

鑄鋼の高温龜裂に関する研究(I)

(日本鐵鋼協會第 29 回講演大會講演 昭 18. 4 於東京)

木 下 禾 大*

ÜBER DEN HEISSBRUCH DES STAHLGUSS (I)

Toshihiro Kinoshita

ZUSAMMENFASSUNG:—Mit sternförmigen Probestücke u. a. wurde der Einfluss der verschiedenen Elementen auf den Heissbruch des Stahlguss versucht. Die Ergebnisse sind folgendes:—

1. Die zur Heissbrüche in der nächste Beziehung stehenden Elemente sind S, Al, und Mn.
2. S und Al verstärken der Bruch, die Wirkung der S ist erkennbar, obwohl sie sehr wenig ist.
3. Mn verhindert den Bruch.
4. Die Brüche stehen unter den bestimmten Beziehung zum Verhältnis von Mn zu S.

Auch in dieser Erscheinungen befinden sich einer gemeinsame, aber nicht quantitative Zusammenhang und die Rotbrüche. In dieser Folge vermutet ist, dass der hauptsächlichliche Grund des Vorrufen der Heissbruch die dem Fe-S System angehörigen Verunreinigungen ist, welche sich zwischen in die Korngrenze ausscheiden.

目 次

- I. 目 的
- II. 製品に発生した龜裂の調査
- III. L型試験片による試験結果
- IV. 高温曲げ試験と高温龜裂との関係
- V. 放射型試験片による試験結果
- VI. 高温引張試験結果
- VII. 顯微鏡組織
- VIII. 總 括

I. 目 的

鋼鑄物に発生する缺陷の中、鑄巣と龜裂はその大部分を占めるものであつて、工場によつては龜裂のための廢却率が總廢却品の 40% に上る所さへある。この龜裂の原因、或は防止法等に就いては多くの研究が行はれ、實際現場作業では經驗的に種々の對策が行はれて居る。勿論鑄物として、型に關する種々の因子を除外することは誤であるが、先づ材料といふ見地からこの問題を取上げることも必要で、特に製鋼作業に従事する者の立場として、如何なる材料が龜裂に對して安全であるかといふことを知ることは、重要な指針となるものである。

以下に行つた實驗は、この意味から龜裂發生の原因その他の根本的の問題は措き、鑄造材料としての鋼の龜裂に對する性質を調査したものである。これ等の實驗は、何れも現場に於て毎日の作業の傍行つたもので、實驗の條件を一定とすることが困難であり、そのために結果も甚だ不正確

となつたが、鑄鋼作業に従事する人々に何等かの參考となれば幸である。

II. 製品に発生した龜裂の調査

製品に發生する龜裂箇所は、大體肉厚の變化部若くは最後に凝固した部分等の略一定のもので、龜裂もオーステナイトの粒界に沿ふものであるが、その部分には往々にして第 1 圖に示す様な FeS と考へられる不純物の析出を見る



C=0.19
S=0.019
Mn=0.44

第 1 圖 龜裂發生部に現れた不純物
× 100

のである。

次に最近製品に龜裂が発生したものの化學成分を示すと、第 1 表の通りである。勿論製品の龜裂は各種の條件が重つて發生したもので、その原因を單一のものに歸することは無理であるが、第 1 表の普通熔鋼總平均と比較して見て、S が稍高いことが注目される。今試みにこれ等成分

* 三菱重工業會社社長崎造船所

第1表 龜裂發生せる製品の化學成分

熔解番號	C	P	S	Cu	Mn	Si
1600	0.20	0.018	0.012	0.276	0.68	0.345
1601	0.16	0.013	0.013	0.264	0.59	0.263
1604	0.21	0.015	0.008	0.241	0.67	0.273
1615	0.16	0.011	0.008	0.252	0.70	0.249
1635	0.16	0.011	0.011	0.245	0.62	0.284
1636	0.16	0.021	0.005	0.271	0.59	0.247
1648	0.16	0.014	0.014	0.245	0.53	0.190
1987	0.16	0.015	0.008	0.236	0.66	0.204
1688	0.21	0.012	0.015	0.242	0.62	0.315
1701	0.23	0.014	0.008	0.248	0.66	0.291
1714	0.18	0.013	0.010	0.246	0.65	0.242
1729	0.21	0.012	0.007	0.240	0.62	0.197
1751	0.17	0.017	0.005	0.263	0.61	0.244
1768	0.21	0.016	0.006	0.231	0.61	0.209
1793	0.15	0.014	0.006	0.247	0.55	0.202
平均	0.18	0.014	0.009	0.250	0.62	0.250
通常熔鋼 總平均	0.2	0.013	0.005	0.25	0.65	0.25



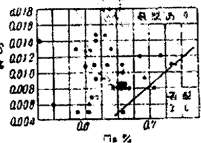
第4圖 U型試験片(切断面)

第2表 U型試験片による龜裂と化學成分との關係(平均値)

龜裂程度	C	P	S	Cu	Mn	Si
龜裂なし	0.20	0.013	0.006	0.248	0.63	0.228
龜裂小	0.18	0.013	0.008	0.250	0.63	0.225
龜裂大	0.18	0.014	0.009	0.256	0.61	0.238

化學成分中龜裂に關係あり、と考へられるものは、C, S, Mn で、この中 S の影響が最も大きい様である。

次にこれ等の化學成分の頻度曲線及び Mn 對 S の關係を求めたものを第5, 6圖に示す。第5圖より見ると、C,



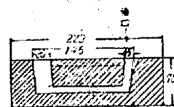
第2圖 龜裂發生せるものの Mn と S との關係

中 Mn と S との關係を見ると、第2圖に示す通りで、龜裂の發生したものは、或一定の Mn 對 S の關係以内にある様に考へられる。この關係は赤熱脆性を起すべき鋼中の Mn と S との關係と、量こそ違へ相似するものである。

III. U型試験片による試験結果

製品に龜裂の發生したものの分析結果から、大體熔鋼の成分と龜裂との關係がある様に考へられたので、先づ毎日の熔解操業の結果と龜裂との關係を求めて見ることにした。

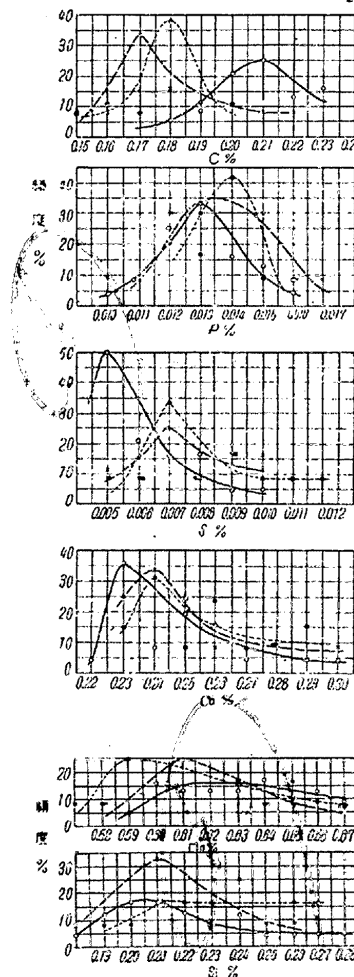
熔解操業は 3.5t 鹽基性電氣爐による鑄造用鋼の製造で、その大體の化學成分は、第1表に示す如きものである。龜裂を現出する試験片としては、現場的の簡單なものといふ見地から、第3圖の様な金型試験片を用ひ、出鋼前爐中より汲取つた熔鋼を鑄造し、光高溫度計によりその時の溫度を記録した。



第3圖 龜裂試験用U型金型

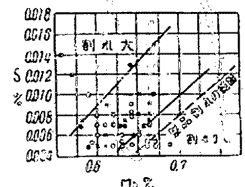
鑄造溫度は大體 1540~1550°C とした。龜裂は第4圖に示す様に湯口と反對側の揚りの根本に發生した。

この龜裂の程度及び龜裂發生せざりしものを3群に分ち、それぞれの化學成分を比較すると、第2表の通りで、



—○— 龜裂なし
- - - × 龜裂小
- - - ● 龜裂大

第5圖 龜裂に及ぼす化學成分の影響 (I)



● 割れ大 × 割れ小
○ 割れなし

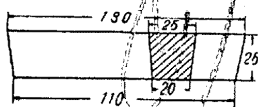
第6圖 U型試験片による龜裂 Mn と S との關係

Mn の高いものは龜裂少く、S の高いものは龜裂發生し易く、その他の Si, Cu, P, は餘り明かな關係を示して居ない。第6圖の Mn 對 S の關係を見ると、矢張 Mn 對 S

に一定の関係があることが知られるこの関係は第2圖の製品に龜裂発生したものと比較すると可成良く一致することを知らるのである。

IV. 高温曲げ試験と高温龜裂との関係

上述の試験結果により、大體 Mn 對 S が高温龜裂に重要な役割を演ずることが示されたのであるが、これらの龜裂は凝固中に粒界に残された FeS 系化合物が、未だ高温で凝固しない間に應力が作用し、この化合物が弱点となつて発生すると考へられるが、これは又一部の人々により實驗された高温脆性と同様の現象ではないかと考へられたので、高温脆性を試験した。試験片は第7圖に示す如き金型試験片を、爐内より熔鋼を汲取つて鑄造し、鑄造温度を 1540~1550°C (光高温度計) とし、鑄造後 40s にして金型より取出し、第8圖に示す様に中央よりハンマーにて曲



第7圖 高温曲げ試験用試験片



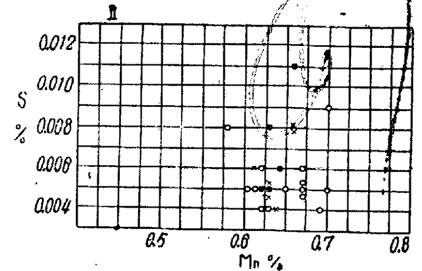
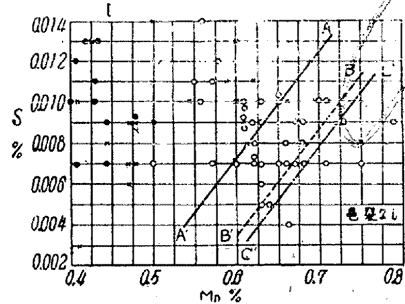
龜裂大 龜裂稍大 點狀龜裂 龜裂なし

第8圖 高温曲げ試験結果

げ、表面に生ずる龜裂を検した。金型より試験片を取出した時の大體の温度は光高温度計、Pt-Pt, Rd 高温度計により大體 1300°C 以上と測定され、高温龜裂發生温度と推定される附近に持つて來ることが出來た。

尙この試験では、試料採取の時柄杓中に Mn を添加して更に廣範圍の成分の關係を求めた。その結果を第9圖に示す。第9圖によると、Mn 對 S と龜裂の關係は非常に明かに示される、第6圖の結果よりも Mn が低い方へ移動して居るが、その關係は略平行線で示される。この Mn 低き方への移動は、本試験の試験方法として、曲げは可成苛酷であるから、試験温度が實際の龜裂發生の場合より低かつたかとも考へられるが、明かでない。又第9圖-II は同様の試験を他の熔解群に對して試みたもので、試験圖數少く明かでないが、龜裂發生範圍が Mn の高い方へ移動して居る。この熔解群は、第9圖-I のものに比して脱酸不十分

と考へられたものであるが、この結果より高温龜裂に及ぼす FeO の影響が、相當顯著であることが知られるのである。この試験結果によると、鑄鋼の高温龜裂と鋼の高温脆



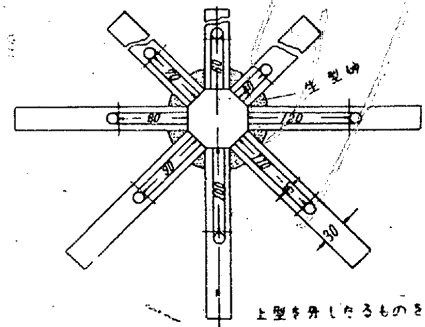
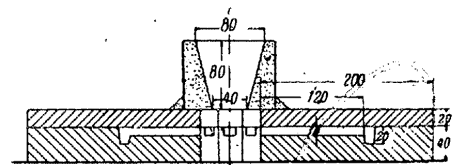
- AA' 高温曲げ試験 ●龜裂大
- BB' □型試験 ×龜裂小
- CC' 製品龜裂發生 ○龜裂なし

第9圖 高温曲げ試験結果と Mn, S との關係

性との間には、略相似の關係があり、これより兩者共に同一の原因、即ち FeS 系不純物の粒界への析出がその因をなすとの推定が強められたのである。

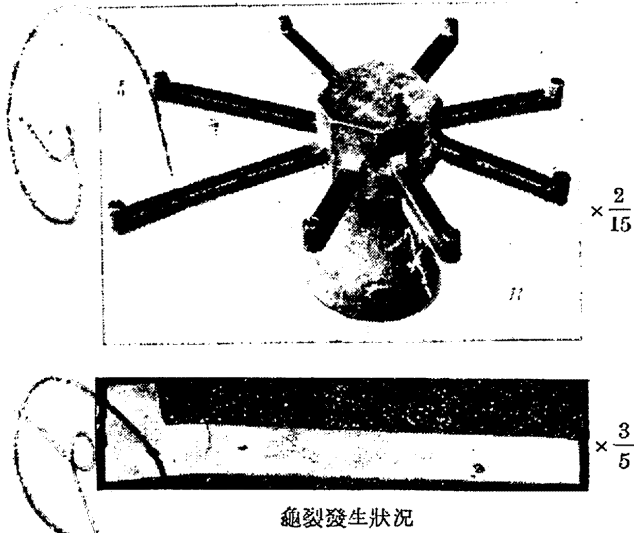
V. 放射型試験片による結果

各種元素の高温龜裂に及ぼす影響は、これ迄の實驗により大體定性的には明らかとなつたのであるが、各元素が單獨に如何なる影響を及ぼすかを、今少し定量的に知るために、第10圖に示す放射型金型試験片を作り、試験を行つ



上型を升したるものと示す

第10圖 放射型龜裂試験金型組立圖



龜裂發生狀況
第 11 圖 放射狀金型試験片

た。試料は出鐵後 10kg 入りの小取鍋に熔鐵を汲取り、添加元素は粉末として小取鍋中に添加した。第 11 圖に試験片の形状、龜裂發生の狀況を示す。

鑄込温度は 1540~1550°C (光高温度計による)とし、同時に高温引張試験片をも採取した。試験片の化學成分の規準は、大體第 3 表の様に規定し、化學成分の甚しく異なる

第 3 表 放射狀金型試験片標準化學成分

記號	C	P	S	Cu	Mn	Si	備考
I	0.2	<0.02	<0.01	0.25	0.6~0.7	0.25	C, Mn, S, Si の場合
II	0.2	<0.02	<0.01	0.25	0.7~0.8	0.25	Al, Cu, P の場合

もの、鑄込温度が前述の範囲より出たもの等は除外した、特に S 就いては嚴格にこの規定を守つた。

試験結果を第 12 圖に示す。龜裂は熔鋼の化學成分により、放射狀腕の或る長さのもの迄は起り、それ以下には起らない、龜裂の起つた最短の腕の長さを縦軸にとり、それと各元素との關係を求めた。第 12 圖による結果を纏めると、次の通りである。

C, Cu, P は、その増加と共に龜裂が起り易くなる様であるが、その程度は僅かである。C が増加すると龜裂が起り易くなることは、第 5 圖の結果と矛盾するが、今回の實驗では取鍋中に投入したコークス粉は、乾燥不十分のためか沸騰する傾向があり、又第 5 圖の C の高いと言ふことは大體脱酸良好で熔鋼が優良であることをも意味するので、兩者の差を何れとも判定することは困難である。

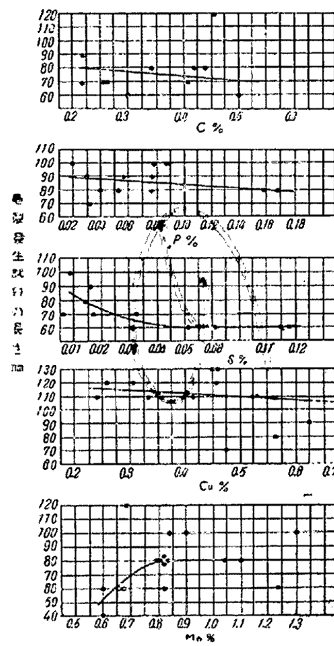
Al 0.5% (熔鋼中) に達すると、龜裂と助長する。從來の研究によると、Al を加へると Al₂S₃ なる化合物が粒界に析出し、これが龜裂を甚しく助長すると言はれて居るが本試験に用ひた熔鋼は S が低いので、その害が顯著でないものと考へる。

Cu は赤熱脆性を起すとして恐れられて居るが、その作用は再加熱の時に有害なのであつて、高温龜裂に及ぼす害は餘り顯著では無い。

Si はこれらに反して稍龜裂を防止する。これは脱酸の效果によるものと考へる。

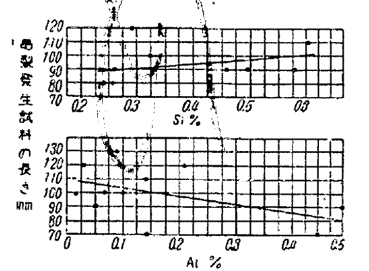
S は非常に顯著に龜裂を助長し、微量の増加さへも注意を要する。

Mn は 0.8% 迄は (S < 0.01%) 龜裂を防ぐに有效であるが、これ以上増加しても效果は無い様である。

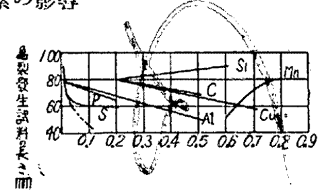


第 12 圖 (I) 放射狀型試験片の龜裂に及ぼす各種元素の影響

圖中添加元素最小のものゝ龜裂發生度が、各群により相違するのは、製鋼作業に多少の差があり、規準成分が必ずしも一定しなかつたため、或は脱酸の狀況が規定出来なかつたことによると考へられる、今これ等の結果を概念的に示



第 12 圖 (II) 放射狀型試験片の龜裂に及ぼす各種元素の影響



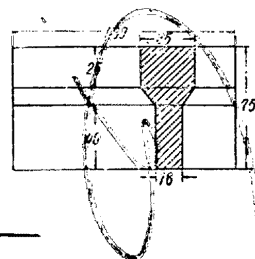
第 13 圖 高温龜裂に及ぼす各種元素の影響

規準成分
C=0.2, P=0.02,
S=0.01, Cu=0.25,
Mn=0.7, Si=0.25.

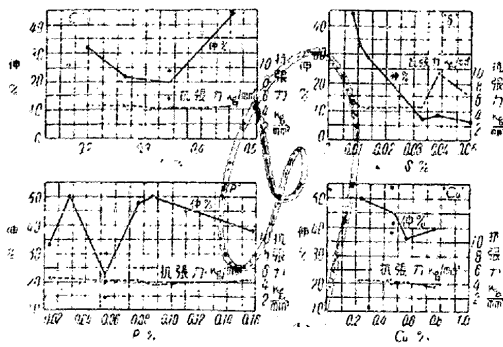
すと、第 13 圖の様になり、各種元素の影響を比較することが出来る。

VI. 高温引張試験結果

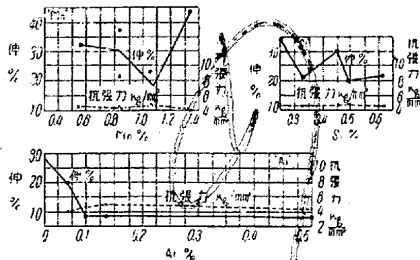
放射狀金型試験片に使用した熔鋼の殘餘をもつて、第 14 圖の様な試験片を作り、高温引張試験を行つた。試験温



第 14 圖
高温引張試験用試験片



第 15 圖(I) 高温引張試験に及ぼす各種元素の影響



第 15 圖(II) 高温引張試験に及ぼす各種元素の影響

度は FeS の溶解温度が略 980°C であるため、この温度以上を目標としたが、試験機的能力に限定されて 1000°C とした。加熱の状況は 1000°C 迄上昇 40mn, 1000°C 保持時間を 20mn とした。試験結果を第 15 圖に示す。

圖に示される様に各種元素とも抗張力には、殆ど變化を示さないが、伸には相當の變化が見られる。

各種元素の影響に就て見るに、C, Mn はその増加と共に稍伸を増すが餘り明かでない。P の影響は明かでない。Cu, Si 何れも稍伸を減少する、S, Al は著しく伸を減少し。特に S の影響は著しい。

この結果を龜裂試験の結果と比較すると、S, Al, Mn はその傾向が一致する。これに反し C, Si は相反する結果を示すが、何れもその傾向は不確實で、斷定を下すには到らない。結局餘り影響が無いと見てもよい様である。

VII. 顯微鏡組織

各種試験に際して、何れも龜裂發生部附近の顯微鏡組織を検したが、S を除く場合には、添加元素により組織に異状は認められなかつた。S の場合には、これに反して S の増加により明かに FeS 系の粒界析出物が見られ、放射型金型試験片では S=0.02% 程度のものにも見られるのである。普通我々が取扱ふ程度の Mn を含有する鋼材にあつてはこれ等の析出物は MnS 系となり、FeS 系とは異なる球状析出物となり、S の害を阻止すると考へられるが、鑄造組織の場合この MnS を作るに必要な Mn と S との関係に就いては明らかでない。然し顯微鏡組織その他の試験結果より、高温龜裂に第一義的意味を持つものは S であり

FeS 系の粒界への析出が、その鍵を握るものと推定される。

VIII. 總 括

鑄鋼の高温龜裂の現象を明かにするため、先づ材料の龜裂發生の難易に及ぼす各種元素の影響を検討する目的で、

第 4 表 鑄鋼の高温龜裂に及ぼす各種元素の影響

元 素	試 験 方 法			
	U型試験	放射型試験	高温曲げ試験	高温引張試験
C	○	×	—	○
P	?	×	—	?
S	×	×	×	×
Cu	?	×	—	×
Mn	○	○	○	○
Si	×	○	—	×
Al	—	×	—	×

○龜裂阻止 ×龜裂助長 大きさは程度を示す。

二三の實驗を行つた。その結果を一括すると、第 4 表の通りである。この結果によると、放射型試験の C, Si の結果を除き他のものは何れもその傾向が完全に一致する。勿論鋼中の各種元素の間には常に關聯があり、その中の 1 元素を抽いて云々することは不當であるが、何れの試験結果にも現はれた S, Mn, Al の影響に就いては大體普通鑄鋼に關する限り斷定して間違ないと考へる。又これらの試験結果が程度の差はあるが、從來の赤熱脆性試験結果と略同様であることより、FeS 系或は他の硫化物の粒界への析出が龜裂の原因をなすと推定されるのである。

以上の結果より高温龜裂に對して最も嫌ふべきものは、S であり、その微量の増加さへも敏感に龜裂を助長することを考へ、且これを阻止するには相當量の Mn を加へる必要があるが、これも鋼の使用条件により一定の限度があることを考へるならば、鑄造材料としての鋼に就いて S の問題を眞剣に考へる必要がある。又脱酸劑として使用される Al も、過度の使用は危険であることを注意すべきである。

終りに臨み終始熱心に實驗に従事された立木靜夫君の勞を謝するものである。

参 考 文 獻

齋藤：金剛學會誌 5 卷, 7 號
 齋藤：鑄物 13 卷, 3 號
 三橋(譯)：工業用製鋼 第 2 卷
 中西(譯)：鑄物 9 卷, 10, 11, 12 號
 W. J. Phillips: Foundry 68 (1940) No. 7
 W. Crafts, J. J. Egan, W. D. Forgang: A. I. M. E. Iron and Steel Div. 1940.
 H. F. Hall: J. Iron and Steel Inst. Special Report No. 23.
 C. Benedick, H. Lofquist: Non Metallic Inclusions in Iron and Steel 1930.
 F. G. Norris: J. Iron and Steel Inst. No. 2. 1938.
 E. W. Fell: Arch. Eisenh. Ht. 8. Feb. (1931).
 F. Hatlaneck: Arch. Eisenh. Ht. 4. Okt (1930).
 Niedenthal: Arch. Eisenh. Bd 3. 1929~1930.