

略々比例する。

(5) 溶解酸素は気相の酸素分圧に比例的な関係はなく炭素濃度に特有な値を示す。

(6) 以上のことからこの種の脱炭反応は界面反応とみなされる。

(7) 気相の酸素分圧に対して生成ガスの分圧が大きくなってくると反応の抑制作用が現われる。炭素濃度と両者のガス分圧との関係からこの条件を求めた。

本研究は理学士鈴木隆一氏の御協力により成つたものでありここに謝意を表す。本研究に際し多大の御援助を受けた日本学術振興会第 19 委員会に深謝し、終始御懇篤なる御激励を賜つた前委員長俵国一博士に厚く御礼申し上げる。尙本研究を遂行するに当り多大の御支援を賜つた富士製鉄株式会社に謝意を表す次第である。

(昭和29年5月寄稿)

## 文 献

- 1) 丹羽, 勝藤: 日本金屬學會誌, 17 (1953) 271
- 2) H. C. Vacher & E. H. Hamilton: T.A.I.M. E. 98 (1932) 1
- 3) 氣相ガスの金屬上における解離吸収に関する例は R. H. Fowler: Proc. Roy. Soc. London A 160 (1937) 37  
A. Sieverts: Z. Phys. Chem. A 183 (1939) 19  
R. M. Barrer: Disc. Farad. Soc. (1948) 68  
齋藤: 日本金屬學會誌 14 (1950) 28
- 4) I. Langmuir: J. Amer. Chem. Soc. 37 (1915) 1165  
J. K. Roberts: Proc. Camb. Phil. Soc. 32 (1936) 653

# 鑄鋼の高温割れ傾向に及ぼす諸元素の影響 (I)

(C, Si, Mn, P 及び S の影響)

(昭和 25 年 9 月並びに昭和 26 年 10 月本会講演大会にて発表)

沖 進\*

## INFLUENCE OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF CAST STEEL ON HOT-TEARING TENDENCY (I)

Susumu Oki

### Synopsis:

Two different shapes of test casting were used for determining hot-tearing tendency of cast steels. The first one comprised a 40mm diameter vertical cylinder and four horizontal, radial branches, each joined to the cylinder by a special design. The hot-tearing tendency of a steel was determined by fracturing these joints at room temperature. The test casting of the second type was a kind of plate casting, the thickness of its main part being 20mm. Length of hot-tear in this plate was taken as an index to hot-tearing tendency of the cast steel.

Several spoonfuls of molten steel sample were taken from each heat of ordinary cast steel manufactured in a 5-ton basic arc furnace, and then each spoonful was tested after addition of various elements into the spoon. Again, the correlations between the analysis of each element and the resistance of steel to hot-tearing was studied by use of many heats of steel without any addition in the spoon.

From results of studying on the influences of C, Si, Mn, P and S, following conclusions were obtained:

\* 日本車輛製造株式会社

(1) Hot-tearing tendency increased with increase in the carbon content within the range of 0.16~0.6%C.

(2) Silicon did not seem to affect the hot-tearing tendency in a simple way, but a study on the correlation showed that steels containing 0.4~0.5% silicon had the maximum resistance to hot-tearing.

(3) Hot-tearing tendency decreased as the manganese content increased until the latter reached at least 0.75%, but it seemed to have a minimum point before the manganese content reaches 1%.

(4) Even small additions of phosphorus were so detrimental that increase of the phosphorus from 0.02% to 0.04% had nearly the same effect as increase of the sulphur from 0.01% to 0.02%.

(5) The wellknown fact that sulphur was the most deleterious element was accertained here again.

## I. 緒言

鑄鋼の除去し難い鑄造欠陥の一つである高温割れの原因とその防止法については古くから数多くの研究が行われて居る。高温割れは鑄型及び鑄込方法によつて支配されると同時に、鋼の化学組成によつても影響されるのであり、各鋼はその化学組成に応じて高温割れを起す傾向を異にする。鋼の化学成分の中、高温割れに最も悪く作用するのはS及びPであり、これを述べた文献は極めて多い。鋼中に普通に存在する諸成分の影響に関して最初に広汎な研究を行つた木下氏は、Sの害と共に特にMnの好影響について強調して居る。Middletonと共同研究者<sup>2)</sup>は一種の試験方法を用いて10数種の成分の影響を研究し、殊にO及び脱酸剤としてのSiとAlの影響について詳しく述べて居る。著者は上記とは異なる2種の試験方法を用いて高温割れ傾向に及ぼす諸元素の影響を研究し現在迄にC, Si, Mn, P及びSの影響についてほぼ明らかにしたのでこの結果を取敢えず第1報として報告する。

## II. 試験方法及び試料

試験方法としては試験しようとする熔鋼を一定の鑄型に一定の条件で鑄込み、凝固後生じた割れの大きさを以てその熔鋼の高温割れ傾向の指度とした。扱て高温割れ傾向と云う量は一定の定義を有するものでなく、使用する鑄型鑄込条件が異れば、その大小の順が逆になることもあり得る。従つて厳密に云えば鑄物の形状と鑄造方案が異なる毎に異つた定義を有すると考えなければならない。この様に、高温割れ傾向の試験には無限の種類鑄型が要する筈であるが、ここでは従来研究者と同様に特定の鑄型と鑄込条件を用いて実験し、得られた数値を以つて直ちに鋼の高温割れ傾向とした。但し用いた鑄物の割れ発生はなるべく実際の鑄物に近い状況で起る様にし

且つ試験方法は2種併用した。この2種の試験法から得られた結果は、大体に於いて一致し、又従来研究者の全く別種の試験による結果とも一致する点が多いので、この研究の結果は一般の鑄物に適用しても大なる過誤は生じないと信ずる。用いた試験方法は次に述べる板型試験及び石英管貫入型試験である。

### (1) 石英管貫入型試験

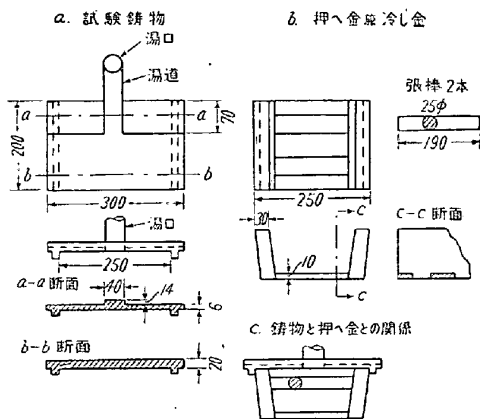
この方法は別報<sup>3)</sup>にて詳しく説明した通りであるが、再び簡単に述べると鑄物は40mmφの垂直の中央円筒と、これから四方に水平に出る4本の8mmφの枝と、その先端に夫々存在する小さなフランジとから成り、枝の鑄型は中央円筒内に10mmだけ貫入した石英管で出来て居り、且つ中央円筒と各フランジとの間には、枝の収縮を阻止するための鉄管が各枝の外周に夫々用いられるものである。高温割れは常に枝と中央円筒との接続部に於いて起り、その程度は常温に冷却後の枝の引張破断荷重と破面の状況から判定される。試料は日本車輛製造会社の5t塩基性電弧炉の主として出鋼直前、Al添加前の熔鋼を炉内から2kg入りのスプーンで汲出し、要すれば成分添加を行つてから鑄込んだ。通常一熔解の鋼を4個の鑄型へ夫々添加成分の量を変化させて鑄込んで、その添加成分の影響を実験した。この様な実験を数熔解について繰返し行い結果の信頼度を高めた。尙その外に、多数の熔解の無添加試料について、各成分の含有量と試験値との相関関係をも必要に応じて求めた。

スプーン中での成分添加には木炭、フェロシリコン(75% Si)、フェロマンガ(80% Mn)、磷鉄(25% P)、磷鋼(15% P)、硫化鉄、銅線、Al板(細く切つたもの)などを用いた。これらは必ずしも純良ではないが、いづれも添加量が少いので不純物の影響は無視出来る。

### (2) 板型試験

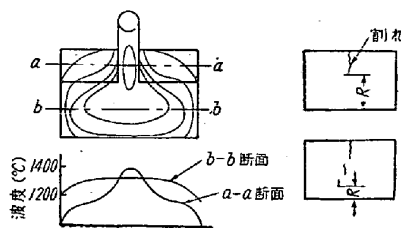
試験片は第1図(a)の如く、200×300mmの板状鑄物で片側の長辺の中央に湯口を付け、短辺の下側にはリ

ブを付けこれによつて長手方向の収縮を阻止する様にしたものである。又湯口の前の両翼は冷却を早めるため6mmの薄肉とし、その他の部分の厚さは実物に近い様に20mmとしてある。この鑄物の砂型中には第1図(b)の如き押え金兼冷し金を予じめ挿入してある。この金具と鑄物との関係は同図(c)の如くなり、鑄物はリブを冷されると同時にリブ間の距離は収縮が極度に阻止される。この金具は厚鋼板を溶接して製作したもので、2本の張り棒は予め金具の所定位置にしっかりと嵌め込んで置くことが肝要である。この金具の上端部の横方向の変形量を試験した結果、14tの圧縮荷重までは0.1mm/tの割合で弾性変形するから、1000°以上の鑄物に対しては充分の剛性があると云い得る。



第1図 板型試験法

鑄込後の試験片内の温度は第2図に左方に示す様な分布を取りつつ降下すると想像され、従つて長手方向の収縮阻止作用による鑄物内の引張変形は図中a-a断面の中央部に最も強く集中され、この部に同図右方の例の如き高温割れが発生する。この割れの長さを以つて鋼の高温割れ傾向の尺度とし、割れ残り長さ、即ち図中Rの長さを以つて割れ抵抗の尺度とした。予備的実験の結果、Rは鑄込温度によつては殆んど影響されず、鑄込温度が1520°Cから1570°Cに上昇してもRの低下は平均10mm以内である。再現性をみるため、同一熔鋼を同一と思われる条件で2回づつ試験し、Rの2回の差をとつた結果、12対の差の最大は17mm、平均は8mmであつ



第2図 板型試験における割れの発生

た。これより、同一熔鋼を同一と思ふ条件で無限に多数回試験する場合のRの母集団の標準偏差は6.7mmと推定される。

試料は前記石英管貫入型の場合と同じ電気炉の熔鋼を6t取鍋に受け、ノズルより直接鑄込むか、或いは取鍋下で一旦、10kg入りの小取鍋に受け、ここで成分添加を行つてから鑄込んだ。通常1熔解から2~4個の鑄型へ夫々添加成分を変えて鑄込み、或る成分の影響を求め、これを数熔解について行い結果の信頼度を高めた。尚この外に多数の熔解の無添加試料について各成分とRとの相関関係を求めた。取鍋中の添加物は前記と同様のものを用いた。

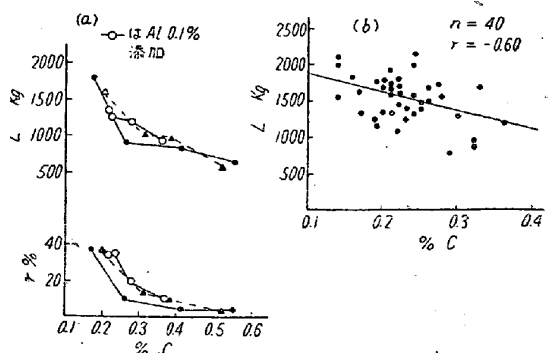
以上2種の実験方法は一見甚だ異つて居るが、その高温割れ発生の原因は同様である。又両方法に於いて鑄物の割れ発生部の凝固及び冷却速度はいずれも肉厚約20mmの砂型鑄物のそれに相当して居り、又試料の基本熔鋼の組成範囲は第1表の左より第4、5欄に示す様なもので、Al脱酸は取鍋中でt当り約0.7kgのAlで行つたものである。但し石英管貫入型試験の基本熔鋼は炉内より汲出したAl無添加のものである。

従つて本研究の結果は上記肉厚及び化学組成の鑄鋼に最もよく適用されるものと考えられる。然らざる場合、例えば極厚肉鑄鋼、高炭素鑄鋼、合金鑄鋼、硫黄の高い鑄鋼などの場合には本研究結果はそのまま適用出来ないかも知れない。

### III. 試験結果

#### (1) Cの影響

石英管貫入型試験でCの影響を実験した結果は第3図(a)に示す通りで、Cが0.15%より増加するに従つて破断荷重(以後Lと記す。前報中の $\bar{L}_0$ に相当する)も割れ残り面積パーセンテージ(以後rと記す。前報中の $\bar{r}$ に相当する)も共に急激に減少する。又、或る熔解群についてのLとC%との相関関係は同図(b)に示す



第3図 Cの影響

如く、有意な負の相関を示して居る。この様に石英管貫入型試験では C 0.15% 以上では C は明らかに高温割れ傾向を増大する。

C の添加はスプーン中に少量の木炭粒を投入して数秒間溶鋼と接触させる方法によつたから、C に伴つて他の成分量が変化することは無かつた筈である。ただ Al 添加前の鋼は C の増加により CO ガスのためと思われる気泡巣を生ずるものが多いので、C の影響に伴つて気泡巣の影響もあると考えられた。そこで Al を 0.1% 添加して気泡を完全に抑えた鋼について C の影響を実験したがやはり図 (a) 中の白丸の示す結果が得られ C の影響は気泡の有無に拘らないことが確認された。

板型試験では C 添加の実験は行わなかつたが、多数溶解の無添加試料における割れ残り長さ R と C% との相関関係を求めた。その結果は第 1 表に示す如く相関係数は 0 に近い値を取り、有意とならない。この事はこの種の統計的調査の常として、当面の横軸の変数の変動が小なるに反して他の変数の変動や偶然誤差による縦軸の変数の変動が大きいためである。従つて C% を大きく変化させる事の影響はこの統計結果からは知ることが出来ない。上の諸試験の結果を総合すれば次の通りである。C% は日常の変動範囲内では割れに及ぼす影響は小さいが、C% をそれ以上の広範囲に変化させれば割れ傾向は C の増加と共に増す。

第 1 表 多数の無添加鋼試料についての統計的調査結果

成分元素	期別	試験した 熔解数	含有量の 平均値%	含有量の 標準偏差 %	成分元素 と R との 相関係数
C	1	37	0.23	0.035	+0.04
	2	43	0.24	0.024	-0.05
Si	1	37	0.35	0.071	+0.23
	2	43	0.33	0.062	+0.39
Mn	1	37	0.65	0.047	-0.12
	2	43	0.64	0.060	+0.21
P	1	37	0.014	0.0018	-0.06
	2	43	0.016	0.0023	+0.13
S	1	37	0.012	0.0029	-0.37
	2	43	0.016	0.0035	-0.56
Cu	1	37	0.27	0.075	+0.26
	2	43	0.27	0.048	-0.08

註: Si 0.5% 以上の熔解は除去した。

(2) Si の影響

先ず石英管貫入型により試験した。Si の影響は共存する酸素や S の量を考慮しないでは論ぜられないので、

次の 3 つの場合に分けて実験した。

(a) Al, S 共に無添加の場合 (C 0.01~0.015% S)

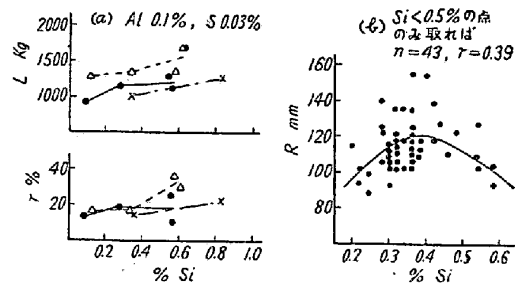
L と Si % との関係は 0.1~0.9% Si の間で不規則で、Si の影響は不明である。

(b) Al 0.1% 添加, S 無添加の場合 (C 0.01~0.015% S)

Si 0.1~0.4% の間に於いて Si% と共に L が増加するかの如き傾向もみられるが確実でない。

(c) Al 0.1% 添加, S 約 0.03% の場合

第 4 図 (a) の如く、0.6% 迄は Si% が増すと共に L も r も僅か乍ら増加する。しかしこれらの変化は僅少であるため、あまり重要な意味は持たない。



第 4 図 Si の影響

次に板型試験に於いては多くの無添加試料について R と Si との相関関係を求めた。その結果は第 1 表及び第 4 図 (b) に示す如く、Si 0.5% 以下においては R と Si % との相関係数は 6 元素中 S に次いで大きく、Si% の増加と共に R が増加することが明らかである。しかし Si 0.5% 以上の範囲を含めると、図の如く、R は Si 0.4% 附近を頂点として再び低下する傾向を示す。

Si の影響に関する諸試験の結果を総合すれば次の通りである。Si は 0.4~0.5% 附近迄は増加するほど割れ傾向を減ずるがこの影響は僅かであり、又不規則である。

(3) Mn の影響

石英管貫入型試験で、第 3 元素の異なる諸条件の下に Mn の影響を実験した。

(a) Al, S 共に無添加の場合

S 約 0.01% で Al を添加しない場合の Mn 添加実験の結果は第 5 図 (a) に示す如く r に及ぼす Mn の影響は認められないが L は Mn と共に増加する。

(b) Al 0.1% 添加, S 無添加の場合

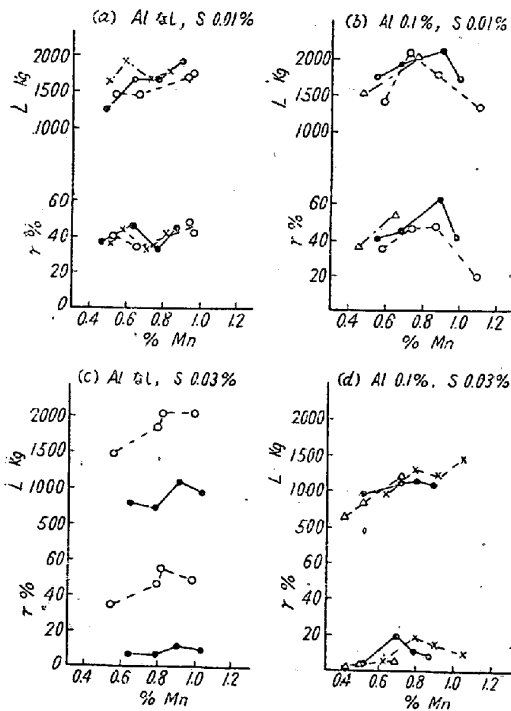
Al を 0.1% 添加し、S は 0.01% 附近である場合の Mn 添加の実験結果は第 5 図 (b) に示す如く、Mn 0.8~0.9% 附近で L も r も極大となり、その前後では L も r も急傾斜を以つて低下して居る。この原因は不明であるが、実験結果は 3 区共よく似た傾向を示して居り確実な傾向であると考えられる。

(c) Al 無添加, S 約 0.03%

Al を添加せず, S を約 0.03% にした場合の Mn 添加実験の結果は第 5 図 (c) に示す如く, L も r も Mn 約 0.8~0.9% 附近で極大となる。

(d) Al 0.1% 添加, S 約 0.03%

Al を 0.1% 添加し, S を約 0.03% にした場合の Mn 添加実験の結果は第 5 図 (d) に示す如く, L も r も Mn 約 0.7~0.8% 附近で極大となる。但し L は Mn を更に増すと更に上昇する傾向を示す。



第 5 図 Mn の影響

以上 (a)~(d) の各条件の場合共, L は Mn と共に最初増加し 0.7~0.9% Mn の間で最高となつて居る。それ以上の Mn の増加による L の変化は実験点が少ないので明確でないが下降する場合が多い様である。r は (a) の場合のみは一定の傾向を認めないが, (b)~(d) の場合には 0.7~0.9% Mn で極大となることが明らかである。即ち本試験結果を次の様に要約することが出来る。石英管貫入型試験によれば, S 及び Al の広い変域に於いて Mn は 0.7~0.8% 附近迄は明らかに高温割れ傾向を減じ 0.9% 以上の Mn は多くの場合再び高温割れ傾向を増加する。

次に板型試験に於いて多数の無添加試料の R と Mn% との相関関係を求めた結果は第 1 表中に示す如くで, 相関係数は小さく, 試料数を考慮しての有意性は認められない。この原因は Mn% の変動範囲がせまいのに R に及ぼす他の因子の影響が大きいことになる。即ち日常の

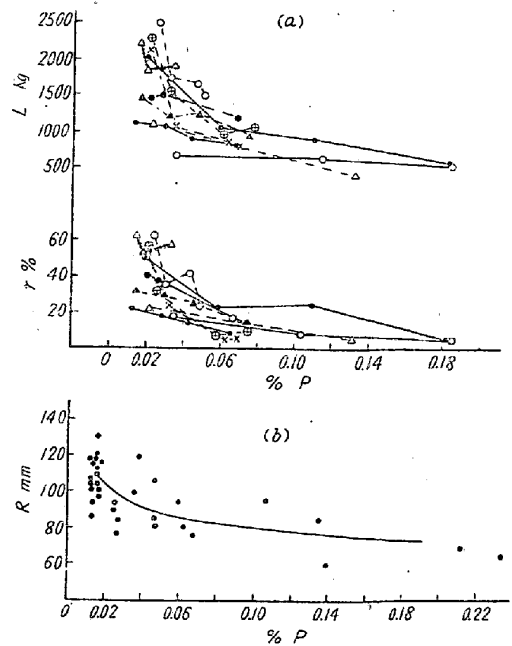
Mn の変動範囲内では割れ傾向と Mn% の関係は S や Si との関係より少い。

(4) P の影響

石英管貫入型試験において P% を変化させた実験の結果は第 6 図 (a) の如くで, L も r も P の増加にしたがい減少する。この減少の度合は 0.02~0.06% P の間で著しく, 特に 0.02~0.04% P の間で急激であるが, P 0.06% 以上ではずつと緩やかになり, 0.2% P でも未だ完全には破断しない。

次に板型試験に於いて, P% を変化させた場合の P の影響は第 6 図 (b) の如くで, 石英管貫入型試験の結果とよく似て居る。P の 0.02% から 0.04% への変化は S の 0.01% から 0.02% への変化と同等の影響を示すが, それ以上の P の増加の影響は少く, P の 0.02% の増加は S の 0.05% の増加にしか相当しない。

次に板型試験に於いて多くの無添加試料について R と P% との相関関係を求めた結果は第 1 表の通りで, P% の標準偏差が小さいためと他の因子の変動が大きいために P% と R との相関係数は 0 に近く, 試料数を考慮しても有意性はない。



第 6 図 P の影響

上述の各試験の結果を次の様に要約することが出来る。

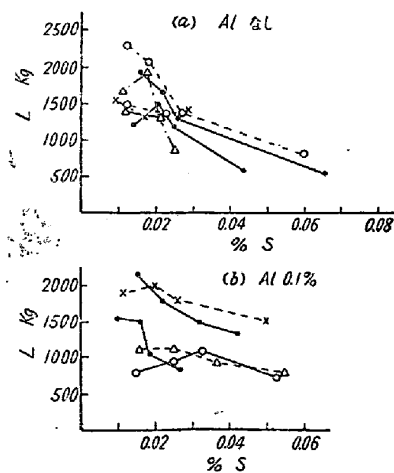
P% の 0.04% 附近迄の増加は, その半分の量の S% 増加に相当する割合で割れ傾向を増しそれ以上の P% 増加は割れ傾向をゆるやかに増す。しかし日常の熔鋼に於いては P% の変動が極めて小さいため, その影響は殆んど認められない。

(5) S の影響

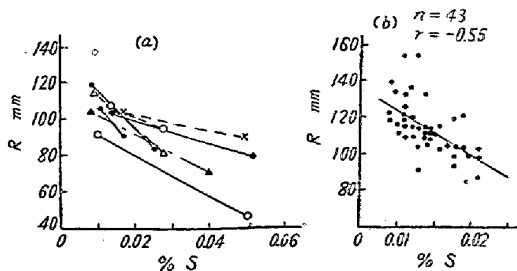
先ず石英管貫入型試験に於いて S% を変化させた場合の L に及ぼす S% の影響は第7図 (a) 及び (b) に示す通りである。(a) は Al を添加しない場合、(b) は Al を 0.1% 添加した場合である。いずれの場合にも、S の増加は L を急激に減少させる。ただ Al が存在する場合は S の影響はいくらか緩和されて居るが、これは後述の Al の影響からも当然期待されることである。ここで奇妙に感ぜられることは、S% が 0.02% 以下の低い範囲では S の影響が少いことであり、この点は後述の板型試験の結果と異つて居る。r についても L と同様の影響が見られる。

次に板型試験に於いて S% を変化させた場合の S% と R との関係は第8図 (a) に示す如く、S の増加により R は急激に減少する。この減少は 0.02% 以下の低 S の範囲で特に急である点は、第7図と異つて居る。このような相異は試験方法の相異から止むを得ないものであろう。

次に多くの無添加試料について R と S% との相関関係を求めると第8図 (b) 及び第1表の如く、S の変動の範囲が約 0.01~0.02% で極めて狭いにも拘らず相関係数は強い負の値を示し、試料数から考慮してこの負相関は有意である。



第7圖 S の影響 (その1)



第8圖 S の影響 (その2)

S に関する諸試験の結果を要約すれば次の様である。

S の増加は高温割れ傾向を明瞭に増加せしめる。特に板型試験では S 0.01~0.02% の間でも明らかに高温割れ傾向に差異を認める。Al 0.1% の存在は S の影響をやや緩和する。日常の熔鋼に於いては S% の変動が少であるにも拘らず R と S% とは確実な負相関を示す。

IV. 考 察

(1) C の影響

木下氏<sup>1)</sup>、Middleton<sup>2)</sup> のいずれも 0.2% 以上 C が増すほど高温割れ傾向は大となる結果を得て居り、今回の結果もそれらと一致する。又 Fe-C 状態図から考えても、恐らく C 約 2% 迄は C% が増すほど高温割れ傾向が増すであろう事は Lees<sup>4)</sup> 等の Al-Si 等 2 元合金の高温割れに関する研究結果と同様に推論することが出来る。

(2) Si の影響

木下氏<sup>1)</sup>は極めて S% の低い場合に Si 0.2~0.6% の範囲で実験して Si が増すほど高温割れ傾向は減ずる結果を得て居る。Middleton<sup>2)</sup> は S 0.035% の場合に、Si 0.35% にて高温割れ傾向が最小になり、0.50% では再び割れ易くなると云う結果を示し、この説明として Si は 0.35% 迄は脱酸剤として、0.35% 以上では合金成分として働いたためであるとして居る。今回の結果では Si の影響は S% の如何に拘らず微弱で且つ不規則であるが、しかし Si 0.4~0.5% 附近のとき割れが最も起り難いと云う統計的結果は上記の諸結果と概ね一致して居る。

(3) Mn の影響

木下氏<sup>1)</sup>は Mn の影響について特に詳細に研究し、少くとも 0.8% 迄は Mn を増すほど割れは少くなることを証明した。Middleton<sup>2)</sup> は S 0.035% の場合に実験し、Mn 1.2% の附近で割れが最も起り難いことを見出した。今回の結果に於いては、共存する S 及び Al の有無に拘らず Mn は 0.7~0.8% 附近迄は明らかに割れを少くし 0.9% 以上では再び割れを多くする。この3者の研究結果に共通することは Mn が少くとも 0.7~0.8% 迄は割れの減少に効果を有することである。又当社の現場の経験的事実もこの点に一致する。

(4) P の影響

木下氏<sup>1)</sup>は S 0.01% 以下の極めて低硫黄の鋼について実験し、P が増すほど割れは増すがその程度は同じ量の S の増加の影響に比べれば極めて少いと云う結果を得た。Middleton<sup>2)</sup> も P の割れ増加作用は認めるが S の作用に比べれば極めて小さいとし、S 0.035% の鋼なら P

が 0.14% もあつても S 0.072%, P 0.035% の鋼より割れ難いと云つて居る。今回の実験では Middleton より P, S の低い鋼を基本鋼として用いた結果, P 0.02~0.04% の低 P の所では P の影響はその半分の量の S の影響に相当するほど激しいことが分つたので, 前研究者と異り著者は P の影響を重視するものである。

(5) S の影響

S が増すと高温割れが起り易くなる事はすべての従来の研究者が一致して認める所で, 又現場に於いて日常経験することであるが, 今回の試験に於いても確認された。特に, 板型試験によつては 0.01~0.02% と云う微量の S の範囲でも S% と割れ傾向との間に強い相関が認められることは注目すべきである。

V. 結 論

中等度の肉厚を有する普通鑄鋼の高温割れ傾向に及ぼす C, Si, Mn, P 及び S の影響を 2 種の試験方法を用いて試験し且つ文献を参照して考察した結果, 次の結論を得た。

- (1) C の増加と共に割れ傾向は増加する。
- (2) Si の影響は少いが, 統計的には 0.4~0.5% Si で割れが最も少い。
- (3) Mn は 0.7~0.8% までは増加するほど割れを少くするが, それ以上の増加は反つて割れを増す様である。
- (4) P は 0.02~0.04% の間では, 少しの増加でも

極めて有害である。

(5) S は 0.01~0.02% の間でも, 少しの増加が極めて有害である。

この結果を通観して言い得ることは, 試験方法の相違が著しいに拘らず本試験の結果は従来の信用すべき研究結果と定性的によく一致することである。この事はこの結果を種々の実物鑄鋼に適用しても大いなる過誤は生じないことを証するものと考ええる。追つて Cu, Al, Ti, Sn, As, H, N, Mg などの影響に関しては次回に報告したい。

終りに臨み本研究の遂行に当り終始懇篤なる指導激励を賜つた川村宏矣博士並びに絶大な援助を与えられ, 結果の発表を許可された日本車輛製造株式会社岩垂隆三社長, 加藤孝三鑄造課長の各位に深甚の謝意を表すると共に, 熱心に試験に従事された鑄鋼研究室, 鑄造工場, 材料試験室並びに分析室の諸氏の協力に対し厚く御礼申上げる。(昭和 29 年 6 月寄稿)

文 献

- 1) 木下禾大: 鐵と鋼, 1943, vol. 29, No. 8, p. 699, No. 12, p. 908. 鑄鋼熔解の理論と實際, 1953, p. 37
- 2) J. M. Middleton and H. T. Protheroe, J. Iron & Steel Inst., 1951, vol. 168, No. 4, p. 384
- 3) 沖 進: 本誌投稿中
- 4) D.C.G. Lees, Foundry Trade J., 1949, Aug. 18, p. 211.