

重复荷载下钢筋焊接的 抗疲劳性能

机电研究室 焊接组
建筑工程研究室 厂房工程组

(内部资料)

冶金工业部建筑研究院

1962年12月

本報告總結了我院1958年以來較小直徑的鋼5及25T2C熱軋螺紋鋼筋閃光焊及摩擦焊接頭在重複荷載作用下的疲勞試驗結果，提出了相應的計算數據，以及保證對焊接頭使用可靠的材質、焊接工藝、設計、構造等方面的措施要求；對於影響對焊接頭疲勞的主要原因，根據試驗資料作了初步的分析探討。在此基礎上，對提高對焊接頭抗疲勞性能的办法，提出了用去除或減少外型卷邊應力集中因素，以及予以局部表面強化的加工處理途徑。

本報告並簡介了國外關於鋼5及25T2C熱軋螺紋鋼筋電弧焊及熔槽焊接頭的抗疲勞性能，和其它非連接頭型式的焊接對鋼筋抗疲勞性能影響的研究資料，進行了初步分析探討後，提出了使用上的建議。

本報告資料可供鋼筋混凝土結構設計、施工及研究人員參考。

目

前言

第一节 闪光焊及摩擦焊焊接接头疲劳试验的试件准备及试验方案

- 一、荷载值的确定、加荷基数及疲劳极限取用的考虑原则..... (3)
- 二、试件准备..... (4)
- 三、闪光焊焊接接头试件..... (12)
- 四、摩擦焊焊接接头试件..... (14)
- 五、疲劳试验设备..... (16)

第二节 闪光焊焊接接头的抗疲劳性能

- 一、钢5热轧螺纹钢筋闪光焊焊接接头的疲劳试验结果..... (17)
- 二、25 Γ 2C低合金热轧螺纹钢筋闪光焊焊接接头的疲劳试验结果..... (22)

第三节 摩擦焊焊接接头的抗疲劳性能

- 一、钢5热轧螺纹钢筋摩擦焊焊接接头的疲劳试验结果..... (26)
- 二、25 Γ 2C低合金热轧螺纹钢筋摩擦焊焊接接头的疲劳试验结果..... (32)
- 三、焊接工艺因素对.....的影响... (35)

第四节 对于钢筋对焊.....几个问题的初步探讨

- 一、钢筋对焊焊接接头产生疲劳的.....因素的初步探讨..... (40)
- 二、钢筋直径不同对其焊接接头抗疲劳性能影响的初步探讨..... (54)
- 三、钢筋焊接接头单独试件及其在构件中抗疲劳性能

的比較.....	(55)
四、对焊焊接接头疲劳强度使用数据的建議.....	(57)
五、构件中有关焊接接头在构造上几个問題的探討...	(60)
六、从試驗結果探討对焊焊接接头使用的可靠性.....	(63)
七、提高对焊焊接接头抗疲劳性能途径的探討.....	(65)
第五节 钢筋其它型式焊接接头抗疲劳性能的国外资料	
简介及探讨	
一、鋼筋电弧焊接头的抗疲劳性能.....	(71)
二、鋼筋鋼模熔槽焊接头的抗疲劳性能.....	(79)
第六节 非连接接头型式的钢筋焊接对钢筋抗疲劳性能	
影响的国外资料简介及探讨	
一、受拉主筋上焊有鋼箍时的抗疲劳性能.....	(81)
二、受拉主筋上焊有浮筋时的抗疲劳性能.....	(86)
三、受拉鋼筋相互間的联系焊縫对鋼筋抗疲劳性能的影响.....	(87)
四、焊接鋼筋网的抗疲劳性能.....	(87)
结语	(89)
参考资料	(92)

前 言

在我部的基建工程中，吊車梁已大量地采用了鋼筋混凝土結構。当采用粗鋼筋作吊車梁的受力主筋时，由于黑色冶金工厂中柱网較大，而鋼筋出厂的一般长度为9米左右，对較大柱距上的吊車梁就需要有連接接头。过去在有关的規程、規范中（如文献〔9〕等），对需要驗算疲劳的承受重复移动荷載的中級及重級工作制鋼筋混凝土吊車梁，規定了其受拉主筋不得采用焊接接头及綁紮接头。对黑色冶金厂房的重級工作制鋼筋混凝土吊車梁，其受拉主筋能否应用焊接接头，則是完全沒有試驗資料。这样就限制了鋼筋混凝土結構在吊車梁及其它承受重复荷載結構中的应用。因此，我院在鋼筋疲劳性能研究的基础上，于1958~1959年对鋼5热軋螺紋鋼筋及25Г2C低合金热軋螺紋鋼筋，进行了常用的閃光焊接头和新型摩擦焊工艺接头的抗疲劳性能研究。本报告主要总结了这一阶段中較小直径的鋼筋对焊焊件疲劳試驗研究的初步成果，并就鋼筋的其它焊接接头型式及非連接接头型式对鋼筋疲劳性能的影响，引用了1960年以来发表的国外有关試驗資料，經過初步分析探討后，我們在計算数据的取用上与国外并不完全相同。

根据螺紋鋼筋母材抗疲劳性能的研究結果，鋼筋疲劳破坏的特征是脆性破坏。在重复荷載作用下，热軋螺紋鋼筋产生疲劳破坏的主要原因是鋼筋表面螺紋及纵向肋条（特别是后者）根部处的应力集中因素；当鋼筋表面有銹跡等造成应力集中因素时，也形成了产生疲劳的源泉；对合乎部頒标准的鋼筋，当有螺紋外型因素存在时，其断面中的晶体大小等就不是影响疲劳性能的主要应力集中因素〔1〕。鋼筋有焊接接头时，無論采用哪一种現有焊接工艺及未加处理的接头型式，在鋼筋接头处表面所形成的应力集中因素都要比热軋螺紋鋼筋中由母材的螺紋所形成的应力集中因

素大。同时，焊件中尚有因未焊透、有夹渣、接头偏心等缺陷而形成的新的应力集中因素，以及当焊接规范不当时，还会使焊缝处因过火而降低接头的疲劳强度。因此，对于静力钢筋混凝土结构中一般所采用的焊接接头，需要验证它能否应用于承受重复移动荷载的结构中，以及研究改善接头的型式，求出各种接头型式的焊接工艺及设计数据，使在保证使用可靠的基础上，解决受拉钢筋焊接接头在需要验算疲劳的钢筋混凝土结构中的应用问题。

文中对于对焊焊接接头产生疲劳的主要原因等方面的初步看法纯为探讨性的意见，抛砖引玉，提请大家讨论指正。

468.96
279.2

第一节 閃光焊及摩擦焊焊接接头疲劳

試驗的試件准备及試驗方案

一、荷載值的確定、加荷基数及疲劳

极限取用的考虑原則

在一般簡支的普通鋼筋混凝土吊車梁中，受拉主筋在承受重复移动荷載作用时，其最小应力 σ_{\min} （当吊車梁仅承受自重及軌道等呆荷重时在鋼筋中所建立的应力）与最大应力 σ_{\max} （当吊車梁承受呆重及重复移动荷載时在鋼筋中所建立的应力）的比值 ρ （即应力循环特征）常在0.1~0.2之間；对預应力鋼筋混凝土吊車梁，当用粗鋼筋作預应力筋时， ρ 值一般不小于0.7（鋼筋应力中包括預加应力值）。現在常用的鋼5热軋螺紋鋼筋及25Г2С低合金热軋螺紋鋼筋，当用于預应力鋼筋混凝土結構时采用了冷拉强化的办法，故試驗中对未經冷拉的鋼筋取 $\rho=0.1$ ，对冷拉鋼筋取 $\rho=0.7$ 。

根据冶金厂房吊車梁荷載的調查〔2〕，重級工作制吊車梁在整个使用过程中，荷載的重复次数 $n=400\sim 600$ 万次。为保証使用可靠，試驗中对重級工作制吊車梁，其受拉鋼筋接头的疲劳极限取重复加荷600~1000万次时試件不断并稳定的数据，亦即取用了“絕對疲劳极限”。对中級工作制吊車梁中的受拉鋼筋，一般取重复加荷200万次后的“相对疲劳极限”，国外常按疲劳試驗中所画得的 $\sigma_{\max}-\lg n$ 疲劳曲綫与 $n=200$ 万次相交的 σ_{\max} 值为該重复次数下的“相对疲劳极限”。实际上由此求得的試件，在 $n=200$ 万次时，經重复加荷后有的产生疲劳破坏，有的未产生破坏，試驗結果不稳定。为了确保接头在使用中的可靠性，我們对中級工作制吊車梁中的受拉鋼筋接头，与重級制吊車

梁中的接头一样，也取用了“绝对疲劳极限”。

二、試件准备

由于螺紋鋼筋产生疲劳的原因主要是表面螺紋及纵向肋条根部的应力集中〔1〕，因此試件采用了保持原来的螺紋和纵向肋条的鋼筋原件。

試件的直径由疲劳試驗机的能力决定。第一步試驗中所用的鋼筋直径如下：未經冷拉的鋼 5 热軋螺紋鋼筋——16毫米；經冷拉者——10及16毫米；冷拉的及未經冷拉的25Г2С 低合金热軋螺紋鋼筋——12毫米。

焊接接头及鋼筋母材的疲劳試驗中，試件的原材料取自同批鋼筋。表 1、2 中直径为16毫米的鋼 5 热軋螺紋鋼筋及直径为12毫米的 25Г2С 低合金热軋螺紋鋼筋，生产厂在鋼筋出厂証明书上所作的化学成分及力学性能指标，都合乎相应的国家标准的規定（25Г2С 低合金热軋螺紋鋼筋目前我国尚无規定标准，表 2 中轉用了全苏标准的規定）。但为了校核試驗所用鋼筋的匀质性，使試驗所得的数据精确，曾进行了化学成分及力学性能指标的复核（見表 1、2）。复核結果表明，所用的这两种鋼筋的质量合乎相应規定的要求，与鋼筋出厂証明书上的結果基本相符。化学成分波动很小的25Г2С 鋼筋含錳量稍高于規定的上限，但也相差不多。力学性能方面，無論流限或强度极限，与相应的平均值相比，上下波动最大的也不超过 5%，具体相差值如下：

直径为16毫米的鋼 5 热軋螺紋鋼筋：

流限平均值为 35.64 公斤/平方毫米，相差在 $-5 \sim +2.4\%$ 范围内；

强度极限平均值为 54.68 公斤/平方毫米，相差在 $-3.5 \sim +4\%$ 范围内。

直径为12毫米的25Г2С 低合金热軋螺紋鋼筋：

流限平均值为 46.4 公斤/平方毫米，相差在 $-2.5 \sim +1.2\%$

范围内，

强度极限平均值为 70 公斤/平方毫米，相差在 $-2.8 \sim +5\%$ 范围内。

可知所用的几批钢筋匀质性良好。根据这个情况，在试验中有一部分试件我们未逐根进行化学成分分析及力学性能测定，而取用了表 1 及表 2 中力学性能的平均值，其误差不会太大。

对冷拉钢筋的焊接接头试件，除个别 25 Γ 2C 钢筋的焊件采用先拉后焊，以比较摩擦焊焊接中焊接与冷拉的先后次序对接头疲劳性能的影响外，其他焊件都采用了先焊后拉的工艺。当初考虑的出发点是为了避免焊接对冷拉钢筋可能产生的退火影响，且焊后再拉对接头的静力强度也作了一次检验。

钢筋的冷拉在试验机上进行，用引伸仪控制冷拉率。冷拉率取常用的数值，即：对钢 5 热轧螺纹钢筋为 5.5%，对 25 Γ 2C 低合金热轧螺纹钢筋为 3.5%。钢筋经冷拉后，把两端位于试验机夹具部位未经冷拉的部分切去。同一次冷拉的钢筋切成二个试件，放在 100°C 的开水中煮二小时以进行人工时效。

钢筋在冷拉当时所得到的原材料流限、冷拉到要求的延伸率时钢筋中的应力，以及经冷拉并人工时效后钢筋的力学性能见表 3 及表 4。

由于本批钢筋材质均匀，而冷拉率都相同，冷拉到要求的伸长率时钢筋中的相应应力也相差极少（当钢 5 钢筋冷拉到 5.5% 时，钢筋中的应力与其平均值相比较，最大相差值仅 +1% 及 -2%；对 25 Γ 2C 低合金热轧螺纹钢筋，当冷拉到 3.5% 时，钢筋应力与其平均值相比较，最大相差值为 -3.4% 及 +4.3%），因此，经冷拉并人工时效后钢筋的静力强度有的取用了某些试件试验结果的平均值。从表 3、4 中试验结果来看，这样取用的结果，误差很小：对钢 5 钢筋， $\Phi 16$ 者流限及强度极限相差的上下限与其平均值相比都不大于 1%， $\Phi 12$ 者流限仅差 $\pm 2.8\%$ ；对 25 Γ 2C 钢筋，流限相差 $\pm 6\%$ ，强度极限误差为 $-2.5 \sim +3.7\%$ 。

Φ16 热轧螺纹钢试件的化学成分及力学性能

	成分分析 (%)				力学性能				备 注
	锰	硅	硫	磷	流 限 σ_T (kg/mm ²)	强度极限 σ_B (kg/mm ²)	δ_5 (%)	δ_{10} (%)	
D	0.31 0.31	0.20 0.17	0.009 0.007	0.038 0.031	33.83 34.38	53.23 54.00	23.8 28.7	21.66 24.4	作冷拉钢筋母材 $\rho=0.7$ 时的疲劳试验 冷拉后作钢筋摩擦焊接头 $\rho=0.7$ 时的疲劳试验
B	0.30	0.17	0.009	0.037	34.13	53.61	28.75	25	
T	0.30	0.20	0.009	0.036	34.23	52.74	未量	未量	作未经冷拉的钢筋母材及其摩擦焊接头当 $\rho=0.1$ 时的疲劳试验 同上
E	0.30	0.24	0.006	0.032	35.43	56.88	25.63	18.44	
P	未作化学成分分析				36.40	56.00	30	24.4	冷拉后作有锈摩擦焊接头及 $\rho=0.7$ 时的闪光焊接头疲劳试验; 作摩擦焊接头未经冷拉者当 $\rho=0.1$ 时的疲劳试验 作冷拉钢筋摩擦焊接头当 $\rho=0.7$ 时的疲劳试验 为检验钢筋的匀质性用
Y	0.30	0.24	0.009	0.035	未作试验				
O	0.30	0.22	0.007	0.035	"				
M	0.31	0.20	0.007	0.042	"				
K	0.30	0.20	0.007	0.042	"				
H	0.30	0.24	0.007	0.038	"				
X	0.30	0.22	0.007	0.035	36.0	55.5	25	21.25	
E	0.30	0.22	0.009	0.032	未作试验				
N	0.29	0.24	0.009	0.035	"				
I	0.26	0.17	0.041	0.021	36.11	55.43	32.5	25	
力学性能平均值:									
部 颁 标 准	0.28~0.50 0.37	0.50~0.17 0.80	0.17~0.35	≤ 0.055 ≤ 0.05	≥ 28	≥ 50	—	≥ 14	化学成分见原重工业部部颁标准 (重4-55); 力学性能见原重工业部部颁标准 (重38-55)
Φ16 钢筋出厂证明书上的资料	0.35 0.37 0.33 0.34	0.54 0.62 0.64 0.62	0.202 0.157 0.167 0.192	0.036 0.025 0.030 0.040	33 33 30.5 31	55.5 57 55.5 55	— — — —	27; 29.5 26; 28 28; 22 24; 31	① 鞍钢生产, 冶炼批号相应为: 67480 69683 64804 67685 ② 左列试件冷弯180°都合格
10	未作化学成分分析				35.41	58.68	26	24	作钢筋母材及闪光焊、摩擦焊接头经冷拉后当 $\rho=0.7$ 时的疲劳试验

直径为12毫米的25Г2С低合金热轧螺纹钢的化学成分及力学性能

表 2

試件第一 个字母編 号	化学成分分析 (%)				力学性能			備 注			
	碳	錳	硅	硫	磷	流 限 σ_T (kg/mm ²)	强度极限 σ_P (kg/mm ²)		δ_5 (%)	δ_{10} (%)	
A	0.27	1.70	0.69	0.046	0.024	46	70	25	19.1	未經冷拉的鋼筋母材及摩擦焊焊接接头作 $\rho=0.1$ 时的 疲劳試驗 未經冷拉的及經冷拉的鋼筋摩擦焊焊接接头作 ρ 相应 为0.1及0.7时的疲劳試驗 未經冷拉的鋼筋母材及摩擦焊焊接接头当 $\rho=0.1$ 时 的疲劳試驗, 摩擦焊焊接接头当 $\rho=0.7$ 时 的疲劳試驗 冷拉鋼筋母材当 $\rho=0.7$ 时的疲劳試驗 鋼筋摩擦焊焊接接头經冷拉者当 $\rho=0.7$ 时的疲劳試驗	
B	0.24	1.67	0.61	0.041	0.023	45.25	68	25	20		
У	0.26	1.71	0.63	0.043	0.021	47	69.5	25	21.5		
Ә	0.27	1.68	0.67	0.046	0.026	46	69.5	26	20		
Я	0.25	1.70	0.64	0.041	0.023	46	69.5	25	20		
И И	未作化学成分分析					46.73	73.47	27.5	22	同上 閃光焊接接头未經冷拉者 (取 $\rho=0.1$) 及經冷拉 者 (取 $\rho=0.7$) 的疲劳試驗 冷拉鋼筋母材当 $\rho=0.7$ 时的疲劳試驗	
Х	"					47	71.52	24.2	19.2		
В В Д И М	"					47	69	25	20	为檢驗鋼筋的匀质性用 " " " "	
力学性能平均值:											
全苏标准 ГОСТ 5058-57	0.20~ 0.29	1.20~ 1.60	0.60~ 0.90	≤0.05	≤0.05	≥40	46.4 (-2.5~ +1.2%)	70 (-2.8~ +5%)	25.3	20.2	旧的全苏标准ГОСТ7314-55中, 对25ГC鋼筋的化学成 分未作Cr、Ni、Cu含量的規定; 新的全苏标准ГОСТ 5058-57中把25ГC改称为25Г2C, 化学成分中C、 Mn、Si、S、P的含量与ГОСТ7314-55中的規定相同, 另規定Cr、Ni、Cu的含量均不超过0.30%
該批鋼筋 出廠證明書 上的資料	0.25	1.51	0.77	0.045	0.021	47.5	66	—	23.5	天津鋼廠出品, 炉号7640. 左列試件冷弯180°合格	

冷拉5.5%的鋼5熱軋螺旋鋼筋的靜力性能

表3

直徑 (mm) (或編組)	試件編號	冷拉時所得的數值		冷拉并人工时效后的靜力性能			同組試件的用途	備注	
		鋼筋流限 (kg/mm ²)	冷拉5.5%時 的鋼筋应力 (kg/mm ²)	流 限 σ_T (kg/mm ²)	强度極限 σ_B (kg/mm ²)	δ_5 (%)			δ_{10} (%)
10	AA	未記錄	49.2				作鋼筋母材疲勞試驗	與AB2同組 與AT2同組	
	AB1	"	47.7	54.51	60.76	21			17
	AT1	35.8	49.8	57.63	60.55	20			16
	平均值: 誤差:	—	48.7 (-2~+1%)	58.07 (±2.8%)	60.62 (±0%)	20.5		16.5	表12中閃光焊焊件 取 σ_B 的平均值
16	CB2	34.7	47.4	54.27	58.6	18.5	作鋼筋母材疲勞試驗	與CB4同組	
	BA1	35.2	47.73	55.0	58.75	17.5	作摩擦焊接頭疲勞試驗	與BA2同組	
	BB1	33.9	47.5	54.25	58.65	17.5	"	與BB2同組	
	BB	33.85	47.75				"	—	
	BF	33.41	47.73				"	—	
	PA1	34.2	46.37	54.8	58.96	17.75	"	與PA2同組	
	PB1	33.5	47.40	54.57	59.01	18.75	"	與PC2同組	
	PB	33.98	46.73				"	—	
	PT	34.2	47.3				"	—	
	EA	34.8	47.35				"	—	
	EB	34.59	47.6				作閃光焊接頭疲勞試驗	—	
EB	34.9	47.35				"	—		
	平均值: 差值:	34.4 (+2.3~ -2.8%)	47.35 (+1~ -2%)	54.58 (+0.7~ -0.6%)	58.79 (+0.5~ -0.4%)	18		12.52	

直径为12毫米冷拉3.5%的25Г2С低合金热轧螺纹钢的静力性能

表 4

試件編号或編組	鋼筋冷拉时所得的数据		冷拉并人工时效后的静力性能				同組試件的用途	備注
	流 限 (kg/mm ²)	冷拉5.5%时的鋼筋应力 (kg/mm ²)	流 限 σ_T (kg/mm ²)	强度极限 σ_B (kg/mm ²)	δ_5 (%)	δ_{10} (%)		
ЭБ	45.8	58.44					作鋼筋母材的疲劳試驗	第一字为Э的各組試件是同一组在开水中煮的 与XB2同組
ЭВ	45.2	56.70						
ЭГ	45.4	58.40						
ЭЕ	47.3	59.80						
ЭН	46.9	58.40						
ЭТ	46.2	57.9	62.75	70.50	22.5	17.1		
XB1	47.82	59.1						
ПА	46	60.66					作閃光焊接头的疲劳試驗	第一字母为П的各組試件是同一组在开水中煮的
ПБ2	46.4	61.2						
ПВ	46.5	60.3	67.34	74.2	20 (不包括接头)	11.66 (包括接头)		
ВБ	45.27	58.26					作摩擦焊接头的疲劳試驗	与H02同組
Н01	未記錄	59	59.75	69.75	28	19.5		
НВ	//	58.1						
УА	44	58.18						
УБ	44.64	58.5						
ЯБ	45.64	57.63						与HГ1同組
HT2	未記錄	58.36	64.8	72	22.7	16.24		
平均值	45.93	58.76	63.6	71.6	23.3	16.1		
相差值	-4.2~+4%	-3.4~+4.3%	-6~+6%	-2.5~+3.7%				

試件編號的方法如下：試件號中第一個俄文字母，表示該試件與表 1 或表 2 中已作化學成分分析和力學性能測定的試件是同一根鋼筋。數字表示取自該根鋼筋中試件的號碼。對冷拉鋼筋除上述外，試件編號中第二個俄文字母表示是否是同一根冷拉鋼筋。如試件 EБ1、EБ2、EB1 及 EГ1 試件都取材於表 1 中帶 E 編號的同一根鋼筋，EБ1 和 EБ2 是從同一根冷拉鋼筋中截取下來的二個試件；第二個字母為 B、Г 的 EB1 及 EГ1 試件與 EБ 組試件是同一根鋼筋原材料，但不是同一根冷拉鋼筋。

試件編號中未冠以相應於表 1 或表 2 的俄文字母者，或者單獨以數字表示者，表示未作過化學成分分析及力學性能測定，但與表 1 或表 2 的鋼筋為同一批鋼筋。

鋼筋的實際截面積由試件的重量及長度計算而得，即

$$F = \frac{Q}{7.85l}$$

其中 Q 為重量(克)，l 為鋼筋長度(厘米)，F 為

鋼筋實際截面積(平方厘米)。由此所得的鋼筋的實際直徑都在規定的負公差以內。

試件長度為 30 厘米，焊接接頭位於試件的正中間。

在鋼筋及其接頭的疲勞試驗中，試件夾頭部位的处理極為重要，使試件經重復加荷後不斷在夾頭內或夾頭邊，而斷於試件中間，我們經長期摸索〔1〕，採取了以下措施。

為使重復加荷下在試件夾持區域傳力均勻，試件兩端 10 厘米區段用砂輪把螺紋打去，這樣既保護了疲勞試驗機的夾具。又可以避免鋼筋試件在夾頭邊緣附近因應力集中及夾持部位在砂輪磨去螺紋後因截面積減小而先期破壞。經多次試驗和對多種夾持方法的比較結果，認為端部對打去螺紋的區段採用滾壓的辦法效果很好。這是因為滾壓既使鋼筋表面強化，又使表面光滑，兩者都提高了夾持部位鋼筋的疲勞強度。在磨光區段邊緣與未磨去螺紋部位的交界處，由於滾壓不到，故另用小錘均勻地錘打。夾頭之間試件保持原來的螺紋外形。試件端部經磨光後，套以用 1 毫米

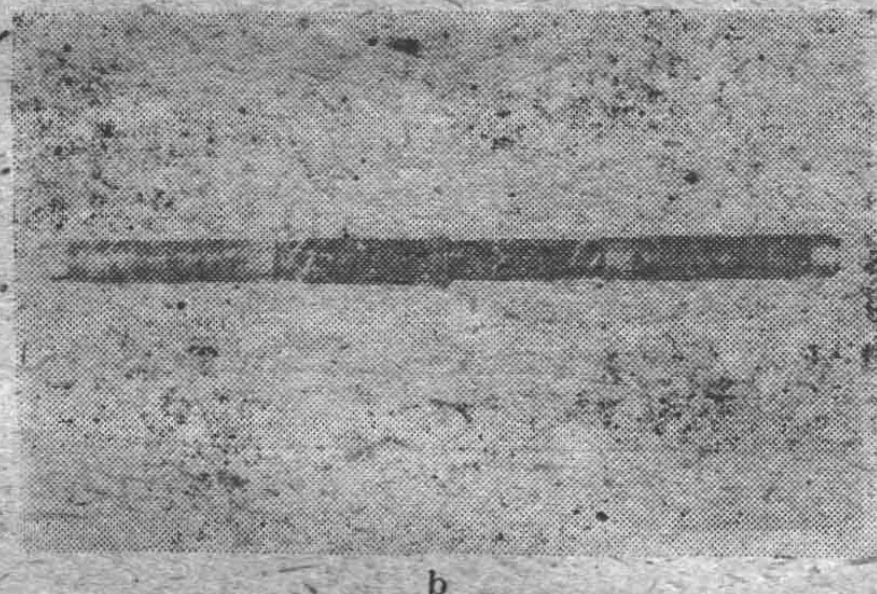
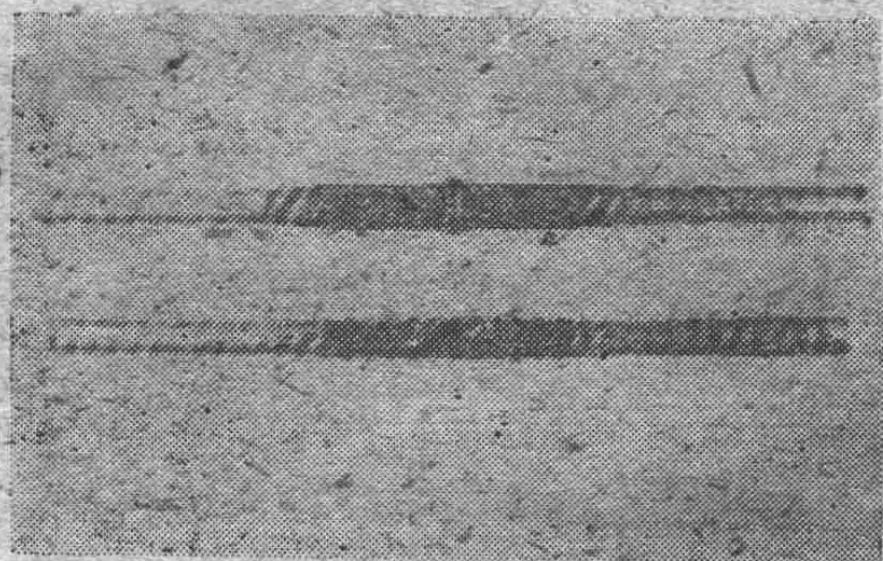


图 1 作疲劳试验用的钢筋母材及焊件的外观图
a—母材及摩擦焊接头试件； b—带有铝套的焊件

左右厚的软铝板卷成的套。铝套的作用是使试件能夹得紧，并保护了夹具。铝套的内外两面涂了油并撒上较粗的金刚砂。金刚砂的作用在于加强摩擦力。涂油是为把金刚砂粘在铝套上。铝套能够重复使用。

疲劳试件的外观见图 1。

对应力不大的试件，一般按上法对夹持部分进行加工处理并且外套铝套后，就可保证在

重复加荷中试件不致滑动。但对受力大的试件，其端部采用这样的处理方法后仍产生滑动现象。因此本试验中对冷拉钢筋作高应力下的疲劳试验时，除以上办法外，并在试件两头车螺丝扣，试验时用螺帽拧紧。这个办法，在应力不很高时效果良好。但因试验机夹具内位置所限，试件端部螺丝扣圈数不多，故当应力很高时试件仍有打滑现象，其夹持办法尚待进一步试验。

三、閃光焊焊接接头試件

試件在国产仿苏АСИФ75型接触焊机上进行閃光焊接。焊前把位于焊机夹持部分的鋼筋予以清锈，使导电良好，以免焊接过

鋼筋閃光焊焊接接头試件的焊接规范参数

表 5

鋼筋类型	直径 (mm)	試件编号	焊 接 留 量 (mm)					焊接時間(秒)	变压器級数
			总 留 量	烧 化 留 量	頂 鍛 留 量				
					有电 流时	无电 流时	合 計		
鋼 5 熱軋 螺紋 鋼筋	16	90~93	11	7	1	3	4	4	I
		61~69	11.5	6	2	3.5	5.5	4	I
		101	10	5	2	3	5	8	IV
		1~3	11	7	1	3	4	6	II
		4~6	12	6	2	4	6	4~6	II
		7~11	11	6	2	3	5	4	II
		EB1、EB1、EF1 EB2	10	7	0.7	2.3	3	10 14	IV
	按規定的最 小焊接留量	10	7	1.2	1.8	3			
10	50~54; 56、58	9	5	1.5	2.5	4	3	I	
	按規定的最 小焊接留量	7.3	5	0.9	1.4	2.3			
25Г2С 低合 金熱 軋螺 紋鋼 筋	12	II組	8.5	6	0.5	2	2.5	П1: 14 П2: 11 П4: 10 ПВ2: 9 П3及 АП2: 8 ПВ1: 7	I
		23	10	5	2	3	5	8	II
		22、27	8	4	2	2	4	8 10 7	II
		25							
		26							
按規定的最 小焊接留量	8.5	6	1	1.5	2.5				

[注] 1. 焊接时实标电压350V。焊件伸出夹具外的长度(出模长度)为13毫米;

2. 規定的焊接留量見参考資料〔7〕。

程中在夹持区段烧出伤疤，形成新的应力集中源泉，此伤疤将会影响疲劳试验结果。

闪光焊接头的焊接规范参数见表5。

表5中所采用的闪光焊焊接工艺参数中，焊接留量与一般常用者基本相同，稍有差别的是增加了顶锻留量(包括有电顶锻留量和无电顶锻留量)，主要意图是使接头不致产生未焊合的缺陷，以保证金属组织的紧密结合，使接头的质量稳定。

钢5螺纹钢筋闪光焊焊接接头试件的静力试验结果见表6。

钢5热轧螺纹钢筋闪光焊接头试件的静力试验结果 表6

试件编号	钢筋直径 (mm)		焊接工艺				焊接前后处理	静力试验结果			
	母材	接头打头处卷边外径	焊接留量 (mm)		焊接时间 (秒)	流限 σ_T (kg/mm ²)		强度极限 σ_B (kg/mm ²)	冷弯	破坏情况	
			烧化量	顶锻留量 有电时							无电时
1601	16	18.5	6.5	2.5	3	4	接头处打掉卷边使与钢筋螺纹大致等高	34.7	52.2		断在母材
1602	16	18.5	6.5	2.5	3	4	同上	34.3	50.7		"
1603	16.5	18.5	6.5	2.5	3	4	"	33.8	51.7		"
1604	17	19	6.5	2.5	3	4	"	34.3	52.4		"
1605	17	19	6.5	2.5	3	4	"	34.3	52.9		"
1606	16.8	18.5	6.5	2.5	3	4	"	34.8	53		"
1607	16.5	17.8	6.5	2.5	3	4	"			180°	合格
1608	16.5	18.5	6.5	2.5	3	4	"			180°	合格
1609	16.5	18.5	6.5	2.5	3	4	"			180°	合格
1610	17	18.5	6.5	2.5	3	4	"			180°	合格
1611	16.3	19	6.5	2.5	3	4	"			180°	合格

由表6中的试验结果可知，在采用该种焊接工艺参数时，接头的静力性能合格。

闪光焊接头有经过加工者及未经加工者。试验中取用的接头加工方法是用落地式砂轮把卷边打到与钢筋外径大致等高。为了校核卷边对接头疲劳的影响，个别试件在车床上车成圆柱体试件。