~9*)。例如，业已确定：不加强的对接焊縫，其振动强度要比加强的焊縫大得多；因而在靜載荷下，用計算載荷除以焊縫截面来确定焊縫尺寸的一般方法，不可采用了。并已确定与焊条性能有关的一些内部缺陷，不会显著影响对接焊縫焊接接头的振动强度。焊縫的外形及輪廓則是主要的因素。

地下鐵道車輛轉向架的构架是設計錯誤的典型例子。設計師沒有正确地弄清楚側梁因焊接而产生破断的原因，而用增大截面的方法，制成了靜强度安全系数較大的側梁。未曾注意由于截面急剧变化而形成应力集中的問題（图2），結果在运轉数年后，尽管靜强度安全系数較大，但在应力集中处便开始出現裂縫；只是在根据車輛轉向架焊接构架振动試驗的結果改变了结构以后，才消除了这种缺点。

另一个实例是25吨两轴罐車。在罐車的空气包附近，虽然計算应力极其微小，却常常出現裂縫。用增大靜强度（刚度）的方法不能消除裂縫⁽¹⁰⁾。



图 2 Y型轉向架的側梁

在設計机器零件和确定許用載荷时，必須正确选定許用应力或安全系数。只有在选择許用应力时，考虑到下列因素：零件最重要截面內应力状态变化的特点，局部应力集中和材料的质量，零件才能安全地工作。确定临界載荷所依据的計算精确性，具有很大意义。在确定許用应力时，必須注意到表明部件或接头在使用条件下工作載荷的統計資料。

几种計算方法 承受交变載荷的低碳鋼焊接接头的許用应力，通常是用焊縫在靜載荷下的許用应力值乘以系数 γ (< 1) 来确定， γ 与应力循环特性和所用接头的型式有关。

最近，杜欽斯基研究出了焊接接头强度的新的計算方法⁽¹¹⁾。根据这种方法，对于承受交变載荷的焊接結構，其許用应力采用等式 $[\sigma] = [\sigma]_p \gamma$ 。式中： $[\sigma]_p$ ——焊接接头区域以外的基本金屬許用应力； γ ——基本金屬的許用应力降低系数，其值随焊接接头的型式而定。

对于重要的焊接結構，建議用：

$$\gamma = \frac{1}{0.58\beta + 0.18 - (0.58\beta - 0.18)r}。$$

式中 β ——随焊接接头形式而定的有效应力集中系数。例如，远离焊缝的基本金属取其值等于1；向正面焊缝（在有凸起焊波和较小切口的情况下）过渡处的基本金属，取其值等于3；而向对接焊缝（焊后未经机械加工）过渡处的基本金属，则取1.4等；

r ——循环特性。

按照这种方法计算要比其他方法合理得多，因为它比较精确地考虑到各种结构因素的影响。但这种计算方法并不能通用于所有各型焊接接头。

我们提出了确定许用应力的近似方法，这种方法的依据是有效应力集中系数

随构件截面（在最大的应力集中区段）而变的曲线关系。在这个截面上，应力可按下式计算：

$$\sigma \leq \frac{\sigma_s}{\alpha} \cdot K。$$

式中 σ ——在应力对称循环下的许用应力；

σ_s ——强度极限；

α ——随构件截面而定的有效应力集中系数，其值根据我们制订的曲线（图3）选取；

K ——切口试样持久极限（从平滑的小试样上取得）与瞬

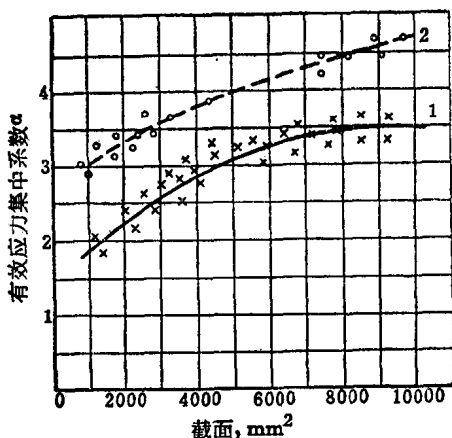


图3 有效应力集中系数随焊接接头截面而变的曲线

1—低碳钢接头；2—HJI-2号钢接头

时强度之比值的系数。

用这种方法驗算客車和電車轉向架构架上的应力表明，它大大超过許用应力。看来，这就是車輛制成后運轉 3 ~ 4 年在轉向架构架上产生裂縫的原因。很多研究人員正在研究計算方法的进一步改善。

为了保証大量或成批生产的結構的耐久性，必須确定各个部件和零件的冲击持久极限和振動持久极限。这两种持久极限都可在专用设备上通过試驗取得。按照两种类型的动載荷，必需两种型式的試驗設備：供振動載荷試驗用的設備和供反复冲击試驗用的設備。

应特別注意制造結構用的鋼材，因为即使是低碳鋼，随着化学成分的不同，也具有不同的应力集中敏感性。这时，持久极限的数值也是不同的。

必須尽可能地按实物尺寸試驗部件，因为比例因数有很大影响。自然，在动荷試驗之前，还必须拥有鋼的可焊性的資料。

3 結構尺寸对振動疲劳和冲击疲劳的影响

持久极限在很大程度上取决于零件的絕對尺寸。零件的尺寸愈大，持久极限便愈低。这种变化可用比例因数（即大尺寸試样的持久极限与材质相同、几何形状相似的小尺寸試样持久极限的比值）来说明。由图 4 中的曲綫上可以看出比例因数的影响⁽¹²⁾。持久极限随尺寸的增大而降低的原因，还不十分清楚。現有两种假設⁽¹³⁾。

其中一种假設，說明这种影响是因为随着絕對尺寸的增大，而增大了处于最大应力作用下并具有各种缺陷的表面。在交变应力的作用下，缺陷处通常以逐渐发展的裂縫形式开始破断。

另一种假設所依据的推測，是由于机械加工，人为地强化了試样金屬的表层，并在表层附近形成了很大的残余压縮应力。根据这一假設，表层的强化效果和残余应力作用显著地提高小尺寸試样的持久性。例如，圓杆直径从 3 毫米增到 25 毫米时，它的持久

极限要降低15~20%。从25毫米开始到50毫米，未发现振动强度的降低。在大截面试样上，振动强度又再次明显地下降，这可能是由于截面的增大而有很大不均匀性的缘故。

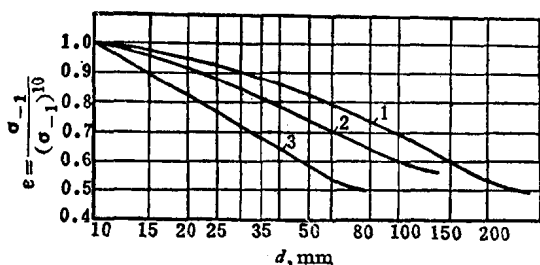


图 4 试样尺寸影响钢的持久极限的曲线

1—没有应力集中的碳钢试样； 2—没有应力集中的合金钢（ $\sigma_s=100\sim120$ 公斤/毫米²）试样；3—有应力集中的合金钢（ $\sigma_s=100\sim120$ 公斤/毫米²）试样

最近，有资料表明，比例因数几乎不影响初期裂缝出现条件，因为任何尺寸试样的极限变形实际上是同时产生的^[14]。同时，比例因数大大地影响试样变形的以后阶段。试样破断阶段出现得愈迟，影响就愈显著。在已选定的应力条件下，小试样和大试样上的初期裂缝，实际上都是在相同的而且很少的循环数（ $N=10^3\sim10^4$ ）下出现的。裂缝扩展到试样完全折断所需的循环数，则取决于试样尺寸，尺寸较大的试样，所需的循环数就较少，并且在两种情况下，这种循环数都比应力集中区出现疲劳裂缝的循环数要多得多。

目前还没有判断上述假设中何者比较正确的资料；也没有方法能消除绝对尺寸的不良影响。因此必须计算绝对尺寸，并且在估定结构中钢的持久性时，必须考虑到绝对尺寸的不良影响。但必须同时指出，在截面较小的复杂结构中，增大尺寸既不起作用，也没有不良的影响。比例因数仅在个别的部件内表现出来。

为了证实仅根据小试样的试验评定焊接接头振动强度的方法的不正确性，我们进行了下列试验。试验了用同样的钢制成的而尺寸不同的两种类似的试样：带有焊缝的平试样和4米长的工字

梁。在应力对称循环下，試驗的結果列于表 1。

表 1

試 样 类 型	試样截面 (mm^2)	金屬厚度 (mm)	梁的高度 (mm)	持久极限 (kg/mm^2)
长度为 400 毫米帶有 焊縫的平試样	560	8	—	10.6①
	840	12	—	10.0
	1120	16	—	9.2
工 字 梁	7200	12	224	7.4②
	5600	12	174	7.8
	3600	12	124	8.5

① 在 $5 \cdot 10^6$ 循环数下的持久极限。

② 在 $2 \cdot 10^6$ 循环数下的持久极限。

从表 1 中的数据可見，試样截面愈大，持久极限便愈低。当帶有焊縫的平試样的截面增加一倍时，持久极限的降低达 20%。工字梁的持久极限的降低，也大致相同。

因此确定，焊接試样的持久极限随其尺寸的增大而降低。除了上述原因外，这还因为焊縫在小試样上所引起的应力集中，比在大試样上的小一些。当焊接試样的尺寸增大时，焊縫切口的形状和尺寸实际上变化很小，因而对于大試样來說，其切口就好象比小試样要尖銳些。值得注意的是文献[15]，在这篇論著中表明，用鉻錳硅鋼（經淬火和 200°C 回火后）車制而成的切口試样拉伸时（試样的橫截面被切口削減了 50%，切口尖端半径在所有情况下都是 0.1 毫米），試样直径增大一倍（从 $d=10$ 增大至 $d=20$ 毫米），条件应力便降低 25%。

除应力集中外，还有一些其他因素，如熔合边界的化学的和組織的不均匀性，也能影响到焊接結構持久极限的降低。只有在最接近于真实結構的条件下，用真实尺寸的接头試驗时，才可确定所有这些因数的影响。

4 焊接接头的各种加工方法对振动强度的影响

为了提高焊接接头的振动强度，近来推荐用各种不同的表面

加工方法^(17~21)，其中主要的有：1) 用机械加工或砂輪磨削來削平焊縫及向基本金屬過渡的區域；2) 表面噴丸冷硬處理，滾子滾壓和風錘加工。

有些作者建議焊接接頭也採用類似於機器零件的加工，即力求有較為平緩的過渡部分，以提高其振動強度。很多研究表明，焊縫的加工由於形成了從焊縫到基本金屬的平緩過渡，確能提高振動強度。圖5所示的持久曲線，是我們根據已加工焊縫的試樣試驗的結果而得到的。研究這些曲線可以看出，削平焊縫後的試樣的持久極限，比未加工試樣的高35~40%。這些數據既與正面焊縫有關，也與側面焊縫有關。但須指出，不管是計算焊縫或粘合焊縫，在技術上無法加工的一些小溝槽或焊縫的偏移，都能降低振動強度，並且往往因此而可能失去焊縫加工的全部效果。

焊接工字梁時由於未填滿縱焊縫（即所謂粘合焊縫）上的弧坑，就出現振動強度大大降低的情況。

隨著鋼的牌號不同，振動強度約降低40~50%。低碳鋼對這類缺陷的敏感性比低合金鋼小，故用低碳鋼制成的梁有未填滿的弧坑時，其振動強度的降低不超過

25%，而在低合金鋼的梁中，則降低40%。當然，必須避免上述缺陷。但是，不能指望利用機械加工消除所有的應力集中點，或降低它的影響，因為在焊接結構中，不是所有的地方都能進行加工的。

根據維克的資料⁽²²⁾，利用機械加工實現焊縫到基本金屬的

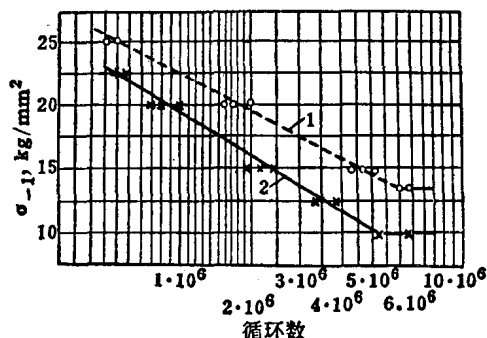


圖5 焊接平試樣的持久曲線
1—已加工焊縫(削平)的試樣；2—未加工焊縫的試樣

平緩过渡，与用金刚砂輪磨削的相比，对提高振动强度有良好的影响。格罗莘（Б.Д.Грозин）指出，用金刚砂輪加工时，可能因磨削而产生磨痕，这对振动强度有不良的影响⁽²³⁾。

当然，磨痕对淬火鋼的影响比对低碳鋼的强烈得多。但是对于低合金結構鋼而言（例如，含有較高的鉻和錳），磨痕可能导致个别地区形成低塑性的組織，以及造成振动强度的降低。焊縫必須用切削工具加工，而不能用金刚砂輪磨削，是用这种方法提高疲劳强度的缺点，因为在很多結構中，都有着切削工具所不能达到的和不可能加工的一些結点和焊縫。

大量的实验資料^(24~26*)証明，焊接应力不影响靜載强度。焊接結構的广泛使用，及其十分可靠地承受靜載荷，充分地証实了这一点。关于焊接应力影响靜載强度的問題，各研究人員之間沒有分歧。至于焊接应力对于承受交变載荷的結構强度的影响，則有各种不同的見解。很多研究人員认为，在交变載荷的情况下，焊接变形和应力影响焊接結構的强度^(27~30)。但另一些研究人員則相反，认为焊接变形和应力几乎沒有任何作用^(31~33*)。

列宁格勒加里宁工业大学研究的結果确定，如果焊接結構是用塑性材料制成的，則無論在靜載荷、振动載荷或冲击載荷的情况下，平衡的焊接內应力不会降低焊接結構的使用强度⁽³⁴⁾。奥凱尔勃洛姆和納符罗茨基（Д.И.Навроцкий）认为，焊接接头在热处理后持久性的某些提高，并不是由于焊接应力的影响，而是由于改变了鋼的应力集中敏感性。預先拉伸的焊接試样，其振动强度的提高，也不是由于应力的降低，而是由于緩和了切口的尖銳程度。

斯普拉拉根指出，在承受循环載荷的低碳鋼試样中，消除残余拉伸应力，对振动强度几乎沒有良好的影响⁽³²⁾。他解释这是因为最初的一些循环，可能消除残余应力。在脉动应力的振幅值較低的情况下，消除残余应力的結果，发现对振动强度的提高不大。这大概是由于在低的循环应力下，要在加载几百万次循环后，才能在具有残余应力的接头中加速显微裂縫的形成。

實驗確定，表面冷硬處理對提高疲勞強度有很高的效果。

噴丸冷硬處理方法，可推薦為提高機器零件疲勞強度最有效的一種方法。板彈簧和圓彈簧是採用這種方法的典型例子⁽⁸⁵⁾。汽車彈簧板由於噴丸冷硬處理，使彈簧損壞的情況大為減少。對於焊接接頭也可採用噴丸冷硬處理。但是，輪廓尺寸很大的金屬結構，採用這種方法是困難的，有時是完全不可能的。

近來，提出了採用風錘來使焊縫（和近縫區）表面冷硬的方法。庫德略夫則夫（И.В.Кудрявцев）在中央機器製造與工藝科學研究所（ЦНИИТМАШ）進行的試驗表明，噴丸冷硬處理和風錘冷硬處理對提高振動強度都有良好的影響，而且這兩種方法的效果實際上是相同的。我們用帶有橫焊縫和縱焊縫的平試樣所進行的試驗，也證明表面冷硬處理有良好的影響。對於帶有橫焊縫的試樣，其持久極限可提高60%；而對於帶有縱焊縫的試樣，則可提高26%。因此，表面冷硬處理是提高振動強度非常有效的措施。關於這種措施所產生的效果，現有很多解釋。其中最正確的，應該認為是冷硬處理在表面上引起壓縮應力，這種應力與最危險的拉伸應力綜合起來時，使拉伸應力減小，從而提高了振動強度。

費普利（Фепль）認為，冷硬處理時，由於表面層的壓縮和分子的重新取向，甚至由於表面缺陷（裂縫）的消除，因而使材料強化。

圖姆（Тум）說明冷硬處理的良好影響，是由於金屬中應力的重新分布和個別晶粒中發生的殘余塑性滑移。他引用的資料表明，擴孔時引起的表面加工硬化和殘余拉伸應力，能使持久極限降低60%。並且確定，當壓縮時，持久極限取決於滾子或沖頭力的大小，以及取決於滾子或沖頭的形狀和壓縮的工序等等。

壓縮的壓力過大，不但不能提高、反而會降低疲勞強度。壓縮壓力的大小必須一定，在很大程度上也可歸結於鍛好，因為在冷硬過大時，可使金屬完全失去塑性，因而在較小的應力下，就能形成裂縫。沙波夫（Н.П.Щапов）和我們的實驗研究，都証

实了这种情况。研究的结果列于表 2。

表 2

試 样 每 一 面 的 錘 击 次 数	0	100	150	200
在 $5 \cdot 10^6$ 循环数下的持久极限 (kg/mm^2)	10	12.5	14.5	8.5

曾經在按阿法納西 耶 夫(Н.Н.Афанасьев)系統工作的試驗机上，試驗了帶有橫焊縫的Ст.3 号鋼平試样（試样尺寸为 $400 \times 70 \times 12$ 毫米）〔43〕。

所获得的数据表明，冷硬处理仅在一定程度上，才可得到最大的持久极限。过度的冷硬处理，甚至会使持久极限有些降低。

在研究表面冷硬处理对飞机結構强度影响的論著中〔40〕，也已确定，过度的冷硬处理，会使焊接接头的持久性較原始状态的强度为低。这可能是因为在表面层内由于硬度提高而大大降低断裂抗力，而内部的压縮应力不能补偿这层較低的强度。在用渗氮鋼的切口試样进行反复靜荷試驗时，出現了类似的現象是有代表性的。

上面已經指出，关于残余应力影响焊接接头振动强度的問題，到目前为止还不清楚。但有这样的看法：如果热处理能在表面上引起压縮应力，則热处理会产生良好的影响。

我們看来，焊接接头任何形式的热处理，可能影响它的振动强度，其程度大致相同于它对焊接接头强度极限和屈服点的影响，并且主要是对近縫区組織的影响。焊接接头的振动强度便随着这些特性的改变而变化。

为了驗證上述原理，曾对低碳鋼和低合金鋼的焊接接头进行了各种不同的热处理：在 920°C 正火，在 $620 \sim 650^\circ\text{C}$ 炉内回火，以及用气炬局部回火。所試驗的是帶有橫焊波和平試样。振动試驗之前，測量了近縫区的硬度。測量的結果如图 6 所示，由此图可見，各种不同热处理所得的硬度几乎没有什么变化。低合金鋼焊接接头在炉内回火时，发现硬度有些降低。在应力为 12 公斤/

毫米²的载荷对称循环下，平試样的試驗結果列于表3。为了比較起見，在表3中还列入了未經热处理の試样試驗的数据。

表3所列的結果表明，正火和用不同方法回火的热处理，几乎沒有任何良好的效果。相反，回火甚至能使振动强度降低。这些試驗的結果与測定的硬度十分吻合。証实了焊接接头的振动强度随着强度特性的下降而降

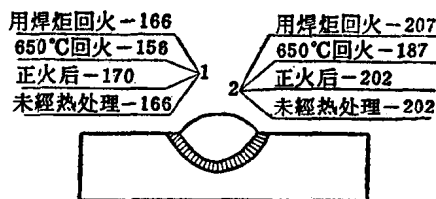


图6 低碳鋼和低合金鋼試样近縫区的硬度 H_B

1—低碳鋼試样；2—低合金鋼試样

低。其他研究人員也未发现热处理对St-52号鋼的对接焊縫焊接接头的疲劳强度有良好的影响⁽⁴¹⁾。

表3

热处理的特性	試件破坏时的循环数(千次)①	
	低 碳 鋼 試 样	低 合 金 鋼 試 样
未經热处理	1284.0	1212.0
正 火	1219.5	1342.0
650°C回火	1187.5	1137.5
用气炬回火	1217.5	1185.0

① 2~3个試样的平均值。

因此，在提高焊接接头振动强度的上述加工方法中，最有效的是表面冷硬处理和焊縫的机械加工。

5 低碳鋼焊接接头疲劳的若干特点

开始疲劳破坏时应力的确定，比解决靜載应力时的同样問題要困难得多。大家知道，在材料的靜載特性和开始疲劳破坏时的应力之間，沒有簡單的关系⁽⁴²⁾。目前在数学上用各种不同的弹