

球墨鑄鐵鉄筋

清华大学鑄工教研組 編著



冶金工业出版社

出版者的話

清华大学鑄工教研組和土木系最近共同研究成功了球墨鑄鉄鉄筋，它可以代替建筑工程中的鋼筋使用，在目前鋼材和軋制能力不足的情况下，这项研究工作具有很大的政治意义和經济意义。

为了迅速把这种方法推广到实际生产中去，我們特将他們的初步研究成果編成这本小冊子出版，供大家参考，并希望共同研究，作更进一步的改善。

本小冊子內容敘述球墨鑄鉄鉄筋的鑄造方法、鑄造工艺及鑄造設備等，并着重介紹了連續鑄造鉄筋，可供广大鑄造工作者参考。

球墨鑄鉄鉄筋

清华大学鑄工教研組 編著

編輯：黃錫桥

設計：童煦庵

校对：胡瑞华

1958年12月第一版

1958年12月北京第一次印刷 10,000冊

850×1168·1/32·

24,000字· 印張1· 定价0.13元

中央民族印刷厂印

新华書店发行

書号1372

冶金工业出版社出版（地址：北京市灯市口甲45号）

北京市書刊出版业營業許可証出字第093号

目 录

球墨鑄鉄鉄筋的研究	(2)
一、緒言	(2)
二、球墨鑄鉄鉄筋代替鋼筋的可能性	(2)
三、获得球墨鑄鉄鉄筋的各种鑄造方法	(4)
四、球墨鑄鉄鉄筋砂型鑄造工艺	(5)
五、球墨鑄鉄鉄筋的熔炼,球化处理,澆注及檢驗	(9)
六、球墨鑄鉄鉄筋的热处理	(10)
七、球墨鑄鉄鉄筋的金相組織及机械性能	(12)
八、球墨鑄鉄鉄筋的焊接	(15)
九、球墨鑄鉄鉄筋混凝土构件使用試驗	(17)
十、結論	(21)
連續鑄造鉄筋試驗总结	(22)
一、緒言	(22)
二、試制所用的設備	(23)
三、鑄造过程中的工艺問題	(26)
四、試驗結果及質量鑑定	(28)
五、小結	(30)

球墨鑄鐵鉄筋的研究

一、緒 言

鋼筋混凝土自从19世紀70年代出現以來，只不过經歷了100年左右的历史，目前一跃而为我們时代里采用最广的建筑材料之一⁽¹⁾。鋼鉄工业的基本建設，机械工厂的厂房，高爐、平爐、軋鋼設備、鍛压設備、机床的基础都是用鋼筋混凝土来建造的。鋼筋混凝土广泛地用在鉄路的隧道、枕木、桥梁、飞机庫、船塢等交通运输业中。建設大型水力发电站需要几百万立方公尺的鋼筋混凝土。鋼筋混凝土还广泛地用在軍事工程上，用来作原子能反应堆的防护装置。可以毫不夸張地說，不采用鋼筋混凝土的建設領域是几乎沒有的。

在鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社会主义的总路綫的光輝照耀下，我們祖国的社会主义工业建設正在一日千里的向前推进。到处在万馬奔騰，到处需要鋼材。有了鋼材，就能制造机器，就能建設。鋼材已成为影响我国社会主义建設的一个重要因素。以鉄代鋼来解决目前鋼材的严重不足就成为头等重要的政治任务。

今年7月1日我校球墨鑄鉄軌的試制成功，受到了中央領導同志的关怀和支持，給了我們巨大的动力和信心。以鉄代鋼，以鉄筋代鋼筋就成为我們全体工作同志的战斗任务。

我們這項研究工作是和我校土木系合作进行的。在工作中还得到北京市第三建筑工程公司和我校焊接教研組的大力支持。祖国的需要，党的关怀，共产主义的协作精神，工作同志敢想敢干的风格，保證了这项工作的順利进行。

二、球墨鑄鉄鉄筋代替鋼筋的可能性

1947年球墨鑄鉄的出現把几百年来对鋼和鑄鉄的用途的傳統看法打破了，球墨鑄鉄成功地用来代替鍛鋼軋輥、曲軸等重要零

件，但球墨鑄鐵還未得到應有的重視。把球墨鑄鐵經過壓延代替鋼材，很多科學研究工作⁽²⁾進行了這方面的工作，但由於壓延以後引起球狀石墨的碎化及拉長而沒有得到成功。把球墨鑄鐵直接用鑄造方法來製造鐵筋代替鋼筋的想法，是我校王遵明教授首先提出的。

作為鋼筋混凝土中的鋼筋，它的技術規格可以概括如下：

- (1) 保證一定斷面形狀及長度（6公尺到12公尺）；
- (2) $\sigma_b > 45$ 公斤/公厘²；
- (3) $\sigma_{0.2} > 25$ 公斤/公厘²；
- (4) $\delta > 14\%$ ；
- (5) 通過冷彎試驗。除此而外還要求和混凝土有相近的膨脹系數，足夠的粘着力；要求鋼筋的加工變形性和足夠的抗腐蝕性。

球墨鑄鐵具有和鋼接近的機械性能，以 B440—10 為例， $\sigma_b > 40$ 公斤/公厘²， $\sigma_{0.2} > 30$ 公斤/公厘²， $\delta > 10\%$ 。球墨鑄鐵的線膨脹系數等於 0.0000114 到 0.0000135⁽³⁾，和鋼及混凝土接近（鋼 0.000012，混凝土 0.000010 到 0.0000148⁽⁴⁾）。球墨鑄鐵的抗腐蝕性也和鋼相近⁽⁵⁾。退火後的球墨鑄鐵鐵筋表面粗糙，完全保證和混凝土有足夠的粘着力。

和鋼筋相比，球墨鑄鐵筋的成本低廉（鋼筋每噸500元左右，鐵筋每噸不到400元）；製造方法簡單，可以鑄出任意斷面形狀的定型鐵筋及變斷面鐵筋；投資亦少，鄉鄉縣縣可以組織生產，可以省去煉鋼，特別是要求較大功率的軋鋼設備，面積1000平方公尺的鑄工車間，不增加投資每年就可生產鐵筋3000噸。估計軋鋼設備嚴重不足的現象還將延續一個時期，因此“以鐵代鋼，以鑄代鍛”更具有迫切的國民經濟意義。

鐵筋代替鋼筋的主要問題在於：

- (1) 能否鑄出又長又細的鐵筋。

(2) 能否保證鐵筋具有足夠的延伸率，便於加工變形，以及保證鐵筋超荷載時避免“脆性破壞”。

- (3) 鐵筋的生產率問題。

反對派沒有動手試驗就斷言：矛盾克服不了，鋼筋代替不了。我們認為：“天下無難事，只怕有心人”，一切得通過實

踐。矛盾既然擺開，我們便滿懷信心地着手解決這些矛盾。

三、獲得球墨鑄鐵鐵筋的各種鑄造方法

用鑄造方法來製造鐵筋的領域是異常寬廣的。可以用離心鑄造的方法鑄造出螺旋形的鐵筋，經過熱處理後再把它拉直拉長

(圖1)。直徑400公厘、長600公厘的離心機就可鑄造出長6公尺的鐵筋。我們試驗過幾次，澆出了鐵筋，但由於離心機直徑太小，又沒有拉直設備，因而停止試驗。也可用離心鑄管機藉離

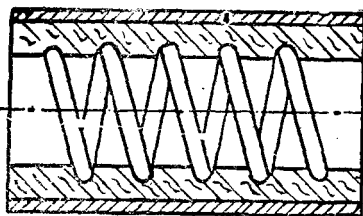


圖1 離心鑄造鐵筋方案一

心力的作用直接鑄出長6公尺的鐵筋(圖2)。我們在實驗室中試

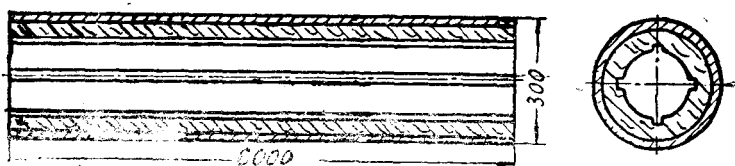


圖2 離心鑄造鐵筋方案二(單位:公厘)

制了長達1.8公尺的鐵筋，機械性能為 $\sigma_b = 30 \sim 40$ 公斤/公厘²， $\delta = 1.5 \sim 2\%$ (指退火後)，內表面有較厚的渣子。由於設備的限制，也停止了試驗。

用連續鑄造的方法製造鐵筋，其方案有三：

(1) 用定量底注包澆入以等速前進的6公尺長的小車的鑄型上(圖3)；

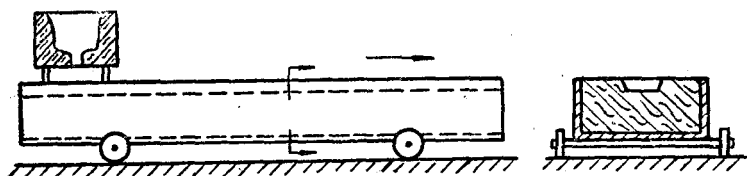


圖3 連續鑄造小車

(2) 用臥式連續澆注机鑄造 (圖 4) ;

(3) 用立式連續鑄造机來鑄造 (圖 5) 。

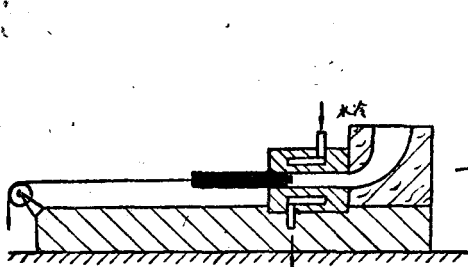


圖 4 臥式連續澆注机

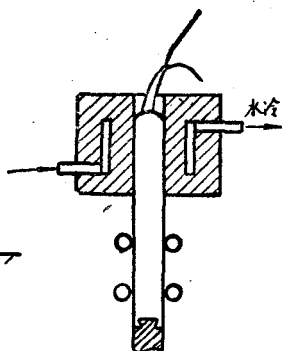


圖 5 立式連續鑄造机

方案 (1) 未經試驗，方案 (2) 沒有成功，方案 (3) 的結果較為滿意，可以鑄造出直徑 25 公厘及 40 公厘、長達 3 公尺的鉄筋 (長度因受實驗室房屋高度限制而不能再長)，其鑄造缺陷少，組織緻密，機械性能亦較為滿意 (連續鑄造鉄筋試驗總結見后)。

鑄造方法最簡單、設備投資最少、推廣最容易的是我們現在採用的用砂型鑄造的方法來制造球墨鑄鉄鉄筋，下面將詳述之。

四、球墨鑄鉄鉄筋砂型鑄造工藝

鑄出又細 (例如直徑 6 公厘) 又長 (例如 12 公尺) 的鉄筋在工藝上是有困難的。根據車間的具体条件和鉄筋混凝土試驗的要求，我們選擇了直徑為 12~14 公厘、長 1.8 公尺的鉄筋進行試驗。

採用車間原有的造型混合料，面砂經過混砂机混合及松砂机松砂，填充砂就地處理，但必須控制其水分及透氣率。其性能見表 1。

鉄筋用造型混合料の成分及性能

表 1

成分及性能 混合料名称	混合料組成				制备过程		混合料性能		
	旧砂	新砂	粘土	煤粉	干混	湿混	湿度	气率	湿压强度
面砂	68%	24%	5%	3%	<2分	分	6~7%	50	0.6 公斤/公分 ²
填砂	—	—	—	—	就地处理		—	—	—

注：水分应该在保証足够湿强度的条件下尽量少。

鑄造过程中主要报廢原因是澆不足、气孔及縮松。我們采用了多种方案进行試制。

第一方案：如图 6，两箱造型，一端澆入，采用湿型和干型，結果都因鉄筋澆不足、气孔、縮松及产生飞边而报廢。

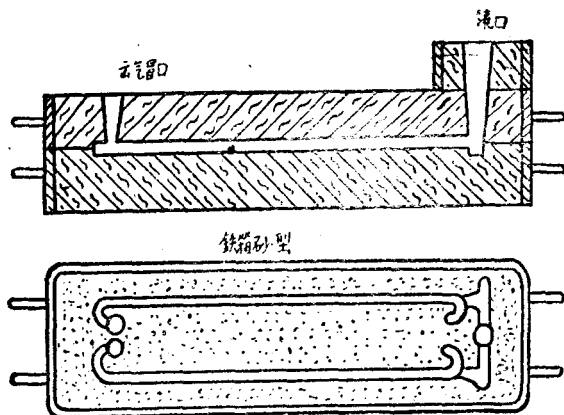


图 6 造型方案一

为了解决气孔問題，我們采用了第二方案(见图 7)：明澆，

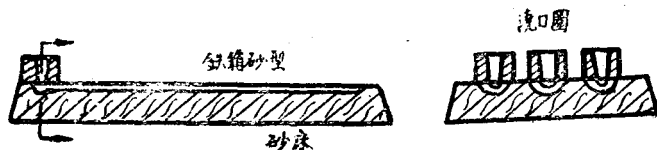


图 7 造型方案二

湿型，結果气孔基本消除，但产生严重飞边和澆不足，断面极不规则。

第三方案（图8）：为了消除飞边、澆不足、气孔，采用部分明澆，湿型，結果气孔基本消除，但飞边仍然严重，澆不足現象未解决。

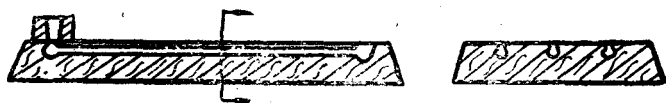


图8 造型方案三

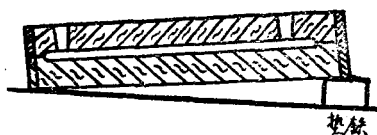


图9 造型方案四

第四方案（图9）：两箱造型，干型，傾斜一端澆入。但仍不能消除气孔、飞边和澆不足現象。

綜合以上試驗，我們認為：

1. 两箱造型工艺过程复杂，不能保证质量，在干型时又有较大飞边，因之放弃采用。为了保证断面规则及简化工艺过程。我們采用了一箱抽模造型（图10）。

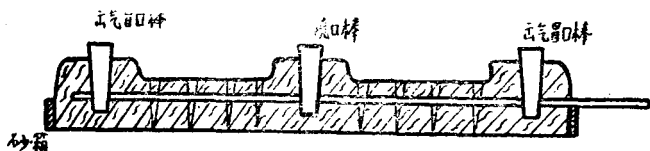


图10 一箱抽模造型方案

2. 澆不足現象主要是因为鉄水温度较低（常低于 1250°C ），由于冲天爐鼓风机的限制，鉄水温度又提不高，因之从一端澆入直径14公厘、长1.8公尺的鉄筋是有困难的，故决定采用中間澆入法。

3. 气孔主要是由型内气体造成。我們发现：如果采用明澆，鉄水流动性较好（如鉄水温度高些，采用高砂孕育），上箱矮，出气孔多，造型材料中水分少或采用干型，舂砂較松，型腔中气

体就更易排除（水平位置澆注，做出气冒口等），此时气孔就可以基本消除。故解决气孔問題，必須采取綜合措施。

4. 縮松是因为沒有补縮，而鑄态下出現白口使縮松更加严重。决定采用高矽孕育，这样就消除了鑄态下白口，从而使縮松現象大大改善；也增加了鉄水流动性，有利于气体自液体金屬中逸出和澆不足現象的消除。

采用了綜合性的措施后，便消除澆不足、飞边等現象，气孔也基本上消除。打断鉄筋用肉眼看其断面，也发现縮松現象基本消除。

我們还試制了直徑 8 公厘、10 公厘、12 公厘、16 公厘、19 公厘、22 公厘、28 公厘长度 1.8 公尺的鉄筋。仍采用上述方案（图 10），即采用一箱抽模造型，高矽孕育。直徑在 14 公厘以下的采用中間澆入（图 10），直徑大于 14 公厘的可采用一端澆入（图 11）。干型較湿型質量为高，由于烘型爐負荷率的原因，以及輕型已能滿足要求，故仍采用澆型。



图11 直徑大于14公厘的鉄筋鑄型装配图



图12 直徑19公厘，长度为6.4公尺的鉄筋鑄型装配图

A—澆口；B—出气冒口；C—砂箱；D—型腔

我們認為目前鉄筋的砂型鑄造工艺并不完善，鉄筋机械性能很低，必須进一步改善砂型鑄造工艺来提高鉄筋的机械性能和生产率。

我們還試制了更長的鉄筋，例如直徑19公厘、長度6.4公尺的鉄筋，其方法為三個澆口同時澆入鉄水（圖12），結果獲得了6.4公尺長、直徑19公厘的鉄筋。但由於鉄筋的接觸焊接問題已經解決，而且能夠保證焊接質量，因之更長鉄筋的鑄造問題沒有繼續進行研究。

五、球墨鑄鉄鉄筋的熔煉，球化處理，澆注及檢驗

熔化是在我校鑄工車間的1.5噸冲天爐中進行的。球化處理過程如下：

一次處理鉄水750~800公斤，先接鉄水500公斤，用鐘罩分兩批加入球化劑和孕育劑，每批加入球化劑後約閃光一分鐘左右。然後再加後補鉄水250~300公斤，在加這些鉄水的同時，在出鉄槽內沖入矽鉄，然後扒渣，倒入手抬包中以便澆注。

球化劑用純鎂，加入量約為鉄水的0.45~0.5%。用含矽75%的矽鉄做孕育劑，分三次加入。第一次和鐘罩一起壓入鉄水，加入量約為鉄水的0.15%；第二次在後補鉄水時從出鉄槽中沖入矽鉄，加入量為0.175%~0.20%；第三次在鉄水由大包轉手抬包（約40~50公斤）時加入，加入量為0.8~1.2%（視鉄筋的直徑而定）。清渣熔劑採用冰晶石（ Na_3AlF_6 ），加入量約為鉄水的0.20%，其中一半在出鉄前加入鉄水包中，一半在扒渣後加入。

出鉄溫度為1380~1400°C（光學高溫計讀數），球化處理後溫度下降至1250~1260°C，經過小包加入矽鉄後，澆注溫度一般低於1250°C，澆注速度應盡量快。

處理前及處理後分別取三角試樣及化學分析試樣，在爐前採用火苗鑑定法及三角試片看斷面來判斷球化情況，處理後還澆注作機械性能試驗用的基爾試樣。

球化處理前後的鉄水化成分列於表2。

球墨鑄鐵鐵筋的化學成分

表 2

化學成分	C	Si	Mn	P	S	Mg
經過的處理						
冲天爐出的鉄水	3.7~3.9	2.1~2.3	0.6~0.9	<0.10	<0.1	—
球化處理后	3.7~3.9	2.4~2.6	0.6~0.9	<0.10	<0.01~0.03	0.07~0.09
小包孕育處理后	—	3.0~3.2	—	—	—	0.07~0.09

鉄筋澆注清理后，为了确保鉄筋的質量，必須要有严格的檢驗規範。檢驗規範如下：

- 1) 外觀檢驗：鉄筋清理后檢驗其表面質量。
- 2) 宏觀檢驗：清理后取每批鉄筋中澆注溫度最低的一根（澆注溫度越低鑄造缺陷就越多）每隔 50~100 公厘予以逐段打斷，觀看斷面質量，檢驗縮松、特別是气孔等缺陷。
- 3) 敲击檢驗：將每根鉄筋放在墊鉄上用小鉄錘逐段敲打，若有不允許的鑄造缺陷，則一經敲打即会斷裂。

六、球墨鑄鐵鉄筋的熱處理

为了提高鉄筋的機械性能（特別是提高延伸率），为了消除鉄筋中的游离渗碳体，必須把鑄态鉄筋用高溫退火進行處理。

我們在 KO—11 電爐中進行鉄筋退火試驗，試樣采用低矽孕育的直徑為 12、14、22、24 公厘的鉄筋。試樣分成六組，試驗分成三批進行。第一批有三組，第二批有二組，第三批有一組，現將三批六組的退火規範分別列于圖 13、14 及 15 中。

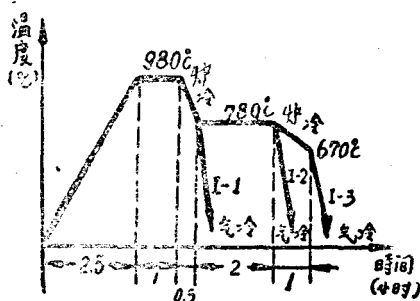


圖 13 退火規範 I

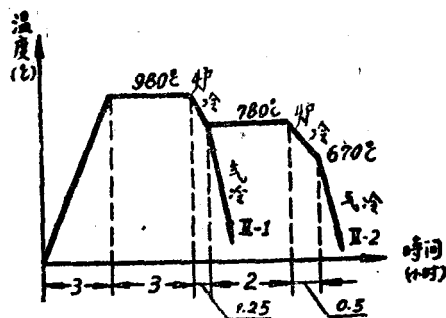


图14 退火规范 II

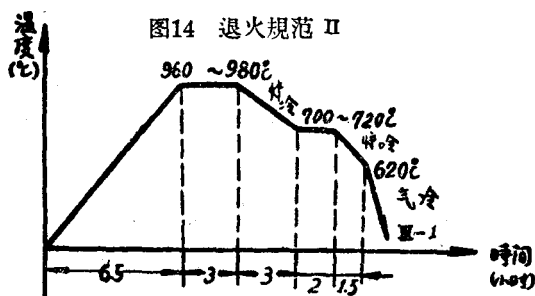


图15 退火规范 III

退火后的金相組織的变化列入表 3 中。

鉄筋按不同退火规范热处理后的金相組織的变化

表 3

試 样 編 号	鉄 筋 直 徑 (公厘)	基 体 金 相 組 織	
		退 火 前	退 火 后
I-1	φ24	70%Π+30%Π	20%α+80%Π
I-2	φ24	•	90%α+10%Π
I-2	φ12	•	50%α+50%Π
I-3	φ12	•	100%α
II-1	φ12	•	30%α
II-2	φ12	•	100%α
II-2	φ14	•	•
III-1	φ12	•	•
III-1	φ12	•	•
III-1	φ22	•	•

試驗結果說明，為了保證得到 100% 的鐵素體組織，必須要在 760°C 左右保溫 2 小時，再爐冷到 620°C ，然後再出爐在空氣中冷卻。

在實際工作中，為了操作方便，我們採用和 III-1 相近的退火規範(圖16)，退火便在車間退火爐中進行。

在退火前應該檢驗金相組織，看

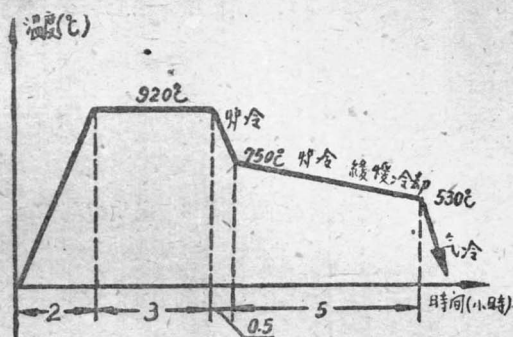


圖16 實際採用的退火規範

球化情況和游离的滲碳體之多少，以便調整在退火時高溫下的保溫時間。

在退火後檢查金相組織及做機械性能實驗。

七、球墨鑄鐵鐵筋的金相組織及機械性能

我們分別在低矽孕育及的、高矽孕育的鑄態鐵筋上取金相試樣，並看其金相組織(見圖17、18)。由照片中可以看出低矽孕育的鐵筋在鑄態下為珠光體和碳體加球狀石墨；而高矽孕育的鐵筋，在鑄態下為鐵素體和珠光體加球狀石墨。

熱處理以後，金相組織為 100 % 鐵素體加球狀石墨(圖19)。

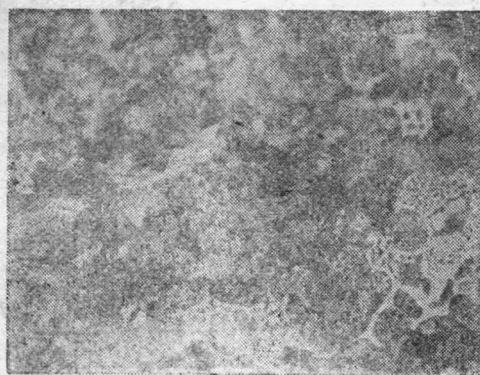


圖17 低矽孕育鐵筋鑄態×250

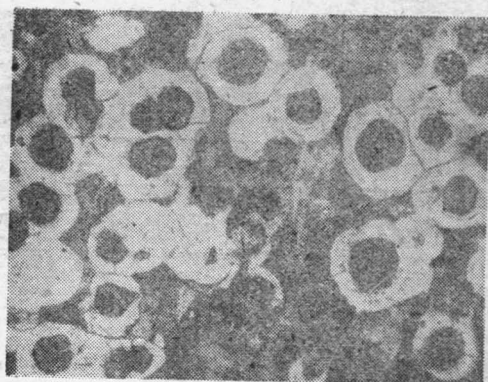


图18 高矽孕育鉄筋鑄态×250

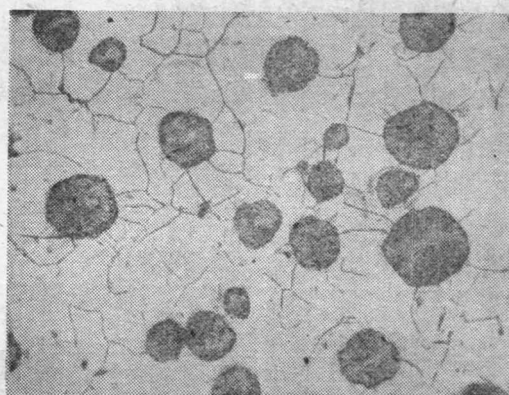


图19 退火后×250

鉄筋热处理前后的金相組織列在表4。

鉄筋退火前后的金相組織

表4

試 样 特 征	基 体 金 相 組 織	
	熱 处 理 前	熱 处 理 后
低矽孕育	70%Π+30%Π	100%α
高矽孕育	60%Π+40%α	

球墨鑄鉄鉄筋的性能是決定鉄筋能否代替鋼筋的重要關鍵。我們分別做了鉄筋試样(对鉄筋不做任何加工)和鉄筋澆注前所取的

基尔试样来测定鉄筋的机械性能,所测得的机械性能列在表5中。

球墨鑄鉄筋的机械性能

表 5 *

试样名称	金相組織	機 械 性 能			
		σ_b 公斤/公厘 ²	$\delta\%$	彈性系数 公斤/公分 ²	抗压强度 公斤/公分 ²
基尔试样	100% α +球状石墨	49.7	18.8	—	—
用鉄筋本身作试样	100% α +球状石墨	30—40 最高達48	1—3 最高達3.8	1.1×10^6	20000

由表 5 中可見球墨鑄鉄筋的机械性能特别是延伸率仍然很低,一般 $\sigma = 30 \sim 40$ 公斤/公厘², $\delta = 1 \sim 3\%$ 。筋性能較球墨鑄鉄本身的性能为差的原因是: (1) 外表面退火以后异常粗糙,严重的影响了应力集中; (2) 鉄筋沒法补縮,組織不緻密。

我們还把直径 19 公厘的鉄筋分別加工到直径 6.8、10、9、8.9、11.4 公厘进行机械性能試驗,結果列于表 6。由表 6 中可以看出,鉄筋的外表面粗糙严重地降低了鉄筋的强度和延伸率。为了提鉄筋的机械性能,必須从改善鑄造工艺着手。

表面車过后的鉄筋的机械性能

表 6

編 号	1	2	3	4	5
直 徑 (公厘)	6.8	10	9	8.9	11.4
σ_b (公斤/公厘 ²)	51.3	39.0	39.6	46.5	41.0
$\delta (\%)$	—	—	—	—	8.5

鉄筋的延伸率既然較低,反对派就断言鉄筋混凝土必然“脆性破坏”。但我們仍满怀信心地进行鉄筋混凝土构件的使用試驗。我們从經過使用試驗(見第八节)的大型屋面板中取出鉄筋再做机械性能試驗,結果列在表 7 中。試驗結果与反对派預料的相反,即延伸率較低的鉄筋完全可以用来代替鋼筋,同时也証明了我们观点的正确性:即鉄筋的延伸率只要能够保証大于混凝土

的延伸率及保証混凝土破坏时鉄筋的相应变形即可。

自大型屋面板取出的鉄筋的机械性能

表 7

編 号	3001—1	3001—2	3001—3	3001—4	3001—5
机械性能					
σ_b (公斤/公厘 ²)	34	31	35.8	33.6	37.6
δ (%)	2.1	1.3	2.6	0.6	1.7

八、球墨鑄鉄鉄筋的焊接

近代鋼筋混凝土結構要求构件的长度是 6 公尺的倍数，用砂型鑄造又細又长的鉄筋目前尚有困难。我們在試驗中找到了另一解决鉄筋长度的途徑——用閃光对焊的方法。

对球墨鑄鉄的焊接問題研究得不多。用气焊或电弧焊时往往在焊縫处生成脆硬的滲碳体和馬氏体組織。为此要采用高鎳合金鋼或高鎳合金鑄鉄焊条或是高鎳球墨鑄鉄焊条⁽³⁾。但是用閃光对焊不仅在焊縫上沒有白口和气孔，而且也保存了球状石墨（見图 20、21）。

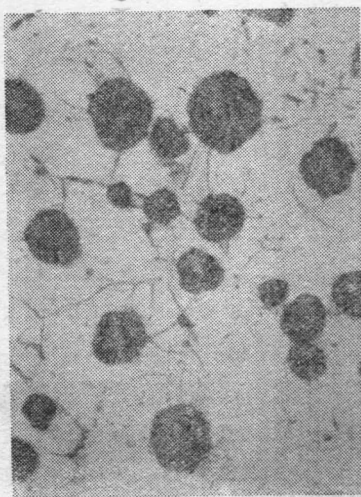


图20 鉄素体球墨鑄鉄母材的金相組織×160

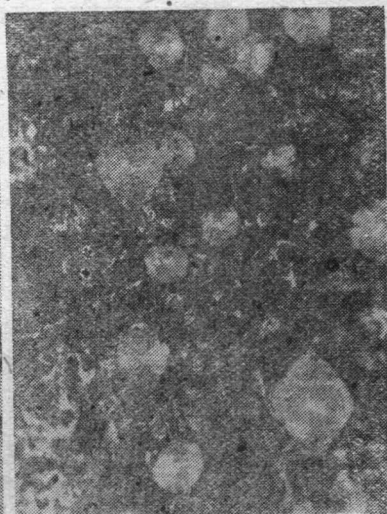


图21 鉄素体球墨鑄鉄在焊縫处的金相組織×160（基体为細珠光体，石墨在压力作用下有变形）