

Fe-Si, Ca-Si で脱酸したものは介在物の数は多いが微細となる。尙 Al 及び Al 合金で脱酸したものは介在物の数が少くなる。

(4) 各種特殊鑄鋼に就て焼戻の状態を調査した處 Ni-Cr-Mo 鑄鋼は硬度は低いが靱性が極めて大である。併し本鑄鋼は脆性の谷即ち焼戻脆性が相當大である。又 Mn を添加した Ni-Cr-Mo-Mn 及び Cr-Mo-Mn 鑄鋼は硬度を増加する反面靱性を低下し而かも脆性の谷が極めて大となる。尙 Cr の添加は焼戻抵抗が大にして高温迄靱性の恢復が甚だしい。然るに Mo, W 等の添加は

脆性を減少する効果が大である。又特殊鑄鋼を V, Ti, Al, Al 合金, Fe-Si 及び Ca-Si 等で脱酸したものは脆性は比較的小であるが、低温焼戻に於ける靱性の向上は期待し難い。これらの中 Ca-Si, Fe-Si, Al-Si 等で脱酸したものは比較的強靱性が大である。

文 献

- 1) R. H. Greaves: Jour. Iron Steel Inst., 100 (1919), II, 327.
- 2) 永澤清:鐵と鋼, 19 (1933), 174; 日本ニツケル時報, 2 (1934), 165.

鋼に現われる特殊熱脆性に就いて

(昭和 24 年 4 月本會講演大會にて講演)

山中直道*・佐藤恭次郎*

ON A NEW HEAT-BRITTLENESS IN STEEL

Naomichi Yamanaka and Kyojiro Sato

Synopsis:— It is well known that various kinds of heat-brittleness (carbide brittleness, blue shortness, secondary brittleness, transformation brittleness, red shortness and Heissbruch) are present in steel. the authors found another new heat-brittleness which occurs in the wide temperature range from 550°C to 1200°C. When steel bath was deoxidized by inadequate amount of Al and more than critical amount of Al_2O_3 was retained in steel, austenite grain size at 925°C became very small consequently. In this case a new heat-brittleness was liable to occur.

I. 緒 言

鋼に現われる熱脆性には Shapiro¹⁾ に依れば (1) Carbide 脆性 (2) 青熱脆性 (3) 二次脆性 (4) 赤熱脆性とがあり、Harvard 大學に於ける一連の高温振り試験に依り詳細に研究されている²⁾³⁾。これ等の外に赤熱脆性 (Rotbruch) の延長と見るべき白熱状態に於て脆性を示す白熱脆性⁴⁾⁵⁾ (Heissbruch) がある。(1)は Carbide の磁氣變態に對應して現われるものである。(2)の青熱脆性は鋼に依り異なるが 100°~400°C の範圍に亘つて起るもので、その原因に就ては多くの研究があるにも拘わらず一致していない。N₂ が大きい影響を及ぼすことは明かであるが⁶⁾⁷⁾、N₂ のみでは説明が出来ない。(3)の二次脆性は Freeman and Quick⁶⁾ が始めて強調したもので 550°~600°C 附近にあらわれる。鐵の再結晶に關係すると云う考えがあるも尙不明な點が多い。變態脆性は $\alpha \rightarrow \gamma$ 變態に依り又赤熱脆性は Mn, S, O の量

的關係に依り發生し⁹⁾、共存する特殊元素に依り發生温度は異なる。

扱て二次脆性の終つた後變態脆性が起る迄は温度と共に粘性が急激に増加するのが普通であるが、二次脆性を終つた後も引續き粘性が低下するか或は粘性増加の少い場合がある。この様な現象に對し萩原博士¹⁰⁾は特殊熱脆性なる名稱を與えられ、その原因は不明なるも製鋼法の差異に依るものであらうと述べている。

著者も高温加工に關する研究を實施中、この特殊熱脆性と似た現象を見出した。但し著者の場合は 550°~1000°C 乃至 1200°C 迄の廣い範圍に亘つて脆性を示しており、萩原博士の場合は 700°C 迄しか試験が行われていないから果して著者の見出した脆性と同一のものであるか否か不明であるが製鋼法に起因すると考える點では同一である、この脆性原因を探究するために次の如き

* 特殊製鋼株式會社

実験を行った。

II. 研究方針

著者が0.4%C鋼に就て多数の高温抗張試験を實施中高温粘性に富むものと、二次脆性後その恢復が遅く且つ1200°Cに到るも尙脆性を示すものがあることを見出した。學振法に依り結晶粒度を測定した處粒度番號の大きい程(結晶粒の細い程)この脆性が著しい結果が得られた。錫がこの様な脆性を示すことが知られているので錫分析を實施したが検出出来なかつた。従つてこの脆性は結晶粒度或いはそれを支配する因子と密接な關係がある様に考えられるので、結晶粒度に大きい影響を與える脱酸劑或いはMo, Vの如き結晶粒の微細化作用を有する元素を種々の割合に添加して熱脆性の發生條件並にその原因に就て研究することにした。尙萩原博士は製鋼法以外にSi, Mnを多量に含む場合に特殊熱脆性が現われると述べておられるので兩元素の影響をも見ることにした。

III. 實驗試料及びその方法

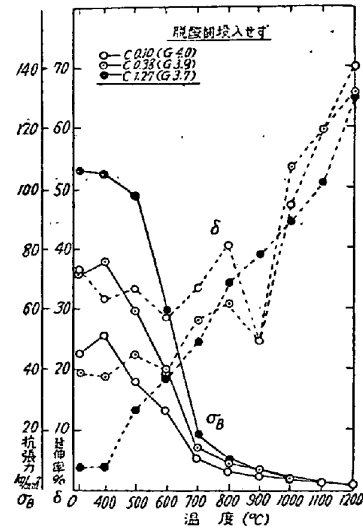
Cは0.1, 0.4, 1.2%の3種類とし、出鋼2分前にSi-Mn 0.2%, Al 0.05, 0.1, 0.2%添加して脱酸した。尙C 0.4%の場合はAl投入量を更に0.05, 1%添加したものを追加した。又脱酸劑投入後出鋼迄の時間も結晶粒度に影響を與えるのでAl 0.05%投入後出鋼迄の時間を2, 5, 8, 15minと變化したものを熔製した。試料は35K.V.A.高周波誘導爐にて7kg熔解し鋼塊は表面疵取後17mm丸棒に壓延し所要寸法に切斷した後850°Cより焼準を行つて夫々の實驗に供した。

高温抗張試験はアムスラー抗張試験機に依り常温、400°~1200°Cの範囲で行い、700°C以上では試料表面にエナメルに黒鉛粉末を混じたものを塗布して酸化に依る影響を防止した。温度は熱電對を試料の中心に結付けて測定し、所定温度に到達したる後30min間保持して充分熱平衡に達せめた後徐々に荷重をかけた。引張に要した時間は平均30minである。オーステナイト結晶粒度測定は滲炭法に依つた。實驗試料の化學成分は説明の都合上夫々の圖に附記した。

尙粘性の大小を見るのに従來の報告では絞の變化に依つて多いのが多いが、高温の場合には絞が大となり微小の變化を把握し難いので本報告では伸の變化に依り表わすことにした。

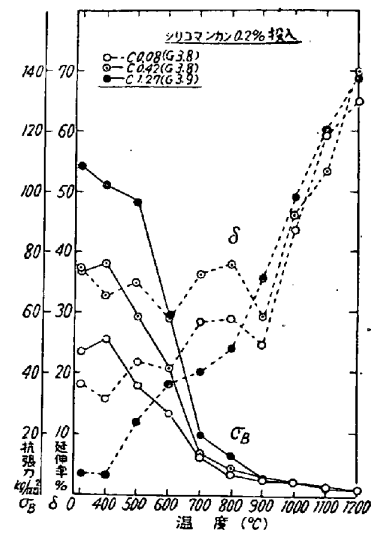
IV. 實驗結果

(1) Si Mn 脱酸劑の影響



試料	C	Si	Mn	P	S	脱酸劑
1	0.10	0.36	0.34	0.021	0.020	添加せず
2	0.38	0.25	0.36	0.015	0.019	
3	1.27	0.60	0.47	0.018	0.020	

第 1 圖



試料	C	Si	Mn	P	S	脱酸劑
4	0.08	0.34	0.35	0.020	0.018	Si Mn 0.2% 添加
5	0.42	0.29	0.41	0.022	0.016	
6	1.27	0.52	0.23	0.025	0.015	

第 2 圖

C 0.1, 0.4, 1.2% に脱酸劑を加えない場合及び Si Mn 脱酸劑を 0.2% 投入した場合の高温抗張試験の結果を第 1 圖, 第 2 圖に示す。Si Mn は Si 20.10%, Mn 56.43% を含有するもので Si Mn に依る共同脱酸に依り液状脱酸生成物が出る範囲に調合したものである。結晶粒度は各圖に夫々記入してある。

兩圖に於て抗張力, 伸は同一 C 量では殆ど差異がない。尙 400°C に於て常温より抗張力が増加し伸が減少

しているのは青熱脆性の影響である。この脆性は 200°~400°C の範囲にあらわれるもので、両圖共Cの増加するに従い脆性が減少しており過共析鋼の 1.27% C (試料 3, 6) では殆ど現われていない。これは青熱脆性がフェライトに關係する脆性であると考えれば説明が出来る。400°C で一旦減少した伸が 500°C 迄上昇し 600°C で再び減少している。これは二次脆性の現われで青熱脆性と同様C量と共に減少して過共析鋼では現われていない。二次脆性を終つた後は伸びは再び上昇し始めるが變態開始と共に停滞し始め亞共析鋼では 900°C で最低となっている。過共析鋼では全く認められない。この變態脆性を終つた後伸びは急速に増加している。

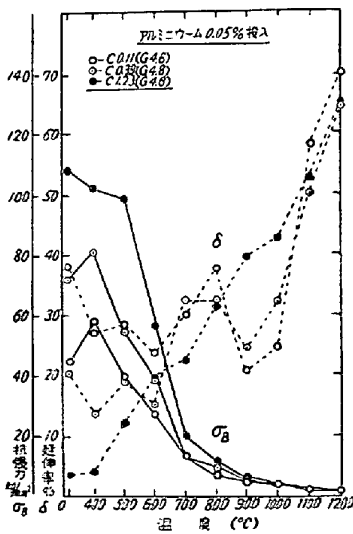
以上の變化を見ると緒言に述べた様な特殊熱脆性は認められなかつた。オーステナイト結晶粒度は圖に附記した如く何れも大差なく 4 附近で粗粒鋼に屬する。

(2) Al の影響

(i) Al 添加量の影響

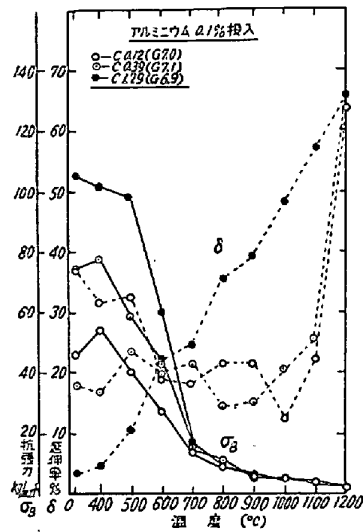
C 0.1, 0.4, 1.2% 各鋼に Al 0.05, 0.1, 0.2% を投入して脱酸した場合の結果を第 3, 4, 5 圖に示す。全般的に見て Al 投入量に依り高温抗張力は殆ど差異がなく伸びは 400°C の青熱脆性, 600°C の二次脆性, 900°C の變態脆性に依り何れも低下する。但し C 1.2% の系列では殆ど現われない。

Al 0.05% 投入の場合 (第 3 圖), C 0.1% 系列では 900°C 迄は脱酸剤を加えないもの(第 1 圖)に比して伸びが幾分低い程度であるが, 脱酸剤を加えないものは 900°C



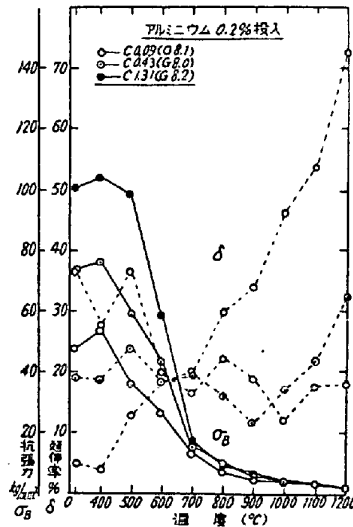
試料	C	Si	Mn	P	S	脱酸剤
7	0.11	0.33	0.35	0.020	0.019	Al 0.05% 添加
8	0.39	0.19	0.36	0.015	0.020	
9	1.23	0.61	0.40	0.018	0.021	

第 3 圖



試料	C	Si	Mn	P	S	脱酸剤
10	0.12	0.18	0.30	0.022	0.022	Al 0.1% 添加
11	0.39	0.32	0.41	0.017	0.020	
12	1.29	0.67	0.44	0.020	0.023	

第 4 圖



試料	C	Si	Mn	P	S	脱酸剤
13	0.09	0.13	0.16	0.022	0.024	Al 0.2% 添加
14	0.43	0.30	0.31	0.020	0.023	
15	1.31	0.68	0.38	0.025	0.026	

第 5 圖

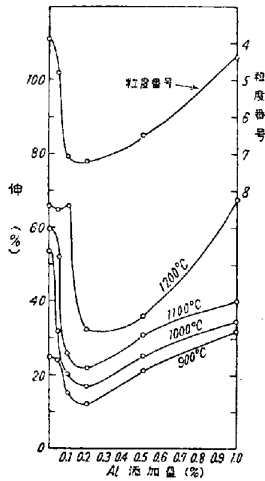
の變態脆性の後急激に伸びが恢復するが, Al 0.05% 投入の場合 1000°C では未だ恢復少くその恢復量は 25% 程度で既に特殊熱脆性が現われている。然し 1100°C 1200°C では殆ど恢復している。C 0.4% 系列でも同様の傾向を示している。C 1.2% では脱酸剤を加えないものと殆ど同じで 900°C 以上に於ける脆性は現われない。

次に Al 0.1% 添加した場合 (第 4 圖), C 0.1% では 500°C 迄は第 1 圖と同じであるが, 500°C 以上に於て伸びが著しく低下し二次脆性後も伸びの恢復は殆ど認めら

れない。0.05% Al 投入の場合は 1100°C で伸びが恢復したが、この場合は 1100°C でも極めて低く 1200°C で始めて粘性を示している。C 0.4% でも全く同様の傾向を示している。又 C 1.2% ではこの様な脆化現象はなく脱酸剤を加えないものと同様である。

次に Al 0.2% 添加 (第5圖) で益々脆性が著しくなり、500°C 以上から伸びが低下し始め 1200°C になるも尙粘性の恢復が起らない。但しこの場合にも C 1.2% の場合は脆性を示さない。

扱て C 0.4% の場合には Al を更に 0.5, 1% 添加したが、Al による粘性の變化を知るために 900°~1200°C の各温度に於て Al 量と伸びとの關係を表わすと第6圖の如くなる。絞も同様の傾向を示すが省略した。尙學振所定の 925°C に於ける結晶粒度番號をも圖示した。



試料	C	Si	Mn	P	S	脱酸剤
2	前				掲	ナシ
8	前				掲	Al 0.05%
11	前				掲	Al 0.1%
14	前				掲	Al 0.2%
16	0.38	0.43	0.40	0.028	0.015	Al 0.5%
17	0.40	0.21	0.34	0.016	0.020	Al 1.0%

第 6 圖

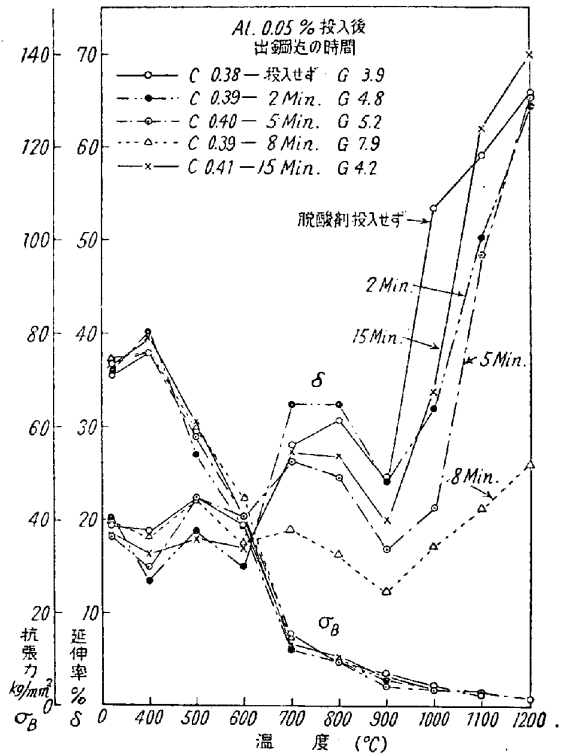
本圖に依ると伸びは 1100°C 以下では Al 0.05% 添加で、1200°C では Al 0.1% 添加で低下し始め Al 0.2% 添加で最低となる。然し Al 添加量が 0.2% 以上になると漸次伸びが恢復し始め 1200°C では Al 1% 添加したものは脱酸剤を投入しないものと同程度になる。然し 1200°C 以下では恢復はするが完全には元の状態に復歸しない。

結晶程度は粘性變化と全く同様の傾向を示し、Al 添加と共に粒度番號が大きく(結晶粒が小さく)なり、脆性の最も著しく起る Al 0.2% 添加では結晶粒が最も小さくなっている。更に Al 添加量が 0.2% になつて粘性

が恢復すると共に粒度番號も小さく(結晶粒も大きく)なっている。これより見て特殊熱脆性と結晶粒度とは密接な關係がある様に考えられる。

(ii) Al 添加後出鋼迄の時間の影響

特殊熱脆性と結晶粒度との關係を更に確めるために次の實驗を行つた。即ち Al 投入量を 0.05% に一定とし Al 投入後出鋼迄の時間を變えて結晶粒度を變化せしめて高温抗張試験を行つた。第7圖がその結果で粒度番號は圖に附記してある。これに依ると出鋼迄の時間が 2



試料	C	Si	Mn	P	S
2	前			掲	
8	前			掲	
18	0.40	0.32	0.30	0.015	0.021
19	0.39	0.21	0.36	0.015	0.018
20	0.41	0.31	0.31	0.014	0.018

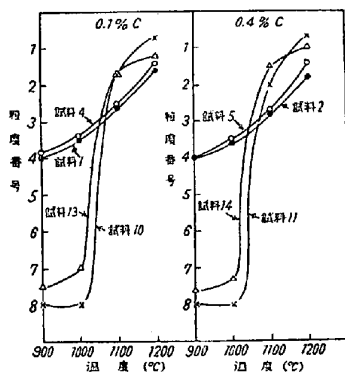
第 7 圖

min から 8min 迄は結晶粒度が小さくなり 8min で最低になるが、15min では再び増加している。15min で結晶粒度が大きくなるのは Al の酸化及び Al₂O₃ が浮揚するためと思われる。一方伸びの變化を見ると 600°C 迄は殆ど差異はないが 700°C 以上では明らかに差異が認められ、出鋼迄の時間が長くなつて結晶粒度が小さくなるに従い伸びの低下が大となり、結晶粒が最小となる 8min では著しい脆性を示し 1200°C になるも伸びは恢復しない。所が出鋼迄の時間が 15min になつて結晶粒度が大きくなると再び脆性が恢復する。

以上に依り Al 脱酸の場合には結晶粒度の小さい程高温脆性が大となることが知られる。

(iii) 結晶粒の大きさとの関係

前述した如く結晶粒度 (925°C) と特殊熱脆性とは密接な関係がある様に見受けられるが、各温度に於ける結晶粒の大きさと粘性との間に如何なる関係があるかを知る必要がある。そこで C 0.1%, C 0.4% 系列に於て脱酸剤を添加しないもの (試料 1, 2), Si Mn で脱酸したもの (試料 4, 5) Al 0.1% 添加したもの (試料 10, 11), Al 0.2% 添加したもの (試料 13, 14) に就て 900°~1200°C の各温度に於ける結晶粒の大きさを滲炭法に依り測定した。尚滲炭時間は高温引張試験に於ける保持時間と同一にした。その結果が第 8 圖で試料 1, 2, 4, 5 の粗粒鋼は温度上昇と共に次第に結晶粒が大きくなって

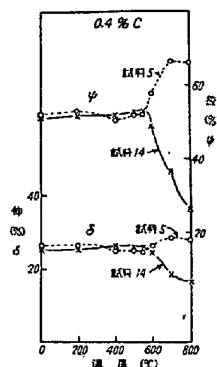


試料
 1 脱酸剤添加セズ
 4 Si Mn 0.2% 添加
 10 Al 0.1%
 13 Al 0.2%
 試料
 2 脱酸剤添加セズ
 5 Si Mn 0.2% 添加
 11 Al 0.1%
 14 Al 0.2%
 第 8 圖

いるに反し、Al 脱酸鋼 (試料 10, 11, 13, 14) は 1000°C 迄は微細であるが 1000°C 以上になると急激に結晶粒が粗大化し、試料 1, 2, 4, 5 よりも却つて結晶粒が大きくなっている。この結晶粒度の変化と高温粘性の変化を示す第 4, 5 圖とを比較して見ると Al 0.1% 添加では 1100°C では伸は極めて低く、Al 0.2% 添加では 1200°C でも非常に低い。然るに結晶粒は却つて粗大化している。従つて特殊熱脆性は結晶粒度 (925°C に於ける) と関係はあるが、各温度に於ける結晶粒の大きさは無関係であると云える。

(iv) 特殊熱脆性の発生温度

特殊熱脆性が如何なる温度から発生するかを詳細に調べるために、特殊熱脆性を示さない Si Mn 脱酸鋼 (試料 5) と最も大きい熱脆性を示す 0.2% Al 脱酸鋼 (試料 14) に就て発生温度を調べた。第 9 圖に伸、絞の變

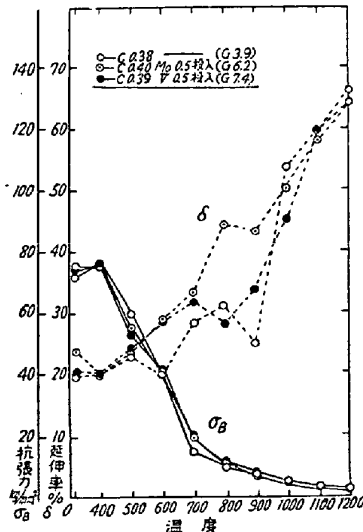


試料
 5 Si Mn 0.2% 添加
 14 Al 0.2%
 第 9 圖

化を示してあるが、これに依ると 550°C 迄は差がなくこの温度以上より熱脆性が現われて来る。

(3) Mo 及び V の影響

Al 脱酸の場合に述べた様に粒度番号 (925°C に於ける) の大きい程高温脆性が大となることが知られたが、Al の外に結晶粒を微細化する能力のある Mo 及び V を添加した場合には如何なるかを調べて見る。第 10 圖に Mo 及び V を單獨に添加した場合を示す。結晶粒度



試料	C	Si	Mn	P	S	Mn	V
2	0.38	0.25	0.36	0.015	0.019	—	—
21	0.40	0.25	0.30	0.016	0.016	0.5	—
22	0.39	0.21	0.30	0.018	0.019	—	0.5

第 10 圖

は圖に附記した如く Mo 及び V を添加すると微細化され夫々 6.2, 7.4 の様に細粒鋼になつている。伸びは脱酸剤を加えないもの (第 1 圖参照) より大きく熱脆性を示していない。尚 Mo, V を加えたものは 600°C に於ける二次脆性があらわれていない。二次脆性がフェライトの再結晶に關聯した現象であるとすれば、Mo, V が

再結晶温度を上昇せしめるから脆性が現われないと説明出来るがこれだけの実験では断言出来ない。

以上の様に Mo 又は V を添加して結晶粒を微細化しても特殊熱脆性が生じないから、この脆性は Al 脱酸に依って結晶粒度が小さくなった場合にのみ発生するものと思われる。

(4) Si, Mn の影響

萩原博士が C 0.30%, Ni 3%, Cr 0.8% に Si 1.6% 或いは Mn 1.8% を加えると二次脆性後の粘性回復が少く変態附近迄脆性が續くと述べておられるので著者も C 0.4% に Si 2%, Mn 2% 添加して高温引張試験を行った、その結果に依ると Si 2% 添加したものは 500°C 以上から伸びが低下し 900°C の変態脆性迄續くが 900°C 以上からは急に粘性が回復する。又 Mn の場合も 500°C 以上の粘性回復は少いが変態が起きると共に伸びが大となり、変態脆性の後も伸びが上昇する。即ち Si, Mn は変態点以下では熱脆性を起すが変態点以上では脆性は認められない。従つて Si, Mn に依る熱脆性は著者の言う特殊熱脆性とは異なるものと思われる。

V. 特殊熱脆性の原因に就いて

以上の実験結果に依ると特殊熱脆性は脱酸剤を添加しない場合、Si Mn に依る脱酸の場合には発生しないが Al 脱酸に依つて始めて現われる。発生温度は 550°C から始まり 1100~1200°C 迄の廣範圍に亘る。而して脆性は Al 0.05% 添加で既に始まり Al 0.2% で最大となるが更に Al が多くなると漸次回復して来る。従つて鋼中に残留する Al の影響とは考えられない。Al 脱酸の場合に就て考えると結晶粒度の小さい程脆性が大きくなるから結晶粒度 (925°C に於ける) と密接な関係がある様に思われるが、Mo, V を添加して結晶粒を微細化しても特殊熱脆性は現われぬ。又各温度に於ける結晶粒の大きいとの関係を見ると、脆性の大なる温度では却つて結晶粒が大きくなっているから結晶粒の大きさは関係がない。従つて特殊熱脆性は Al 脱酸の場合に限り発生し、各温度に於ける結晶粒の大きさは関係がないが、結晶粒度 (925°C に於ける) を小さくする因子と関係があると云える。中炭素の鑄鋼に於て常温延性に及ぼす Al の影響を調べた研究に依れば Al を少量添加すると Al_2O_3 が粒界に生成し衝撃抗力が低下することが知られているが、本実験の様に S が 0.02% 程度では Al_2S_3 に依る脆性は殆ど考えられない。

今各資料に就て鋼中に残留する Al と Al_2O_3 を分析すると第 1 表の如くである。C 0.4% のものに就て見る

第 1 表

C	Al	Al_2O_3	脱酸剤
0.10	—	0.00123	—
0.38	—	0.00121	—
1.27	—	0.00113	—
0.08	—	0.00131	Si Mn 0.2%
0.42	—	0.00124	"
1.27	—	0.00101	"
0.12	0.071	0.00247	Al 0.1%
0.39	0.085	0.00194	"
1.29	0.104	0.00184	"
0.09	0.126	0.00268	Al 0.2%
0.43	0.129	0.00228	"
1.31	0.162	0.00162	"
0.38	0.378	0.00222	Al 0.5%
0.38	0.866	0.00142	Al 1.0%

と特殊熱脆性の最も激しい Al 0.2% 添加のものが Al_2O_3 が最も多く、Al が 0.5, 1.0% に増加して脆性が少くなるに従い残留 Al は増加するが Al_2O_3 量は却つて減少している。C 0.1% 系列でも Al 0.2% 添加が Al_2O_3 が一番多い。特殊熱脆性を示さない C 1.2% のもの脱酸剤を添加しないもの、Si, Mn 脱酸のもの等は何れも Al_2O_3 量は少い。従つて特殊熱脆性は Al_2O_3 量に依る様に思われる。この見解に依れば結晶粒度 (925°C に於ける) は Al_2O_3 量に依るから特殊熱脆性と結晶粒度とが関係することも説明出来る。然し Al_2O_3 が如何なる機構で脆性を惹起するかに就ては不明であるが、550°C 迄は脆性を示すことなく 550°C 以上で始めて生ずる点を考えるとフェライトの再結晶温度以上で Fe と Al_2O_3 との凝集力 (Cohesion) に変化が起きるためと考えられる。

以上述べた様に特殊熱脆性は Al_2O_3 と関係しこれが或る量を越えると発生すると思われる。従つて本実験に於ては Al 投入量が 0.05% より脆性が生じているが、投入前の熔鋼中の O_2 量、 Al_2O_3 量如何に依つては Al 0.05% 以下でも Al_2O_3 が限界量を越えて脆性を惹起すると見なければならぬ。

尙この様な高温引張試験に依て脆性が現われても熱間加工の際に必ず表面疵や龜裂が発生するとは限らないが例えば壓延の際の孔型に接觸しない所謂自由擴り部分の様に引張應力の働く箇所に龜裂を生ずる恐れがある。

VI. 總括

以上の実験結果並に考察を總括すると次の如くである。

(1) 従来知られていた炭化物脆性、青熱脆性、二次脆性、變態脆性、赤熱脆性、白熱脆性の外に 550°C 以

上に於て新に熱脆性が生ずることがある。これを特殊熱脆性と名付けた。この脆性は 600°C 附近の二次脆性後粘性恢復が少く極端な場合は 1200°C 迄も及ぶ。

(2) 豫備実験の結果結晶粒度と密接な関係があると考えられたので、脱酸剤の種類、量を變えて試験した。

その結果に依ると Si Mn 脱酸剤では發生しない。Al 脱酸の場合に發生し、Al 0.05% 添加より始まり Al 0.2% 添加で最も著しくそれ以上増加すると再び脆性が少くなる。結晶粒度の變化もこれに對應し Al 0.2% 添加で結晶粒度が最小となり、Al がこれより増加すると又大きくなつて來る。

(3) Al 0.05% 添加して出鋼迄の時間を 2~15min に變化して結晶粒度の異なるものを熔製して試験すると、結晶粒度の小さい程脆性が著しく 15min になつて粒度が大きくなると共に再び脆性が少くなる。

(4) 各温度に於ける結晶粒の大きさと脆性の關係を調べた結果に依ると脆性の著しいものが却つて結晶粒が大きくなつてゐる。従つて特殊熱脆性は 925°C に於ける結晶粒度とは關係があるも各温度に於ける結晶粒の大きさは無關係である。

(5) Mo 又は V を添加して結晶粒度を小さくしても脆性は現われない。即ち特殊熱脆性は Al 脱酸に依り結晶粒度 (925°C に於ける) が小さい時に現われるものと考えられる。

(6) 各試料に就き Al_2O_3 量を分析した結果に依り Al_2O_3 の多い程脆性が大となることが知られた。その機構は不明であるが、550°C 以上より脆性が生ずる點からフェライトの再結晶温度以上でフェライトと Al_2O_3 との凝集力に變化が生じるためと思われる。

(7) 特殊熱脆性は Al_2O_3 が臨界量を越えると發生すると思われる。従つて本実験に於ては Al 0.05% 投入より脆性を生じているが、Al 投入前の熔鋼中の O_2 量、 Al_2O_3 量如何に依ては Al 0.05% 以下でも Al_2O_3 量が限界量を越えて脆性を起すと見なければならぬ。

稿を終るに當り東北大學教授佐藤知雄博士の御校閲を受けました事を厚く御禮申し上げます。

(昭和 26 年 10 月寄稿)

文 献

- 1) Shapiro: Iron Age 8 (1935), 12
- 2) Sauveur: Trans. Amer. Soc. Steel Treat., 17 (1930), 410
- 3) Sauveur & Lee: J. Iron & Steel Inst., 112 (1925), 323
- 4) Niedenthal: Arch. Eisenhüttenw., 3 (1929 30), 79.
- 5) Houdremont: Einführung in der Sonderstahlkunde 528.
- 6) Eilender, Cornelins, Menzen: Arch. Eisenhüttenw., 14 (1940~41), 217.
- 7) 今井, 石崎: 日本金屬學會誌, B 14 (1950), 37, 42.
- 8) Freeman & Quick: A.I.M.E. 90 (1930), 225.
- 9) Norris: J. Iron & Steel Inst., 138 (1938) No. II. 75.
- 10) 萩原: 鐵と鋼, 24 (1938), 13
- 11) Sims & Dahle: 電氣製鋼, 昭和 14 年 6 月 249 参照