

溶解量—コークス量—風量の関係が単純で、熔湯の低下を認めない。

5. 冷却水の管理が簡単で、水量、水温の調整に特別の困難を伴わない。

6. 使用材料の制約範囲が拡大され、材質の調整は湯溜部で行い得るので各種の溶解法が容易に採用出来るこ

とが予想される。

最後に本実験に協力して下さった冶金教室の学生、炉の製作を依頼した井川鉄工所、佐藤製作所及び岩手鑄機工業に対し謝意を表明するとともに、費用の一部に文部省よりの科学研究助成補助金を役立てたことを附記する。

(昭和 30 年 11 月寄稿)

特殊鑄鋼ロールの偏析について (I)*

北 島 哲 男・**吉 田 明**

THE SEGREGATION OF THE SPECIAL CAST STEEL ROLL (I)

Tetsuo Kitashima, Akira Yoshida

Synopsis:

The cast rolls made of special steel containing chromium and molybdenum has been manufactured since the year of 1927 by the Yawata Iron & Steel Works. At present, these products have the life of rolling 70,000 tons in average in contrast with 38,000 tons of the past, and on some occasions 120,000 tons of billets could be passed.

It is widely known that the quality of cast steel is not improved in the course of forging or rolling to the favorable extent of eliminating their coarse structure and internal stress of casting.

But they could be improved by means of such heat treatments as spheroidizing, normalizing and tempering which influenced mainly on the toughness and hardness.

Special cast steel rolls manufactured recently by Yawata Works having the chemical composition of 0.8% C, 1.0% Cr, 0.3% Mo, etc. and Shore hardness number of 40 after such heat treatments as mentioned above, were found to have the longer life in comparison with the others.

However, the chemical composition and hardness were not always regarded as the prime factors having an influence upon the defect of crack.

It was considered therefore this kind of crack was due not only to the methods and techniques of rolling operation but to the segregation of chemical composition at the stage of casting. Accordingly, the authors investigated the segregation of these rolls under various thermal conditions.

As the result, they studied quantitatively each characteristics of segregated elements at the longitudinal and transverse sections of some of rolls cast under different conditions and made clear the solidifying and cooling process by means of chemical analysis, microscopic inspection and mechanical test.

I. 緒 言

八幡製鉄所における Cr-Mo 系特殊鑄鋼ロールは昭和 24 年下期より試作を開始し昭和 25 年上期より本格的に鑄造を開始、当初は期別に 120 t 程度の生産量であった。それが漸次需要の増加に従って生産量の増大を来たし現在では毎期 500 t に及んでいる。またその使用成績においても試作当時は折損等の事故発生ロールを含めて連続鋼片ロールが平均一本当り圧延 t 数 38,000 t 程度

であつた。しかしそれが現在では平均 70,000 t に向上し、中には 120,000 t を超えるものも出るに至つた。

しかしながらこれらの特殊鋼による鑄鋼ロールは周知のごとく鑄造後圧延または鍛造作業によつてその鑄造時の熱的内部歪や粗悪組織を改良することは出来ない。従つて専ら熱処理により、その組織を球状化し更に焼入焼

* 昭和 29 年 10 月本会講演大会にて発表

** 八幡製鉄所工作部

戻を行つて靱性と硬度を増すことによつて初めてその威力を発揮する。現在八幡製鉄所において製造中のロールはCの含有量が概ね 0, 80% のものでその他 Cr, Mo が適当量含有されている。そしてその硬度(シヨア)はほぼ 40 程度のものが最も成績良好にして、Cの含有量および硬度がこれ以上のものはむしろ折損が多く好ましくない。またこれ以下のものは磨耗が甚しく径小による廃棄が多くなつて成績が落ちてくるというのが一般的な傾向である。ところが時によつては成分、硬度の影響によることなく屢々折損事故を発生することがある。これは恐らく単なるロールの使用条件のみによるものではなく製造上の欠陥も多分に影響しているものと考えられるわけである。

そこで筆者等は大型特殊鋳鋼ロールの成分偏析について鋼塊における成分偏析¹⁾に準じて可成りの偏析があるものと考え調査を開始したのである。ところが文献等にもこの種ロールの成分偏析についてはその品質または使用成績に影響を及ぼすことは述べているが多くはそれを一つの原因としてふれているだけで、数字的に一貫してこれをまとめ上げた発表が余り観られない²⁾。

また偏析するとしても含有成分の各元素に関する特性等についてはつきりしたものがないようである。そこで本研究においては大型特殊鋳鋼ロールについてその化学成分の偏析を各元素に関して定量的に調査することを主たる目的として行つたのである。

なお参考までに最近における当所に発生したる折損ロールの一例を示せば Table 1 のごとく主として集並に偏析によるものが最も多いことを示している。

II. 鑄造時に於ける冷却速度

この種ロールの造型は Fig. 1 に示すごとく、縦型合せ枠にして堰は下方のネックに切線方向に切り溶湯を廻転せしめ押上げ式となし、上方ネックには外部に保温隙瓦を巻き内部には鋸屑等を使用して注湯後の保温、砂型の収縮対策を図つている。

さてこのロールの成分偏析を調べるにあたり先ず鑄造条件の詳細を明らかにしておく必要がある。そこでこの第一段階として、鑄造時のロール自体の表面における温度測定を実施した。

温度測定方法は Fig. 1 の①~⑦の場所に Pt-Pt.Rh 熱電対を挿入し、注入より凝固後 A₁ 変態終了までの温度を測定した。その結果鑄込み後の溶鋼が冷却し凝固を経て変態点に至るまでの温度勾配が種々あり必ずしも理想的でないことが判明したので、われわれはここに各種の鑄造方法を取り上げこの温度勾配の是正に努めた結果ほぼ所期の目的を達し得るに至つた。すなわち普通鑄造法または特殊鑄造法(水冷式³⁾)によるがここではこの詳細なる説明はさけて便宜上以下これを特殊鑄造法と称しておく)によるこれらのロールは Fig. 2, 3 に示されるような温度-時間曲線を有するもので、これらについて種々その成分偏析を調査して検討を加えて行くことにした。

なおこの二つの異つた冷却曲線について若干の考察を加えれば次のようである。

(1) 凝固並に変態温度

各温度測定箇所によつて若干の差はあるが、両図から

Table 1. Examples of special cast steel rolls cracked.

Maker	Roll mill	Chemical composition (%)								Shore hardness	Rolled product	Aspection of cracking
		C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	V			
A	6th blooming mill (Billet roll)	0.98	0.46	0.61	0.031	0.016	0.31	1.06		42.0	7.131 ^t	Concentric blow holes in center of roll body.
B	6th blooming mill (Bloom roll)	0.90	0.28	0.58	0.010	0.015	0.17	0.63	Ni	41.0	0	Coarse in center of roll body.
C	3rd blooming mill (Bloom roll)	0.41	0.25	0.73	0.042	0.005				35.0	96.964	Concentric blow holes at 1st Kal. inside.
C	6th blooming mill (Billet roll)	0.84	0.28	0.70	0.034	0.027	0.32	1.11	0.07	36.0	4.895	Neck cracked, large blow holes in center.
C	2nd blooming mill (Billet roll)	0.80	0.33	0.87	0.035	0.014	0.27	0.93		38.0	855	Inside cracked early, besides 10mm surface at 1st Kal.
C	6th blooming mill (Billet roll)	0.78	0.15	0.87	0.047	0.025	0.25	0.94	0.02	45.0	3.588	Blow holes at all inner section at 2nd Kal.

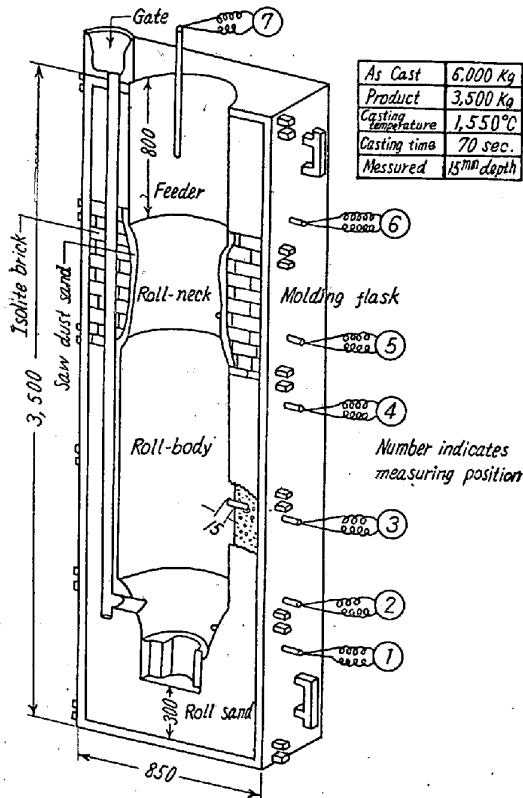


Fig. 1. Billet roll at casting stage and position of temperature-measuring.

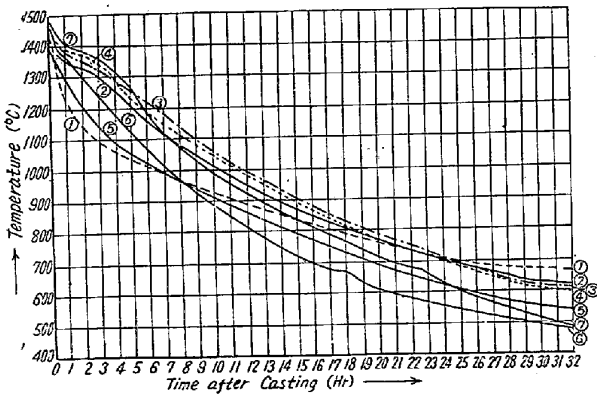


Fig. 2. Relation between cooling temperature and time after casting of ordinary method.

本材質の凝固温度並に変態温度は 1360°C および 680°C 附近であることが判明したのである。(Fig.2, Fig. 3 参照)

(2) ロール表面における注入後経過時間による温度分布

両ロール表面上の注入後の経過時間による温度分布の比較図を Fig. 4 に示す。先ず底部①に比し頭部⑤は押湯⑥につらなつたところであるから押湯による加熱を受けており最も高温であることが望ましいわけである。従つて高さ方向における温度勾配は底部の①から頭部の⑥に進むに従つて曲線が右に傾くのが理想である。しかも

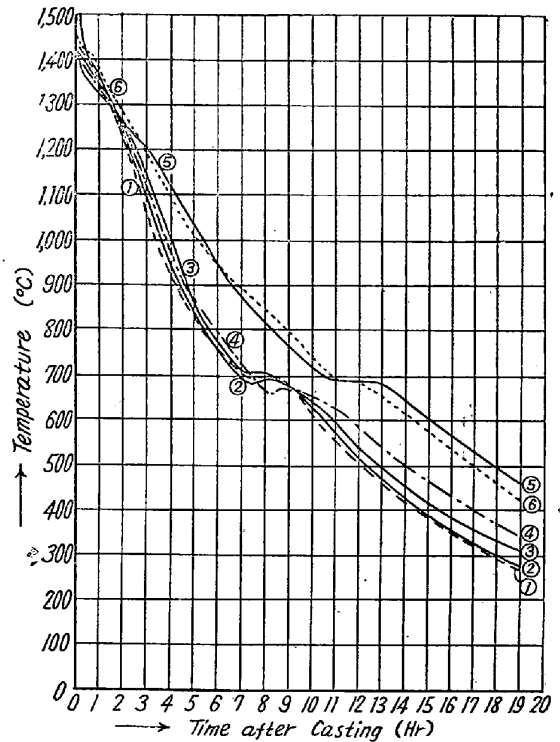


Fig. 3. Relation between cooling temperature and time after casting of special method.

②③④の胴部においては温度差が少なく垂直線に近づけば更に理想的であろう。ところが普通鋳造法の場合においては図中実線に示すごとく胴部中央が冷却速度が最も遅く、ネック部が最も速い。これに反し特殊鋳造法の場合は胴中央部が最も速くしかも時間の経過とともに上記理想型の温度勾配に近づいている。

また普通鋳造法の場合においては各部が凝固に達する迄の時間にそれぞれ可成りの開きがあるが、特殊鋳造法の場合においてはほとんど同一である。両者の凝固並に A₁ 変態完了迄の時間を比較すると Table 2 のごとし。

(3) ロール表面の冷却速度

各ロールはいずれも温度測定場所による冷却速度の差は余り認められない。すなわち②、③および④における冷却速度は概ね同一速度を示している。しかし鋳造法による差異はかなり大きく現われており特殊鋳造法のもの冷却速度は普通鋳造法のものに比し 1200~900°C の間では約 2 倍、900~700°C の間では約 3 倍とう値を示している。

(4) 胴部各位置の温度差

普通鋳造法の場合における胴部の温度は、大体において胴中心部③が最も高温である。従つて④~③と③~②の温度勾配は逆であるが、特殊鋳造法の場合は胴部中心部③が概ね低温である。従つて④~③の温度勾配は終始胴上部④が高温にして胴中心部③が低温であり普通鋳造

Table 2. Comparison of time of solidification and transformation of different casting methods.

Measured position		①		②		③		④		⑤		⑥	
Item	Method	Ordin-	Spe-	Ordin-	Spe-	Ordin-	Spe-	Ordin-	Spe-	Ordin-	Spe-	Ordin-	Spe-
		al	cial	al	cial	al	cial	al	cial	al	cial	al	cial
Solidification	Time of beginning (mn)		•15	•35		•40		•35		•40	•35	•35	
	Time of end (h-mn)	•10	•30	1-25	•30	1-40	•50	2-25	•20	•18	1-05	1-30	1-20
	Time of need (h-mn)		•15	•50		1-00		1-50		•25	•55	•45	
Transformation	Time of beginning (h-mn)	28-30	10-00	26-20	8-25	26-40	8-20	26-20	9-20	20-00	16-20	21-30	17-00
	Time of end (h-mn)	31-10	12-20	27-30	9-50	27-30	9-20	27-30	10-20	21-30	18-35	24-10	18-50
	Time of need (h-mn)	2-40	2-20	1-10	1-25	•50	1-00	1-10	1-00	1-30	2-15	2-40	1-50

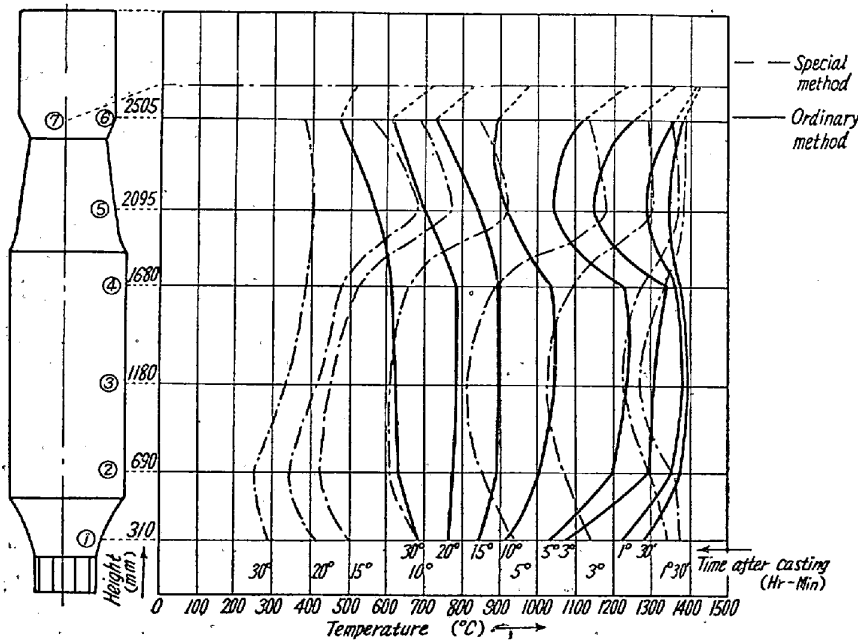


Fig. 4. Longitudinal temperature difference after casting.

法と相反する曲線を示し、③～②の関係においては casting 後10時間までは胴下部②が胴中心部③より高温となつてゐるところが異なる。

しかしここで特に注目すべき点は特殊 casting 法においては casting 後 10 時間経過後においては、逐次曲線が反対に傾斜を始め、30時間後においては、その温度差約100°C となり完全にその上部側④と連り④～③～②と一貫した温度勾配を示すに至ることである。

casting 後の冷却末期ではあるがこのような良好な温度勾配を示すことは後段に述べる偏析に及ぼす影響という観点からも興味あることと思われるのである。

III. 偏 析 調 査

前述のごとく種々なる温度勾配によつて各種 casting 法による熱的影響の諸問題について若干知り得たのでこれ等によりロールの内部組織並に化学成分の偏析状態を明らかにして、温度勾配の是正が内部組織等に如何に影響しているかを調査した。そこでこのような3本のロールを中心線上に縦割りして種々調査を進めた。その化学成分を示せば Table 3 のようである。

(1) サルファープリント

各ロールの硫黄の偏析はサルファープリント Photo. 1のごとく、各ロールとも上部のパイプ周辺および胴部の外周に一定の深さを持つて数条のゴースト状の偏析となつて大きく現われ、かつ濃度は下部より上部に進むに従つて濃くなり特に上方部のパイプ下端附近

において最も著しくなつてゐる。この傾向は基本的には大型鋼塊に発生するものと同様の現象でありロールの場合には鋼塊に比し極めて緩慢に徐冷されるのでこれ等の偏析の発生もまた極めて著しいわけである。

さて次に各ロールの S 偏析における相違点を挙げる。

(イ) 逆V型およびV型の偏析は各ロールとも概ね一樣であるが、Aロール(特殊 casting 法のもの)の偏析が最も少ない。

(ロ) Bロールにおける二次パイプ状ブローホールの位置とAロールV型偏析とは全く同一の場所である。

(ハ) Aロールの最終凝固位置はBロールのそれより若干下方に下つてゐる。

Table. 3. Comparison of chemical composition of rolls tested.

Roll	Casting	Date of casting	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	V	Ti
A	Special method	Feb. 3. 1954	0.71	0.31	0.69	0.022	0.026	0.19	0.93	0.32		0.08
B	Ordinal method	" "	0.72	0.20	0.69	0.017	0.023	0.19	0.93	0.32		0.08
C	No feeding	Jan. 6. 1952	0.79	0.22	0.72	0.017	0.019	0.20	1.26	0.28	0.14	

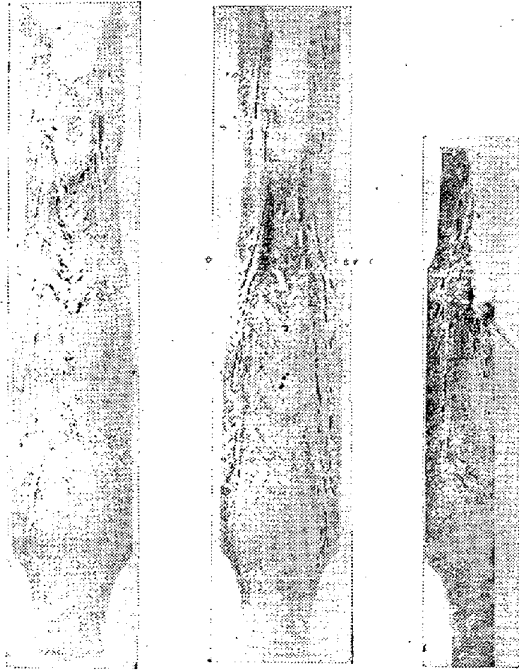


Photo. 1. Sulphur print of billet rolls as cast.

(2) 押湯引け並に内部亀裂

各ロールの押湯引け並にブローホール等の縦割り断面における状態は上記サルファプリント写真に見られるようにA, B, C 3本の各ロールを比較すると次のような事が判るのである。すなわち

① Cロールは押湯不足であり鑄造後押湯部の保温材の使用およびその保温処置を施さなかつたため、その一次パイプは胴上方迄発生していてその形状は狭くて深い。

② BロールはCロールに比し、一次パイプは広くて浅いが二次パイプは胴部上方迄発生している。

③ Aロールは特殊鑄造法の影響が現われ、あたかもホット・トップ処理を施したものに酷似しその押湯収縮孔の状態は広くて浅く、しかも二次パイプは全く見られない。

④ Cロールは胴下部(写真のV型偏析の箇所)における最終凝固位置に結晶粒界に沿つてV型に亀裂が生じていた。

A, Bロールにはいずれもこの種の亀裂はなかつた。

この内部亀裂はサルファプリントにおけるS偏析およびマクロ組織並に破断面の所見によりロール内部の最終凝固帯において凝固完了直後発生したところの所謂高温亀裂であることは想像に難くない。

(3) マクロ組織

各ロール胴部のマクロ組織を図示すれば Fig. 5 のごとくである。

AロールおよびBロールは胴中央部の縦断面を示し、Cロールは特にその亀裂部を示している。すなわちA, Bロールともに柱状晶は50~50mmの同様の深さを示している。従つて特殊鑄造法の影響としてはむしろデンドライト晶の発達に現われていると見るべきで、Bロールのデンドライト晶が35~40mmに対しAロールは50~60mmの深さに達している。しかし自由晶はA, Bロールともい

ずれも深く現われており95~353mmに達している。これに反し、Cロールは亀裂部においては全く自由晶は認められない。そして亀裂内部に自由晶とデンドライト晶が混在し、他は全てデンドライト晶となつており、高温亀裂の発生機構の複雑性を暗示している。

(4) 硬 度

各ロール断面における硬度の分布状態を比較すれば Fig. 6 のごとくである、すなわち

① 中心部縦方向の硬度分布はA, Bロールはその傾向は若干異なるけれども概ね垂直に近く、Cロールが最も傾きが大である。

② 直径方向では一、二の例外はあるが概ね凹型の硬度分布を示している。

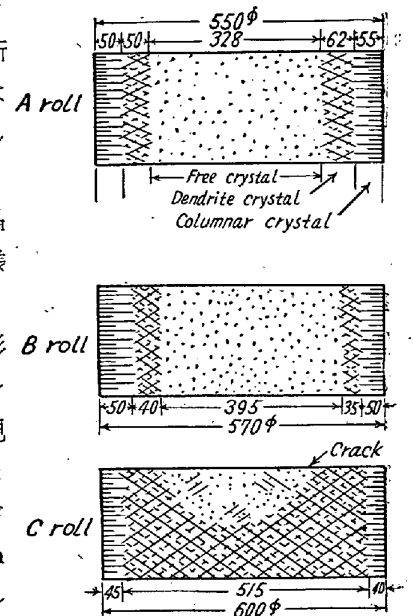


Fig. 5. Macro-etched structure in the longitudinal section.

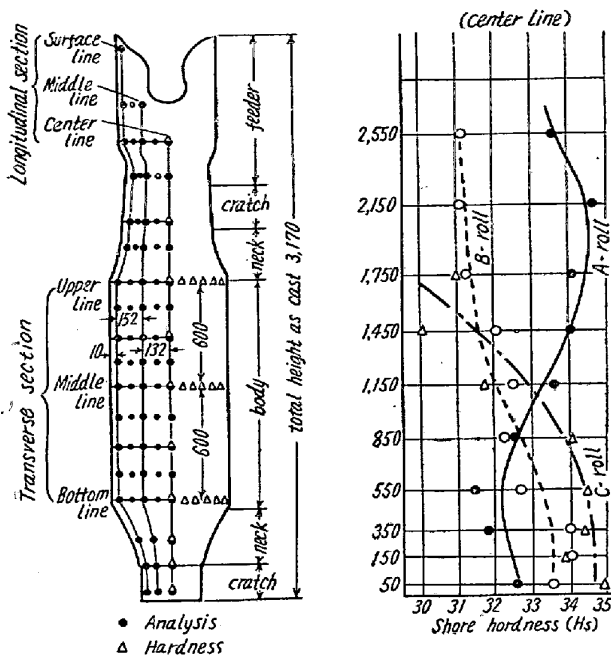


Fig. 6. Comparison of hardness and position of specimens.

なお縦方向における上部と直径方向における中心部の硬度の高い位置はいずれもサルファープリントにおけるS偏析の位置に相当するところである。

(5) 成分の偏析

各ロールから Fig. 6 に示すように高さ方向に表面線・中間線、中心線の3線、直径方向に上段、中段、下段の3段、一本のロールより合計44個の分析試料を採取し各種元素について化学分析を行った。かくして得たる結果よりその偏析を詳細に調査したのである。調査結果については各ロール毎に縦3方向、横3段にわたり特殊元素並に各成分別にそれぞれ図表により記録したが、以下その中より代表的かつ重要なものを選びこれらについて述べたいと思う。

その他についてはここでは省略することにした。

① Aロールの高さ方向におけるC含有量の偏析 (Fig. 7)

高さ方向におけるC含有量は表面線、中心線およびその中間線とも大体において上方に進むに従い増加しているが、その傾向は中心線が最も大きく次が中間線で表面線が最も小さくなっている。

成分差としての偏析量を見れば0.65~0.95% (0.30%) の範囲を示している。

② Aロールの直径方向におけるC含有量の偏析 (Fig. 8)

直径方向におけるC含有量は上段押湯側は表面より柱

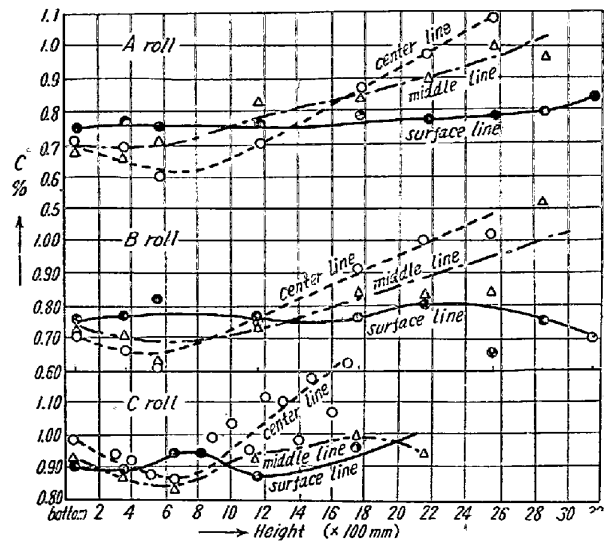


Fig. 7. Segregation of carbon of each rolls in the longitudinal section.

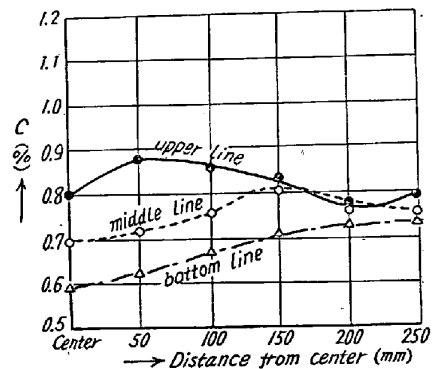


Fig. 8. Segregation of carbon of A roll in the transverse section.

状晶を経て50mmまでは低下して再び上昇、中心線周辺に至り最高値を示すに至る。しかし中、下段は最高値を示す山が外側にずれており、また柱状晶における低下は余りはつきりと出ていない。中段にややその傾向を止めているが下段では全くその傾向が見られない。これは下注式注入のため温度勾配の影響があると同時に砂型によつて鑄造されるかかる鑄鋼品の特殊性を物語るものであろう。

③ BロールのS偏析

Sについて見れば高さ方向においても (Fig. 9)、直径方向においても (Fig. 10)、試料採取の方向別に大きな相異が観られる。すなわち高さ方向の中心線の位置のものは特に大きな偏析を示し、取鍋分析0.025%のものが0.024~0.044%の範囲内に動いている。そして押湯下約800mm程度の位置に最高値があり、中間線および表面線は比較的偏析は少ない。

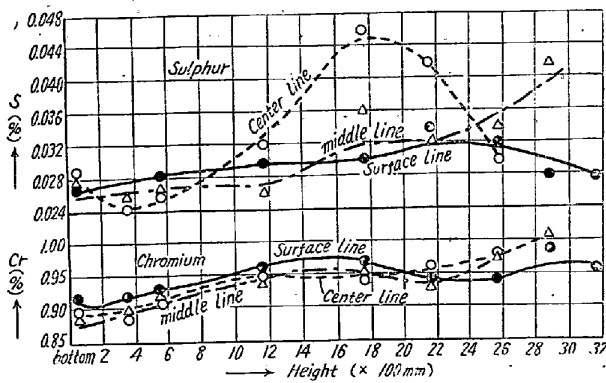


Fig. 9. Segregation of sulphur and chromium of B roll at longitudinal section.

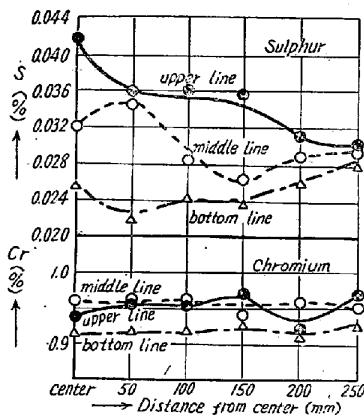


Fig. 10. Segregation of sulphur and chromium of B roll in the transverse section.

また直径方向においては前述のC含有量の偏析と概ねその基を一にしているが上段は押湯部に近いから中心側が高く、中段になれば押湯の影響は若干減つていようである。しかしA偏析の影響により、中心よりやや内側が最高値を示している。しかし方向性から考えた偏析量を見れば表面線および経下段方向が最も少なくそれぞれ0.027~0.032% および 0.023~0.028% で各々その偏差は0.005%に過ぎない。中心線の場合の約1/4である。

④ Bロール Cr の偏析

Crは高さ方向 (Fig. 9) および直径方向 (Fig. 10) いずれにおいても大きな偏析は認められなかつた。取鍋分析 0.93% に対してそれぞれ+0.09~-0.05% (偏差 0.14%) および +0.05~-0.01% (偏差 0.06%) 程度であつて問題にするに当たらないと思われる。このように合金元素の偏析が予想以上に少なく均一に分布されているということは注目し得る。しかしこれについては外国の文献にも一、二発表されているものがある¹⁾。

⑤ B, Cロールの高さ方向のC含有量の比較

B, Cロールいずれも同じ傾向を示しているが (Fig. 7), その偏析量はBロールが取鍋分析 0.72% に対し、分析値 1.0%-0.7%=0.3%, Cロールは全長は短いにもかかわらず 1.2-0.8%=0.4% の高率を示していることが注目されるのである。

IV. 考 察

以上が特殊鋳鋼ロールの内部偏析の調査として、先ずロール製造時における冷却速度を測定し、ロール各部の温度勾配を調べるとともに、この種々異つた冷却条件によりそれぞれ異つた温度勾配を有する3本のロールを中心線に縦断してロール断面のサルファープリント、マクロ組織、硬度および成分偏析等について調べた結果である。

そこで一応これまでの調査結果について若干の考察を加えると、

(1) ロールの上半部に縦方向に大きく発生しているゴースト状偏析は表面からの深さがそのまま、とりも直さずロール各部における冷却速度をあらわしており従つてロールの高さ方向における温度勾配とよく一致している。またこの偏析が両側に傾斜している原因については溶湯の凝固が外周から内部に進むに従つてSその他の不純物が内部に移動し、ある深さに達した時に上方の溶湯が沈下して、先の凝固層が溶融層とともに下方に流動するためこのような偏析の縞が生じ、更にこの現象が数回繰返されるので数本の条となつているものと考えられるのである。

(2) 従つて特殊鋳造法によつて冷却速度をかなり早くしたものは、この偏析の縞が表面層より中心部に深くかつ偏析濃度も薄いわけである。

(3) 押湯引けは鋳造後の押湯保温材の使用および保温処置の実施並にロール自体の温度勾配によつてその発生程度は異なる。その中で最も防止効果のあるのは温度勾配の制御であつて、胴部とネック部の冷却速度を考慮して温度勾配を一層単純に直線化しなければ押湯の効果を十分に挙げる事が困難である。

(4) Cロールの亀裂はマクロ組織の微細結晶粒が下方に沈下しているところから最終凝固帯に発生したことは明瞭である。またこの微細結晶粒が現われている底部から1/3の高さの場所はBロールの胴部中央に相当するわけであり、鋳造時の温度測定の結果ともよく一致している。

(5) 普通鋳造法の場合、胴中心部が凝固する時期にはネック中心部は既に凝固を完了しており、両者の温度

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 A₁ 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/mm² と称せられる⁵⁾。) 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 ロールはほぼ同様に 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