

論 文

Al によるキルド鋼の粒度調整について

(昭和 29 年 4 月本会講演大会にて発表)

加 藤 健*・伊 藤 悌 二*

GRAIN SIZE CONTROL OF KILLED STEEL BY ADDITION OF ALUMINUM

Takeshi Kato and Teiji Ito

Synopsis:—

To clarify the effect of aluminum upon the austenite grain size of plain carbon steel, the behaviors of its nitride, oxide and sulfide were investigated as follows:

(1) Under the special conditions, such as in vacuum, or in nitrogen and oxidizing atmospheres, various amounts of aluminum or sulfur were added to a high carbon steel melted with a 35KVA induction furnace.

(2) To high and low carbon steel, melted with a 250 kg test furnace, various amounts of aluminum were added in the ladle. Silicon was added in the furnace or in the ladle; or not at all. To some low-carbon heats various amounts of sulfur were added in the ladle.

(3) Amounts of aluminum were varied to some extent when they were added in the ladle to many heats of low-carbon fine-grain steel, melted with a 60ton basic open hearth and high-carbon coarse grain steel, melted with a 100ton basic open hearth furnace.

Austenite grain size of these steels was determined by the carburizing method. The relation between austenite grain size and various components of these steels, including non-metallic inclusions, was studied.

The main results were as follows:

(1) AlN was the most dominant factor in retarding the growth of austenite grains by addition of aluminum.

(2) Al₂O₃ reduced the effect of AlN in fine-grain steel.

(3) In a coarse grain steel containing a little aluminum, oxides, such as Al₂O₃, or sulfides also retarded the growth of austenite grain to some extent.

(4) Duplex grain was necessarily formed at the transition state of grain growth while it was also caused by segregation of Al₂O₃.

(5) Furnace deoxidation (blocking) in the basic open hearth furnace would be valuable to attain to the stability of grain size control.

I. 序 言

鋼のオーステナイト結晶粒度に関しては、古くから多くの研究が行われてきており、オーステナイト結晶粒度と鋼材の各種性質との関係についても種々研究されてい

る。勿論それ等の性質の中には、オーステナイト結晶粒度そのものが影響を及ぼしているものであるか否か尙吟味を要し¹⁾、疑問の多いものがあるが、オーステナイト

* 八幡製鉄 K.K. 八幡製鉄所

結晶粒度は鋼材の特性を示す一つの基準ともされており、製鋼上の一つの要点とされている。

Al, Ti, Zr, V 等の添加によつて、鋼のオーステナイト結晶粒度が微細化する事はよく知られているが、これ等の元素の中で、一定の効果をj得るには Al が最も安価であり、且つ添加時に溶鋼温度を低下せしめる事がないので、最も一般的に用いられている。以下の報告はキルド炭素鋼を対象とし、Al 添加とオーステナイト結晶粒との関聯を明確にして、塩基性平炉に於いて、混粒なき細粒鋼或いは粗粒鋼を熔製する上の参考に資せんとするものである。

II. Al の影響に関する諸説の概略

鋼に Al を添加すると、そのオーステナイト結晶粒成長温度が高くなり²⁾ その成長の仕方にも影響をあたえるが³⁾ その機構については種々の説明があたえられている。結晶粒界に細く分散した非金属粒子が、オーステナイト結晶の成長を阻止するためであるという説明は一般に受入れられている⁴⁾ と思われるが、その阻止粒子としては種々のものが考えられている。

New Monograph Series of Alloys of Iron Research の Aluminum in Iron and Steel⁵⁾ によくまとめて述べられているが、McQuaid⁶⁾ は Al がオーステナイトの C 溶解度を下げ、オーステナイト粒界に過剰の炭化物を形成せしめるためであるとし、Swinden-Bolsover⁷⁾ は Al の量は脱酸の程度を示すもので、脱酸の程度によつて Al₂O₃ の大きさが異なり、分散したコロイド状のものが最も強く阻止粒子として作用するとし、又 Hultgren⁸⁾ は凝固後に析出した細い Al₂O₃ 粒が結晶粒の成長性を支配するものであるとしている。Al₂O₃ によつて説明するものは他にも多いが⁹⁾、最近では AlN が特に注目され、Born-Koch¹⁰⁾ 或いは Schuyten¹¹⁾ 等は阻止粒子として最も大きな影響をあたえるのは AlN であるとしている。オーステナイト温度域に於ける AlN の溶解度変化を考えれば¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾ AlN による説明は極めて妥当の様に思われ、Benedicks-Löfquist⁵⁾ や Dorn-Harder¹⁵⁾ の考えた inhibitor も AlN であるとすれば説明が都合よい様に思われる。しかし熔製状況や脱酸法と粒度特に混粒との間には密接な関係があり、炭化物の挙動も大きな影響をあたえる様である¹⁶⁾¹⁷⁾。更に Baeyerly¹⁸⁾ や Sims¹⁹⁾ 等は Al の硫化物も阻止粒子となるとしている。

III. 実験の範囲と経過

以上述べた如く、Al の作用には尙明確でない点がある

り、これを明らかにする事が粒度調整の根本問題であるから、実験室的に真空、N₂ 雰囲気、酸化性雰囲気等の特殊の条件の下で Al の影響を比較検討すると共に、実際の平炉の試料についても検討し、両者に於ける諸条件の極端な相違の間隙を埋めるべく、250 kg 試験炉で一般作業条件範囲を超えて、広く条件を変化させて実験検討した。

対象はキルド炭素鋼であつて、Cr 其他の特殊元素を含む場合には更に検討すべき点もあるであろうが、それについては触れていない。

(i) 特殊条件下に於ける実験

第1図の如き装置により、電解鉄より作つた試料をアルミナ坩堝 (A) で補強したマグネシヤ坩堝 (B) に入れ石英管 (C) 中に set して 10⁻³ mmHg 以上の真空とし、35KVA 高周波炉で溶解し、10⁻³ mmHg 程度の真空とした。鋼の成分及び使用坩堝による制限のために、これ以上の真空度は望めなかつた。

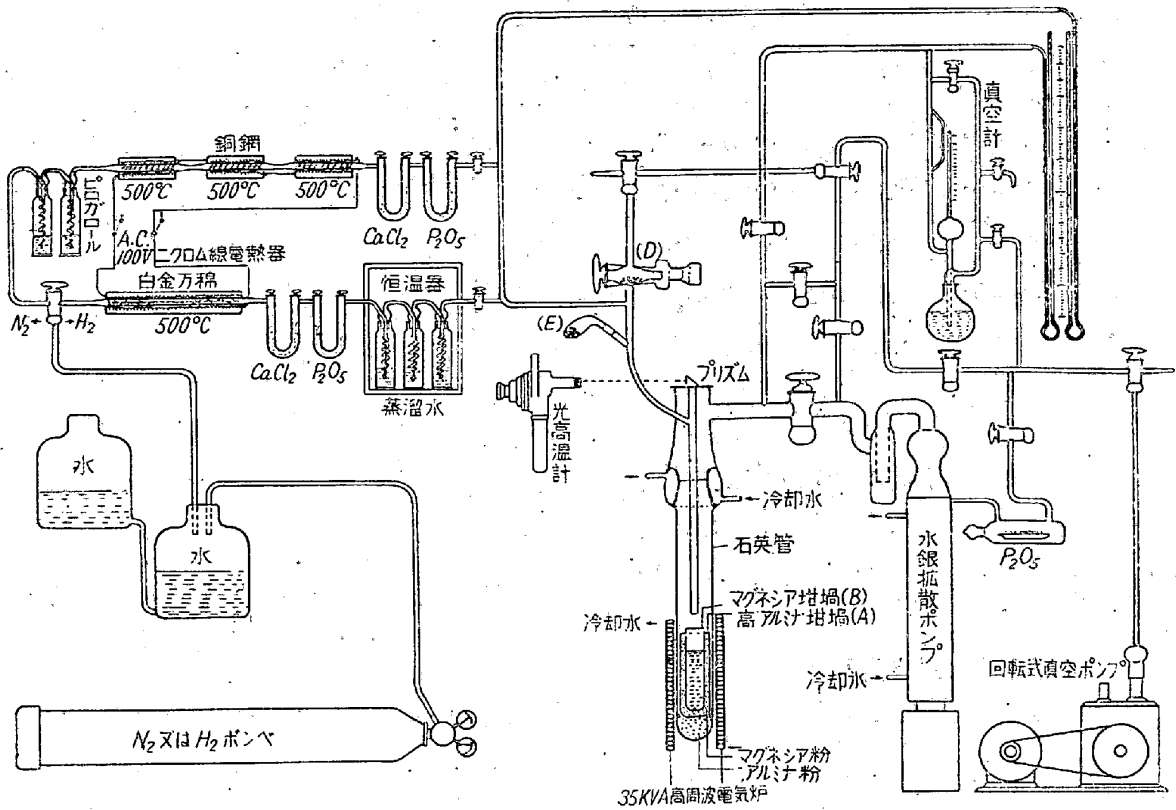
この状態で、或いは更に N₂, H₂-H₂O を夫々の purification train を通して系内に導入して充分な時間が経過してから、(D) によつて C, Si, Mn を添加調節し、更に (E) によつて種々の量の Al を添加した。

(D), (E) による添加はすべて密閉内で行い得る様になつており、且つ (D) には系内に関係なく添加物を外より補給出来る様になつている。添加後暫くしてスイッチを切り、そのまま凝固せしめた。

C:0.70%, Si:0.20%, Mn:0.50% を目標としたが、後に示す如く、大体所期の成分が得られた。Al 投入量は 0~0.07% に変化せしめた。

N₂ の場合は 1, 1/4, 1/8 atm. で又 H₂-H₂O の場合は所定 C% に平衡するよりも多目の 0% が得られる如く調節した。ガスの導入は徐々に行い、系外では常に (+) の圧力になる如くした。減圧の場合を除き、系内が 1 atm. になつてからはガスを連続的に流す様にした。尚溶解温度は 1600°C に保つた。38 mmφ, 約 600 gr の試料が得られるが、これを 15 mm 角に鍛造し、中央部より試料をとつて分析及びオーステナイト結晶粒度の測定を行つた。

オーステナイト結晶粒度の測定は学振滲炭法によつたが、粒度現出法としての滲炭法そのものに若干の疑問があり、又 925°C という温度も個々の鋼にとつては意義の薄い場合もあり、粒度の成長曲線を検討した方がよいのであるが、925°C の滲炭粒度は一般に慣用されているものであり、且つ一般的な規準にもなるので、これを用いた。以下の実験でも粒度の現出はこれによつてい



〔註〕 図中白金万綿とあるは白金石綿の誤り 第 1 図

尙真空中で Al を加えずに S の添加量を変えた一連の実験をも行った。

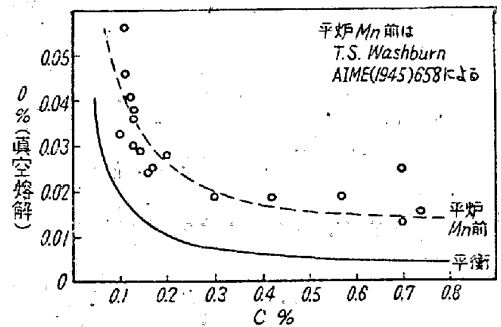
(ii) 試験炉に於ける実験

250 kg 塩基性三相弧光式電気炉で、還元期を実施せずに平炉と似た操作を行い、酸化精錬終了後炉内に Fe-Mn を投入し、暫時炉を密閉してから、スラッグを掻出し、出鋼して取鍋に Fe-Si, Al を添加した。

低炭素の場合と高炭素の場合とにつき、夫々 Fe-Si を投入してから Al を加えた場合と、Fe-Si を用いずに Al のみ加えた場合について実験し、Al 量の変化は取鍋に受けた熔鋼を更に小取鍋に移す際に順次添加量を変え 1 溶解で 6~7 種の Al 量を変化せしめた。

夫々の取鍋より金型試料を採取し、これについて分析及び粒度測定を行った。

上述の如き操作は、この試験炉で種々の試料を溶解する際に屢々行っているが、実績によれば、Mn 前の熔鋼の酸化状態は第 2 図に示した如く、一般の塩基性平炉に於けると全く同様である。Fe-Mn 投入後暫時炉を密閉するのは、密閉しなければ炉内雰囲気は平炉に於けるよりも、酸化性が強くなるからで、スラッグを掻出すのは、共に傾注して出鋼すれば、スラッグが始めから熔鋼と一緒に取鍋中に入り、平炉の出鋼と若干異つた状態になるし、脱炭剤の効果が不安定になると考えた



第 2 図 試験炉 Mn 前の酸化状態

からである。かくて大体一般の塩基性平炉鋼と同様な試料が得られると考えたわけであるが、若干異なるのは、後に示す如く、N% が一般塩基平炉鋼の 0.003~0.005% に対して僅か高目になり、0.004~0.006% (2, 3 のものは 0.007%) 位となつた事、及び土瓶式取鍋を使用したとは云え、熔鋼中の介在物の浮上除去の機会少なく且つ移し変えによつて空気に触れる機会の多かつた為か Al₂O₃% が一般に可成り高目になつた事である。

尙、低炭素の場合に Fe-Si 投入後僅かの Al を投入した場合と多量の Al を投入した場合とにつき、夫々 S 添加量を種々変えた実験をも実施した。

(iii) 実際の塩基性平炉の試料についての実験

60t 塩基性固定式平炉にて低炭素細粒鋼を熔製する際取鍋投入 Al 量を 0.04~0.13% に変化せしめ、又熔製

第 1 表

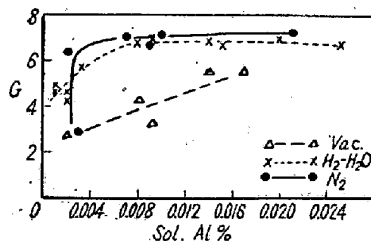
	試料数	C%	Si%	Mn%	Al 投入%	sol. Al%	Al ₂ O ₃ %	O%	N%
真空中	5	0.69~0.73	0.15~0.26	0.35~0.61	0~0.04	0.002 ~0.017	0.005 ~0.008	* 0.0003 0.0005	* 0.0014 0.0014
窒素中 (1atm)	6	0.69~0.75	0.18~0.24	0.43~0.54	0~0.04	0.002 ~0.021	0.003 ~0.010	* 0.003 0.001	0.0319 ~0.0355
H ₂ -H ₂ O 中	11	0.61~0.82	0.25~0.31	0.41~0.55	0~0.07	0.001 ~0.025	0.001 ~0.010	0.001 ~0.006	0.0036 ~0.0040
窒素中 (1/4 atm)	5	0.58~0.79	0.11~0.19	0.51~0.82	0~0.03	0.002 ~0.019	0.003 ~0.003	0.001 ~0.003	0.0156 ~0.0176
窒素中 (1/8 atm)	6	0.69~0.74	0.15~0.19	0.42~0.47	0~0.04	0.002 ~0.018	0.003 ~0.005	0.001 ~0.003	0.0058 ~0.0105

(* 代表のみ分析)

法を若干変えた場合の取鍋試料について粒度を測定した。又 100t 塩基性傾注式平炉で高炭素粗粒鋼を熔製する際、Al 投入量減少の試験を含み、取鍋試料について粒度、介在物を検討した。

IV. 実験結果と考察

(1) 真空中、N₂ 中、H₂-H₂O 中に於ける Al 投入実験の試料の分析値をまとめて第1表に示した。粒度と acid soluble Al% との関係は第3図の如くである。N₂ 中では Al 投入量 0 の場合は真空中に於けると同程度の粒度

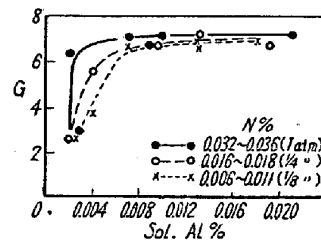


第3図 各雰囲気中に於ける粒度とAlとの関係

であるが、僅かの Al によつて著しく粒度が小さくなつてゐる。H₂-H₂O 中では Al の少い所で、真空中或いは N₂ 中よりも若干粒度が細くなり、Al の多い所では N₂ 中より僅か荒目であるが大差ない。真空中では Al 増加に伴う細粒化は極めて緩慢である。真空中と言つても前述の如く 10⁻³mmHg 程度であつて、第1表にも示した如く、若干の N が含まれているので、この結果から Al 自身に細粒化作用があると認める事は出来ないし、又 H₂-H₂O 中と雖も矢張り N が含まれているので、酸化物でも窒化物と同じ様な細粒化作用があると認める事は出来ない。しかし第3図の三つの曲線の比較によつて少くとも次の事は云えるであらう。

- (a) AlN の細粒化作用は極めて顕著である。
- (b) Al の少い所では酸化物が若干粒度を細くする。

第4図は減圧 N₂ 中での実験結果を示したもので、



第4図 減圧 N₂ 中に於ける粒度と Al の関係

Al の少い所で N% の減少と共に粒度が若干荒くなつており、AlN の細粒化作用を裏付けるものと云えるであろう。而して Al 投入量 0 に於いてはすべて粒度は 2.6~2.8 で真空中に於けると大体同程度になつてゐる。第3~4図の Al% はすべて acid soluble Al% であつて Al₂O₃ との分離定量と附随する問題については後に述べる。投入 Al が 0 の場合も僅かの Al% を示しているが、微量の Al の分析上の問題もあると思われる。しかしこの傾向は投入 Al 量を基にしても全く同様である。

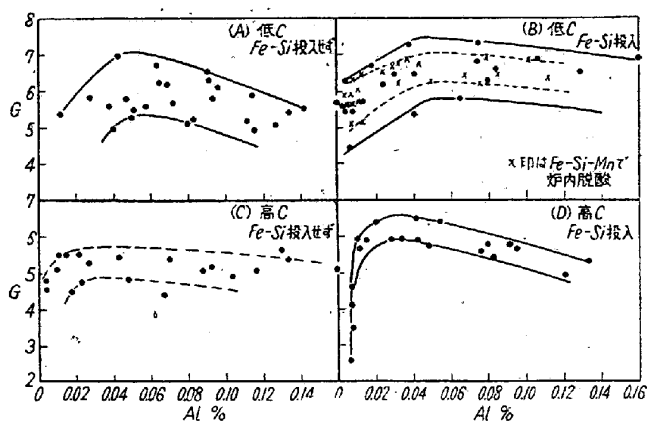
以上の結果は Al を鋼に加えた場合、オーステナイト結晶粒の成長阻止粒子としては AlN が最もその作用の大きい事を示すもので、既に明らかにされているオーステナイト温度域に於ける AlN の溶解度^{(12), (13), (14)}からも首肯され、最近の二、三の実験結果^{(10), (11)}とも一致する所である。しかし Al の少い場合即ち AlN の存在の少いと思われる場合には、酸化物が矢張り阻止粒子として作用する事が明らかである。而して Al 投入量 0 に於いても真空中或いは窒素中に於けるよりも、H₂-H₂O 中に於けるものの方が粒度が若干細くなる事も一応注目すべき所であらう。

(ii) 250 kg 試験炉の実験試料の分析値を一括して第2表に示した。各々の場合の acid soluble Al と粒度との関係は第5図の如くである。本図より次の事が認められるであらう。

- (a) 或る Al% で結晶粒度が最も細くなる。

第 2 表

試料別	C%	Si%	Mn%	S%	投入 Al%	Al ₂ O ₃ %	N%
(A) 低炭素, FeSi 投入せず	0.13~0.15	0.030 ~0.035	0.38~0.55	0.025 ~0.050	0.08~0.22	0.020 ~0.070	0.0049 ~0.0065
(B) 低炭素, FeSi 投入	0.10~0.15	0.24~0.32	0.50~0.50	0.015 ~0.029	0~0.18	0.003 ~0.053	0.0044 ~0.0070
(B) ×印 低炭素, SiMn Block	0.13~0.17	0.19~0.21	0.47~0.62	0.021 ~0.031	0~0.14	0.005 ~0.060	
(C) 高炭素, FeSi 投入せず	0.69~0.73	0.019 ~0.030	0.41~0.61	0.027 ~0.041	0.04~0.15	0.018 ~0.043	0.0045 ~0.0059
(D) 高炭素, FeSi 投入	0.68~0.72	0.20~0.34	0.59~0.61	0.029 ~0.051	0~0.14	0.005 ~0.023	0.0045 ~0.0056



第 5 図 試験炉に於ける実験試料の粒度と Al% との関係

これは或る Al% で結晶粒成長温度が最も高くなる事²⁾及び Al 量によつて粒度の成長曲線の形状が異なる事³⁾及び Al 量によつて粒度の成長曲線の形状が異なる事からも当然考えられる所であつて、結晶粒成長温度の高くなるのは、前述の如く AIN が阻止粒子として作用するためと考えられる。Al が極めて多くなると成長温度は再び若干下る事が明らかにされており²⁾、ここでは 925 °C の粒度が若干大きくなる点にそれが現われていると思われるのであるが、この理由については、各試料の成長曲線を更に詳細に検討する必要がある、目下検討中である。

(b) この Al% に対する粒度の傾向は、高炭素の場合の FeSi を投入した場合が最も顕著である。

これは第 2 表に示した如く、この場合が最も Al₂O₃ が少いのであつて、この点から Al₂O₃ が多いと、粒度のバラツキが多くなる事と、AIN の効果が減殺される事が推察されるであろう。

(c) FeSi を投入し、且つ高炭素の場合の方が Al の少い所で粗粒が得易い。

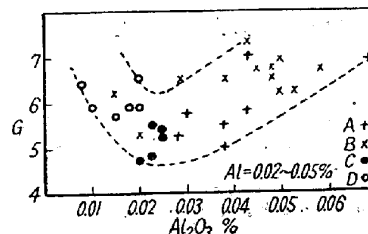
これは Al₂O₃ が少いためと考えられる。Al の少い所では酸化物が若干粒度を細くする事は (i) で述べた特殊な条件下に於ける実験でも認められた所である。

(d) 最小粒度を示す Al% は高炭素の場合の方が小さい。

これは (b) にて述べた事と関聯し、Al₂O₃ が少いためであつて、Al₂O₃ は AIN の効果を減殺するので、Al₂O₃ が多いと Al% を更に多く要するためではないかと考えられる。

(e) 得られる最小粒度は FeSi 投入の有無、C% の高低で差がある様である。

これも Al₂O₃% に関聯するのではないかと考えられる。即ち Al=0.02~0.05% の範囲のもののみについて Al₂O₃% と粒度との関係を見ると第 6 図の如く、Al₂O₃



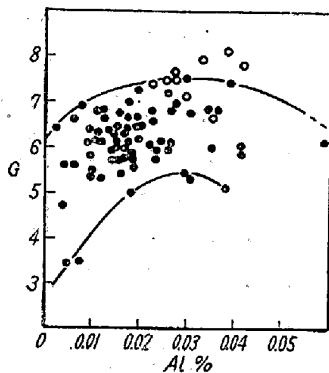
第 6 図 細粒鋼に於ける Al₂O₃% と粒度との関係

%が多くなると粒度が若干荒くなり、更に Al₂O₃% が多くなると再び細くなる様に見受けられる。前者は Al₂O₃ が AIN の効果を減殺するためであり、後者は Al₂O₃ 自身の阻止粒子としての作用が現われるためであると説明されるであろう。前述の如く、この試験炉の試料は一般に Al₂O₃% が高目であるので、一般の塩基性平炉鋼に含まれる程度の Al₂O₃% の範囲では Al₂O₃ は細粒鋼の粒度を荒くすると考えてよいであろう。

(f) 第 5 図 (B) の ×印は炉内にて SiMn を加えたものであつて、他の場合に比し、Al% に対する粒度のバラツキが小さい様である。操作が十分なものとはいへなかつたので、Al₂O₃% は少くなつてはいないので、前述の如く粒度に直接、間接に影響する Al₂O₃ の偏析が少くなつたためではないと思われる。

以上によつて (i) に述べた如く AIN の細粒化作用が

極めて顕著であるという事他に、 Al_2O_3 が直接、間接に粒度に影響する事が推察された。即ち AlN の作用のない $Al\%$ の少い所で Al_2O_3 が粒度を若干細くする事が更に確認された他に、 AlN の作用の大きい細粒鋼の範囲では Al_2O_3 が AlN の効果を減殺する様に思われるのであるが、これは Al_2O_3 がこの上に AlN を析出せしめる事によつて、細く分散して効果的に阻止粒子として作用する AlN を少くせしめるためであろうと推論したい。細粒鋼範囲で更に Al_2O_3 が多い場合には Al_2O_3 自身の阻止粒子としての作用が認められる様であるが、これは前述の如く実用鋼の範囲外と考えられる。



第 7 図 60t 平炉に於ける細粒鋼熔製試験。試料についての粒度と Al との関係

C%	Si%	Mn%	S%	Al 投入量%
0.10~0.18	0.17~0.28	0.51~0.93	0.016~0.041	0.04~0.13

(iii) 第 7 図は 60t 固定式塩基性平炉に於ける低炭素細粒鋼の熔製の際の試験結果であつて、投入量を 0.04~0.13% に変化せしめた多数のチャージの取鋼試料についての粒度と $Al\%$ との関係を示したものである。○印は熔製法を改良したもので、改良の要点は精錬時の鉍石及び酸素使用の適正化及び $SiMn$ による blocking の強化である。同程度の $Al\%$ のものについて比較すると第 3 表の如く $Al_2O_3\%$ が若干少なくなつており、その結果粒度は若干細くなつている。且つ第 7 図に示されている様にバラッキも少なくなつている。最小粒度を示す $Al\%$ が先の試験炉に於ける同程度の $C\%$ の場合よりも

第 3 表

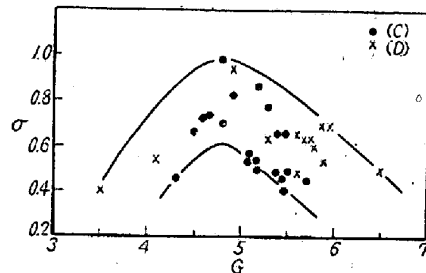
第 7 図の中 $Al=0.02\sim0.05\%$ のものについての平均値の比較

試料別	$Al\%$	$Al_2O_3\%$	G
○	0.031	0.005 ₇	7.5
●	0.030	0.007 ₅	6.3

少いのは $Al_2O_3\%$ が少いためであろう。

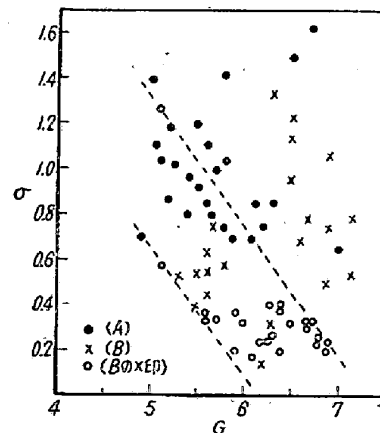
熔製法の改良で好結果が得られたわけであるが、それには前述の如く、精錬時の改良と blocking の強化とが含まれている。blocking は成分適中を期す意味合の強いもので²⁰⁾、blocking は不要であるとする論²¹⁾も活潑である。しかし(ii)で述べた実験でも blocking によつてバラッキが少くなつているので、blocking は粒度調整に於いて一つの重要な問題として考える価値のあるものであろう²²⁾。

(iv) 鋼材にとつては混粒は有害で、問題とされる所であるが、混粒度の適切な表示法については尙学振にて検討中であり、正確な表示には linear analysis が必要である。ここでは仮りに 10 視野の粒度の標準偏差 σ について検討してみるに、第 8 図は先の試験炉に於ける高炭素鋼の場合の例であつて、中間の粒度で σ が大きく



第 8 図 試験炉高炭素鋼の場合の平均粒度と標準偏差との関係

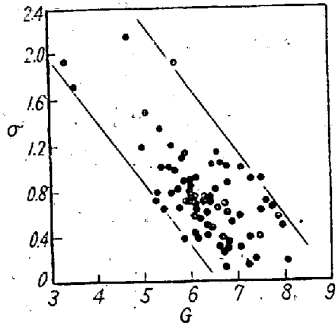
なつている事が認められる。中間の粒度を示すものは、丁度成長過程にあるものであつて、この状態では混粒が甚しくなる事は今迄にも述べられて来ている所¹⁷⁾である。第 9 図は試験炉に於ける低炭素鋼の場合であつて σ



第 9 図 試験炉低炭素鋼の場合の平均粒度と標準偏差との関係

は一般に第 8 図よりも大きく且つ一定の傾向が認められない。これは粒度に直接間接に影響する Al_2O_3 が多く且つこれが偏析しているためと思われる。第 9 図の○印

は第5図(B)の×印に相当するもので SiMn で炉内脱酸を行ったものである。一般に σ が小さく且つ或る傾向が認められる様であるが、 Al_2O_3 の偏析が少ないためであると思われる。しかし $Al_2O_3\%$ は少なくなつてはいたないため Al の少い所でも粗粒が得られていないので、ここで σ が小さくなる所は示されていない。



第10図 60t 平炉に於ける細粒鋼 (ASC材) の熔製試験試料についての平均粒度と標準偏差との関係

第10図は60t 平炉の例で前述の如く、試験炉の場合よりも遙かに Al_2O_3 が少ないので G と σ との関係が明瞭である。これは細粒鋼としての試験試料で Al 投入量の極めて少い試料がないので、粗粒鋼では σ が小さくなるという所が示されていない。この G と σ との関係には、平均値と標準偏差との間の必然的な関係も含ま

れているが、それを考慮しても尙この関係は否定出来ず又第8図の如き関係は平均値と標準偏差との間の必然的な関係のみでは説明出来ない。しかし混粒の正確な表示には前述の如く、linear analysis が必要であつて、更にそれによつて検討すべきであるが、上述の検討によつても混粒には成長過程に必然的に起るもの他に Al_2O_3 の偏析によつて生ずるものがある事が推察出来るであろう。

(v) 以上 AIN と Al_2O_3 の挙動について考察したが、この Al_2O_3 は学振法によつて分析されたもので、 Al_2O_3 中に一部 AIN が含まれていないかとの疑問が生ずる。しかし Al_2O_3 中の N を数例について定量した結果は第4表の如くであつて、殆んど N は無視出来るのであつて、ここで問題としている位の Al%, N% の範囲では、ここに用いた $Al_2O_3\%$ 中に AIN が含まれているという懸念は問題とするに足りない。Al 或は N の更に多い場合、或は熱処理によつて AIN を多く析出せしめた場合については或いは問題となる事もあるであろう。本分析試料は金型に採取したままのもので、醋酸メチルプローム法による AIN としての N% は表に附記した。

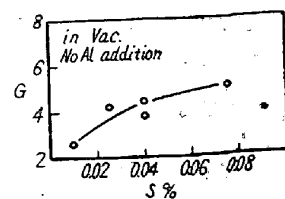
(vi) 第11図は真空中で第5図の如く、Al を投入しないで S の添加量を変えたものの S% と粒度との関係であつて、S は粒度を若干細くする様である。

第 4 表

C%	Si%	Mn%	S%	N%	Al%	$Al_2O_3\%$	Al_2O_3 中のN%	AINとしてのN%
0.15	0.035	0.50	0.032	0.0064 0.0062 0.0065	0.041 0.050 0.058	0.038 0.028 0.033	0.000 ₀ 0.000 ₁ 0.000 ₁	0.001 ₃ 0.002 ₂ 0.004 ₂
0.15	0.030	0.55	0.025	0.0051	0.047	0.043	0.000 ₂	0.004 ₆
0.14	0.032	0.38	0.039		0.038 0.043	0.070 0.042	0.000 ₀ 0.000 ₀	0.005 ₀ 0.003 ₅
0.10	0.24	0.50	0.029	0.0047	0.080	0.018	0.000 ₃	0.004 ₁
0.15	0.32	0.50	0.015	0.0052	0.074	0.033	0.000 ₃	0.004 ₀
0.13	0.31	0.50	0.025	0.0071 0.0070	0.075 0.083	0.040 0.053	0.000 ₁ 0.000 ₃	0.005 ₂ 0.004 ₃

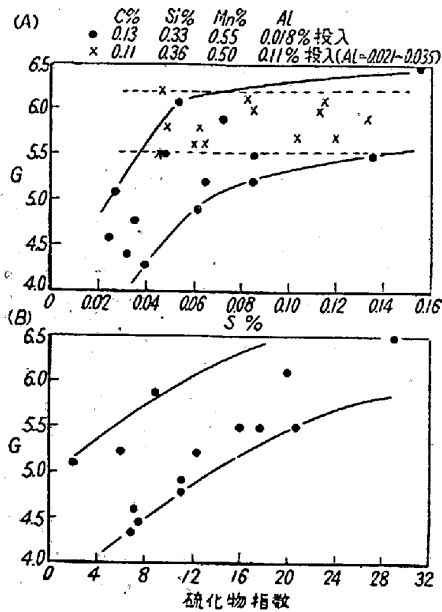
第5表 第13図の試料分析値

	C%	Si%	Mn%	S添加量%
S ₀	0.69	0.15	0.61	0
S ₁	0.76	0.09	0.63	0.02
S ₂	0.80	0.10	0.64	0.04
S ₃	0.78	0.15	0.53	0.06
S ₄	0.78	0.10	0.55	0.08

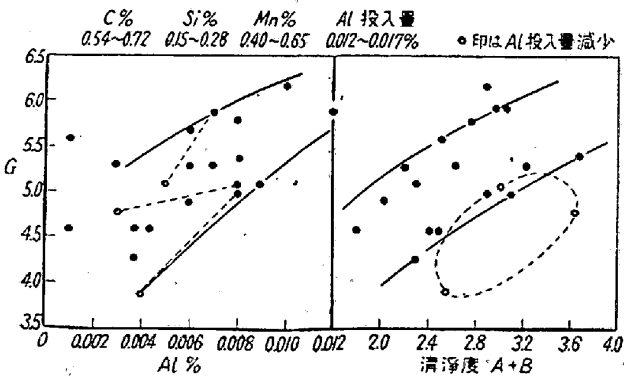


第11図 Si キルド鋼の S と粒度との関係

第 12 図は試験炉に於ける S の影響についての実験結果であつて、Si キルド鋼では S の粒度への影響が認められ*、それは第 12 図(B)に示される如く、硫化物の阻止粒子としての作用によるものと推察されるが、Al キルド鋼では S の影響は明瞭でない。これは AlN の作用が圧倒的であり、且つ硫化物は Al₂O₃ の如く AlN の効果に影響をあたえるにはその数が少なすぎるためであると思われる。



第 12 図 Si キルド鋼及び Al キルド鋼に於ける粒度と S との関係



第 13 図 100t 平炉に於ける高炭素粗粒鋼の粒度と Al 及び清浄度との関係

* 試料数少く尙明言出来ないが次の如く Mn の影響も認められる様である。

Mn%	0.32	0.58	0.85
G	5.3	4.9	4.5

但し C% Si% P% S% Al%
0.14 0.37 0.029 0.041/0.044 0.004/0.006

(vii) 第 13 図は 100t 傾注式塩基性平炉に於ける高炭素粗粒鋼の取鋼試料についての検討結果である。粗粒鋼に於いては上述の検討から酸化物、硫化物の粒度を若干細くするのであるが第 13 図には Al% の他に介在物の影響が明かに認められている。●印は Al 投入量は 0.012~0.017% であるが、○印は点線で結んだ同じチャージの熔鋼に対して Al 投入量を特に減少せしめたものでその影響が現われている。

尙ここに明らかな様に、略々一定の少量の Al 投入量に対して Al% のバラッキが可成り大きい。粗粒鋼熔製の際には特にこの点にも留意する必要がある。即ち Al 投入前の熔鋼の酸化程度、出鋼温度等の均一化が特に望まれ、出来るだけ少い Al で常に脱酸が完全に行われる様にする必要がある。

(viii) 以上 AlN, Al₂O₃ 及び硫化物についてその挙動を結晶粒成長阻止粒子としての作用に関して考慮したが、変態時の核として作用の有無、Al が多くなると再び粒度が若干大きくなる事等に関し、更に成長曲線について詳細に検討する必要がある。又酸性性雰囲気のもとでは Al を全然投入しなくても真空中よりも若干粒度が細くなる点につき、Al₂O₃ としてだけでなく、酸素の挙動を考える必要がある場合があること^{16), 17)}、或いはここで考えた所謂脱酸生成物としての Al₂O₃ のみでなく、凝固後の温度変化によつて析出するかも知れない⁹⁾ Al₂O₃ の挙動、Al と N の affinity への O の影響等等尙検討すべき点が多いが、本実験によつて次に述べる結論が得られた。

V. 結 論

- (i) Al 添加によるオーステナイト結晶粒の微細化には AlN が最もあづかつて力がある。
- (ii) 粗粒鋼 (Al の少い場合) では Al₂O₃ , 硫化物が粒度を細くする事が明瞭である。
- (iii) Al₂O₃ は一般の塩基性平炉鋼に含まれる位の範囲では細粒鋼に於ける AlN の効果を減殺する。更に Al₂O₃ が多い場合には Al₂O₃ 自身の細粒化作用が認められる。
- (iv) この様に Al₂O₃ は直接間接に粒度に影響するので、結晶粒の成長の過程に必然的に起る混粒の他に、Al₂O₃ の偏析によつても混粒を生ずる。
- (v) 従つて細粒鋼を得るには AlN の効果を期待すべく、或る一定量の acid-soluble Al が残る位に Al を多く添加し、粗粒鋼を得るには Al を極力少く用い、中途半端な Al の使用を避けると共に、所謂介在物を少くする事が、整粒にして、より細粒、粗粒の鋼を得る道で

ある。

(vi) この点で塩基性平炉にあつては炉内脱酸は一つの重要な問題として考える価値がある。炉内脱酸による介在物の減少には尙可成りの疑問があるとしても、少くとも粒度の安定化は望めるであらう。

(vii) 一般の塩基性平炉鋼に含まれる位の N%, Al_2O_3 % では細粒鋼として最も望ましい、acid-soluble Al% は約 0.03% 位であり、鋼の成分から考えられる Al_2O_3 % の多少によつて若干加減されるべきであらう。

(勿論実際の使用時の熱処理温度如何によつては更に低い Al% でも細粒鋼としての目的を達し得る場合もあるであらう。) (昭和 29 年 6 月寄稿)

文 献

- 1) Basic Open Hearth Steel Making (1951) AIME p. 509
- 2) J. W. Halley: Open Hearth Proc. 29 (1946) 187
- 3) E. C. Bain: Function of Alloying Elements in Steel (1936) 136
- 4) G. Derge, A. R. Kommel and R. F. Mehl: Trans ASM 26 (1938) 153
- 5) S. L. Case and K. R. Van Horn: Aluminum in Iron and Steel (1935)
- 6) H. W. Mc. Quaid: Trans. ASM 23 (1935) 797
- 7) T. Swinden and G. R. Bolsover: Jnl. I. & St. Inst. 134 (1936) 457
- 8) Discussion of Swinden and Bolsovers' Paper
- 9) C. H. Hertzy, Jr.: Trans ASM 33 (1935) 113
- 10) K. Born and W. Koch: St. u. E. 72 (1952) 1268
- 11) J. Schuyten: Trans, ASM 44 (1952) 853
- 12) H. F. Beeghly: Analy. Chem. 21 (1949) 1513
- 13) L. S. Darken, P. S. Smith and E. W. Filer: Jnl. of Met. 3 (1951) 1174
- 14) 高尾: 学振 19 委報告, 19 委-3170 (昭28年12月)
- 15) J. E. Dorn and O. E. Harder: Trans. ASM 26 (1938) 106
- 16) 出口: 鉄と鋼, 29 (昭18年) 4 号 313
- 17) 河井: 学振 19 委-2309 (昭26年4月)
- 18) M. Baeyertz: Trans. ASM 30 (1942) 458
- 19) C. E. Sims: Trans. AIME 162 (1945) 734
- 20) M. Tenenbaum: Open Hearth Proc. (1952) 166
- 21) W. O. Philbrook: Open Hearth Proc. (1947) 168
- 22) 前川, 中川: 鉄と鋼, 39- (昭28) 7 号 698

書 評

“ELEMENTS OF HARDENABILITY”

by M. A. Grossmann; American Society of Metals 発行(1952)

本書は A.S.M 刊行の金属学シリーズの中の 1 冊である。著者 Grossmann (U.S. Steel Co.) は鋼の熱処理について多くの業績を挙げている著名な学者であることは贅言を要しないところで、焼入性の本質を論ずる図書の執筆者としては、蓋し最適任者の一人であらう。

鋼の焼入性に関しては、すでに 1939 年同じく ASM の叢書として “Hardenability of Alloy Steels” が刊行され、当時同学会で行われた symposium の議題が集録されたが、この本は当時この問題に関する指導的図書として非常に役立つことは、多くの熱処理技術者の周知のことである。そして 10 数年を経た今日再び鋼の焼入性に関する本書が刊行されたことは、その後如何にこの問題が重要視され、また開拓、普及されたかを物語るものといえよう。本書は鋼の焼入性について、上掲の前書の基礎的研究の結果を引用しつつ、その後の測定法の進歩、焼入理論及び焼入性に及ぼす各種合金元素の効果を比較的平易に解説したものである。(第 1 章～第 4 章の章別記述は紙面の都合で省略) このように本書は鋼の焼入性に関するこれまでの理論と実験の結果を集めて平易に記述したものであるから、初学者にとつて有益な教科書となることは勿論、一般の熱処理技術者に対しても好適な参考書であることを疑わない。

(アート紙 164 pp, A5 判相当, 図及び写真 111 葉, 引用文献 130, \$ 5.00). [長谷川 正 義]