

差は表面部の冷却状況から推定して約 150°C 位である。鑄鋼の収縮率が A<sub>1</sub> 変態点以上で特に大きくかつその抗張力が極めて小さい。(0.8% C のものが 1,000°C において抗張力は約 5 kg/mm<sup>2</sup> と称せられる<sup>5)</sup>。) から特にこうした高温亀裂を生じ易いわけであろう。

ところがこの胴部とネック部との温度差は時間の経過とともに小さくなるので、この内部亀裂は温度差の大きい凝固直後に発生するであろうことは既知の通りである。

(6) ロール内部における硬度の分布は、局所的な成分の偏析等によつて各ロールにつき一定の傾向は示されないが、鑄造時の温度分布および成分の一般的な偏析傾向から考えてみると一般に高さ方向では上方に進むに従つて硬くなり直径方向では表面の外殻層および中心部が硬くなると考えて差支えないようである。

なおこれ等の偏析による硬度の影響はロールを熱処理した後においてもなお残つているのである。

(7) 各ロールの C 含有量、B ロールの S および Cr の偏析結果より、総体的に言えば C は出鋼時の取鍋分析値より総体に高く現われ、S および Cr は偏析部以外は大差は認められない。

各成分につき全般的傾向としては高さ方向では上方に

進むに従い高くなりかつその程度は中心線程大である。また直径方向においてはその成分により若干の差はあるが大体表面部、中心部および中間部の順に低くなつていく。これらはいずれも注入後凝固に至るまでの冷却条件に支配され必然的に発生した現象である。

(8) 従つて A ロールのごとく鑄造法により温度勾配を是正し、かつ全般に冷却速度を早くしたものは他のロールに比しその偏析が少いことは何人といえども疑う余地のないことであろう。

以上第 1 報としてこれ迄の調査結果を述べたが第 2 報においては更に進んで前記各種のロールによる偏析の特異性および各種元素の偏析量の差異並びに方向性に関する鑄鋼ロールの特性等を定量的かつ系統的に詳らかにしたいと思う。(未完) (昭和 30 年 8 月寄稿)

#### 文 献

- 1) Henry D. Hibbed: Iron and Steel Inst., 1 (1928)
- 2) S. W. Poole: Metal Progress, 45 (1944) 692
- 3) J. M. Dugan and G. D. Griffiths: Iron and Steel Eng., Jan., (1945) 44
- 4) John B. Caine: Foundry, June, (1953)
- 5) 日本鉄鋼協会編, 鉄鋼要覧, 68

## 特殊鑄鋼ロールの偏析について (II)\*

北 島 哲 男\*\*・吉 田 明\*\*

### THE SEGREGATION OF THE SPECIAL STEEL ROLL (II)

Tetsuo Kitashima, Akira Yoshida

#### Synopsis:

Refer to the first report, p. 403 of this issue.

#### (9) 各ロールの偏析比較

さて次にロール別の偏析状態を方向別に従つて比較すれば次のようである。

##### ① 高さ方向における偏析比較

##### イ) C および Si の比較

各ロールの C および Si の中心線上における高さ方向の偏析状態は Fig. 16 のごとく、取鍋分析の C 含有量の高い順に従つて A, B, C の順に右側に並び、その偏析量は A, B ロールはほぼ同様で C ロールが高いことは Fig. 14 および 15 の通りである。Si については C ロールが特に亀裂部の上方から急激に増加しているが、A, B ロールはいずれも同様な傾向を示している。

ロ) Mn および P の比較

次に各ロールの同じく中心線上における Mn および P の偏析状態は Fig. 17 のごとく、Mn は余り偏析の變動を示さない。概ね 0.05~0.1% 程度の変化で取鍋分

\* 昭和 29 年 10 月本会講演大会にて講演

\*\* 八幡製鉄所工作部

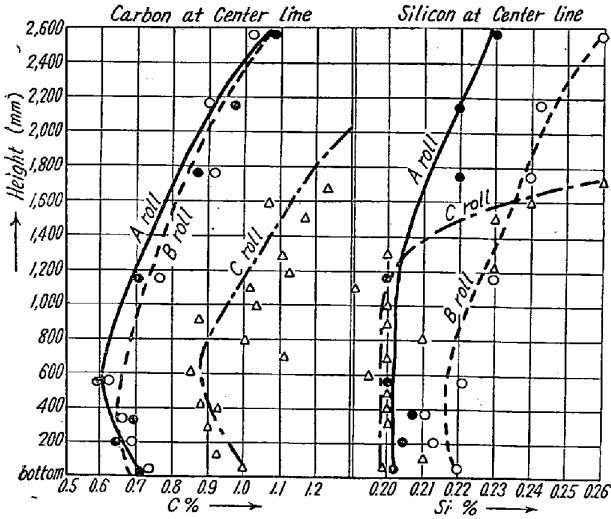


Fig. 16. Comparison of segregation of A, B and C roll in the longitudinal section.

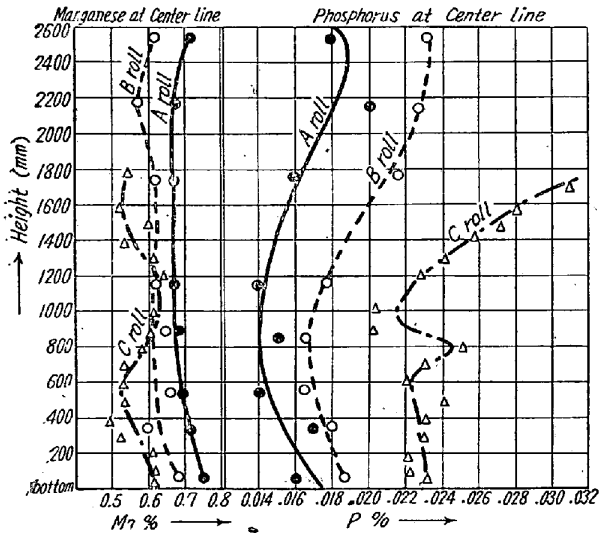


Fig. 17. Comparison of segregation of A, B and C roll in the longitudinal section.

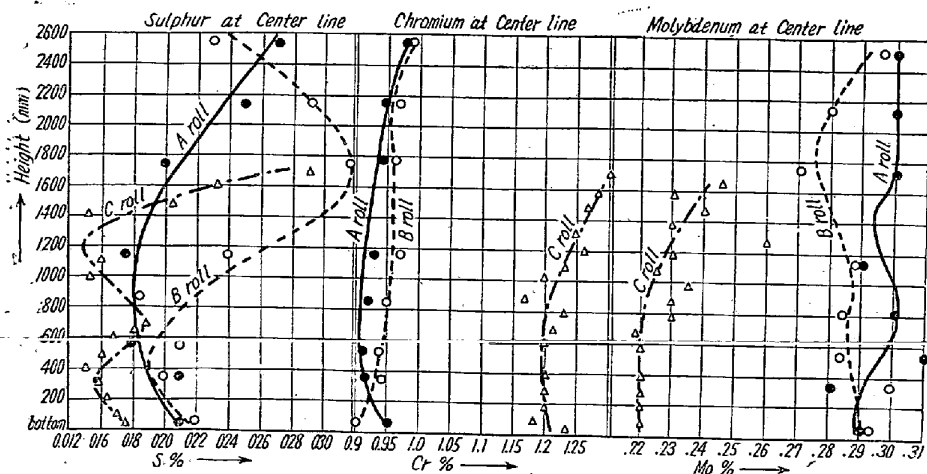


Fig. 18. Comparison of segregation of A, B and C roll in the longitudinal section.

析 0.69% のものが 0.68~0.75% の分析値を示している。しかしCロールの Mn は Si の場合より更に 600~800mm の亀裂部において特に高低の激しい山をなしていることが注目される。

PはCに次いで大きな偏析を示し取鍋分析の 50% の範囲の変化がある。また、A、Bロール(強いて言えば A、Bの順)とCロールとでは相当の差が見られるが特にCロールは Mn の場合と同様亀裂部において更に激しい局部的偏析を示している。

ハ) S, Cr および Mo の比較

Fig. 18 の S の偏析は最も特色のあるもので、いずれも大きな偏析を示している。特に問題のCロールについては一種の二重偏析を示しており、やはり高さ600~800 mmの熱間亀裂部の位置に第一の最大偏析を現わし押湯部以上では更に急激な増加となつて第二の極大値を示すに至る。

Bロールも原則的にはこれと同じ傾向をたどっているが、二重偏析がないし、また押湯が十分に効いているのでかえつて押湯上部で含有量の低下を示しているというように考えられる。

その点Aロールは最も理想的といえる形で、取鍋分析  $S=0.026\%$  に対し偏析差も最大  $0.018\%$  程度でCロールの取鍋分析  $0.019\%$  に対する最大偏析差  $0.030\%$  に比較して極めて勝れていることが認められる。しかし、いずれにしても普通鑄造法のもものは偏析の結果、その含有量が取鍋分析の2倍以上に達するものがあるということは鋼塊におけると全く同様であるが、鑄鋼品は次の段階において鍛造または圧延等の処置は施しようがないからこの偏析はそのまま鑄鋼品内部に永久に残置されるわけで、いわばこれは宿命的といえる大きな問題点である。

従つてこの種欠陥の防止ということは他方熱処理方法の改善とともに特に注意を払わねばならないわけである。

なお以上の結果はいずれもロールの高さ方向に対する中心線上の各位置の偏析であるから、今かりにCロールをとつて各線上における結果をそれぞれ比較してみる必要がある。

ところが Fig. 19 のごとく表面線および中間線の各位置における偏析は比較的小さい。これはすなわち中心線上に上部押湯下から下部亀裂

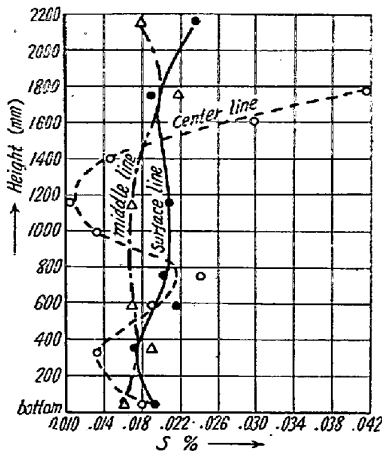


Fig. 19. Segregation of sulphur of C roll in the longitudinal section.

取鍋成分の 10% 程度の偏析で、Cr に比し若干多いという程度であつて意に介するに及ばないと思われる。すなわち特殊元素の偏析は鋼塊におけると同様他元素に比して非常に少ないことが判明した。

② 直径方向における偏析比較

次に各ロールの横断面における直径方向の偏析比較をいずれもその代表的な胴中段の各成分の分析結果により調べてみると、その位置が各ロールともV偏析底部よりいずれも上部の位置におけるものであるから、直径方向においては高さ方向に比して余り大きな成分差がない。

すなわち

イ) CおよびSiの偏析

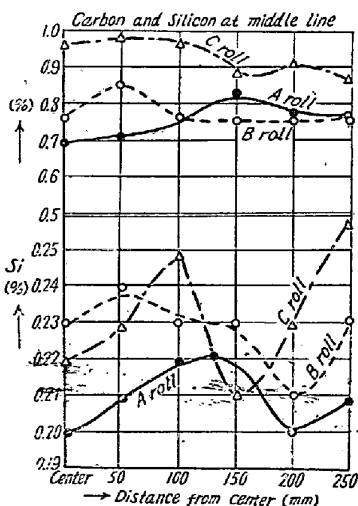


Fig. 20. Comparison of segregation of A, B and C roll in the transverse section

高さ方向の場合に比すれば概して少ない。

ロ) MnおよびPの偏析

部に至るまでのコースの偏析が現われるから、従つてこの特異性ある顕著な結果がここに現われるわけである。Crは取鍋分析値(0.93および1.26%)によつて横軸上の位置が異なることを示すに止まり、偏析は予想に反して少ないことがわかつた。

MnもCr同様で各ロールのCおよびSiの直径方向の胴中段における偏析はFig. 20に示すように、Cの偏析は0.1~0.2%程度であつた。Siは概して中心より100~150mmの位置においてその分析値は高目となつており特にCロールはそこで激しい上下の変化を示している。すなわち、0.21% (min)~0.25% (max)でその成分差は約0.04%であるが

同様胴中段におけるMn, Pの偏析状態はFig. 21のようにMnについてもC, Siと同様分析値の変化は余り多く見られないが、これもSiの偏析位置と同じところにおいては若干高目になつている。

Pは明らかに上記の各元素のもつとも偏析し易かつた中間位置においてその偏析が特に多いことを物語つており、これはA偏析の延長(ゴースト線)と交叉したところに出たものと思われ、その点Cロールは特に大きい。かつまたCロールはその押湯下を通るところの胴上段の偏析が更に大きいから、その成分差としての偏析量は他のいずれの成分とも異なり、特にPだけは高さ方向より直径方向の方が大きいという結果になつている。

ハ) S, CrおよびMoの偏析

Fig. 22で見られるようにSの偏析もPと同様大きな偏析を示しているが偏析量は0.014~0.020%であつて高さ方向(0.018~0.030%)に比すれば少ない。しかしながらそのゴースト線の影響とすることを示す点においては確定的な根拠となつているのである。

CrおよびMoはともに高さ方向と同様偏析は少なく、特にBロールのCrの成分差はほとんど0を示しており、換言すれば偏析皆無という結果が出たことは、ここにあらためて注目に値するものである。Moもやはり

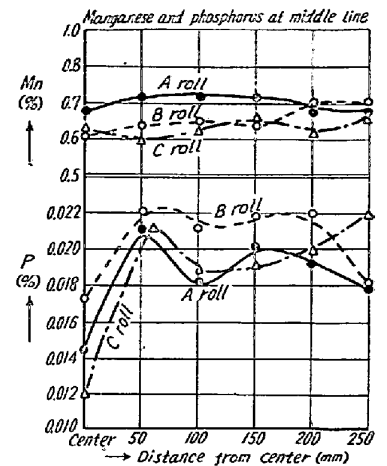


Fig. 21. Comparison of segregation of A, B and C roll in the transverse section.

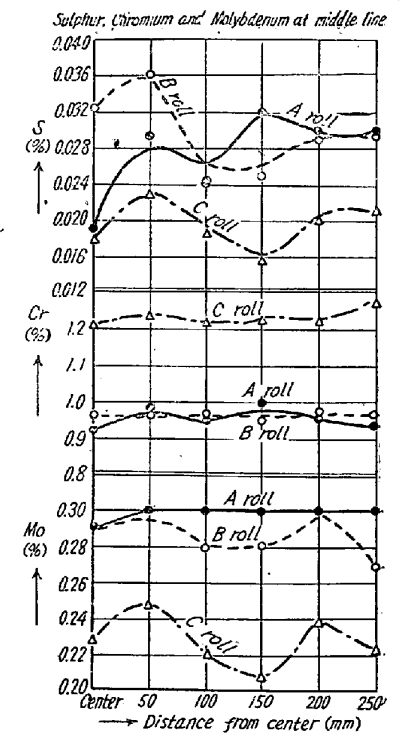


Fig. 22. Comparison of segregation of A, B and C roll in the transverse section

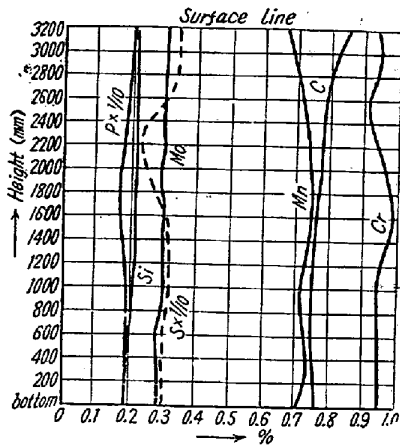


Fig. 23. Segregation of various elements of A roll in the longitudinal section.

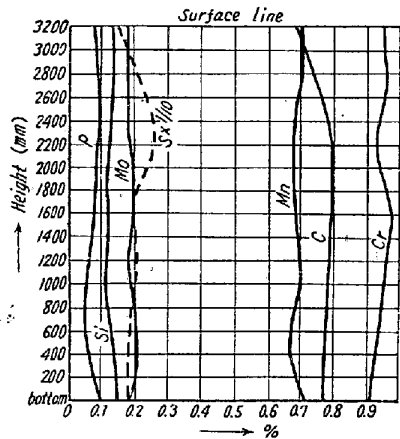


Fig. 24. Segregation of various elements of B roll in the longitudinal section.

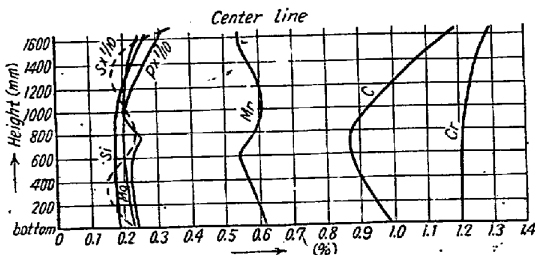


Fig. 25. Segregation of various elements of C roll in the longitudinal section.

少なく取鍋分析値の約 10% 以内で各ロール別には多少異なるが概ね  $0.15 \sim 0.04\%$  の差となつている。

③ 各ロールの高さ方向に対する全成分の偏析

なお各ロール別にそれぞれの成分の偏析傾向を一函にまとめて対照的に総合比較を行つて見ると Fig. 23~25 のようになる。

例えばCロールについてはAおよびBロールと比較の便宜上特に中心線のものを掲げてみたがこれは単に方向性による特異性があるというのみでなく、既に述べたご

とく、これに加うるに 鑄造性の要因が偏析に対して如何に大きな影響を及ぼすかということをも同時に物語つているに外ならない。

④ 直径方向に対する全成分の偏析

同様各ロール毎の直径方向に対する各成分の偏析を一函にまとめて比較検討を行つてみると、Fig. 26 のように既に述べたごとく直

径方向に対しては、上下に流れる偏析の影響をいずれの成分と雖も大なり小なり受けざるを得ないわけで、この図によればSおよびCが比較的大きな変化を示していることがわかる。

⑤ 各成分の偏析量

以上各ロールの偏析量を方向別に各試料採取位置に従つて分析した結果より一表にまとめると、Table 4 のようにその偏析量をそれぞれ数値をもつて表わすことが出来る。

⑥ 各成分の平均値並に標準偏差

次に各ロールの胴部における各成分の平均値並に標準偏差( $\sigma$ )を計算してみると Table 5 のように表わすことが出来る。 $\sigma$ の値はA, B, Cの順に大である。すなわち特殊鑄造法のものが各成分のバラッキが最も小で押湯不足のロールが最も大である。更にA, Bロールについて方向別にその有意差を調べると Table 6 のようにBロールの方がMn, PおよびSにおいて特に偏析が大であることを示しているのである。

(10) 調査結果に対する所見

以上偏析に関するこれまでの調査結果を総合すると Table 7 のようにまとめることが出来る。そこでこれらの所見に対して十分なる考察を行い更にこれまでに得たる定量的な成分の偏析値について種々検討を加えた結果その結論を次に述べたいと思う。

V. 結 論

特殊鋳鋼ロールの内部偏析について鑄造時の異つた温度勾配を有する3種のロールをそれぞれ縦断して調査した結果その結論を次のように要約することが出来る。すなわち、

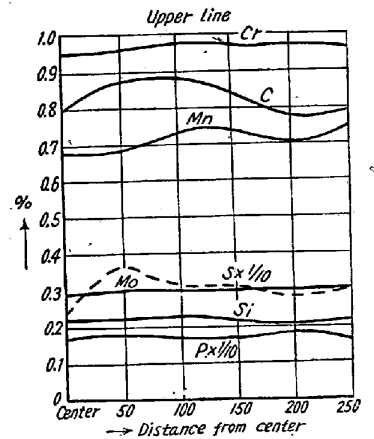


Fig. 26. Segregation of various elements of A roll in the transverse section

Table 4. Segregation of various elements.

Element	A roll			B roll			C roll			
	Transverse	upper	middle	bottom	upper	middle	bottom	upper	middle	bottom
	Longitudinal	surface	middle	center	surface	middle	center	surface	middle	center
C		0.15	0.15	0.15	0.14	0.10	0.22	0.25	0.10	0.13
		0.05	0.25	0.30	0.09	0.35	0.35	0.10	0.12	0.35
Si		0.03	0.02	0.02	0.01	0	0.02	0.02	0.04	0.03
		0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.04	0.05	0.04	0.06
Mn		0.10	0.05	0.08	0.10	0.08	0	0.03	0.08	0.11
		0.07	0.07	0.07	0.05	0.13	0.10	0.08	0.02	0.02
P		0.003	0.007	0.006	0.004	0.006	0.004	0.018	0.010	0.010
		0.001	0.005	0.006	0.003	0.006	0.003	0.010	0.007	0.006
S		0.014	0.012	0.010	0.015	0.010	0	0.020	0.010	0.009
		0.010	0.010	0.018	0.005	0.020	0.025	0	0	0.030
Cr		0.03	0.07	0.04	0	0	0	0.15	0	0.10
		0.03	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.05	0.10
Mo		0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.15
		0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02

Table 5. Average and standard deviation of various elements of A, B and C roll.

	C		Si		Mn		P		S		Cu		Cr		Mo	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
A roll	0.793	0.108	0.210	0.008	0.716	0.032	0.0173	0.0020	0.0278	0.0036	0.186	0.008	0.952	0.025	0.301	0.010
B roll	0.781	0.107	0.232	0.010	0.678	0.049	0.0273	0.0024	0.0299	0.0052	0.205	0.016	0.936	0.031	0.301	0.016
C roll	0.956	0.101	0.222	0.022	0.602	0.016	0.0184	0.0180	0.0190	0.0166			1.225	0.137	0.233	0.058

Table 6. Test of significant difference.

	C		Si		Mn		P		S		Cu		Cr		Mo		
	height	trans.	height	trans.	height	trans.	height	trans.	height	trans.	height	trans.	height	trans.	height	trans.	
A roll	**	7.02	1.20			*	3.84	1.03	*	3.25	1.65	1.58	1.83	**	6.07	1.68	
B roll	**	5.25	0.15			*	7.61	1.19	**	11.46	*	3.35	2.38	1.02	**	4.98	1.69

$$* F_{0.01}^{(8)}(40) = 2.18$$

$$* F_{0.05}^{(8)}(40) = 2.99$$

$$** F_{0.01}^{(5)}(40) = 2.45$$

$$** F_{0.05}^{(5)}(40) = 3.51$$

(1) 先ず折損ロールの調査によつて、ロール内部にはよく異状組織が現われていることがわかり、それは押湯不足ロールにおける縦断内面の異状偏析並に内部亀裂と極めて深い関連性があるようである。しかもこれ等は総べて鑄造時の冷却速度あるいは温度勾配等に大きく左右されていると考えられる。

(2) ロール内部の焼鈍後の硬度分布は偏析による影響が大きく、たとえこれを熱処理(焼入、焼戻)してもなおこの鑄造時の影響は残っている。

(3) 各成分の偏析量を定量的に数字をもつて明らかにした。その結果偏析はCが最も大でS、Pがこれに次ぎCr、Si、Mn および Mo は原則的には余り大きく

認められない。

(4) 偏析を方向別に考えた結果次のごときことがわかつた。すなわち偏析は概ね縦方向では中心線が最も大きく表面線が最も小さい。直径方向では切断位置にあまり関係がなくほぼ同様の傾向を示し偏析値も比較的小さい。

(5) 偏析が大きいものは結晶粒度の粗大、熱歪等による鑄造時の高温亀裂を既に内蔵していることがある。

(6) 内部亀裂はSの含有量に最も関係が深い。

(7) S偏析はV型、A型を示し結晶組織においてもまた鋼塊のそれと全く同様の傾向が認められた。しかしその規模においては必ずしも定形的でなく複雑であつて

Table 7. Observations on the results of research

ロール 調査方向	Aロールの偏析状態			Bロールの偏析状態			Cロールの偏析状態		
	中心線	中間線	表面線	中心線	中間線	表面線	中心線	中間線	表面線
高さ 方向	各成分共偏析量少く且傾向も複雑でない。 S: 400~800mmの位置に最低値を示し押湯下0.04%がmax.であるが、Bロールの0.048%に比し小。	偏析量極めて小。	同左	最も複雑で偏析量最大 C: 400~800mmの位置にmin.を示す(0.65%)	偏析量は中心線に次ぐ程度の偏析を示す。	偏析量は中間線に次ぎAロールの表面と酷似す。偏析は複雑でなく押湯の偏析に対する影響は少ない。	C: 偏析量最大。 S: 二重偏析を示し亀裂部に一つの偏析の山をなす。 Cr, P, S, Si, Moは上方に高く傾く。	C: 偏析比較的小。 各成分共中心線と逆の偏析を示す	同左
全 般	全成分を通じ偏析小 Cは各成分中偏析量最大で且つ上部程高い。 Pは特に偏析少く、MnはCと同傾向。			Si, Cr, Moは変化少なく偏析量も小。 PもA, Cロール中間程度。 Siは上方押湯下が最高。 Cr, MnはCと同傾向。			Cは上部程高い。 Crは中心線を除きCと逆傾向を示す。 Mnは何れも同様。 PもA, Bロールに比し偏析大		
直 径 方 向	上段	中段	下段	上段	中段	下段	上段	中段	下段
	良	良	良	C: 中心部高く外面部低いとその差は0.90~0.75=0.15%で比較的小。 S: 中心部高し。高さ1600~2000mmは押湯下でSのmax. 偏析部。	C: 概ね上段同様。 Cr: 全く偏析なし。	C: 概ね中段同様。	C: 全体的に外面が低い(押湯部が内面に相当するため)は外面で高量大きく中心側が高い P=0.010 ~0.030 S=0.020 ~0.040	C, Si, Mn, Crの偏析は比較的単純。 Mn, Cr, Pは外面で高くなるものあり。 PとSは平行的である P=0.010 ~0.020 S=0.015 ~0.025	C: 外面が少々高い。  P, Sは略々中段と同様。
全 般	偏析殆どなく上中下段全く同様。 PはB, Cロールに比し特に偏析小。 Sは概ね理想的			C: 各段別にその傾向を異にするが量的にはほぼ同様。 Si, Mn, Cr, Mo: 偏析殆どなし。			P, S: 複雑な偏析を示し両者の傾向は同じ。 C, S, Mn, Crの偏析は複雑でない。		

時に二重偏析等が発生したり、あるいはその他の場合においても総て型にはまったような一定の状態を示すとは限らない。

(8) 押湯が不完全なロールは各成分ともその偏析が大きく、しかもその偏析は一定の場所(最終凝固帯)に集中していることが確認された。

(9) 偏析に対して冷却速度の影響は大きい。従つて鋳造後の温度勾配の是正、例えば収縮孔の発生防止法(hot top法)や均熱急冷法(特殊鋳造法)等は非常に効果があると思われた。

(10) 更につけ加えれば、特殊鋳鋼ロールの使用中に発生する fire-crack 並に折損という二大欠陥におい

て前者に対してはこれ等の成分偏析が余り大きな要因をなしていることは考えられないが、後者に対しては重大なる影響を及ぼしているものと考えられる。特に初期折損については、従来その都度種々論議されていたが、これは所謂熱処理による焼き割れまたは極端なる圧延条件による事故折損を除いてはほとんどこの種の原因によつて起るものと考えられて差支えないと思われるに至つた。

終りに臨み本研究につきロール材の溶製、温度測定等に多大の協力をされた当所鋳鋼工場掛長喜野甚哉氏に厚く感謝する。(完) (昭和30年11月寄稿)