

598568

上海市冶金工业局 編

高硫磷钢的轧制与性能 試驗汇编

第 **2** 辑

上海科学技术出版社

封

目 录

高硫鋼的性能（第十次試驗报告）	1
高硫鋼的开坯試驗（第十一次試驗报告）	15
高硫鋼軋制角鋼的試驗（第十二次試驗报告）	21
关于高硫鋼錠扩散退火处理与“热脆”消除的研究（第十三次試驗报告）	27
高硫鋼網状硫化物高温扩散試驗（第十四次試驗报告）	37
高硫鋼加鋁試驗小結（第十五次試驗报告）	38
高硫磷鋼的性能研究（第十六次試驗报告）	41
高磷鋼时效性能試驗（第十七次試驗报告）	49
适合于焊接高硫鋼材电焊条的探討（第十八次試驗报告）	57
高硫磷鋼冷拉拔的性能（第十九次試驗报告）	64
碱性轉炉高硫磷鋼的冷加工性能（第二十次試驗报告）	68
孕育土球墨鑄鉄（第二十一次試驗报告）	73
編后結語	78

〔附图〕



高硫鋼的性能

第十次試驗報告 上海市冶金工業局中心試驗室

关于高硫磷鋼材的軋制与性能,我局前已将有关报告 9 篇,汇成第一輯出版。第一輯中所試鋼材的硫、磷含量波动范围很大,硫自 0.050~0.900% 左右,磷自 0.010~0.800% 左右。由于范围大,試驗不多,便显得資料不足。

最近在中央号召全部冶炼合格鋼的前提下,碱性轉炉三等品 0 号鋼的含硫量不能大于 0.120%,超过此数在生产中已无实际意义,因此,有必要针对含硫量在 0.120% 左右的高硫鋼进行补充試驗。

一、高硫鋼的机械性能

1. 取 样

試样来源为上鋼三厂和二厂的碱性轉炉鎮靜鋼 6 吋錠,开成 65mm 和 85mm 方坯,然后軋成 16×140 mm, 15×100 mm 扁鋼和 25 mm 元鋼等三种不同規格的鋼材。

16×140 mm 扁鋼取中段, 15×100 mm 扁鋼取大小头, 25 mm 元鋼任意取样,进行抗張、屈服、延伸、冷弯、低温及常温冲击韌性、缺口敏感、金相夹杂等試驗,至于时效性能,在第一輯中已証明沒有影响,本次不再进行試驗,疲劳性能将留待以后再作报告。

2. 試驗結果与討論

(一) 縱向机械性能 平均值的对比与 K 值的考查。

高硫鋼的縱向机械性能,在参考資料[2]第四次試驗中已証明其与含硫量并无显著关系,此次又重点进行了含硫在 0.120% 左右的鋼材性能試驗,并将已往的有关資料^{[5][6]}加以搜集,合併列成表 1。

在表 1 中,本次試驗高硫鋼的各种性能平均值,均大于 3 号鋼的标准,与其他几种資料比較,也无显著出入。但这次所試 25 mm 元鋼的强度,較参考資料[5]同类的元鋼略高,如前者的平均抗張为 43 kg/mm²,后者为 40.46 kg/mm²; 延伸率則略低,如前者为 35%,后者为 38.04%,这悉与含氮量有关。前者的平均含氮量达 0.0091%,而后者仅为 0.0037%。含氮量的增加,必将增加强度而降低韌性。

在表 1 中,我們采用 K 值来考查硫对抗張强度是否有关。K 值的来源^[3]如下:

实际抗張强度 = 計算抗張强度 + K (1)

計算抗張强度 = $28.0 + 0.70C + 0.75P + 0.15Si + 0.03Mn$ (2)

上式中,影响强度的元素为 C, P, Si, Mn, 而并没有考虑硫的因素。如果鋼中含硫量能够降低抗張强度,則由于(1)式不計硫的影响, K 值應該偏低。根据表 1, 本次所試 25 mm 高硫元鋼, 6 炉的平均 K 值为 2.8, 普通鋼 3 炉的平均 K 值則仅 0.4。高硫鋼 K 值反而偏高, 足以証明硫对縱向强度确无显著影响。

高硫元鋼縱向機械性能(碱性轉爐鑄靜鋼)

表 1

数据 来源	规格	试验 炉数	钢材化学成分 %						C+11P	屈服点 kg/mm ²	抗拉强度 (kg/mm ²)		延伸率 δ ₅ %	收缩率 ψ %	冷弯 D=180° 重量合格	冲击 韧性 K _α -M/c.m ²			
			C	Mn	S	P	Si	N ₂			实际值	K 值				15℃	-20℃	-40℃	-60℃
参考资料 (5)	19 m/m 光 钢	20	0.11 0.02-0.12	0.39 0.02-0.45	0.035 0.02-0.09	0.026 0.01-0.03	0.5 0.03-0.12	0.0037 0.001-0.009	0.15						21.9-28.3 24.5	16.8-30.8 24.5	2.3-24.5 19.0	0.6-17.6 7.1	
参考资料 (5)	25 m/m 光 钢	252	0.07-0.08 0.038	0.35-0.45 0.39	0.02-0.03 0.03	0.024 0.026	0.03-0.09 0.25	0.007 0.003	0.14	23.0-28.5 25.49	36.5-44.0 40.46	-2.0	30.5-42.5 38.04		合格				
本设计站 普通碳 钢	25 m/m 光 钢	3	0.06-0.07 0.06	0.26 0.26	0.02-0.03 0.04	0.027 0.024	0.02-0.08 0.14	0.0071 0.0051	0.09	25.5-26.0 25.7	378-385 38.2	+0.4	368-375 37.1	56.5-60.8 59.3	合格	28.1-29.0 28.6	27.4-27.7 27.57	15.7-22.9 19.03	4.5-5.8 5.4
本设计站 高硫碳 钢	25 m/m 光 钢	6	0.09-0.11 0.09	0.35-0.51 0.355	0.04-0.06 0.04	0.06-0.09 0.034	0.007-0.009 0.03	0.007 0.002	0.13	27.8-30.8 29.3	41.0-43.8 43.0	+2.8	37.0-37.0 35.0	43.8-64.3 60.3	合格	20.1-28.3 24.0	17.1-25.1 22.1	10.7-21.2 17.2	7.0-17.7 10.5

高硫扁鋼縱橫向机械性能比較(碱性轉爐鑄靜鋼, 鋼錠平均 φ150mm)

表 2

数据 来源	规格	面积 压缩比	试验 炉数	钢材化学成分(%)					C+11P	屈服点 Kg/mm^2		抗拉强度 Kg/mm^2		延伸率 $\delta_5\%$	收缩率 $\psi\%$	冷弯 $D=100$ 重合	冲击 韧性 $Kg-M/cm^2$			
				C	Mn	S	P	Si		纵向	横向	纵向	横向				室温 $15^\circ C$	$-20^\circ C$	$-40^\circ C$	$-60^\circ C$
参考資料 (5)	12X100 扁鋼	187	15	0.09-0.12 0.11	0.40-0.45 0.40	0.02-0.03 0.034	0.024 0.026	0.04-0.08 0.25	0.150								52.7-90.3 57.7	33.2-41.2 33.2	11-28.9 10-6.8	0.5-8.1 0.4-6.3
参考資料 (6)	12X100 扁鋼	102	1	0.17 0.17	0.40 0.40	0.028 0.028	0.029 0.029	0.028 0.028	0.202	21.8	18.5	4.4	40.0	388	2.4	355	248	300		
本设计站 高硫鋼	12X100 扁鋼	100	10	0.08-0.09 0.086	0.30-0.35 0.310	0.02-0.03 0.011	0.026 0.024	0.04-0.08 0.170	0.122	20.5	26.5	1.5	40.0	450	1.4	376	298	280	51.96 51.96	11-28.9 10-6.8
本设计站 高硫鋼	12X100 扁鋼	150	11	0.09-0.10 0.095	0.30-0.35 0.30	0.02-0.03 0.023	0.026 0.026	0.04-0.08 0.170	0.125	20.5	26.5	1.5	40.0	450	1.4	376	298	280	51.96 51.96	11-28.9 10-6.8

(二) 横向机械性能 下降率的对比及冷弯开裂问题。

横向机械性能要较纵向为低,这是一个普遍的现象。为了进一步了解它们之间的差别程度,我们采用了“下降率”来对纵向性能进行检查。

$$\text{下降率}\% = \frac{\text{纵向性能} - \text{横向性能}}{\text{纵向性能}} \times 100$$

检查的对象除本次试验取得的数据外,并引用以往的资料^{[5][6]}搜集而成表2。

从表2可以看出:

(1)在强度方面,以本次试验两种高硫钢与参考资料[6]比较,不论屈服点与抗张强度,下降率均较[6]为低。如本次两种高硫钢的屈服点分别为1.75及2.0,而资料[6]为14.4;抗张强度前二者分别为0.7及1.2,而资料[6]为2.4。

(2)在韧性方面,本次所试验两种高硫钢的延伸率、下降率分别为8.6及20.4,而资料[6]为30;冲击值的下降率,除-60°C比资料[5]为大外,其余在室温-20°C和-40°C的试验温度,高硫钢均不比资料[5]高。

以上两点,说明含硫在0.120%左右的高硫钢,它的横向性能较纵向下降的程度,在所试钢材条件下,均不比普通钢逊色。

横向性能之所以降低,与压缩比不足、钢材本身的低价组织不致密、夹杂物含量的多寡、缩孔或皮下气泡的已否焊合、钢材的偏析以及金相条带状组织等都有关系。

根据表1、表2,虽已证明本次所试高硫钢的性能不仅超过甲类钢的标准,而且横向性能亦并无特殊下降的趋势,但在冷弯试验中,出现了较高的不合格率。例如这次16×140 mm扁钢的横向冷弯试验,10个试样全部开裂。经过金相检查(表3),夹杂物(主要为矽酸盐)普遍严重,而硫化物极细小。在开裂附近,有大块矽酸盐留存(见文末附图1),证明开裂与硫化物无关。

(三) 缺口敏感性 图例的对比。

缺口敏感性试验,与慢动作的冲击试验,有些相似,但由于缺口的尖角弧度较小(俗称R),使在试验过程中,对缺口的敏感性更易暴露。钢中硫化物在热轧状态下,沿钢材纵向分布,如果硫化物严重,则应在横向的缺口敏感试验中,暴露出它的敏感性。为了进一步了解本批试样的上述性能,因此进行了下述试验。

缺口敏感试验试样的规格见图1。(参考^[11])

试验在3吨万能试验机上进行,共165个试样,试验结果,按其性质加以分类,得到图2~6的5种类型,计17种曲线。

判断缺口敏感性并无一定标准,一般以负荷高挠度大者为佳。如果试样在到达最大负荷以后,曲线下降时的斜度很陡,则该试样被认为具有缺口敏感。或者曲线垂直下降的长度(如图4⑦线中的AB),不超过总长度(如图4⑦线中的AC)的 $\frac{1}{3}$,则认为合格^[4]。

按照上述方法,对图2~6加以分析,可得下列几点:

(1)高硫钢与普通含硫不高的钢比较,如曲线④⑤与⑥比较,或⑩⑪与⑬⑭比较,它们的敏感程度并无显著差别。

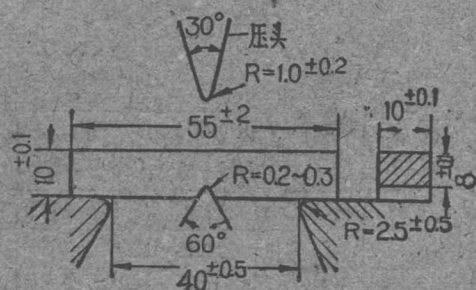


图1 缺口敏感试验简图 (长度:公厘)

表 3

高硫鋼(16×140 mm 扁鋼)冷弯試样金相檢查

試件 编号	鋼材化学成分					边缘金相檢查夾雜評級	中心金相檢查夾雜評級
	C	Mn	S	P	Si		
1	0.10	0.36	0.110	0.016	0.18	矽酸盐 5级, 細小硫化物 2级	矽酸盐 4级, 細小硫化物 2级
2	0.08	0.31	0.110	0.050	0.17	矽酸盐 4.5级, 細小硫化物 0.5级	矽酸盐 5级, 細小硫化物 0.5级
3	0.10	0.36	0.094	0.037	0.16	細小氧化鉛 4级, 細小硫化物 1级, 矽酸盐 3级	粗大氧化鉛 4级, 細小硫化物 2.5级
4	0.10	0.35	0.100	0.016	0.19	矽酸盐 3.5级, 硫化物 0.5级	矽酸盐 3级, 細小硫化物 2级
5	0.10	0.25	0.096	0.017	0.20	細小矽酸盐 5级, 細小硫化物 1级	粗大矽酸盐 5级以上, 細小硫化物 1.5级
6	0.08	0.20	0.120	0.020	0.19	細小矽酸盐 4级, 細小硫化物 1.5级	矽酸盐 5级以上, 細小硫化物 1级
7	0.09	0.30	0.120	0.014	0.18	矽酸盐 4.5级, 細小硫化物 1级	矽酸盐 5级, 細小硫化物 0.5级
8	0.10	0.24	0.120	0.026	0.11	矽酸盐 3.5级, 細小硫化物 1.5级	氧化鉛 4级, 矽酸盐 3级, 細小硫化物 1.5级
9	0.11	0.40	0.120	0.022	0.16	矽酸盐 3.5级, 細小硫化物 2级	粗大矽酸盐 5级, 細小硫化物 2级
10	0.10	0.37	0.120	0.020	0.18	矽酸盐 5级, 細小硫化物 1级	粗大矽酸盐 4.5级, 細小硫化物 0.5级

表 4

加热温度, 加热時間对頂鍛开裂的影响

編號	爐號	化 學 成 份							1050℃		1150℃		1200℃		備 註
		C	Mn	S	P	Si	Mn/S	10分	30分	10分	30分	10分	30分		
1	144	0.16	0.43	0.123	0.125	0.16	3.5			✓✓✓	✓✓✓			“✓”表示一個未裂試樣	
2	172	0.13	0.48	0.12	0.058	0.35	4.0			✓✓✓	✓✓✓			“×”表示一個开裂試樣	
3	591	0.17	0.40	0.129	0.034	0.21	3.1			✓✓✓	✓✓✓			1050℃和1200℃二組試樣是	
4	212	0.11	0.39	0.112	0.016	0.19	3.4			×✓✓	×✓✓			在一根試棒上連續截取的,性	
5	213	0.16	0.47	0.116	0.026	0.36	4			×××	✓✓✓			能上應該很接近。	
6	175	0.10	0.57	0.129	0.055	0.28	4.4			×✓✓	✓✓✓			1150℃一組試樣也是連續	
7	102	0.15	0.42	0.124	0.027	0.22	3.4	✓✓	×✓			✓✓	✓✓	截取的,性能上也應該很接	
8	180	0.12	0.36	0.119	0.019	0.18	3.0	××	××			×✓	××	近。	
9	243	0.15	0.42	0.128	0.042	0.23	3.3	×✓	×✓			✓✓	✓✓		
10	258	0.18	0.52	0.112	0.037	0.37	3.6	✓✓	✓✓			✓✓	✓✓		
11	212	0.11	0.39	0.112	0.016	0.19	3.5	×✓	×✓			✓✓	✓✓		
以上各爐鍛打合格率								60%	50%	72%	94%	90%	80%		

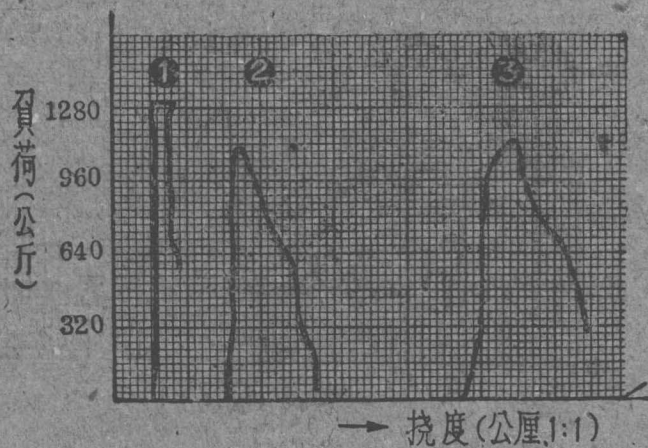


图2 高硫鋼缺口敏感性与含C量的关系 (縱向, 25 mm元鋼)

	C%	Mn%	S%	P%	Si%
①	0.63	0.83	0.116	0.062	0.26
②	0.24	0.30	0.110	0.052	0.18
③	0.08	0.33	0.101	0.051	0.16

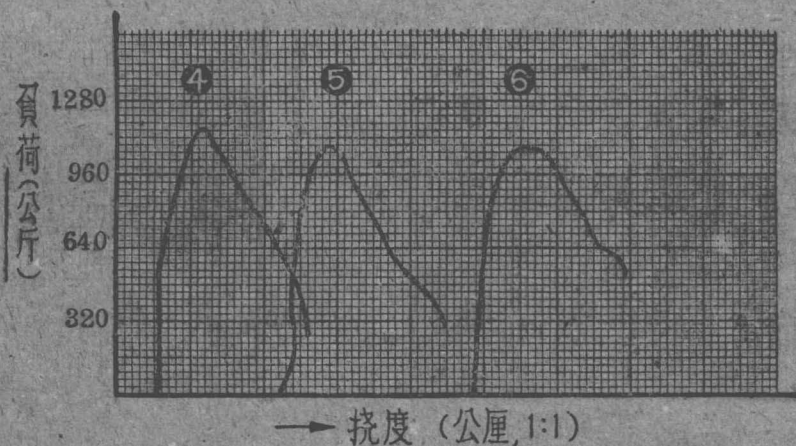


图3 缺口敏感性与含S量的关系 (縱向, 25 mm元鋼)

	C%	Mn%	S%	P%	Si%
④	0.08	0.37	0.105	0.042	0.15
⑤	0.10	0.43	0.094	0.020	0.15
⑥	0.06	0.24	0.042	0.027	0.12

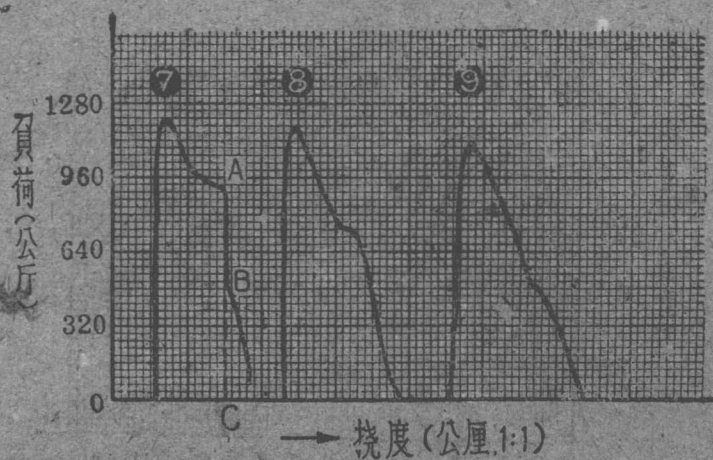


图4 高硫鋼缺口敏感性与含P量的关系 (纵向, 25 mm 元鋼)

	C%	Mn%	S%	P%	Si%
⑦	0.16	0.43	0.123	0.125	0.16
⑧	0.18	0.52	0.112	0.037	0.27
⑨	0.16	0.47	0.116	0.026	0.36

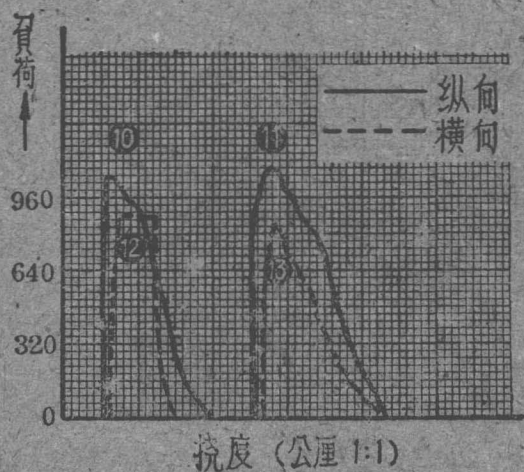


图5 缺口敏感性与含C量的关系 (縱、橫向, 16×140 mm 扁鋼)

	C%	Mn%	S%	P%	Si%
⑩⑫	0.25	0.48	0.120	0.048	0.19
⑪⑬	0.08	0.31	0.110	0.050	0.17

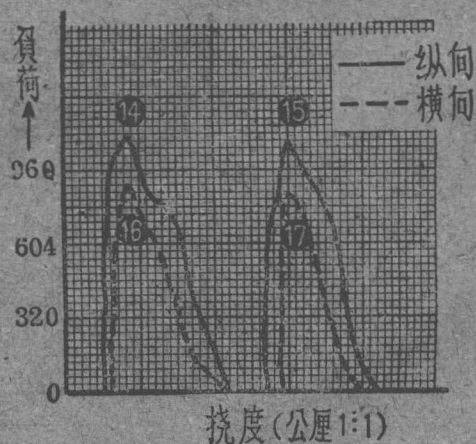


图6 缺口敏感性与含S量的关系 (縱、橫向, 16×140 mm 扁鋼)

	C%	Mn%	S%	P%	Si%
⑭⑮	0.08	0.31	0.110	0.050	0.17
⑯⑰	0.08	0.39	0.072	0.057	0.29

(2)含硫量在0.120%左右的高硫低碳鋼,縱向缺口敏感性很低(曲綫④⑤⑥),橫向亦不高,如曲綫⑤⑥尚未出現垂直下降的趨勢。

(3)同为含硫0.120%左右的高硫鋼,若含碳量高,則具有較大的敏感性,曲綫的斜度較大(圖2中③綫与①②綫比較)。

(4)同为含硫0.120%左右的高硫鋼,若含磷量高,則也具有較大的敏感性,如图4⑦綫的AB已經大于AC的 $\frac{1}{3}$ 。

(5)元鋼的缺口敏感性(③~⑥綫)較扁鋼(①②⑤綫)为低。后者曲綫的斜度較陡,这可能与元鋼面积压缩比較扁鋼大30倍有关。

3. 結 論

(一)含硫0.12%左右的高硫鋼,它的机械性能能够符合于甲类鋼的要求,与同类3号鋼比較亦无显著差別。

(二)橫向冲击性能与以往普通3号鋼^[5]比較,亦无显著差別。

(三)含硫量在0.120%的高硫鋼,与普通3号鋼比較,缺口敏感性无显著不同。而缺口敏感的严重性与含碳量和含磷量以及縱橫向性能有关。

参 考 資 料

- | | |
|---------------------------------------|----------|
| 1.上海船舶工业管理局产品设计处:船舶与机械材料和制成品的試驗规范。 | 1955年6月 |
| 2.上海市冶金工业局:高硫磷鋼的軋制与性能試驗汇报第一輯。 | 1958年12月 |
| 3.上海市冶金工业局中心試驗室:上海小型低碳鋼材的性能。 | 1958年10月 |
| 4.上海材料研究所:低合金高强度船用鋼板初步研究报告。 | 1958年 |
| 5.上海市冶金工业局中心試驗室:三厂碱性轉炉鋼的质量。 | 1958年1月 |
| 6.上海第三鋼厂、上海鋼鐵公司中心試驗室:电镀优质扁鋼[T18]試驗总结。 | 1956年9月 |

二、高硫鋼的热頂鍛試驗

1.試驗目的 关于高硫鋼的軋制性能已在“高硫磷鋼的軋制与性能”第一輯中作了較多的試驗研究,对含硫量在0.12%左右的高硫鋼,軋制性質已完全可以掌握了。为了进一步探討这种鋼在自由状态下热頂鍛的加工性能,以便掌握高硫鋼在自由鍛造时的一些規律,因此选取含硫量在0.12%左右的高硫鋼作重点試驗。

2.試样准备 选取碱性轉炉鎮靜鋼作試样,含硫量均在0.12%左右,錳硫比在3~4.4,碳在0.10~0.18%。

鋼錠規格为160公厘方,鋼錠先軋制成85公厘方坯,然后經第二次軋制成25公厘元鋼。以上軋制均按高硫鋼操作工艺进行,所以成品表面质量良好。为了避免因鋼錠的冲砂、翻皮或热軋的折叠、髮裂等带来与硫无关的缺陷的影响,試样表面都車成直徑为22公厘試样,高度等于直徑的一倍。

3.試驗条件 以前曾經作过一次含硫为0.166%、含錳为0.29%、錳硫比为1.7%的高硫鋼热頂鍛試驗,在加热温度为950°C、1000°C、1050°C、1150°C,保温時間各为10和30分鐘的几个不同条件下,都沒有获得滿意結果。

这次試驗采用1050°C、1150°C和1200°C的加热温度,保温時間各为10和30分鐘二种,进行热頂鍛。

試樣是在矽碳棒的箱形爐內進行加熱的，當爐溫上升至小於所需溫度的 100°C 時，將試樣豎立放在爐子中心，然後隨爐溫上升到所規定的溫度，並按預先規定的時間保溫後，取出進行頂鍛。鍛到原高度的 $\frac{1}{3}$ 時，觀察其表面情況，再用熱酸浸蝕和金相方法檢查其裂開原因。

4. 試驗結果及討論 從表 4，11 爐 76 只試樣的結果統計分析，發現在其他條件基本相同的狀況下，變更加熱時間和溫度時所得結果，以 1150°C 加熱 30 分和 1200°C 加熱 10 分為最好，前者合格率达 94.4%，後者合格率达 90%，其他 4 種條件的合格率，均未超過 80%。

選擇開裂與未開裂的試樣進行低倍和高倍檢查，列成表 5。

表 5 鋼中矽酸鹽夾雜物含量對頂鍛開裂的影響

試樣種類	試樣編號		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
	矽酸鹽夾雜物級別												
未開裂的試樣			2	2.5	2	4	2	4.5	4	4.5	4	0.5	3.0
已開裂的試樣			3.5	4	4	5	5	5	4.5	5	5	4	4.5

從表 5 的統計分析，發現開裂與未開裂的試樣之間，有一明顯的矽酸鹽夾雜物級別的差異，10 個開裂試樣的平均夾雜物為 4.5 級，10 個未開裂試樣的平均夾雜物為 3.0 級，兩者之間相差 1.5 級。從裂口附近取樣檢查，都帶有大形的矽酸鹽夾雜物〔鍛打開裂與未開裂試樣以及裂口附近夾雜物的情況（見文未附圖 2, 3, 4）〕。因此可以推斷表 4 的合格率，如無嚴重的矽酸鹽夾雜物，還可大大的提高。嚴重矽酸鹽夾雜物的存在，影響着頂鍛時的開裂，這是由於矽酸鹽夾雜物存在於鋼中，對變形有很大影響，其中以冷變形為最大。在限制展寬而延伸變形的熱軋中，由於變形方式的有利條件，而且在高溫情況下，影響程度較好些；而對自由寬展的熱頂鍛，則影響較顯著，容易產生裂開現象。

5. 結論 由以上試驗的結果可以證明，含 0.12% 硫的高硫鋼，在合適的加熱制度下，是可以進行自由寬展頂鍛的。但鋼中所含矽酸鹽夾雜物的程度，影響着合格率的高低。

這次試驗，數據較少，尚須進一步研究。

三、焊接性能

焊接性能包括二個主要內容，即焊接合適性及焊接安全性。所謂合適性，是指鋼材是否可以通过某種焊接方法，在液體狀態下或半液體狀態下，很好地連接起來，換句話說，是指被連接金屬原子間的和分子間的相互結合和擴散的物理可能性，這主要與材料——鋼材或焊條——的性質有關。高硫鋼材在焊接時容易產生焊縫氣孔和熱裂現象。有關焊接合適性的試驗，將在“適合於焊接高硫鋼材電焊條的探討”一文（本輯第十八次試驗報告）中另行報導，本文所述的是：焊接安全性能和閃光焊接性能。

焊接安全性，簡單地講是焊接結構是否具有了一定的性能（機械性能、抗裂等）以滿足使用的要求。但由於影響焊接結構的因素十分複雜（如應力狀態、加載速度、溫度等等），這次試驗僅局限於一般試驗，即焊接安全性的主要部分——焊接後即迅速冷卻，看是否具有優良的抗裂性和塑性。此外，上海生產小型鋼材很多，約有 $\frac{1}{3}$ 的鋼材是用於建築工程上的（以元鋼和螺紋鋼為主），因此有必要對於用於混凝土構件的高硫鋼材，進行閃光焊接性能試驗。

1. 焊接安全性試驗

（一）焊珠下裂紋試驗：用上焊 33 型直徑 3.2 mm 焊條，電流為 100 安倍，電壓為 25~30 伏

特,在 $-15^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 不同温度的条件下,在 $50\times 75\times 16\text{ mm}$ 鋼块上,焊一条 32 mm 長的焊珠(順軋鍛方向),試样見图7。低温試驗方法是先将鋼块本身用干冰酒精冷却到一定温度,然后在施焊时放在相同温度的鋼块上,該鋼块浸沒在干冰酒精的冷却剂中,使鋼块露出液面約 $\frac{1}{4}$ 吋。整个焊珠在 7.5 秒鐘內焊完,并停留 1 分鐘后由鋼块上取下。室温以上的試驗方法是将鋼块放水中,加热到 50°C 取出,放在工作台上施焊。

焊好的鋼块約放置 24 小时后,加温到 600°C , 1 小时回火,然后沿焊縫用鋸鋸开,刨平磨光后酸浸,以观察焊珠层下热影响区有无裂縫。这次試驗曾测定了 -15° 、 -10° 、 -5° 、 0° 、室温

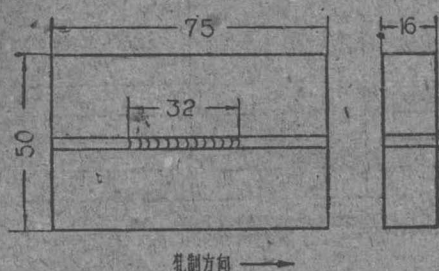


图7 焊珠下裂紋試驗試样簡图

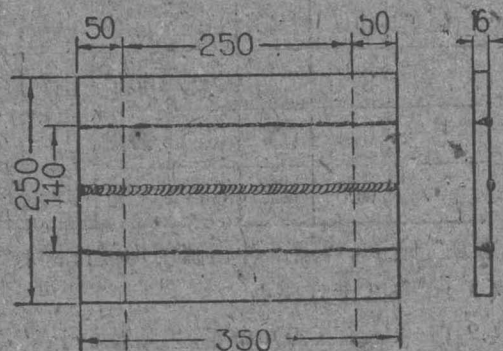


图8 結構鋼可焊性試驗試样簡图

及 50°C 等 6 个温度。鋼块化学成分及各温度下测定的块数和結果見表6。試驗結果証明,含硫量 $0.042\sim 0.14\%$ 的鋼块,都未发现裂縫。

(二)苏联国家标准草案“結構鋼可焊性試驗”: [1] 以 $16\times 140\text{ mm}$ 扁鋼截成 350 mm 長,两边另以扁鋼拼焊至

表6

編号	溫度 块数	-15°	-10°	-5°	0°	室温	50°	化 学 成 份					測定結果
								C	Mn	S	P	Si	
A	4					4	1	0.09	0.36	0.049	0.067	0.14	均未发现裂縫
B	2	1				4	1	0.09	0.30	0.042	0.026	0.10	
12	2	1	1	1	1	4	1	0.07	0.43	0.079	0.055	0.31	
11x	4				1	5		0.11	0.40	0.140	0.028	0.17	
5x	2				3	4	1	0.23	0.52	0.128	0.070	0.18	
7	2		1	1	1	4	1	0.08	0.22	0.129	0.018	0.20	

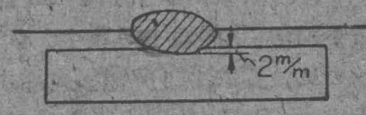


图9 冲击試驗取样部位

250 mm 寬(按标准規定鋼板寬度是 250 mm ,为保持相同的散热条件,故將鋼板寬度自 140 mm 接至 250 mm),然后用自动焊以08鋼絲, AH348 熔剂,按照标准規定在鋼板中央进行敷焊。試样尺寸見图8。弃去两端 50 mm 后,取横向冲击試样 6 只(图9),进行室温及 -20°C 的冲击試驗(各 3 只)。按标准規定,当試驗結果的冲击韌性值大于或等于母材标准規定数值时,即可認為这种鋼材具有良好的焊接性。由于所取冲击試样的地位,剛巧在扁鋼橫截面的中央,正好是 6° 鎮靜鋼錠中心縮孔的疏松部分,而且 $16\times 140\text{ mm}$ 扁鋼的厚度壓縮比較小,只有 10 倍,这将影响到母材本身的冲击值,因此在母材相当于焊后取样的部位,另取冲击試样 3 只,

以便进行比较。試驗結果見表 7。

表 7

編 号	化 学 成 份					母材室溫冲击值	焊后室溫冲击值	焊后-20°C冲击值
	C	Mn	S	P	Si	Kg-M/cm ²	Kg-M/cm ²	Kg-M/cm ²
A	0.09	0.36	0.049	0.067	0.14	$\frac{6.5 \sim 7.1}{\text{平均 } 6.8}$	$\frac{6.3 \sim 9.9}{7.9}$	$\frac{3.5 \sim 5.7}{4.6}$
B	0.09	0.30	0.042	0.026	0.10	$\frac{6.1 \sim 8.5}{7.3}$	$\frac{8.1 \sim 9.5}{8.8}$	$\frac{2.5 \sim 4.3}{3.6}$
12	0.07	0.43	0.079	0.055	0.31	$\frac{5.3 \sim 5.6}{5.5}$	$\frac{5.4 \sim 7.1}{6.5}$	$\frac{3.4 \sim 5.5}{4.8}$
11	0.11	0.40	0.140	0.028	0.17	$\frac{4.8 \sim 5.0}{4.9}$	$\frac{6.3 \sim 8.5}{7.6}$	$\frac{4.6 \sim 5.6}{5}$
5	0.23	0.52	0.128	0.070	0.18	$\frac{3.6 \sim 3.6}{3.6}$	$\frac{4.0 \sim 4.6}{4.4}$	$\frac{2.3 \sim 2.8}{2.5}$
7	0.08	0.22	0.129	0.018	0.20	$\frac{7.0 \sim 8.1}{7.7}$	$\frac{7.4 \sim 10.4}{8.6}$	$\frac{2.4 \sim 4.6}{3.6}$

自表 7 看到,焊后的冲击值則均較母材为高。經金相檢查結果发现:

(1) 过热区十分狹小。

(2) 正火区有 1.9 mm 寬,其晶粒小于 8 級,珠光体分布均匀。

(3) 半正火区有 3.7 mm。

(4) 其余的小于 2.4 mm 部分,是母材原来的組織——铁素体和珠光体組織。珠光体分布不均匀,某些地方較集中;铁素体呈条带状,晶粒度是 6 級。

从檢查結果可解釋提高冲击韧性值理由是:过热区狹小,使焊接后降低冲击值的不利因素减弱,而相当寬的正火区和半正火区有較細的晶粒,且又改变了母材的条带組織,因此冲击韧性值大为提高。可以肯定,焊接后的性能与含硫高低无显著影响。至于 5 冲击值較低,这是涉及含碳較高的緣故。

綜合以上二种試驗的結果,鋼材的抗裂性及韧性都是比較好的,沒有因含硫增加而受到影响,因而可以肯定如能获得在保証焊縫机械性能的前提下,解决了在焊接时产生焊縫气孔和热裂的二种疵病后,則含硫 0.12% 的鋼材,亦可用于次要的焊接工程。

2. 閃光焊接性能試驗 高硫鋼应用在鋼筋混凝土結構中时,将遇到二个問題,即能否适应閃光焊接和作預应力鋼筋的問題。

从預应力鋼筋要求角度来看,按公式

$$\Delta l\beta = \beta \cdot l_0 \dots\dots\dots (1)$$

受拉鋼筋在出現縮頸前,应力作用下的伸長值与平均单位長度伸長系数有关;而当应力达到极限变形值时,与截面 F 的大小有关。

$$\Delta l_n = \Gamma \cdot \sqrt{F} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{因試件的总伸長 } \Delta l_0 = \Delta l\beta + \Delta l_n = \beta \cdot l_0 + \Gamma \cdot \sqrt{F} \dots\dots (3)$$

以 $\delta 5, \delta 10$ 代入(3)則

$$\delta 10: \epsilon_{10} \cdot 10\alpha = 10\alpha \cdot \beta + \Gamma \cdot \sqrt{F}$$

$$\delta 5: \epsilon_5 \cdot 5\alpha = 5\alpha \cdot \beta + \Gamma \cdot \sqrt{F}$$

$$\therefore \beta = (10 \cdot \epsilon_{10} - 5 \cdot \epsilon_5) / 5 \dots\dots\dots (4)$$

$\Delta l\beta$ —頸縮現象以前应力作用下的变形值

β —頸縮現象以前的平均單位長度伸長係數

l_0 —試件的計算長度

Δl_n —由於頸縮現象而產生的變形值

Γ —頸縮部分的伸長係數

F —試件原始截面積

ϵ' —標準中規定最低延伸率

從標準中得 ϵ_9 、 ϵ_5 鋼的最小延伸率為

ϵ_9 : $\epsilon_{10} \geq 21\%$ $\epsilon_5 \geq 25\%$ $\epsilon_5 \epsilon_{10} \geq 15\%$ $\epsilon_5 \geq 19\%$ 代入(4)

ϵ_9 鋼的 $\beta > 17\%$,

ϵ_5 鋼的 $\beta > 11\%$ 。

所以說 ϵ_9 鋼拉伸不大於17%, ϵ_5 鋼拉伸不大於11%時,是永遠不會斷裂的。因此預應力拉伸值必須小於以上數。

從檢驗25 mm元鋼的機械性能結果來看,其含硫高或低的性能,都符合甲類鋼要求;也就是符合以上計算要求。

根據目前對鋼筋進行預加應力拉伸,一般是 ϵ_9 鋼拉伸7%, ϵ_5 鋼拉伸5%,拉伸後進行時效處理的方法是通過2小時100°C水蒸氣處理,處理後的鋼筋,必須仍能保持軟鋼的性能,要有明顯的屈服點,有足夠的殘余伸長量。表8是高硫鋼材的機械性能試驗及預加應力時效處理後的機械性能。試驗結果表明,屈服點有明顯的提高,延伸率雖有很大程度的下降,但仍能保持一定的數值。表9說明屈服點及延伸率增減情形。

表 8

編號	鋼材化學成份分析					機 械 性 能				
	C	Mn	S	P	Si	σ_s	σ_b	σ_s	ψ	
*1	0.06	0.35	0.117	0.018	0.18	未時效 28	43	36	63	
						時效 42.5	50	24.5	53	
						增減% +52	+17.5	-30	-15.9	
*2	0.07	0.3	0.105	0.059	0.17	未時效 29	44	34	59	
						時效 41.5	49.5	29	51.5	
						增減% +39	+15	-14.7	-12.7	
*3	0.08	0.29	0.101	0.057	0.17	未時效 29	43	34	65.5	
						時效 49.4	49.5	29	56	
						增減% +35	+15	-14.7	-14.5	
*4	0.06	0.28	0.047	0.028	0.14	未時效 26	39	41	65.5	
						時效 34.5	42	27.5	61.5	
						增減% +24.5	+7.7	-33.0	-6.1	
*5	0.23	0.48	0.117	0.055	0.19	未時效 34.5	53	19.5	42.5	
						時效 50.5	57.5	15.5	30	
						增減% +45	+8.5	-23	-29.4	
*6	0.09	0.22	0.042	0.027	0.13	未時效 25.5	37.5	40	64	
						時效 37	45	33	55.5	
						增減% +45	+20	-17.5	-13.3	
*7	0.09	0.41	0.101	0.025	0.16	未時效 27.5	41.5	36.5	58	
						時效 38.5	48	28	51.5	
						增減% +40	+18.6	-24	-11.2	
*8	0.12	0.43	0.137	0.024	0.17	未時效 28	42.5	32.5	57	
						時效 41.5	48.5	27	52.5	
						增減% +44	+15.6	-18	-7.9	
*9	0.13	0.46	0.105	0.083	0.18	未時效 33.5	47	32	56.5	
						時效 44	51.5	27.5	49.5	
						增減% +38.6	+9.6	-16	-12.4	
*10	0.08	0.39	0.100	0.111	0.16	未時效 31.5	45	32.5	58.0	
						時效 44	52.5	29	51	
						增減% +25.6	+16.7	-14	-12.0	
*12	0.08	0.38	0.108	0.045	0.16	未時效 28.5	41.5	36	62	
						時效 41.5	49.5	29	54	
						增減% +40	+17.3	-24	-12.9	

表9

試 样	屈服点提高值	屈服点平均提高%	延伸率下降值	延伸率平均下降%
九3鋼 对接后拉伸1%	波动范围 平均值 15-13 13.8	51.6%	1-6 4.3	13.7%
九5鋼 对接后拉伸5%	54	55%	6%	22%

因此含硫小于0.12%的鋼材,不論用作一般混凝土或預加应力混凝土結構都能符合要求。

在建築工程中,鋼筋的連接,通常是采用閃光对接焊的。對預先進行冷拉的鋼筋來說,按照建築安裝施工及驗收暫行規範規定,冷拉必須在焊接後進行,因而對於含硫較高的鋼材,其閃光焊接性能就有必要作進一步的試驗。

閃光对接焊試驗是在上海建築工程局水泥成品廠進行的,以便獲得更切合實際生產的試驗結果。閃光对接焊機型號為Acu ϕ 50。表10,11為機械性能與增減情況的試驗結果。

表10

試樣號	时效前後比較	σ_s	σ_b	δ_5	ψ	C	Mn	S	P	Si
*4	对接焊	25.0	37.6	31.0	60	0.06	0.28	0.047	0.028	0.14
	对接后时效	38.5	43.5	32	53					
	增減%	+54	+16	-3.2	-11.7					
*5	对接焊	33	52	27	50	0.23	0.48	0.117	0.055	0.19
	对接后时效	51	56	18	42.5					
	增減%	+54	+7.7	-33	-15					
*6	对接焊	24.5	38	32	63	0.09	0.22	0.042	0.027	0.13
	对接后时效	37.5	42	26	57					
	增減%	+55	+10.6	-19	-9.5					
*9	对接焊	30.5	39.5	—	—	0.13	0.46	0.105	0.083	0.18
	对接后时效	45.5	50.5	24	52.5					
	增減%	+49	+28	—	—					
*10	对接焊	32	48	31	54.5	0.08	0.39	0.100	0.111	0.16
	对接后时效	47.5	51	25	54					
	增減%	+48.5	+6.2	-19	-0.9					

表11

試 样	屈服点提高值 σ_{ms}	屈服点平均提高%	延伸率下降值%	延伸率平均下降%
九3鋼	波动范围 平均值 20.4-8.5 12.7	38.4%	13.5-3.5 7.2	20.5
九5鋼	16.5	45%	4	23

从表10,11結果看,含硫量高低之間,沒有任何顯著差別。這說明含硫在0.12%以下,作為鋼筋用鋼材進行焊接,其性能仍能滿足使用要求。至於对接焊質量,在這次試驗中,發現很多試樣都斷于焊縫,這是在焊接工藝上尚存在一定問題。第一次試驗,斷于焊縫的占試樣90%以上,第二次再進行对接,並在工藝過程中多加注意,結果斷于焊縫的減至18%,因此認為在改進焊接工藝後,能夠解決接頭的質量。

3. 結論

(一)含硫量小于0.12%的低碳鋼材,其抗淬裂性及熱影響區的韌性,都能滿足要求。

(二)這種鋼材如選用適當的焊條,並在保證焊縫機械性能的前提下,解決了焊縫熱裂及氣孔二種疵病後,可以用於一般次要的焊接工程中。

(三)這種鋼材可以用於一般鋼筋混凝土結構及預应力鋼筋結構中。

參 考 資 料

1. 阿歷克賽謝夫: 焊接過程理論, 1956。

1959, 3, 14

附表 1

高硫元鋼縱向性能試驗(碱性轉爐靜鋼)

試樣來源	規格	試樣編號	鋼材化學成分%						屈服點 Kg/mm ²	抗拉強 Kg/mm ²	K 值	延伸率 δ ₅ %	收縮率 %	冷彎 D=T 180° 重疊	沖 擊 韌 性 Kg-M/cm ²				備 註
			C	Mn	S	P	Si	N ₂							室溫 (15°C)	-20°C	-40°C	-60°C	
本次試驗的高硫鋼	25 ^{mm} 元 鋼	5	0.24	0.50	0.11	0.053	0.18		0.30	438	-0.5	29.0	48.0	合格	7.50	5.60	2.70		本次試驗的冷彎和擴張為二個試樣的平均值沖擊為三個試樣的平均值。
		9	0.15	0.46	0.086	0.086	0.17		0.24	478	-1.1	31.0	56.8	"	19.4	21.7	17.9	7.20	
		10	0.14	0.51	0.105	0.082	0.18	0.0055	0.23	415	-0.7	33.5	56.0	"	20.2	22.9	10.3	7.65	
		3	0.11	0.37	0.091	0.040	0.13		0.15	438	+2.0	32.0	49.8	"	20.7	17.1	10.7	7.0	
		2	0.08	0.33	0.101	0.051	0.15	0.0084	0.14	438	+3.0	35.0	62.3	"	28.3	23.7	21.2	7.25	
		12	0.08	0.37	0.105	0.042	0.15	0.0084	0.13	438	+3.4	33.3	64.3	"	24.8	25.1	18.1	12.50	
		11	0.08	0.33	0.101	0.040	0.10	0.0088	0.12	420	+2.9	35.8	61.5	"	24.5	23.1	17.4	4.80	
		8	0.10	0.43	0.094	0.028	0.15	0.0071	0.12	410	+0.6	37.0	61.0	"	24.5	22.8	18.6	13.56	
的普炭鋼 本次試驗	25 ^{mm} 元 鋼	1	0.09	0.40	0.112	0.046	0.18	0.0129	0.11	438	+4.4	35.0	62.0	"	21.4	21.2	17.3	17.70	
		4	0.07	0.26	0.046	0.024	0.18	0.0051	0.10	385	+0.3	36.8	56.5	"	28.1	27.6	22.9	5.80	
		7	0.06	0.26	0.042	0.027	0.12		0.09	383	-0.4	37.0	60.5	"	29.0	27.7	15.7	5.13	
		6	0.06	0.26	0.044	0.022	0.12		0.08	318	+1.3	37.5	60.8	"	28.6	27.4	18.5	4.50	

附表 2

高硫扁鋼縱橫向機械性能(碱性轉爐鍊鋼)

資料來源	規格名稱	試樣編號	鋼材化學成分%					C + 1.1 P	屈服強度 Kg/mm ²		抗拉強度 Kg/mm ²		延伸率%		收縮率%		冷彎結果 D=1.80倍	沖 擊 韌 性 (Kg/mm ²)												備 註
			C	Mn	S	P	Si		縱向	下降率	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向			
本次試驗的高硫期	16 ^{mm} 扁鋼	E	0.25	0.48	0.120	0.048	0.19	0.30	350	320	186	575	530	32	300	230	50	570	430	68	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	1. 下降率 = 縱向橫向 x 100%	
		C	0.10	0.36	0.034	0.037	0.16	0.14	305	265	130	460	400	130	350	285	18.6	650	515	208	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	2. 本試驗 除各項 機械性能 均對三個 試樣的平 均值。	
		B	0.08	0.31	0.110	0.050	0.17	0.14	305	270	100	435	410	5.7	325	285	12.3	635	440	30.7	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		J	0.11	0.40	0.120	0.022	0.16	0.13	290	285	117	430	425	1.2	310	310	0	630	650	0	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		I	0.10	0.24	0.120	0.026	0.11	0.13	275	300	83	425	445	-4.5	335	300	-10.4	665	520	21.9	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		K	0.10	0.37	0.120	0.020	0.10	0.12	235	295	-78	445	415	-16.0	345	285	33.3	640	520	32.8	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		F	0.10	0.25	0.086	0.017	0.09	0.12	270	285	5.6	415	420	-1.2	290	305	-4.9	620	500	19.4	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		D	0.10	0.35	0.100	0.016	0.19	0.12	275	265	3.6	425	425	0	320	285	10.9	630	460	27.0	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		A	0.10	0.36	0.110	0.016	0.18	0.12	300	285	5.0	445	445	0	330	280	13.2	685	450	34.3	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		H	0.09	0.30	0.120	0.014	0.18	0.11	260	295	-11.9	400	450	-11.7	338	325	3.8	700	570	10.6	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		G	0.08	0.20	0.120	0.02	0.13	0.10	270	260	3.1	405	400	1.2	315	315	0	715	645	9.8	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		L	0.08	0.30	0.072	0.057	0.28	0.14	275	300	-8.3	445	46	-5.4	330	310	6.1	685	500	26.5	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		2	0.08	0.28	0.095	0.039	0.09	0.13	290	275	3.2	420	420	1.6	375	305	23.0	715	530	25.9	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		8	0.10	0.37	0.095	0.029	0.14	0.13	285	270	5.3	415	415	0	39	29	25.6	70	385	436	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		11	0.08	0.30	0.039	0.042	0.14	0.13	30	31	-3.2	430	440	-2.3	355	240	32.4	645	360	44.5	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		17	0.07	0.19	0.110	0.046	0.055	0.12	285	275	13.5	415	410	1.8	355	320	9.9	670	625	6.7	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
本次試驗的高硫期	16 ^{mm} 扁鋼	23	0.09	0.24	0.130	0.024	0.07	0.12	295	280	5.1	415	400	3.6	405	270	42.5	700	460	34.3	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		1	0.08	0.30	0.108	0.034	0.095	0.12	280	305	-8.2	425	425	0	365	275	24.7	665	410	4.02	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		3	0.09	0.38	0.105	0.041	0.125	0.12	330	325	15	465	450	3.2	435	225	28.0	670	345	44.5	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		9	0.08	0.40	0.096	0.038	0.145	0.12	315	305	3.8	450	420	6.6	300	265	11.7	600	235	63.5	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		21	0.09	0.27	0.152	0.025	0.070	0.12	290	290	1.0	410	410	1.0	370	305	17.6	725	460	36.6	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
普通鋼	16 ^{mm} 扁鋼	6	0.09	0.42	0.086	0.022	0.125	0.11	285	280	1.8	410	420	-2.4	320	260	10.8	583	490	17.4	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		
		15	0.08	0.16	0.117	0.031	0.045	0.11	295	285	1.0	455	410	-1.2	375	365	2.7	715	685	2.8	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向	縱向	橫向		

高硫鋼的開坯試驗

第十一次試驗報告 上海第二鋼廠

一、前言

高硫鋼在軋制後的機械性能，經冶金局組織有關部門的數次試驗證明，只要能軋成鋼材，在冷狀下使用與一般低硫鋼無異，因此，如何使高硫鋼軋成鋼材，就成為軋鋼工作者的迫切的任務。這項工作過去也做過不少試驗，但僅對 Mn/S 大於 2 的高硫鋼錠作出可以軋制的結論，冶金局已指示各廠進行正式生產，並將這類高硫鋼列入合乎廢品利用的鋼錠之內，這樣使一部分 Mn/S 大於 2 的號外鋼能夠成材。但是 Mn/S 小於 2 的高硫鋼錠在目前仍然占有很大的數量，同時目前錳鐵十分缺少，影響 Mn/S 的提高，因此我們必須千方百計來找出一個合乎軋制 Mn/S 小於 2 的高硫鋼的工藝規範，使這些鋼也為祖國社會主義建設服務。這件工作無論從政治上或者是經濟上來看都是十分有意義的。

上鋼二廠在冶金局的指示下，根據過去各廠的試驗結果及中心試驗室組織的高硫鋼加工現場會議的經驗，結合本廠具體情況，訂出幾種不同的工藝過程，對 10 爐含硫量在 0.17~0.35%， Mn/S 在 1.52~2.08 的高硫鋼進行開坯試驗，結果良好，合格率高達 96%（包括處理後的合格品）。這個試驗證明， Mn/S 小於 2 的高硫鋼，只要工藝條件合適，就能軋出有用的鋼材。

二、試驗目的

1. 在具有側壓的孔型系統中，在同一加熱制度下， Mn/S 對開坯合格率的影響。
 2. 在具有側壓的孔型系統中，在同一種 Mn/S 的情況下，不同加熱制度對合格率的影響。
- 由以上兩種試驗結果，找出合理的加熱制度下， Mn/S 最低可達多少。

三、試驗條件

1. 設備性能（見表 1）。

表 1

軋機型式				原料及成品規格						工作軋輥			主電機			加熱爐					
用途	布置	結構	機列名稱	工作機架	原料名稱	原料斷面	原料長度	原料重量	成品種類	成品規格	軋身直徑	軋身長	每分轉速	馬達型式	電流種類	馬達功率	每分轉數	加熱爐型式	爐長	爐寬	爐子加熱時間
開坯	二列式	三輥式	粗軋	2	鋼錠	160×160mm	1.2m	180kg	中小型方坯	85×85	400	1000	70	滑環	交流	450hp	600	連續式	L有=23m	3.3m	3小時
			精軋	4							320	710	150	滑環	交流	375hp	600				