

Table 6. Sand mark's number at standard area of 75 mm  $\phi$  bearing steel rod and its chemical composition.

Charge No.	Chemical composition							Inspected dia (mm)	Position	No. of sand marks			
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu			mm 0.1~0.4	mm 0.5~0.9	mm 1.0~1.9	mm >2.0
FF 235	0.98	0.29	0.39	0.016	0.014	1.41	0.35	70 $\phi$	T	6.4	2.2	18.3	9.6
									M	7.1	1.3	10.1	1.3
									B	10.3	0.6	14.1	3.0

Table 7. Sand mark's number, at standard area, of extruded 38 mm  $\phi$  rod, which ingot position is middle.

Inspected diameter	No. of sand marks			
	0.1~0.4 mm	0.5~0.9 mm	1.0~1.9 mm	>2.0 mm
(D-1) = 37 mm $\phi$	0.8	0.8	3.7	11.4
(D-2) = 36	15.4	5.0	5.0	19.2
(D-3) = 35	17.5	2.1	3.9	7.3

## 鋼塊の縦割れに関する考察\*

高梨省吾\*\*・岩村貞光\*\*

### SOME CONSIDERATIONS ON THE LONGITUDINAL CRACK OF INGOTS

*Shogo Takanashi and Sadamitsu Iwamura*

#### Synopsis:

Observing the longitudinal cracks occurred in the killed ingots, the authors find two different types in their appearance and character, in accordance with the carbon content and the size of the ingot.

One of them appears mainly in the round ingot of its carbon content below 0.18%, which is thought to result from the peritectic reaction in the steel, and the other is found in the square-shaped ingot for forging, carbon content more than 0.30%, which is believed to be caused by the heat stress and various stresses attended by the transformation from  $\gamma$  to  $\alpha$  iron.

To protect ingots from the longitudinal cracks, therefore, the authors have to take the suitable methods to meet the situation based on each different cause.

#### I. 緒 言

キルド鋼塊の製造に際しては、鋼塊の表面に縦割れ、横割れ、吊切れ、カブサリ、スプラッシュ等種々様々な欠陥が発生するが、そのなかでも特に縦割れは鋼塊の本体の中央部に発生し、これが発生した場合にはこの疵の除去に非常に大きな時間と経費を要するばかりでなく、致命的な欠陥となつて廃却せざるをえないような場合もしばしばである。

この縦割れは樹枝状晶の発達と関連を持つている注型温度、注型速度<sup>1)2)</sup>によつて左右せられることは勿論、さらに樹間部の組織を脆化せしめる非金属介在物の量お

よびその析出状態<sup>3)</sup>、またそれらの析出状態に影響をおよぼす Al の使用量<sup>4)</sup>、ガス特に H<sub>2</sub> ガスの含有量、冷却時の熱応力および変態応力<sup>5)</sup>、インゴットケースの内面状況など非常に多くの因子によつて左右せられることは、すでに多くの人々によつて研究せられた通りである。然しこの鋼塊に発生する縦割れも詳細に検討すると鋼種特に C 含有量と鋼塊の形状、大きさによつて割れの発生状況および発生した割れの性状に明らかに異つた 2 つの類型がある。すなわち C 含有量が 0.18% 以下の丸

\* 昭和 32 年 10 月本会講演大会にて発表

\*\* 関東製鋼、渋川工場

型鋼塊に主として発生する包晶反応に起因すると考えられるものと、C含有量が0.30%以上の鍛造用角型鋼塊に主として現われる熱応力および $\gamma$ から $\alpha$ への変態に伴う諸応力に起因すると考えられるものとの2種類である。

この問題について過去8カ月間のデータを、鋼種別鋼塊の型状別に調査して発生原因に対する考察を行った。

## II. 調査方法

この調査の対象とした鋼塊は、昭和31年8月以降、昭和32年3月までの間に、一定の作業標準に従って塩基性電弧炉にて熔製し、タンディシシュ使用の上注法で鑄込んだ、機械構造用炭素鋼、Ni-Cr鋼、Cr-Mo鋼の鋼塊でそれらの化学成分はTable 1に示す通りで、いずれも結晶粒度調整鋼である。鋼塊の型状および大きさはTable 2に示す通りである。

270 kg丸型鋼塊については鋼種別に縦割れ発生率を調査し、さらにS15C、S25CについてはC含有量と縦割れ発生率の関係を調査した。

650 kg以上の鍛造用角型鋼塊については、熱塊処理や鋼塊徐冷の関係上、鋼塊での疵の検査が充分に行いえないために鑄込み後鍛造の中間ビレットになるまでの間に縦割れによつて廃却せられた量を鋼種別に調査した。同一鋼種でも型別によつて縦割れ発生率にある程度差はあると考えられるが、溶製量が比較的少く、縦割れ発生率

も非常に小なるため型別の差異を検討するにいたらず、一応総括して考えた。

## III. 調査結果

### (1) 縦割れ発生状況

270 kg丸型鋼塊の鋼種別縦割れ発生率はFig. 1に示した通りである。炭素鋼においてはS15Cに非常に多く現われ、S25Cになると急に低下し、S35C以上はほ

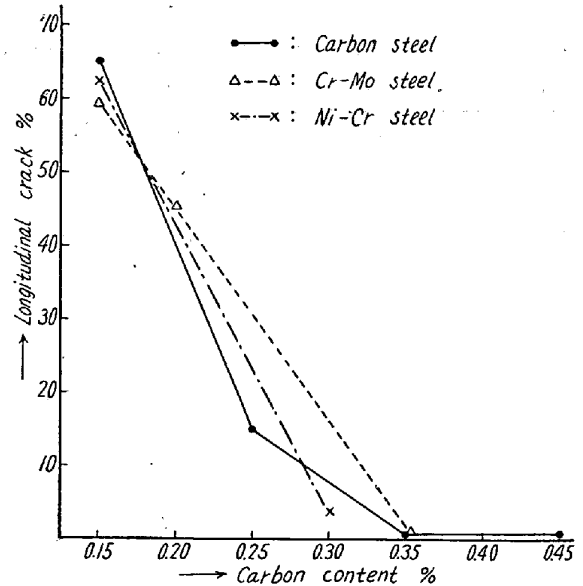


Fig. 1. Influence of the carbon content on the longitudinal crack of 270 kg round ingots.

Table 1. Chemical composition.

		C%	Si%	Mn%	Ni%	Cr%	Mo%
Carbon steel	S 15 C	0.10~0.20	0.15~0.35	0.30~0.60	—	—	—
	S 25 C	0.20~0.30	0.15~0.35	0.30~0.60	—	—	—
	S 35 C	0.30~0.40	0.15~0.35	0.40~0.80	—	—	—
	S 45 C	0.40~0.50	0.15~0.35	0.40~0.80	—	—	—
	S 55 C	0.50~0.60	0.15~0.35	0.40~0.80	—	—	—
Cr-Mo steel	S CM 21	0.13~0.18	0.15~0.35	0.60~0.85	—	0.90~1.20	0.15~0.35
	S CM 22	0.18~0.23	0.15~0.35	0.60~0.85	—	0.90~1.20	0.15~0.35
	S CM 3	0.33~0.38	0.15~0.35	0.60~0.85	—	0.90~1.20	0.15~0.35
Ni-Cr steel	S NC 21	0.12~0.18	0.15~0.35	0.35~0.65	2.00~2.50	0.20~0.50	—
	S NC 22	0.12~0.18	0.15~0.35	0.35~0.65	3.00~3.50	0.70~1.00	—
	S NC 2	0.27~0.35	0.15~0.35	0.35~0.65	2.50~3.00	0.60~1.00	—

Table 2. The shape of ingot.

Ingot	Wt. of ingot (kg)	The shape of cross section	Top diameter of ingot (mm)	Bottom diameter of ingot (mm)	Height of ingot (mm)
270 kg	270	Ronnd	240	190	900
650 kg	690	Square	345	270	820
1000 kg	1000	Square	400	310	890
1200 kg	1450	Dodecagonal	480	390	1050
2000 kg	2000	Octagonal	520	430	1150

とんど現われていない。Cr-Mo 鋼, Ni-Cr 鋼についても同じようにC含有量の低い肌焼系のものに主として現われC含有量が 0.30% 以上になると非常に少なくなっている。

割れ発生率の多い S15C, S25C についてC含有量別に縦割れ発生率をプロットすれば Fig. 2 のようになる。すなわちC含有量が 0.18% まではC含有量の増加に比例してわずかではあるが増加し, 0.18% を越すと急に減少するような傾向を持つている。同じC含有量でもチャージによつて縦割れ発生率にかなり大きなバラツキを示している。この変動の要因として考えられる注型温度と縦割れ発生率との関係をC含有量が 0.17% の炭

素鋼および Cr-Mo 鋼について示すと Fig. 3 の通りで注型温度はそれほど大きな要因となつてはいない。

この縦割れ発生率の変動に非常に大きく影響をおよぼす要因は鋼塊の表面状況である。鋼塊の表面状況はインゴットケースの使用回数と密接な関連性を持つている。新しいインゴットケースを使用した場合は Photo. 1 の左のような平滑な表面状況を呈し, このような場合に割れの発生することが多く, インゴットケースの使用回数が 30 回以上になると Photo. 1 の右側に示すような凸凹に富んだ表面状況を呈し, この場合は割れの発生がかなり防止される。

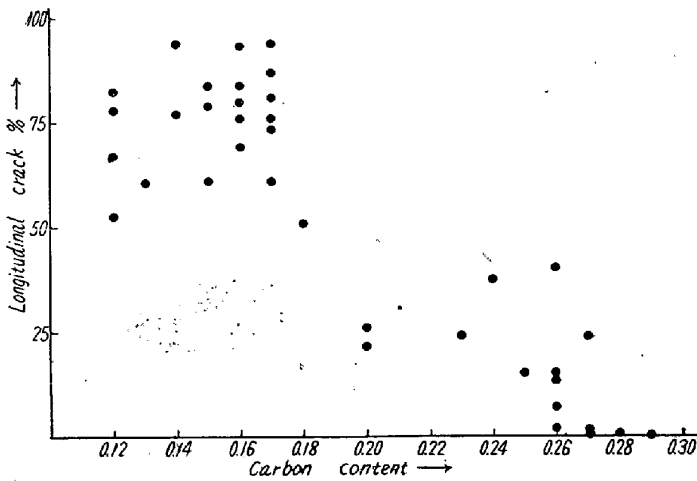


Fig. 2. Relation between carbon content and longitudinal cracks of 270 kg round ingots. (C% : 0.10~0.30)

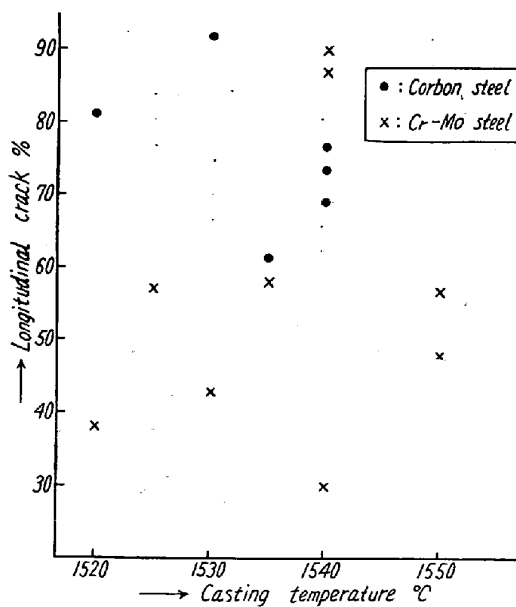


Fig. 3. Relation between longitudinal cracks and casting temperature of 270 kg round ingots. (C% : 0.17%)

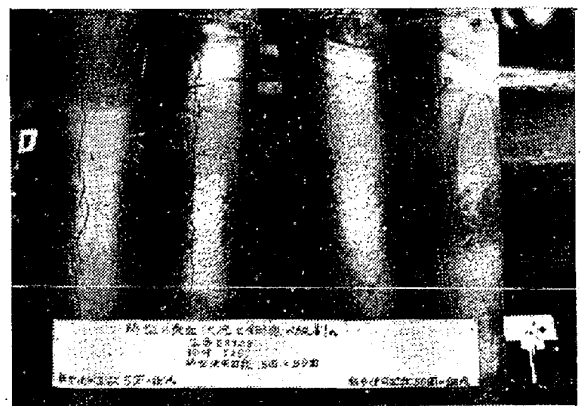


Photo. 1. Surface condition of 270 kg round ingots and longitudinal cracks.

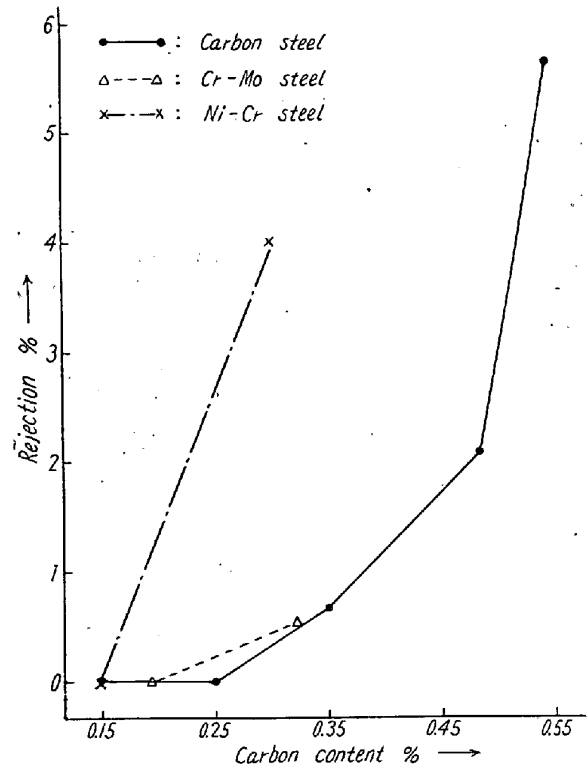
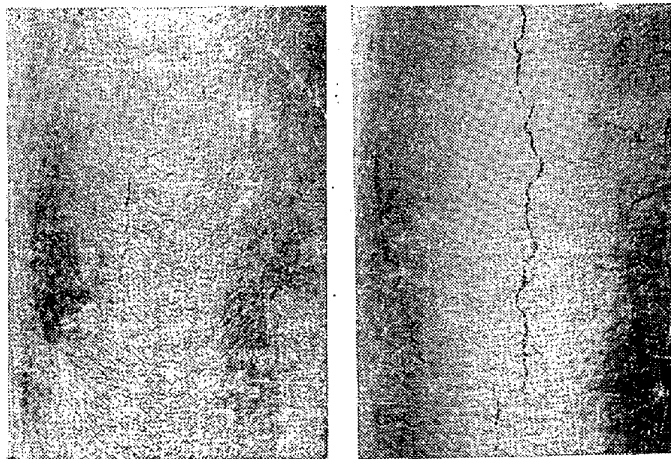


Fig. 4. Influence of the carbon content on the rejection of forged billets due to the longitudinal cracks of large ingot.

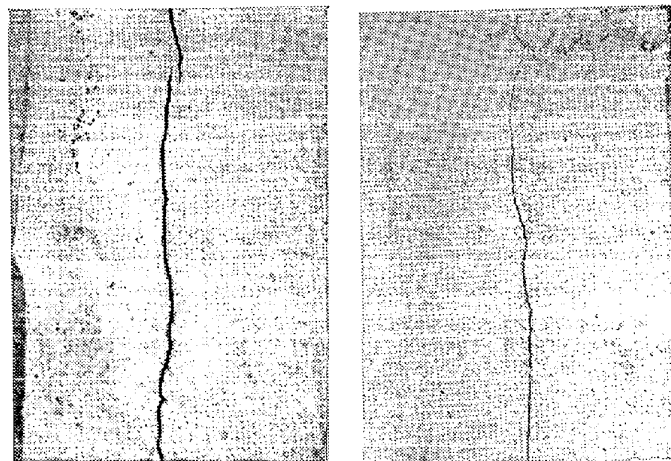
650 kg 以上の鍛造用角型鋼塊の鍛造の中間ピレットまでの廃却率は Fig. 4 に示す通りである。C 含有量の低い肌焼系のものについてはまったく発生しないで、C 含有量が 0.25% を越えると発生し、C 含有量の増大とともに発生率は増大する。炭素鋼、Cr-Mo 鋼に比して Ni-Cr 鋼は発生率におよぼす C 含有量の影響が大きく現われている。

(2) 発生した割れの性状

270 kg 丸型鋼塊に発生する割れと 650 kg 以上の鍛造用角型鋼塊に発生する割れとの間には、その性状に非常に大きな差がある。前者の場合は Photo. 2 (a), (b) に見られるように発生した割れは断続しており、その割れの部分がわずかではあるが変形して凹んでいるような傾向を持っている。また割れの深さも非常に浅く、深い場合においても 10mm 以上におよぶようなことはほとんどない。



(a) C% : 0.12 (b) C% : 0.17  
Photo. 2. Longitudinal cracks of 270 kg round ingots.



(a) SNC-2 (b) SNC-2  
Photo. 3. Longitudinal cracks of forged billets.

これに対して後者の場合は Photo. 3 (a), (b) に示

したごとく割れは直線的で割れの深さも非常に深く、ほとんど中心部に達するほどの深さを持っている。

V. 考 察

270 kg 丸型鋼塊に発生する割れはその性状からいつて凝固初期のある程度変形可能な高温のところで発生し、C 含有量が 0.18% を越すとともに急激に発生率が減少している点から考えて、この割れは鉄-炭素系状態図における包晶反応に起因するものと考えられる。

Fig. 5 において C 含有量が BC 間のものについては先ず a 点において  $\delta$  が析出を始め、b 点に達するまでは  $\delta$  と L が共存する。b 点に達すると同時に ( $\delta + L$ ) は ( $\delta + \gamma$ ) の 2 固相の共存に急変する。この場合生成する  $\gamma$  の量に応じた体積の収縮が行われる。この変態による収縮は鋼塊の凝固した外殻部にて最初にするが、丸型の場合には表面積の小なるためにこの収縮に十分にたずる事が出来ず、もつとも弱い部分に割れを発生するにいたる。新しいインゴットケースを使用した表面の平滑な鋼塊に割れの発生が多いのも、この体積変化に応じた収縮が凸凹の多い鋼塊よりも困難であることに起因すると考えられる。この変態の場合には C 含有量が c 点に近付くほど体積変化は大となり、そのために割れの発生率は高くなるであろうことは Fig. 3 に示す通りである。つぎに C 含有量が 0.18% を越すとともに急激に発生率の低下を見ることは、Fig. 5 の CD 間の場合には先ず c 点において  $\delta$  が析出し、d 点に達するまでは  $\delta$  と L が共存することは BC 間の場合と同じであるが、d 点に達した際 ( $\delta + L$ ) は ( $\gamma + L$ ) に急変する。 $\delta$  から

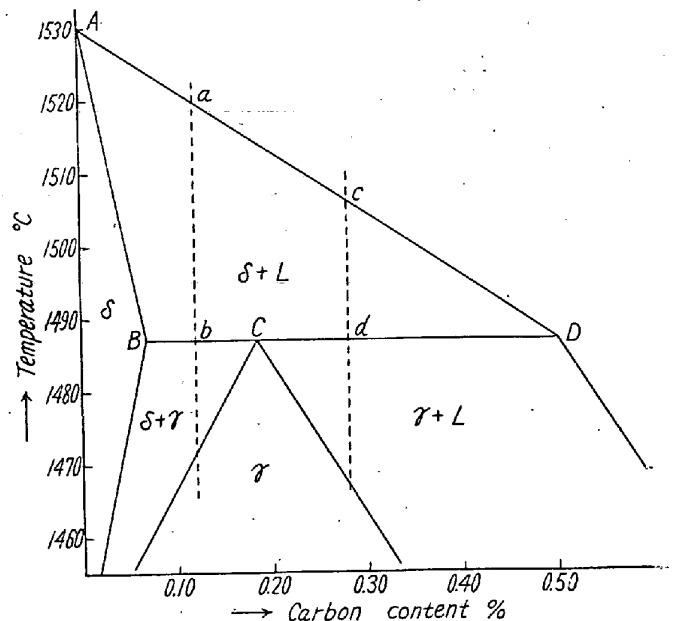


Fig. 5. Fe-C Diagram.

$\gamma$  への変態にともなう体積の収縮は行われるのであるが、この場合は共存するものが液相であつたために、これが緩衝帯となつて割れにまで発達しないと考えられる。これに対して鍛造用角型鋼塊にこの種の割れの発生を見ないのは、角型であるために変態の際の体積変化に応じた収縮が丸型に比して容易なためであると考えられる。

他方鍛造用角型鋼塊に発生する縦割れは、その割れの性状から判断して、かなり温度が低下して組織が rigid なものになつてから発生したものと考えられる。しかもこの縦割れによる廃却率は C 含有量が高くなるに従つて高くなり、これに対してこの C 含有量の範囲の 270 kg 丸型鋼塊にはこの割れは発生していない。また Ni-Cr 鋼が炭素鋼に比して割れの発生率におよぼす C 含有量の影響が大であることなどから考えて、この割れは冷却速度、冷却方法による鋼塊各部の温度差に起因する熱応力に  $\gamma$  から  $\alpha$  への変態にともなう種々の応力、すなわち体積変化による応力、 $H_2$  ガスの溶解度の差に起因する応力などが加重せられて鋼塊の破断応力を越えた場合に割れにまで発達するものと考えられる。

この鍛造用角型鋼塊に発生する割れに関しては Irvine & Pickering 両氏が Ferrite Network 説<sup>6)</sup>で説明している。すなわち割れた面の酸化状態からこの割れは 700°C 以下の低温で発生し、C 含有量が 0.4% から 0.6% のものが割れに対して最も弱い Ferrite の Network を形成するので割れ易く、Ni-Cr 鋼のごとき合金鋼においては合金元素によつて共晶点が低 C 側に移行するために C 含有量の低いところで割れが発生すると説明している。このことは当社で調査した結果と実によく一致している。

## V. 結 言

270 kg 丸型鋼塊に発生する縦割れと、鍛造用角型鋼塊に発生する縦割れとはまったく異つた時期に、異つた原

因によつて発生する。前者は包晶反応による  $\delta$  から  $\gamma$  への変態に起因し、後者は  $\gamma$  から  $\alpha$  への変態に起因する。それゆゑ鋼塊の縦割れに対してはそれぞれの原因別に異つた考え方で対策をたてるべきである。

当社においては鍛造用角型鋼塊については C 含有量が 0.25% 以上のものについては鍛造工程の許すかぎり熱塊処理により  $\gamma \rightarrow \alpha$  の変態を起させないでピレットまで加工し、常温まで冷却せざるをえない場合には必ず軽石徐冷により変態点通過の際の熱応力および変態応力を軽減せしめる方法を採用して以来、鍛造品の縦割れ発生はほとんど皆無の状況である。

270 kg 丸型鋼塊に発生する縦割れについては 270 kg 角型のインゴットケースを試作して試験した結果、C 含有量が 0.18% 以下で丸型鋼塊の縦割れ率の非常に高い鋼種の場合にも角型鋼塊にはまったく縦割れの発生を見なかつた。

終りに臨み本調査の遂行にあたり多大の助言と援助をたまわつた三善富弥次長、大沢秀雄研究員、ならびに製鋼課関係各位に感謝するしだいである。

(昭和 33 年 3 月寄稿)

## 文 献

- 1) L. M. Mackenzie, A. Donald: J. of Iron & Steel Inst. 166 (1950) 19
- 2) J. A. Warchal: Blast Furnace and Steel Plant. 38-2 (1950) 221
- 3) R. L. Stephenson: Blast Furnace and Steel Plant. 36-4 (1948) 457
- 4) S. L. Case, K. R. Van Horn: Aluminum in Iron and Steel (1953) 63
- 5) 吉田恵: 電気製鋼, 33-2 (1952) 69
- 6) Irvine, Pickering: Iron and Steel. 30-6 (1957) 219