

鑄鋼の高温割れ傾向におよぼす諸元素の影響 (III)*

(Ti, Sn, As, Sb, Bi, Pb, O その他の元素の影響ならびに I~III 報の総括)

沖 進

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

Susum Oki

Synopsis:

In the preceding two reports under the same heading as this, (Tetsu-to-Hagané Vol. 40 (1954) p. 979, Vol. 43 (1957) p. 1293) the author described the influence of C, Si, Mn, P, S, Cu and Al on hot-tearing tendency of cast steel. In this last report he describes the influence of Ti, Sn, As, Sb, Bi, Pb, O, H and N, and finally gives a summary of the whole series.

The results are briefly summarized as follows:

(1) Titanium has little effect on hot-tearing tendency of low sulphur steel, but it has the effect of increasing resistance to hot-tearing of high sulphur steel. It will be more economical and effective to use titanium together with aluminium than to use titanium separately.

(2) Tin has a very bad effect on hot-tearing tendency of such steel that shows good resistance to hot-tearing before addition of tin. Addition of 0.1% tin is found to be clearly harmful.

(3) Arsenic has a similar effect as tin;

0.1% arsenic is found to be clearly harmful.

(4) Antimony has an even more harmful effect than tin or arsenic.

(5) Bismuth too has a clearly bad effect on hot-tearing tendency of cast steel, though it is known that little or no bismuth is soluble in liquid iron.

(6) Lead is found to have no effect on hot-tearing tendency of cast steel, and this may come from the fact that lead is not soluble in liquid iron.

(7) Oxygen in steel has no direct effect upon hot-tearing tendency provided that oxygen content is not larger than usual value found in steel before deoxidation with silicon.

However, it is conceivable that oxygen gives harm indirectly to resistance of high sulphur steel to hot-tearing, because oxygen causes loss of silicon and aluminium which reduce the hot-tearing caused by sulphur.

(8) Bubbling water vapour through melt of steel is found to have little effect on hot-tearing tendency. This means that hydrogen too has little effect.

(9) Nitrogen in steel seems to have little effect on hot-tearing tendency.

I. 緒 言

前報^{1,2)}に引つづき標記の諸元素の影響について報告し、終りに I ~ III 報の総括をのべる。研究方法は前報までにのべた通りである。

II. 実験結果および考察

1. Ti の影響

(1) A型試験による結果

A型試験ではつぎの種々の場合について Ti の影響を実験した。

(a) S を添加せず 0.1% の Al で脱酸した鋼に対し (0.01~0.015% S)

0.1% の Ti (全 Ti) の影響はほとんど認められない。有川氏等³⁾その他の文献によれば鋼中における可溶 Ti と可溶 S との TiS 生成傾向はきわめて強く 0.1% の可溶 Ti に対し可溶 S は 0.0002% 以下になるはずである。しかるに本実験では Ti 添加による S 分析値 (発生法) の減少はわずかしら認められない。したがって本

* 昭和 31 年 4 月本会講演大会にて発表

** 日本車輛製造 K.K. 工博

実験ではなんらかの理由により Ti の作用が大部分減殺されているものと思われる。これが本実験で Ti の影響が認められない理由と思われる、もし Ti の脱 S 作用が充分行われれば Ti は鋼の割れ傾向をかなり減少させるであろう。

(b) S を 0.03% 含ませ、Al で脱酸しない鋼に対し。

0.1% の Ti (全 Ti) の添加は割れに対する抵抗をわずかに増加する。この場合も Ti による S 分析値 (発生法) の減少はわずかであり、Ti の影響が弱いのはこのためであろう。

つぎに、0.2% の Ti を 0.1% の Al とともに添加することの影響は Fig. 1 に示すようで、Ti と Al との共同作用は割れ抵抗のいちじるしい増加をもたらしている。この場合、添加による S 分析値 (発生法) の減少はこの図の中に見られるようにいちじるしく、割れ抵抗の増加と S 分析値の減少とは密接に関連していると思われる。この実験で Ti を Al とともに添加したことが脱 S に有効であったのは如何なる理由にもとづくのか分らないが、Ti の添加法を関して有力な示唆をあたえるものである。

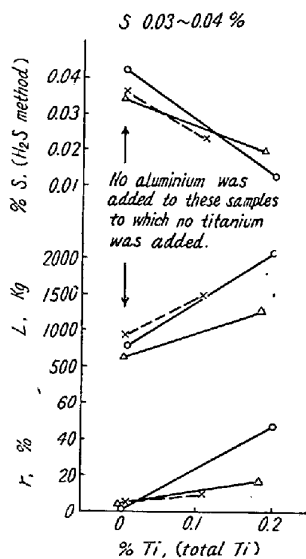


Fig. 1. Influence of titanium added together with 0.1% aluminium.

(High sulphur steel. Test of "A" type.)

(c) S を 0.03% 含ませ、0.1% の Al で脱酸した鋼に対し、0.1% の Ti (全 Ti) の添加は割れ抵抗をわずかに増加させ、S 分析値 (発生法) をわずかに減少させることは、(a) および (b) におけると同様である。

(2) C 型試験による結果

0.006~0.010% の S を含み Al で脱酸された低 S 鋼において、さらに 0.1% の Ti を 0.1% の Al とともに添加した影響を実験した。その結果は Fig. 2 のようで、このような低 S でしかもすでに Al で脱酸された鋼に対しては Ti の効果がないことがわかる。この場合しかし Ti の添加が初晶と一次オーステナイトとの結晶粒を微細化することは確かに認められた。

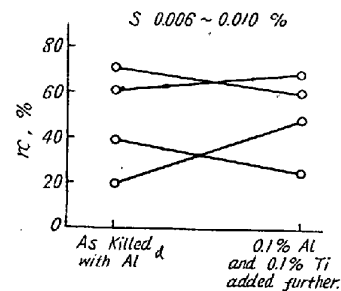


Fig. 2. Influence of titanium on low sulphur, aluminium-killed steel. (Test of "C" type.)

(3) 考察

Middleton 等²⁾ は S 0.035% の鋼の割れにおよぼす 0.25% までの Ti の影響について実験し、Ti のよい効果を認めている。Bhattacharya 等³⁾ が 0.2% の Ti と 0.1% の Al との同時脱酸により最大の割れ抵抗が得られるとのべているのは本実験の結果と比べて興味深い、Ti の脱 S 作用と結晶粒微細化作用とが割れ防止に役立つであろうとの考えは多くの研究者によつてのべられている。

(4) 小括

S が低く Al で脱酸された鋼に対しては Ti による割れ抵抗増加の効果が認められないが、S が高く Al で脱酸されていない鋼に対しては Ti は割れ抵抗増加の作用をおよぼす。この Ti の効果は多分 Ti の脱 S 作用に基づくものであろうが、Ti の脱 S 効果は Ti の添加法によつても大きく左右され、本実験では小さなスプーン中にフェロチタンを裸で添加し直ちに鑄込んだためか、Ti の脱 S 効果は一般に不完全であつた。ただ Ti と Al とを同時に添加した実験においては脱 S もよく行われ、割れ抵抗もいちじるしく増加した。このことは他の研究者の結果とも一致する。

Ti を 0.1% 以上加えると鑄放し状態の鑄鋼の衝撃値が如何なる理由によるのか、いちじるしく低下することが認められるので、Ti は少量を Al と併用し、その独特の作用である脱 S および微細化作用を利用するのがその最も有効な使用方法であると考え。

2. Sn の影響

A 型試験により Sn の影響につき実験した結果は Fig.

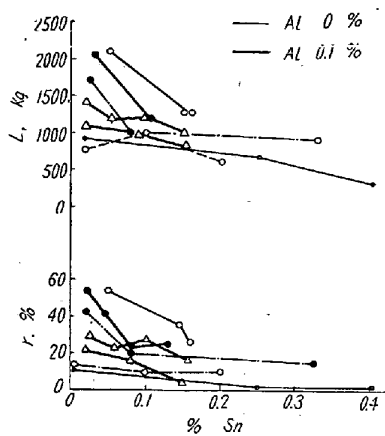


Fig. 3. Influence of tin.
(Test of "A" type.)

3のように、Snのないときに割れ抵抗の大きい鋼は、0.1%以上のSnの添加により割れ抵抗は明らかに害される。Snのないときに割れ抵抗の小さい鋼は、Snを0.3%位添加しても割れ抵抗はわずかに減少するだけである。Fig. 3 中太線は0.1%のAlであらかじめ脱酸された鋼についての結果であるが、Alで脱酸しない鋼についての結果と大差はない。

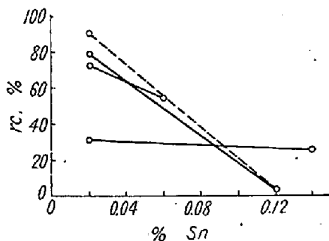


Fig. 4. Influence of tin.
(Test of "C" type.)

C型試験によりSnの影響につき実験した結果はFig. 4のように、Snのないときに割れ抵抗の大きい鋼は、0.06%以上のSnの添加によりいちじるしく割れ抵抗を減ずる。Snのないときに割れ抵抗の小さい鋼は、0.1%以上のSnを添加しても左程影響されないようである。このC型試験の結果はA型試験の結果とよく一致している。

鑄鋼の高温割れにおよぼすSnの影響に関する文献は見当たらないが、Snは高温加工性を害することが知られている。文献⁴⁾によれば、Sn 0.2%以下では鋼の高温加工性は影響を受けないといわれているが、本実験によれば、Snは0.1%でも明らかに鑄鋼の高温割れ傾向を増すことが判明した。著者等の工場では鑄鋼中のSn含有量は $0.02 \pm 0.01\%$ の範囲内にあるらしいから日常の鋼がSnのために影響をうけているとはまず考え

られないが、ブリキ板などを多く溶解原料として使う他の工場ではSnの増加に注意を要すると思う。

3. Asの影響

A型試験によりAsの影響について実験した結果はFig. 5のようで、Snの影響(Fig. 3)とにている。ここでもAl 0.1%の共存は結果に影響しない。鑄鋼の高温割れにおよぼすAsの影響に関する文献は見当たらないが、Asが鋼の高温加工性に及ぼす害についてはよく知られている。文献⁴⁾によれば、高温加工性に影響をおよぼすのはおおむね0.6%以上のAsであるが、本実験では0.1%以上のAsが有害と認められる。

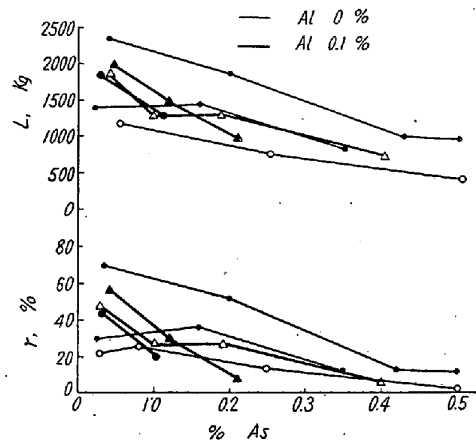


Fig. 5. Influence of arsenic.
(Test of "A" type.)

著者等の工場では鋼中のAsの含有量は $0.03 \pm 0.01\%$ の範囲内にあるらしいから、日常の鑄鋼がAsのために割れることはまずないと思われる。しかし鋼によつてはAsを多量に含むものがあるといわれているから注意が必要であろう。

4. Sbの影響

A型試験によりSbの影響について実験した結果は

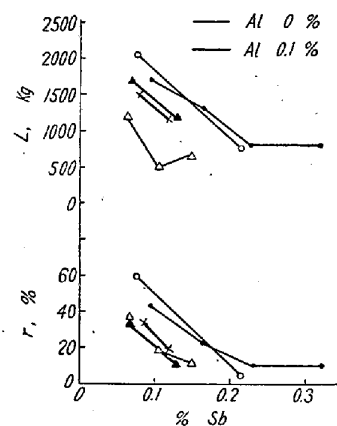


Fig. 6. Influence of antimony.
(Test of "A" type.)

Fig. 6 のように Sn や As の影響とよくにているが、Sb はそれらよりさらに少量の存在でも害がいちじるしい。文献²⁾によれば Sb が鉄鋼中に存在する量はきわめて少いという。著者等の工場でも、分光分析の結果、Sb 0.025% 添加の鋼に比し、添加しない鋼の中の Sb はほとんど認められなかった。

5. Bi の影響

A型試験により Bi の影響について実験した結果は Fig. 7 のようであり、Bi の少量の添加により割れ抵抗は確かに低下する。Fe-Bi 2元状態図によれば、Bi は溶鉄にも固体鉄にも溶け込まないことになっているが、微量の溶解限はあると想像する。Bi の添加計算値に対して Bi の分析値は Fig. 8 のように約 1/10 しかなくこれは大部分の Bi が不溶解状態で沈殿してしまつたことを示す。したがつて本実験結果から見れば、溶け込んだ Bi (すなわち Bi 分析値) の影響は同量の As や Sb の影響よりむしろはげしいことになる。

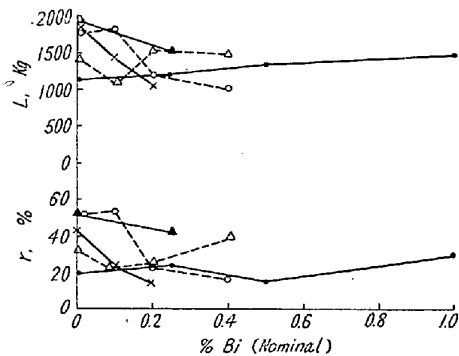


Fig. 7. Influence of bismuth.
(Test of "A" type.)

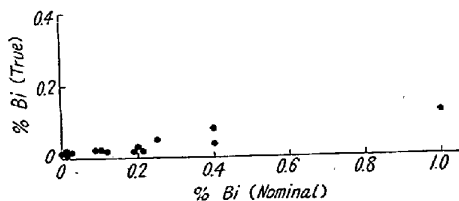


Fig. 8. Relation between nominal and true contents of bismuth in the specimens analysed.

Bi が鋼中に存在することは稀と思うが、上記の結果は注目すべきである。Fig. 7 に示すように 0.2% 以上の計算値の Bi の添加が効果を生じないのは、Bi がこの程度以上あれば溶鉄は Bi で飽和し、過剰の Bi は沈殿して無影響になるためと思われる。

6. Pb の影響

A型試験により Pb の影響について実験した結果は Fig. 9 のようで、Pb の添加によつては割れ抵抗はほと

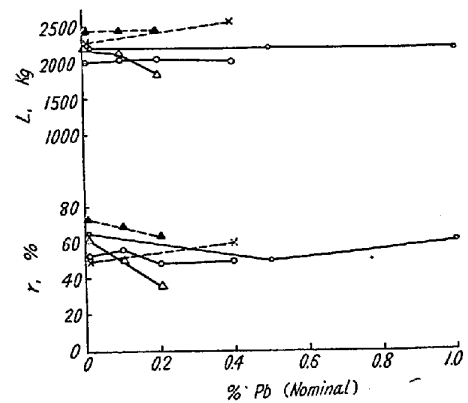


Fig. 9. Influence of lead.
(Test of "A" type.)

んど影響をうけない。Pb は溶鉄中にも固体鉄中にも溶けなくて沈殿するので、Pb を添加しても分析値はつねに 0 を示す。したがつて Pb を添加しても影響がないのはこのためといえよう。通常の鋼中にはもし Pb が混入しても大部分は沈殿して無影響となり、溶込んだ微量の Pb も短時間で酸化逃散するので、製品中の Pb の存在は考えなくてもよいであろう。

7. O の影響

(1) 実験結果

O の影響については特別に実験を行っていないが、Si または Al による脱酸の影響についての実験結果から O の影響について論ずることはできる。O はそれ自身が直接合金元素として作用する外、Si, Al, Tiなどを酸化して減少させたり、その他の共存元素の活動度を弱めたりすることによつて間接に割れ抵抗に影響することも考えられる。

Si 脱酸前の鋼は砂型中で凝固させると CO ガスを出してふくれを生ずるほどの O を含有しているものであるが、このように O を含む低 S 鋼を Al で脱酸することの割れ抵抗に対する影響は、すでに Al の影響についての報告の中で示したように、ほとんど認められない。また同じような鋼を Si で脱酸することの影響は、先に Si の影響についての報告の中で示したように、やはり不明瞭である。

高 S 鋼では、すでに報告したように、Si も Al も鋼の割れ抵抗にかなりの影響をおよぼしているが、これは直接 O の影響をあらわしているとはいいい切れずにしても、少なくとも間接には O の含有量に関係がある。すなわち O は加えられると Al, Siなどを酸化してそれらの作用を弱め、したがつて高 S 鋼の割れ抵抗に影響することになる。

今迄 C, Mn, Sn, As, Sb などの影響を実験した場

合に Al の共存が結果に影響するか否かを試験したが、Al の影響は特に認められなかつた。この事実は、微量の O は間接にも割れ抵抗に影響しないことを示すと考えてよいであろう。

(2) 考察

O は鋼に高温脆性をあたえることが古くから知られているが、しかし近年の鑄鋼に普通に含まれている程度の O が高温脆性あるいは高温割れに影響するか否かについては知られていない。木下²⁾は低 S 鋼では割れ抵抗におよぼす O の影響を軽く見ている。Middleton 等³⁾は Al による脱酸の影響を実験し、既報のように、著者のと同様の結果を得ている。彼らはまた C 0.1, 0.2 および 0.4%, Si 0.12~0.19%, Mn 0.6~0.8%, P 0.04%, S 0.02%, Al なしという不完全脱酸鋼の Si を 0.3% に増加する際の脱酸の影響を実験した結果、Si を増す方がわずかに割れ抵抗が増すことをのべている。

(3) 小括

Si 脱酸前の鋼を Si または Al で脱酸することによる O の変化は直接には割れ抵抗に影響しないが、S の高い鋼においては O の増加は Al や Si を減少させることにより間接に割れ抵抗に影響すると思われる。

8. H₂O の影響 (H の影響)

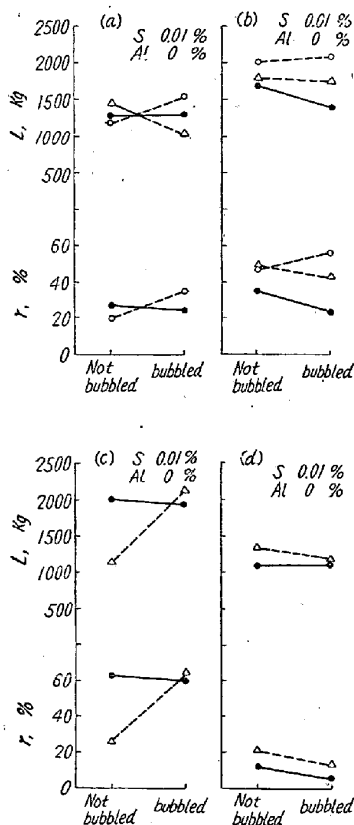


Fig. 10. Influence of bubbling water vapour (Test of "A" type.)

鋼中に H が入るのは多くの場合、耐火物、鑄型、空気などの水分によるのであるから、実際的研究としては H の影響よりも H₂O の影響を実験することが有意義と考え、つぎの各種の鋼に H₂O 気泡を通じることの影響を A 型試験によって実験した。ただし H₂O 気泡を通じるのはスプーン中の溶鋼に湿った石綿を 5~10s 間浸すことによつた。

(a) S も Al も添加しない鋼 (0.01~0.015% S)

実験結果を Fig. 10

(a) に示す。

(b) S を添加せず

Al を 0.1% 添加した鋼 (0.01~0.015% S)

実験結果を Fig. 10 (b) に示す。

(c) S を 0.03% とし、Al を添加しない鋼。

実験結果を Fig. 10 (c) に示す。

(d) S を 0.03% とし、Al を 0.1% 添加した鋼。

実験結果を Fig. 10 (d) に示す。

これら (a)~(d) のおのおのについては実験回数も少く、バラツキもあり、結果が確実でないが、(a)~(d) 全体を引くもめていえば、H₂O 処理が割れ抵抗におよぼす影響は少く、また S や Al の共存量の如何が H₂O の影響に特別の関係を有することは認められない。

これらの実験で H や O の分析は行っていないので H の添加量は不明であるが、H₂O 気泡を通じた試料は大半は凝固の時に気泡巣を生じてふくれ上ることから、この処理が鋼の質に影響をおよぼしていることは確かである。なおこのばあいの試料にできる気泡巣は Fig. 11 のような形状で、軽合金や青銅に見られる微細なものではない。また高温割れ破面のマクロ的およびミクロ的形態は H₂O 処理によつて影響されないようである。



Fig. 11. Illustrating blow holes in a specimen cast in sand mould from a melt bubbled with water vapour. $\times 1/2(2/5)$

上記の実験は H₂O の影響について行つたのであるが鋼中では H₂O として存在せず、H および O がそれぞれの影響をおよぼすと考えられるから、この両元素の影響の和を実験したことになる。そして O の影響については前述したとおりであるから、H の影響についても大略判定して差支ないものと思う。すなわち、H の影響は実際問題としてはあまり考える必要がないものと思う。

鋼の高温割れにおよぼす H の影響についての文献はまだ見当たらないが、Al 基合金については Lees⁴⁾の研究があり、それによれば合金中で凝固時に析出するガス気泡は割れを少なくするのに役立つという。その理由も説明されているが、それは共晶のある合金についてなされており、これが鋼に直ちに適用できるか否かは問題である。また溶接においては H はアンダービード・クラックに有害な影響をおよぼすといわれているが、アンダービ

Fig. 10. 中正誤: 上図(b) Al 0% は 0.1% の誤り
下図(c) S 0.001% は 0.03% の誤り
(d) Al 0% は 0.1% の誤り

ード・クラックが鋳鋼の高温割れに相当するか否かは疑問である。

9. N の影響

A型試験によりつぎの方法でNの影響を実験した。鋼をスプーンで炉から採取し、この中にボンベからのN₂ガスを石英管を通じて約5s間吸込んだり、また1回の実験では圧縮空気を同様に吸込んだりして、Nを合金

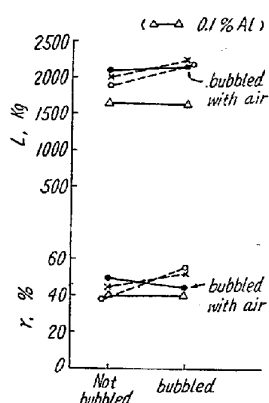


Fig. 12. Influence of bubbling nitrogen gas. (Test of "A" type.)

させたものと見なした。実験の結果は Fig. 12 に示すように、Nの添加が割れに影響するとは認められない。0.1%のAlの共存の有無も結果に関係しない。割れ破面のマクロ的、ミクロ的形態もN₂処理により影響されなかつた。

本実験はNの合金された量が分析されていないため不完全であるが、参考までに記した。Nの影響に関する文献はまだ見当たらない。なお、NはAlやTiを奪い取り、それら有益な成分の活動度を弱めるから、高S鋼でAlやTiで割れを抑えているばあいには、Nの添加は間接に割れを増すかも知れない。これを要するにNの影響は確実に分らないが、普通に見られるN含有量のばあいには、その直接の影響はあまりないと考えられる。

III. 総 括

I ~ III 報を通じて炭素鋼鋳鋼の高温割れ抵抗におよぼす各成分元素の影響について要約すればつぎのとおりである。

(1) Cの影響は試験方法によつて異り、A型試験ではCは割れ抵抗をいちじるしく害するが、C型試験では影響をおよぼさない。

(2) Siの影響は明瞭でないが、0.2%よりは0.4%のSiの方が割れ抵抗を増すようである。

(3) Mnは0.8%までは増加するほど割れ抵抗を増す。

(4) 割れ抵抗の大きい鋼に対しては、Pは0.02~0.06%の間の増加でSについて大きな悪影響をおよぼす。

(5) Sが有害であることは改めていうまでもないが殊に試験方法(すなわち鋳物の種類)のあるものにおい

ては0.015%以下のSもなおその悪影響を顕著に示すことは注目すべきである。

(6) Cuの影響は少なくとも1.5%のCuまでは悪いとは認められない。

(7) Alは低Sの鋼に対しては1%程度まで加えても影響しないが、高Sの鋼に対しては0.025%附近のAlはやや悪い影響を示し、0.1%のAlは確実な好影響を示し、それ以上のAlはそれ以上の効果を示さない。

(8) Tiは低Sの鋼に対しては効果がないが、高Sの鋼に対しては割れ抵抗を増す作用がある。しかしその作用はAlより弱く、また0.1%以上のTiは鋳放しの常温の脆性を増すため、Tiは単独で使用するより、Alと併用しTiの特長である脱酸、脱窒および結晶微細化作用を利用する方が有効と思う。

(9) Snの影響は割れ抵抗の大きな鋼に対してはいちじるしく、0.1%のSnでも明らかな悪影響を示す。

(10) Asの影響はSnのそれと同様で、0.1%のAsでも明らかな悪影響を示す。

(11) Sbの悪影響はSn, Asのそれよりさらにいちじるしい。

(12) Biも割れ抵抗にいちじるしい悪影響をおよぼす。

(13) Pbは鋼中に溶けないこと、また少量混入しても直ちに消失することによつて影響をおよぼさない。

(14) Oは普通の鋼のSi脱酸前に存在する程度の存在量では割れに対して直接は影響しない。しかしSの高い鋼においてはOはSiやAlの損耗を招くことによつて間接には割れ抵抗を害すると考えられる。

(15) H₂Oの影響は少い。これから見てHの影響も少いと考えられる。

(16) Nの影響も少いと考えられる。

Fig. 13 (a) および (b) にはそれぞれ低Sおよび高Sの鋼の、A型試験による割れ抵抗におよぼす各種成分

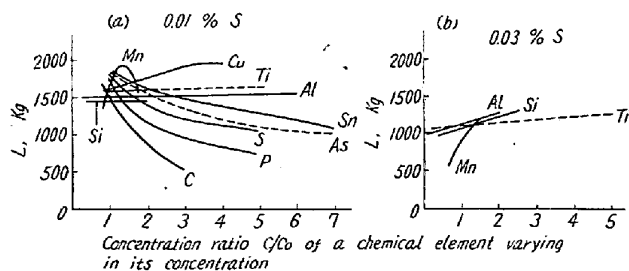


Fig. 13. Summary on the influence of all chemical elements studied. (Test of "A" type.)

Table 1. Standard concentration, C_0 of each chemical component.

	Standard concentration, C_0 , %									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Ti	Sn	As
Low sulphur steel	0.2	0.3	0.6	0.02	0.01	0.3	0.1	0.02	0.02	0.04
High sulphur steel	0.2	0.3	0.6	0.02	0.03	0.3	0.1	0.02	0.02	0.04

の影響の比較を示す。ただし、影響を論じている成分以外の成分は Table 1 に示すような標準濃度を有するものとする。Fig. 13 の横軸には、変化させる成分の濃度 C と、その成分の標準濃度 C_0 との比 C/C_0 を取っている。

本題名の報告を完結するに当り、報告 I の末尾に謝辞を呈したつぎの各位にふたたび深甚の感謝の意を表したい。

川村宏矣博士、日本車輛製造株式会社岩垂捨三前社長
同加藤孝三前鑄造課長、元鑄鋼研究室、鑄物工場および
材料検査係従業員諸氏。(昭和 32 年 6 月寄稿)

文 献

1) 有川正康, 成田貴一, 本会, 昭和 28 年 4 月講演

大会に発表

- 2) J. M. Middleton, H. T. Protheroe, J. Iron Steel Inst., (1951), Vol. 168, 4, p. 384
- 3) U. K. Bhattacharya, C. M. Adams, H. F. Taylor, AFS Prepr. 78, (1954),
また Foundry, (1954), July.
- 4) 俄国 一: 鉄鋼化学分析全書
- 5) 木下禾大: 鉄と鋼, (1943), Vol. 29, p. 699, 908.
- 6) D.C.G. Less, Foundry Trade J., Aug. 18, (1949), p. 211
- 7) 沖進: 鉄と鋼, (1954) Vol. 40, p. 979
- 8) 沖進: 鉄と鋼, (1957) Vol. 43, p. 1293

継目無鋼管の圧延作業に関する研究 (II)[†]

— プラグ・ミルにおける諸荷重の測定と解析 —

山田嘉昭*・輪竹千三郎*・井上勝郎**・野崎 博**

STUDIES ON THE ROLLING OF SEAMLESS STEEL TUBE (II)

— Measurements and Analyses of Several Loads in Plug Rolling —

Y. Yamada, S. Watake, K. Inoue, and H. Nozaki

Synopsis:

Three principal components of loads in plug rolling of seamless steel tube, i. e. mandrel bar force, roll-force and roll-torque were measured by means of resistance wire strain gages. The measurements were made on Aetna plug rolling mill in Nippon Tokushu Steel Tube Co., Ltd. The electromagnetic-oscillograph records of mandrel bar force and roll-force indicated a gradual (nearly linear) decrease as a pierced billet proceeds through the groove (or caliber) of rolls, and those of roll-torque revealed a characteristic vibration of the driving system of the mill.

Above experimental results, especially (i) the response of the driving system of the mill to braking torque exerted by a tube entering into and passing through the groove of rolls, and (ii) the relation among the three components measured, were analysed. An elementary theory, on which the analysis of the three components was based, gave a linear relation between (roll-force) × (radius of roll) and roll-torque, and this agreed well with the experi-

[†] 昭和 32 年 4 月, 第 53 回講演大会において講演

* 東京大学生産技術研究所, ** 日本特殊鋼管株式会社