

する。しかしながら一旦内面を削正した後の鑄型においてはかかる変形も著しく小となり一次冷却の減少もほとんどない程度となる。

#### IV. 結 言

鋼の連続鑄造における一次冷却の機構を考察し、かつ鑄込温度、鑄込速度、鋼種、鑄型使用回数などの諸因子が一次冷却におよぼす影響について実験を行なった。その結果、一次冷却の機構とこれに関与する諸因子の影響を明らかにした。

一次冷却は主として鑄片表面から鑄型を通して鑄型冷却水へ達する熱の伝達によつて行われる。一次冷却に顕著な影響をおよぼす因子は鑄込速度ならびに鑄型の使用回数であつて、鑄込温度および鋼種の相違はほとんど影響をおよぼさないかまたは影響をおよぼすとしてもその大きさは極めて小さい。鑄込速度の増加は鑄片と鑄型との接触面積を増大せしめるので単位時間当りの一次冷却を増大せしめるが鋼単位重量当りの一次冷却は逆に減少する。鑄型の使用回数の増加は特に新鑄型の使用初期において鑄型内面の変形が起ることによつて鑄片と鑄型との接触面積を減少せしめ、この結果一次冷却を減少せしめる。

以上鋼の連続鑄造における一次冷却の機構をより深く

把握するとともに一次冷却に関する基礎資料を得ることが出来た。これらの結果は後報に述べることと、さらに合理的な一次冷却法の研究に際して重要な数値を与えるものである。

終りに本研究に御懇切な御指導を賜つた東京大学教授工学博士梶山正孝先生に深甚の感謝を捧げます。また本研究を指示され、結果の発表を御許可下さいました小出秋彦常務取締役ならびに工学博士里井孝三郎常務取締役に深甚なる敬意を表します。また研究の遂行に当り絶えず御鞭達戴いた吉井重雄小倉製鉄所長に深謝の意を表するとともに、直接御指導戴いた理学博士大中都四郎第二製造部長兼技術部長に深く感謝する次第であります。

(昭和 36 年 9 月寄稿)

#### 文 献

- 1) 明田義男, 佐々木寛太郎, 牛島清人: 鉄と鋼, 45 (1959) 12, p. 1341
- 2) 例えば H. KRÄINER u B. TARMANN: Stahl u Eisen, 69 (1949) Nr. 23, p. 813; または J. SAVAGE & W. H. PRITCHARD: J. Iron & Steel Inst.(U.K.), 178 (1954) Nov., p. 269
- 3) A. I. BROWN: Introduction to Heat Transfer, (1958), p. 55
- 4) A. SCHACK: Der Industrielle Warmeiibergang, (1940), 付表

## 球状黒鉛鋼ロールの研究\*

音谷登平\*\*・益子美明\*\*\*

### Study on Nodular Graphite Steel Rolls.

Tohei OTOTANI and Yoshiaki MASUKO

#### Synopsis:

In order to improve the resistance to fire cracking and wear of steel rolls for primary hot-rolling mills, such as blooming, slabbing and roughing mills, without reduction of their strength and toughness, some characteristics of cast iron must be accompanied with the properties of steel rolls.

It was, therefore, undertaken to apply nodular graphite steel to rolls for primary mills to realize the above idea. One of the authors has recently developed nodular graphite steel, with use of a special Fe-Ca alloy, this steel having free nodular graphite even in as-cast state.

The characteristics of nodular graphite steel were first investigated mainly from the metallurgical point of view, and its promising applicability to rolls was clarified.

The trial manufacture of actual rolls with nodular graphite steel was next performed for several mills.

\* 昭和36年10月本会講演大会にて発表 \*\* 東北大学金属材料研究所 工博

\*\*\* 住友金属工業株式会社製鋼所 工博

The results of service performance of these rolls were, as expected, superior to that of rolls, which hitherto had been used, with special reference to the following points:

(1) Nodular graphite steel roll has a considerable strength and toughness. It has, therefore, almost no tendency to breakage in service which has been often experienced in cast iron rolls.

(2) Nodular graphite steel roll has a great resistance to fire cracking. It has, therefore, further less occasions to be shortened its life by surface cracking than usual steel rolls.

(3) Nodular graphite steel roll has a great resistance to wear. Combining with the resistance to fire cracking, it can give more rolling tonnage and finer rolled products with dimensions of higher precision than usual steel rolls.

## I. 結 言

高炭素鋼を充分脱酸すれば高温焼鈍時にセメントタイトの黒鉛化を起すことが古くから知られている<sup>1)</sup>。このような、含有炭素の一部を遊離黒鉛として析出させた高炭素鋼は鋼の性質と鑄鉄の性質を併有することが期待される。特に鋼の可鍛性と鑄鉄の耐摩耗性に注目されて実用化されたのがいわゆる黒鉛鋼 (graphitic steel) である<sup>2)~4)</sup>。したがって、黒鉛鋼は元来鍛造によつて成形されるものであるが、最近これを鑄物に応用しようとする考えが盛んになり、その脱酸条件および合金配合に種々の検討が加えられている<sup>5)~7)</sup>。

しかしながら、黒鉛鋼における遊離黒鉛は鍛造品でも鑄造品でもすべて高温焼鈍時のセメントタイトの黒鉛化によつてえられるため、塊状ないし片状を呈する。したがって黒鉛鋼の強靱性は必ずしも満足すべきものではなく、その製造上でも鍛造割れ、焼割れその他の難点が多かつた。鋼と鑄鉄の中間的な、新しい材料として注目されながら、従来黒鉛鋼の用途が意外に伸びなかつたのもまた最近その脱酸条件が盛んに検討されているのも主として上記黒鉛の形状に基因すると見るべきであらう。

最近著者の一人は鉄鋼におよぼす Ca の作用に着目してまず最も有効な添加合金の組成を検討し、20~30%の Ca を含有する Fe-Ca 基合金を創製した<sup>8)</sup>。次いでこれを過共析組成の高炭素鋼に添加すれば鑄造状態ですでに遊離黒鉛の析出することを見出した<sup>9)</sup>。しかもこの黒鉛の形は球状を呈するため、このようにしてえられた高

炭素鋼の強靱性は前述の黒鉛鋼のそれをはるかにしのぐものであることが明らかとなつた。これを著者は球状黒鉛鋼と呼んでいる。

一方熱間粗延用ロールとしては、鑄鉄系ロールの折損を恐れ従来主に強靱な鋼系ロールが用いられてきた。特に分塊ないし大形粗延ロールのごとく圧延荷重の大きいものではすべて鋼系であつた。しかしその反面、鋼系ロールは使用中ロール表面に発生する熱亀裂の進展に対する抵抗が少なく、そのため寿命が短くなるという欠点があつた。また耐摩耗性についても、鑄鉄系ロールに比して一般にかなり炭素含有量が低いために、必ずしも満足すべきものではなかつた。

ひるがえつて前述の球状黒鉛鋼の性質とその熱延用ロールに対する適用性を考える時、析出した球状の遊離黒鉛はロール表面の熱応力の分散に役立ち、熱亀裂の発生ないし進展を阻止することが期待できる。また従来の鋼系ロールより炭素含有量が多くなりしかも遊離の黒鉛を有するため、耐摩耗性の改善が期待できる。したがって強靱なしかも耐熱亀裂性と耐摩耗性に富む新しいロールの開発が可能であると考えられる。

以上の観点から、著者らはロールを対象として球状黒鉛鋼の材質に関する研究を行ない、さらにこれを基礎として球状黒鉛鋼ロールの試作を行なつた。試作ロールの実用成績は明らかに前述の期待を満足するもので、ここに鋼系ロールの特性を基本としてこれに鑄鉄系ロールの特長を巧みにとり入れた新しいロールの開発に成功した。よつて上記の諸結果をここに報告する次第である。

Table 1. Chemical composition of steels tested.

Steel marks	Chemical composition								Fe-Ca alloy addition
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	
NS 16	0.95	1.13	0.68	0.017	0.018	0.56	1.03	0.26	No
NS 14	0.94	0.95	0.49	0.024	0.012	0.58	1.08	0.26	Added
NS 17	1.45	1.07	0.75	0.016	0.018	0.53	1.04	0.28	No
NS 12	1.45	0.96	0.54	0.016	0.013	0.61	1.06	0.25	Added
NS 19	2.17	1.07	0.71	0.016	0.016	0.54	1.06	0.25	No
NS 20	2.20	0.94	0.68	0.014	0.014	0.54	1.05	0.24	Added

Table 2. Mechanical property of steels tested.

Steel marks	As cast						As annealed*						Fe-Ca alloy addition
	Yield point kg/mm <sup>2</sup>	Tensile strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Reduction of area %	Brinell hardness number	Charpy value kg-m/cm <sup>2</sup>	Yield point kg/mm <sup>2</sup>	Tensile strength kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Reduction of area %	Brinell hardness number	Charpy value kg-m/cm <sup>2</sup>	
NS16	—	80.2	0	0	363	0.3	60.4	91.7	9.6	9.7	263	1.4	No
NS14	—	78.9	0	0	331	0.3	58.5	91.4	7.9	11.1	255	1.3	Added
NS17	—	63.0	0	0	341	0.1	57.8	90.3	1.3	1.0	292	0.2	No
NS12	—	63.7	0	0	331	0.2	55.9	78.9	2.6	2.8	274	0.4	Added
NS19	—	40.8	0	0	378	0.1	—	55.8	0	0	331	0.1	No
NS20	—	42.9	0	0	329	0.2	50.0	58.3	1.0	1.7	311	0.3	Added

\* 925°C×6 h→furnace cool, 725°C×5 h→furnace cool.

## II. 球状黒鉛鋼の材質的特性

球状黒鉛鋼の材質上第一に注目すべき点は球状黒鉛の量である。しかもロールを対象とした場合は、特に合金元素の配合下における黒鉛量とそれに伴う機械的性質の変化を検討する必要がある。よつて以下の実験を行なつた。

1. 球状黒鉛鋼の組織と機械的性質におよぼすC含有量の影響

塩基性電気炉で Table 1 に示す化学組成の球状黒鉛鋼を溶製した。Ca 処理は Ca 20.1%, Si 45.5% の Fe-Ca 基合金によつた。その添加量は 1% とし、16 kg の鑄片を試験片とした。なお比較のために Ca 処理をしないほぼ同一組成の鋼を溶製した。

供試鋼の黒鉛組織は Photo. 1 に示す通りであり、機械的性質は Table 2 のごとくである。

これらの結果から次の事項が認められる。

(1) C 約 1% の領域では Ca 処理によつて球状黒鉛が若干析出し、これに伴つて硬度が若干低下する。ただし、靱性についてはほとんど変化が見られない。

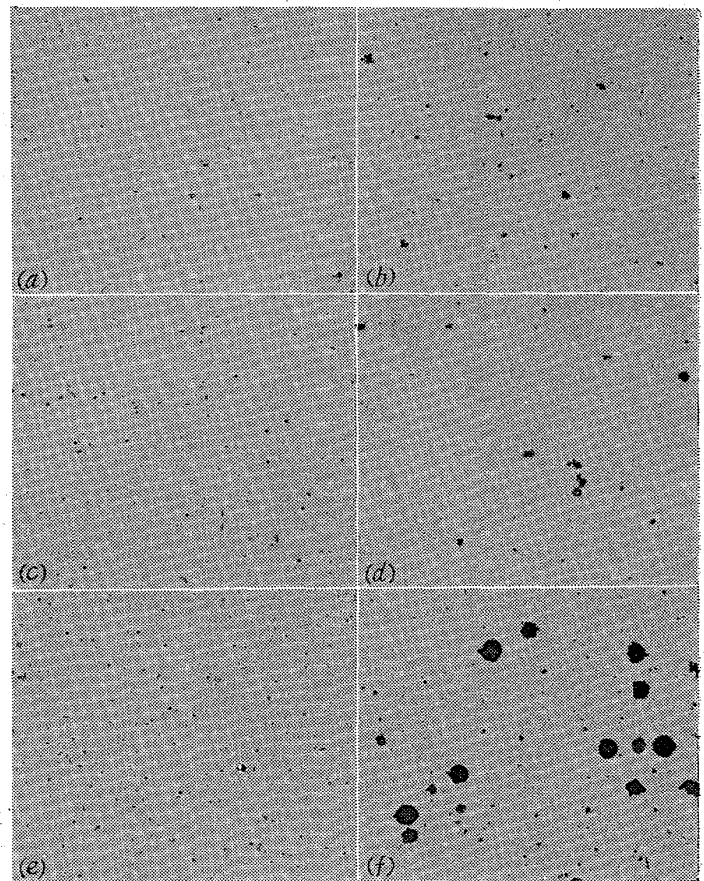
(2) しかし、C 約 1.5% の領域になると Ca 処理による球状黒鉛の析出量も多くなり、靱性の向上も認められてくる。

(3) このような傾向は C 約 2.2% の領域にいたればさらに顕著になり、同等組成の鋼が降伏点を示さないのに対し、球状黒鉛鋼は焼鈍状態で明瞭な降伏点を示すようになり強度靱性ともに著しく向上する。

以上の機械的性質の変化は主として球状黒鉛の析出量に関係するが、もし合金元素配合の検討によつて C 1% ないし C 1.5% 前後の領域における黒鉛量を増加せしめることができれば、一段と靱性の改善が可能になるものと推察される。

No addition

Added Fe-Ca alloy



(a) NS 16, C. 0.95%  
 (b) NS 14, C. 0.94, nodular graphite 0.10%  
 (c) NS 17, C. 1.45%  
 (d) NS 12, C. 1.45%, nodular graphite 0.23%  
 (e) NS 19, C. 2.17%  
 (f) NS 20, C. 2.20%, nodular graphite 0.42%

Photo. 1. Effect of addition of Fe-Ca alloy on nodular graphite formation of special cast steel with reference to carbon content. No etch, ×100 (1/2)

2. 球状黒鉛鋼の黒鉛析出量と機械的性質におよぼす合金元素配合の影響

塩基性電気炉で C 約 0.8%, 1.0%, 1.4% の炭素鋼, Mo 鋼 (Mo 約 0.45%), Cr-Mo 鋼 (Cr 約 0.7%,

Mo 約 0.25%) および Ni-Cr-Mo 鋼 (Ni 約 0.6%, Cr 約 0.7%, Mo 約 0.25%) を溶製し、各鋼種につき Si 量を 1%, 1.5% および 2% に変化させて Ca 処理を行ない、各鋼種の黒鉛量および機械的性質を検討した。その他の実験条件は前項と同様である。

以上の実験結果から次のことがわかった。

(1) 球状黒鉛の析出量は合金元素の配合によつて影響される。すなわち黒鉛の量は同一の合金元素配合の下では C 含有量の多いほど多く、また同一の C 含有量では Cr-Mo 鋼, Ni-Cr-Mo 鋼, Mo 鋼および炭素鋼の順に増加する。ただし Si の影響については Fig. 1 に見るごとく特に C 含有量と密接な関係があり C 1.4% の場合 Si 1.5% で最大の黒鉛量を示すが、この最大黒鉛量を示す Si 量は C 含有量が減少するほど増加する。

(2) 925°C × 6h → 空冷, 725°C × 5h → 空冷の熱処理を行なった状態での機械的性質を見ると、Fig. 2 および Fig. 3 に示すごとく炭素鋼, Mo 鋼, Cr-Mo 鋼および Ni-Cr-Mo 鋼はそれぞれ前項 (1) で述べた黒鉛量に対応して特徴ある変化を示す。この場合黒鉛量と機械的性質の関係について特に注目されるのは Si 量の影響である。すなわち C 1% 系のような黒鉛量の少ない場合には一般に Si 量の増加にともなつて強度が上昇し靱性が低下するが、C 1.4% 系のような黒鉛量の多い場合には最大の黒鉛量を示す Si 1.5% において、強度、靱性ともに上昇する傾向が認められる。

以上の実験結果を総括すれば、球状黒鉛鋼の材質的特性として次の事項があげられる。すなわち、

- (i) 球状黒鉛鋼の黒鉛量は C, Si およびその他の合金元素量と密接な関係を有し、これらの配合如何によつて広範囲に変化させることができる。
- (ii) 球状黒鉛鋼の機械的性質は黒鉛量と密接な関係を有し、一般に黒鉛量の多いほど強靱性の改善が顕著になる。

### III. 球状黒鉛鋼の熱延用ロールに対する適用性

一般に熱延用ロールは水冷をうけながら高温度の素材を圧延加工する。したがつてその表面は、(i) 圧延荷重

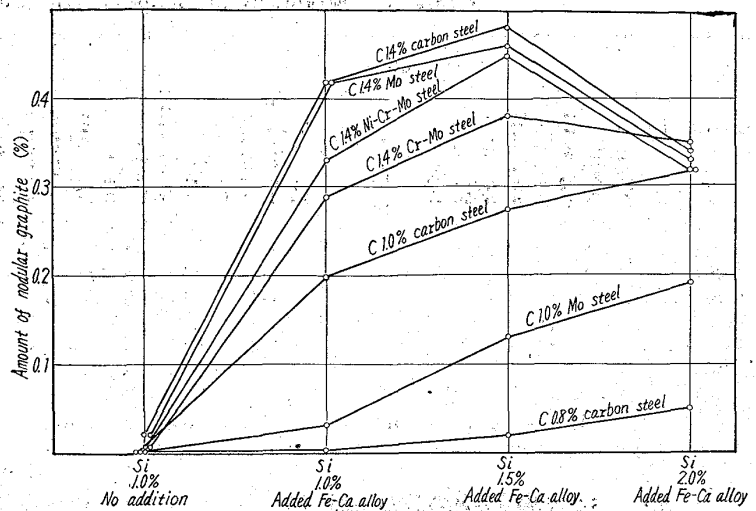


Fig. 1. Comparison of the amount of nodular graphite in heat-treated state among various kinds of steels tested with special reference to the effect of Si and C content. (Heat treatment: 925°C × 6h → air cool, 725°C × 5h → air cool)

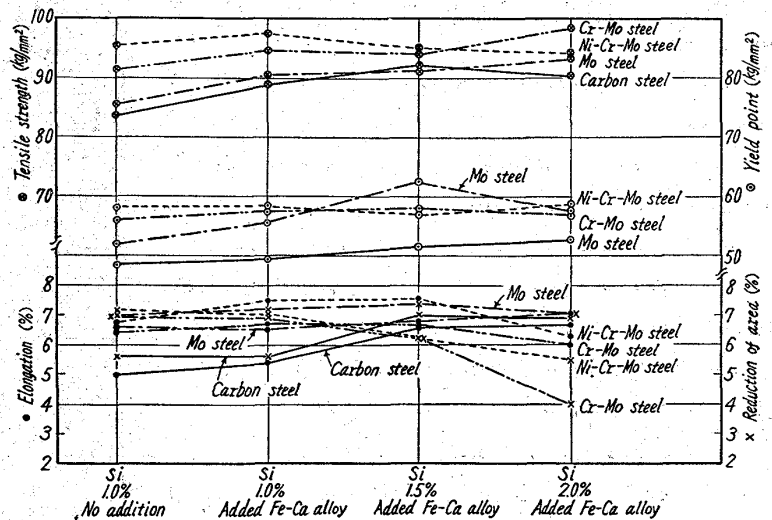


Fig. 2. Comparison of tensile properties in heat-treated state among various kinds of C 1.0% nodular graphite steels tested with special reference to the effect of Si content. (Heat treatment: 925°C × 6h → air cool, 725°C × 5h → air cool)

による機械的応力、(ii) 加熱、冷却による熱応力および (iii) 素材との摩擦による摩擦をうける。(i) は素材の嚙込時には衝撃的な応力になり、しばしばロールを折損せしめることになる。(ii) の熱応力はロール表面に亀裂(熱亀裂)を発生せしめ、これが円周方向に進展してしばしばロールの寿命を短縮せしめる。(iii) の摩擦はロールの折損とは直接関係しないがロール径の修削時期を早め修削量を増加させて径小廃棄までの圧延トン数を低下するばかりでなく、圧延製品の寸法、肌が悪影響をおよぼす。しかもこれら3条件のロールに対する影響は一般にロール径の大きいほどまた圧延素材の大きいほど、換言

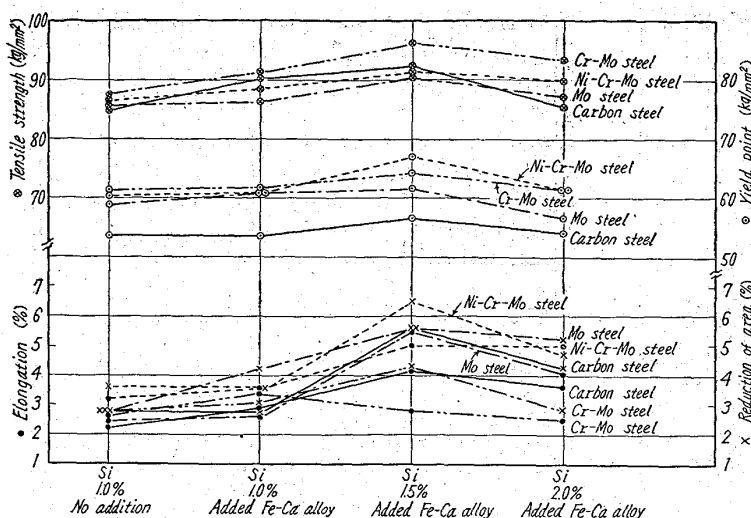


Fig. 3. Comparison of tensile properties in heat-treated state among various kinds of C 1.4% nodular graphite steels tested with special reference to the effect of Si content. (Heat treatment: 925°C × 6 h → air cool, 725°C × 5 h → air cool).

すれば分塊ロールや大形粗延ロールになるほど苛酷になる。例えば分塊ロールの折損原因の大半は(ii)による熱亀裂にあるといつても過言ではなく、また型鋼粗延ロールの廃却原因の大半はカリバー側壁における(iii)に基づく摩耗ないし肌荒れであるといつても過言ではないであろう。

したがって、熱延用ロールとしての材質的な必要条件は

- (1) 強靱性が大きいこと。
- (2) 耐熱亀裂性が優れていること。
- (3) 耐摩耗性が良好なこと。

の3点に要約される。

さて、このような観点に立つて球状黒鉛鋼の熱延用ロールに対する適用性を検討して見よう。

いうまでもなく鋼である球状黒鉛鋼の強靱性は鉄より数等まさる。また前掲 Fig. 2 と Fig. 3 の比較からわかるごとく、黒鉛を多量に析出せしめた C 1.4%—Si 1.5% 系の球状黒鉛鋼の強靱性は C 1.0% 系の Ca 処理をしない鋼のそれとかなり近い値を示している。したがって強靱性の面から見てこの系の球状黒鉛鋼は従来高炭素特殊鋼が使用されていた分塊ロールないし大形粗延ロールに適用可能である。耐熱亀裂性については、従来の特殊鋼が持っていない球状の遊離黒鉛が熱応力の分散に役立ち、熱亀裂の発生、進展を阻止することが考えられる。したがって従来の特殊鋼ロールにしばしば見られた円周方向の鋭い熱亀裂に起因する折損事故を解消しうることが期待できる。耐摩耗性についても、従来

の特殊鋼ロールより炭素量が高く、しかもそれ自身減摩作用を有する遊離黒鉛の存在することから、かなりの改善が期待される。また C 2.2% 系の球状黒鉛鋼の強靱性は、既述のごとく同等化学組成の Ca 処理しない鋼のそれに比して著しく大きいから、従来中、小形粗延ロールとして使用されてきたいわゆるアダマイト系ロールの強靱性の改善に期待がもてる。しかもアダマイト系ロールの耐摩耗性は一般に炭素含有量の高いほど良好であるから、上記のごとき強靱性の改善はロールの炭素含有量を高めることを可能にする。さらにこの炭素量の増加に伴って球状黒鉛量も増加するからそれだけ耐熱亀裂性の改善が期待される。

以上を総括すれば球状黒鉛鋼の熱延用ロールに対する適用性は炭素含有量の広い範囲にわたって非常に大きいものであるが、特に分

塊ないし大形粗延ロールにおける耐熱亀裂性、中、小形粗延ロールにおける耐摩耗性の改善には注目すべきものがあると考えられる。

さらに前述した球状黒鉛鋼の材質的特性から見て、個々のロールの使用条件に応じてその性質を調整することが可能であるから、球状黒鉛鋼のロールに対する適用範囲が自から広められるであろうことは想像に難くない。

#### IV. 球状黒鉛鋼ロールの試作とその使用成績

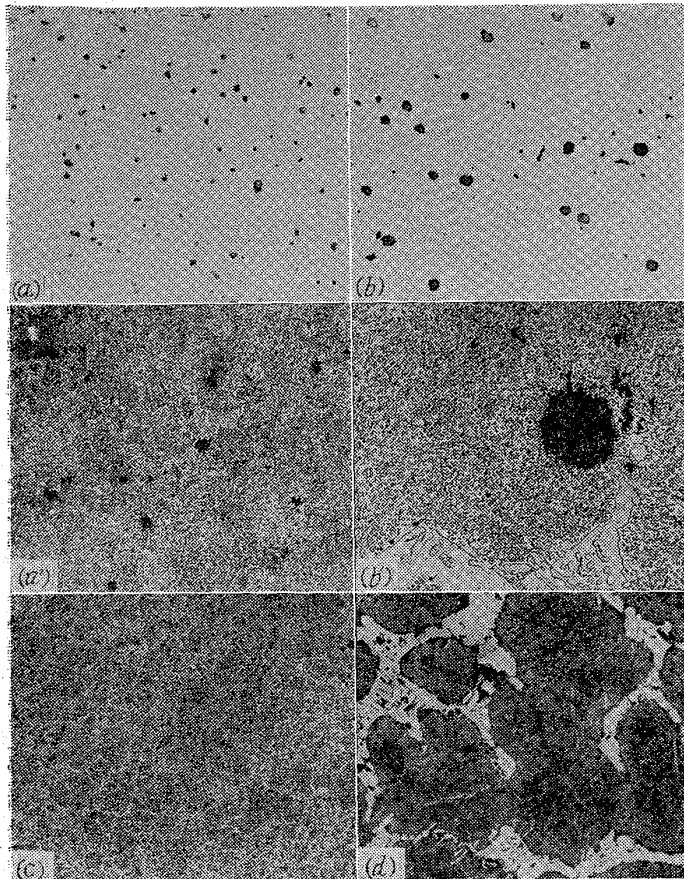
球状黒鉛鋼の材質に関する実験室的検討によつて、ロールに対するその適用性を明らかにしたが、実際にロールを製作するに際してはさらに下記の事項を検討しなければならない。すなわち、

- (1) Fe-Ca 基合金の適正な添加量および添加方法
  - (2) 球状黒鉛の析出におよぼす鑄造方案、とくに鑄造質量の影響
  - (3) 熱処理による基地組織および機械的性質の変化
- これらにらいて逐一試験を行ない、その結果に基づいて球状黒鉛鋼ロールの製造方案を決定した。

試作にあたっては、それぞれのロールの使用条件に応じて化学組成と硬度の選定を行なつたが、代表的なロールについてその材質と使用成績を述べれば次の通りである。

##### 1. 分塊ロール

胴径 870mm, 胴長 2,200mm, 全長 4,040mm, 重量 11 t 220 kg のブルーム用分塊ロールを、化学成分 C 1.2/1.4%, Si 1.3/1.7%, Ni 0.5/1.0%, Cr 0.8/1.3%, Mo 0.2/0.4%, ショアー硬度 35 前後を目標とし



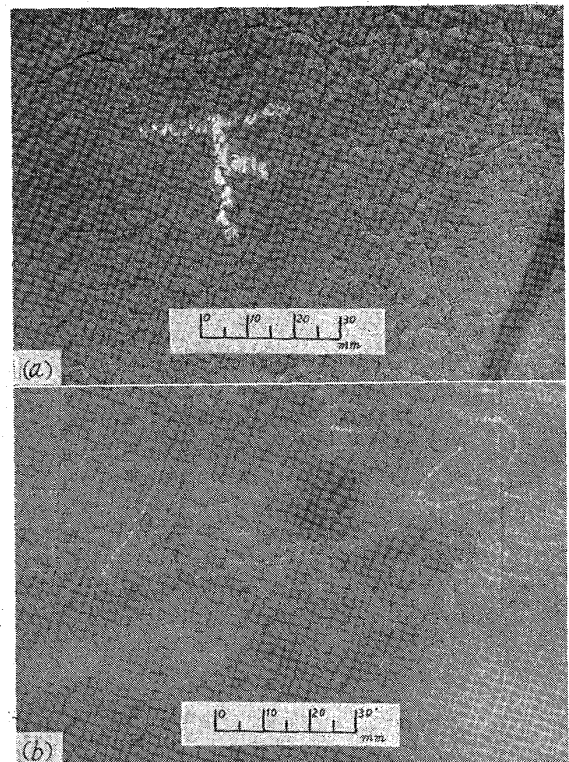
(a) C 1.3% nodular graphite steel roll. (Nodular graphite 0.25%). No etch,  $\times 100$  (1/2)  
 (a') C 1.3% nodular graphite steel roll. 5% picral etch.  $\times 300$  (1/2)  
 (b) C 2.0% nodular graphite steel roll. (Nodular graphite 0.45%). No etch.  $\times 100$  (1/2)  
 (b') C 2.0% nodular graphite steel roll. 5% picral etch.  $\times 300$  (1/2)  
 (c) C 0.85% special cast steel roll. 5% picral etch,  $\times 500$  (1/2)  
 (d) C 1.7% Adamite roll. 5% picral etch,  $\times 100$  (1/2)

Photo. 2. Comparison of microstructure of nodular graphite steel rolls with that of special cast steel rolls and an Adamite roll.

て試作した。

試作ロールはその余長部につき確性試験を行なつたが

Photo. 2 に示すごとく微細な球状黒鉛の均一な析出が



(a) Nodular graphite steel roll (after rolled about 18,000 t of ingots)  
 (b) Special cast steel roll (after rolled about 13,000 t of ingots)

Photo. 3. Comparison of nodular graphite steel rolls with special cast steel rolls for slabbing mill in regard to fire cracks on rolling surface in service (Roll size: 940mm  $\phi$   $\times$  2,300mm  $\times$  4,785mm).

認められ、所期の材質を具備することが確認された。なお断面の組織および硬度の分布は均一であり、機械的性質も引張強さ 70 kg/mm<sup>2</sup>、シャルピー衝撃値 0.6 kg-m/cm<sup>2</sup> におよぶ強靱性を有することがわかつた。

以上のほか Table 3 に掲げる分塊ロールを製作したが、それらの使用成績はすべて従来の材質による分塊ロ

Table 3. Comparison of wear in service of nodular graphite steel roll with that of other rolls in 4 rolling mills.

Kinds of mill	Rolls			Reduction of roll diameter by wear in service per 10,000 t of rolled ingot (mm)
	Size (mm)	Materials	Shore hardness	
Blooming mill	870 $\phi$ $\times$ 2,200 $\times$ 4,040	Nodular graphite steel	33~36	0.38
		Special cast steel	30~35	0.62
Slabbing mill	940 $\phi$ $\times$ 2,300 $\times$ 4,785	Nodular graphite steel	33~35	1.20
		Special cast steel	33~35	4.40
Blooming mill	760 $\phi$ $\times$ 1,900 $\times$ 3,380	Nodular graphite steel	30~35	1.30
		Ductile cast iron	36~42	2.50
Blooming mill	1,000 $\phi$ $\times$ 2,400 $\times$ 4,630	Nodular graphite steel	33~37	1.60
		Ductile cast iron	37~43	1.92

ールをしのぐ良好なものであつた。すなわち、

(i) ロール表面の熱亀裂は円周方向に連ならず、亀甲状を呈する。

Photo. 3の比較から明らかなごとく、球状黒鉛鋼分塊ロールには特殊鑄鋼分塊ロールに見られる鋭い円周方向の亀裂は認められず、すべて典型的な亀甲状のものである。

(ii) ロール表面の摩耗が少ない。

Table 3は球状黒鉛鋼ロールの摩耗量を特殊鑄鋼ロールおよびダクタイルロールのそれと比較したものである。摩耗量としては、ロール修削から次の修削までの1周期間におけるロール面の純摩耗量をその間の圧延量10,000 t当りに換算した値を用いた。以上の比較からわかるごとく、球状黒鉛鋼ロールの摩耗量は特殊鑄鋼ロールの1/2~1/3であり、また同等ないし若干高硬度のダクタイルロールと比較しても非常に少ない。

(iii) ロールカリバー側壁の肌荒れが少ない。

Photo. 4は特殊鑄鋼ロールとのカリバー側壁の肌荒れ状況を比較したもので、球状黒鉛鋼ロールの特徴の一つが明瞭に認められる。

(iv) ロールの寿命が長い。

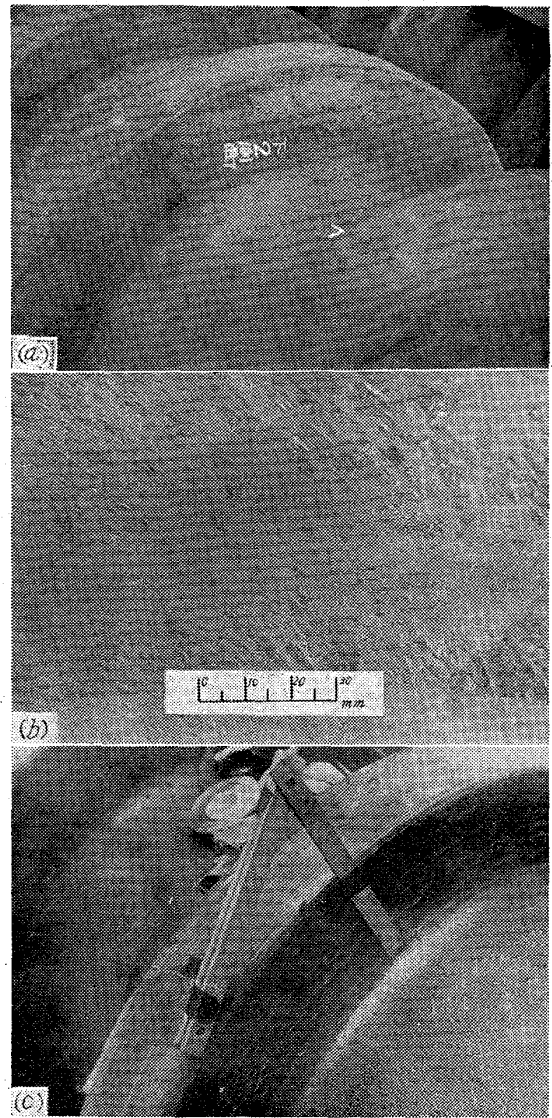
前項(i)~(iii)の当然の結果として球状黒鉛鋼ロールの寿命は著しく長くなる。Table 4はこれを示す。ここに直径減耗量はロール修削後から次のロール修削後までの1周期間におけるロール直径の減少量をその間の圧延量10,000 t当りに換算したものである。

上記のごとく、球状黒鉛鋼分塊ロールは強靱性に富むばかりでなく、特にその耐熱亀裂性および耐摩耗性において従来の材質によるものより著しく優れているが、これを前掲Photo. 2の顕微鏡組織と対比するとき、微細な球状黒鉛の存在がいかに効果的であるかがうなずけよう。

## 2. 帯鋼粗ロール

胴径 472mm, 胴長 1,300mm, 全長 2,900mm, 重量 2 t 100 kg の帯鋼粗ロールを、化学成分 C 1.9/2.1%, Si 1.3/1.7%, Ni 0.5/1.0%, Cr 0.8/1.2%, Mo 0.2/0.4%, ショアー硬度 40~45 を目標として試作した。

試作ロールは前記分塊ロールと同様にして確性試験を行なつたが、Photo. 2に示すごとく球状黒鉛が遊離炭化物の間に均一に析出しているのが認められ、所期の材質を具備することが確認された。なお断面の組織および硬度の分布は均一であり、鑄鉄系およびダクタイルロールのごとき著しい質量効果は認められなかつた。機械的性質としては引張強さ 50 kg/mm<sup>2</sup>, シャルピー衝撃値



(a) Nodular graphite steel roll (after rolling of about 2,000 t of ingots)  
 (b) Ditto, but shows less abrasion on the side surface of the groove.  
 (c) Special cast steel roll (after rolling of about 3,000 t of ingots) showing more abrasion on the side surface of the groove.

Photo. 4. Comparison of a nodular graphite steel roll with a special cast steel roll for blooming mill in regard to abrasion wear on the side surface of the groove in service (roll size: 870  $\phi$   $\times$  2,200mm  $\times$  4,040mm).

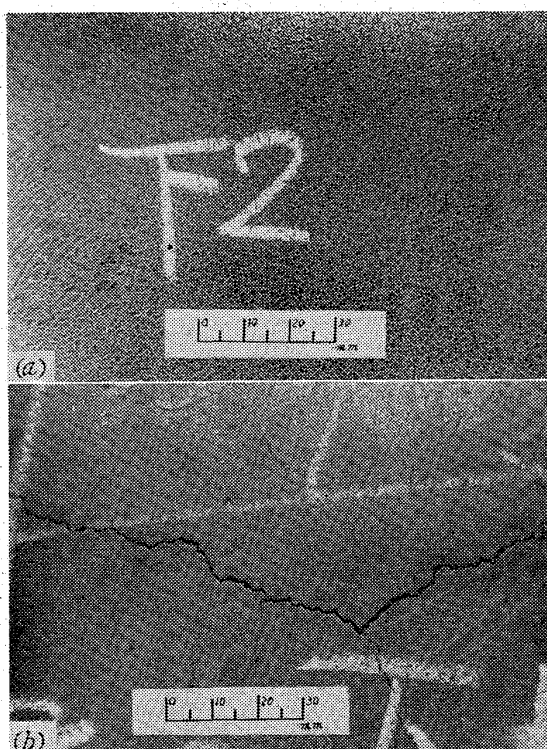
0.4 kg-m/cm<sup>2</sup> の強靱な値を示した。

以上のほか帯鋼粗ロールとしては、胴径 455mm, 胴長 1,500mm, 全長 2,300mm, 重量 2 t のものを C 2.0%-Cr-Mo 系球状黒鉛鋼で、また胴径 715mm, 胴長 965mm, 全長 2,690mm, 重量 5 t のものを C 1.7%-Cr-Mo 系球状黒鉛鋼で製作したが、いずれもその使用成績は従来の材質によるものをしのぐ良好なものであつた。すなわち、

(i) 熱亀裂が細かく、肌荒れ摩耗が少ない。

Table 4. Comparison of nodular graphite steel roll with other rolls in 3 rolling mills with reference to reduction of roll diameter per each dressing.

Kinds of mill	Rolls		Reduction of roll diameter by dressing per 10,000 t of rolled ingot. (mm)
	Size (mm)	Materials	
Slabbing mill	940 $\phi$ $\times$ 2,300 $\times$ 4,785	Nodular graphite steel	11.1
		Special cast steel	20.2
Blooming mill	870 $\phi$ $\times$ 2,200 $\times$ 4,040	Nodular graphite steel	2.36
		Special cast steel	4.70
Blooming mill	760 $\phi$ $\times$ 1,900 $\times$ 3,380	Nodular graphite steel	3.40
		Ductile cast iron	5.10
		Special cast steel	23.4



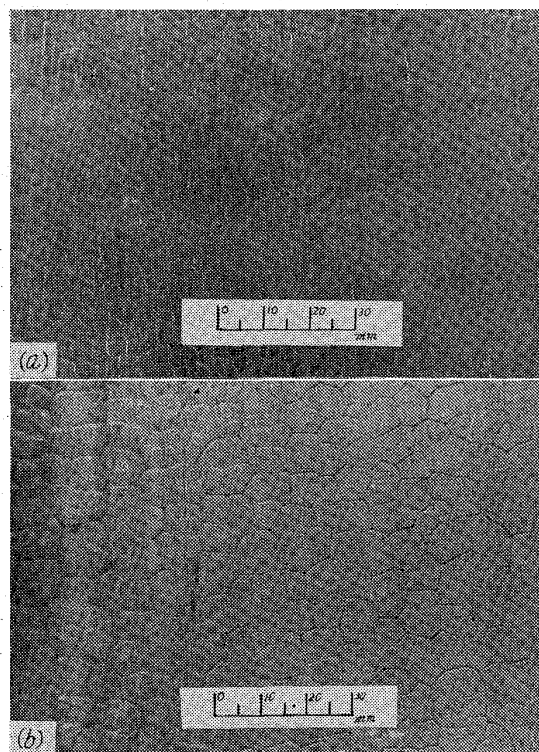
(a) Nodular graphite steel roll (after rolling of about 500 t of slabs)  
 (b) Adamite roll (after rolling of about 500 t of slabs)

Photo. 5. Comparison of a nodular graphite steel roll with an Adamite roll at the roughing stand of a hot strip mill in regard to fire cracks on rolling surface in service. (Roll size: 455mm  $\phi$   $\times$  1,500mm  $\times$  2,300 mm)

Photo. 5 に示すごとく、球状黒鉛鋼ロールとアダマイトロールの優劣は歴然たるものがある。このことは Photo. 6 でも明瞭であり、球状黒鉛鋼ロールの優位性が認められる。

(ii) ロールの寿命が長い。

前項の当然の結果として、球状黒鉛鋼ロールの寿命は



(a) Nodular graphite steel roll (after rolling of about 3,000 t of slabs)  
 (b) Special cast steel roll (after rolling of about 1,000 t of slabs)

Photo. 6. Comparison of a nodular graphite steel roll with a special cast steel roll at the roughing stand of a hot strip mill in regard to fire cracks on rolling surface in service. (Roll size: 715mm  $\phi$   $\times$  965mm  $\times$  2,690mm)

長くなる。その一例を Table 5 に示す。直径減耗量の表わし方は前掲 Table 4 と同様である。

なお、一般に帯鋼粗ロールではロールの寿命よりはむしろ圧延製品の肌を問題視するが、Photo. 5 および Photo. 6 から球状黒鉛鋼ロールはこの面においてもいかに優れた性能を有するかがわかるであろう。

### 3. 型钢ロール



Table 5. Comparison of a nodular graphite steel roll with an Adamite roll at the roughing stand of a hot strip mill with reference to reduction of roll diameter per each dressing.  
(Roll size : 472  $\phi$   $\times$  1,300  $\times$  2,900)

Kinds of roll	Reduction of roll diameter by each dressing per 10,000 t of rolled slab. (mm)
Nodular graphite steel roll	4.30
Adamite roll	6.90

Table 6. Comparison of a nodular graphite steel roll with a grain roll at the roughing stand of a structural section mill with reference to reduction of roll diameter per each dressing.  
(Roll size : 600  $\phi$   $\times$  1,800  $\times$  2,900)

Kinds of roll	Shore hardness	Reduction of roll diameter by each dressing per 10,000 t of rolled ingot. (mm)
Nodular graphite steel roll	50~53	61.6
Grain roll	58~65	85.2

胴径 600mm, 胴長 1,800mm, 全長 2,900mm, 重量 4t 500kg の中形型鋼第2粗延用ロールを, 化学成分 C 1.9/2.1%, Si 1.3/1.7%, Ni 0.5/1.0%, Cr 0.8/1.2%, Mo 0.2/0.4%, ショアー硬度 50~55 を目標として試作した。

試作ロールは前記同様にして確性試験を行なつたが, 前掲 Photo. 2 の C 2.0% 系球状黒鉛鋼ロールと同様の球状黒鉛と遊離炭化物がマルテンサイト質の硬い基地に分散さそており, 所期の材質を具備することが確認された。断面の組織および硬度分布は均一であり, 高硬度にもかかわらず引張強さ 55 kg/mm<sup>2</sup>, シャルピー衝撃値 0.3 kg-m/cm<sup>2</sup> の強靱性を示した。

このロールの使用成績は Table 6 に示すごとくであり, さらに高硬度のグレンロールよりも優れていることが認められる。なお直径減耗量の表わし方は前述の場合と同様である。

さらに, グレンロールはしばしばロールネックの折損事故を起しているのに対し, 球状黒鉛鋼ロールでは折損事故は皆無であり, 強靱性の優れていることを示している。

以上のごとき各種多数の使用成績によつて球状黒鉛鋼ロールの優秀性が明なかとなり, 球状黒鉛鋼の熱延用ロールに対する応用の成功したことが確認された。

## V. 結 言

鋼系熱延用ロールにおいて, 本来の強靱性を保有し, しかもその耐熱亀裂性と耐摩耗性を大巾に改善するには鑄鉄系ロールの特色を巧みにとり入れるべきであるとの着想は, 鋼に球状の遊離黒鉛を析出せしめた新しい材料, すなわち球状黒鉛鋼の適用によつて実現の緒を見出した。かくして数年にわたる基礎的検討と試作実験の結果, 従来のロールをはるかにしのぐ高性能のロール, すなわち球状黒鉛鋼ロールの創製に成功した。

昭和 32 年初めて試作に成功して以来, 現在までにすでに約 300 個におよぶ各種多数の球状黒鉛鋼ロールを製作しているが, いずれも極めて良好な圧延成績を収め, その需要は年々増加の傾向をたどつている。もちろん今後の使用条件の苛酷化に対処すべく, さな一段と材質性能の改善をはかりつつあるが, 球状の遊離黒鉛を有する鋼としての独得の特性が, 本ロールの適用範囲をさらに拡大せしめることは想像に難くない。

最後に, この新材質ロールの研究開発は多数の圧延工場における温かい御理解と絶えざる御指導に負うところ極めて大なるものがあり, 関係各位に対して深甚の感謝の意を表する次第であります。(昭和 36 年 9 月寄稿)

## 文 献

- 1) A. B. KINZEL & R. W. MOORE: Metals Technology, 1 (1934) 6, 6.
- 2) F. R. BONTE & M. FLEISCHMANN: Metal Progress, 31 (1937) 4, 409.
- 3) D. K. BULLENS: "Steel and its Heat Treatment", 2 (1953) 93.
- 4) 佐藤, 戸谷: 日本金属学会誌, 18(1954), A, 107.
- 5) 斎藤, 沢村, 森田: "金属材料およびその加工法—鑄鉄篇—", 丸善発行, (1953) 142.
- 6) P. P. BERG & S. P. NESTERCEV: Lit. Proiz., 12 (1956), 25.  
科学技術トピック速報(ソ連の部), 120 (1957), 5.
- 7) 佐藤, 戸谷: 日本金属学会誌, 21 (1957), 234.
- 8) 音谷, ほか: 特許公報, 昭. 34-855 (昭. 34. 2. 21)
- 9) 音谷, ほか: 特許公報, 昭, 34-5251 (昭, 34. 6. 25)  
特許公報, 昭. 34-5252 (昭. 34. 6. 25)  
特許公報, 昭. 34-5254 (昭. 34. 6. 25)  
特許公報, 昭. 35-15002 (昭. 35. 10. 11)