

(125) 鋼の結晶粒度におよぼす Cb の影響

神戸製鋼所中央研究所

○成田貴一・宮本 醇・川口二三一・那須進
Effect of Columbium on the Crystal Grain Size of Steel.

Kiichi NARITA, Atsusi MIYAMOTO
Fumikazu KAWAGUCHI and Susumu NASU

I. 結 言

オーステナイト結晶粒度が鋼材の諸性質たとえば焼入硬化能、焼割感受性、切削性、耐衝撃性等に大きな影響をおよぼすことは周知の事実であり、オーステナイト結晶粒の微細化調整には現在一般に Al が使用されているが、Al は酸素に対する親和力が非常に大きく、溶鋼中に適正量の Al を添加することが技術的にかなりむづかしく、また硬質の脱酸生成物を主体とする非金属介在物を生成し易く、かつ砂疵と呼ばれる鋼材の致命的欠陥を誘発し易い欠点がある。このような欠点をなくし、安全にしかも容易にオーステナイト結晶粒度を調整することは、近年における製鋼技術研究上の最も重要な課題の一つである。

V および Cb は Al に較べて脱酸力が比較的弱く、酸化による損耗が少ないので、オーステナイト結晶粒度調整の立場からすれば使用し易い元素の一つである。鋼中における V の化学冶金学的挙動、V による結晶粒の微細化機構ならびにオーステナイト結晶粒微細化調整法についてはすでに報告したところであり、その一部は実際操業にも適用されて好成績を修めているが、Al に較べればかなり高価につく嫌いがある。

一方 Cb 原子の電子構造は $1S^2 \cdot 2S^2P^6 \cdot 3S^2P^6d^{10} \cdot 4S^2P^6d^4 \cdot 5S^1$ であり、その物理化学的性質は V に極めてよく似ており、しかも V に較べて窒素および炭素に対する親和力が著るしく大きいので、鋼のオーステナイト結晶粒微細化調整上の立場からすれば、かえつて V よりも経済的であるとさえ考えられる。ところが鋼中におけ

る Cb の化学冶金学的挙動ならびに結晶粒度におよぼすその影響については、現在のところほとんど明らかにされていない。そこで鋼におよぼす特殊金属の影響に関する研究の一環として、まず炭素鋼の凝固組織ならびにオーステナイト組織におよぼす Cb の影響について検討をおこなった。以下本稿においてはその実験結果をかんとんに報告する。

II. 供試材の溶製

100 KVA 塩基性高周波誘導炉 (マグネシア・ライニング) で中炭素鋼を対象として、電気炉精製鋼およびスエーデン銑を融解し、これに Fe-Mn および Fe-Si を加えて予備脱酸したのち、Cb を Fe-Cb の形であらかじめ入れておいた取鍋中に溶鋼を注入し、約 1 分間鎮静したのち、これを 20kg 丸型鑄型内に鑄込んだ。

以上のようにして溶製した供試材の一般化学成分組成は Table 1 のとおりである。

III. 実験結果ならびに考察

1. Cb の歩留り

Table 1 に示した分析結果より明らかなように出鋼材中の Cb 量は Fe-Cb の形で添加した Cb 量にほぼ等しい。また鍛伸材についておこなった化学分析結果によれば鍛伸材内における Cb の濃度偏析は分析誤差の範囲内で認められなかつた。したがって少なくとも本実験の対象とした中炭素鋼溶鋼中における Cb の歩留りはほぼ 100% であり、溶鋼の大気酸化による Cb の酸化損耗は生起しないと結論される。

2. 鑄造組織

鋼の鑄造組織は、Cb を添加すると柱状晶は細くなり、Cb 量の増加とともに減少する傾向があり、また自由晶も微細化する。また Cb は鋼塊内における酸可溶性硫化物の分布には見掛上大きな影響をおよぼさない。

3. オーステナイト組織

II. に述べたようにして溶製した鑄塊ならびにこれを鍛伸比 10 に鑄伸した試料について、オーステナイト結晶粒度を測定した結果は Fig. 1 のとおりである。

鑄造材は熱処理をおこなわずにそのまま、鍛造材は焼

Table 1. Chemical composition of test specimens. (%)

Specimen	Cb, added	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cb	Recovery of Cb
K 301	—	0.25	0.52	0.25	0.011	0.015	0.10	0.00	—
K 302	0.03	0.25	0.54	0.24	0.010	0.015	0.10	0.035	117
K 303	0.06	0.25	0.53	0.22	0.011	0.015	0.10	0.055	91.7
K 304	0.08	0.30	0.69	0.16	0.012	0.016	0.10	0.075	93.8
K 305	0.10	0.29	0.69	0.15	0.012	0.015	0.10	0.095	95.0
K 306	0.15	0.29	0.67	0.15	0.013	0.015	0.10	0.145	96.7
K 307	0.20	0.29	0.67	0.15	0.015	0.015	0.10	0.200	100

準処理をおこなったのち、それぞれ真空腐食法 (925°C, 6h, 10⁻⁴~10⁻⁵mmHg) によつて組織を現出させ、オーステナイト結晶粒度を測定した。この実験結果によれば、Cb 量が増すにつれてオーステナイト結晶粒は細くなり、たとえば鍛伸材では Cb 量が 0.03% 程度でオーステナイト結晶粒は粒度番号で約 8 附近に達し、0.06~0.08% は粒度番号 9 に達している。しかしながらさらに Cb 量が増しても見掛上の結晶粒の大きさには左程著しい変化は認められない。Fig. 1 に併記したように鑄造材についてもほぼ同様な現象が認められるが、鑄造材は鍛伸材に比較してオーステナイト結晶粒は全般的にやや大きい傾向がある。

つぎにオーステナイト結晶粒の粗大化温度におよぼす Cb の影響を調べるため、鍛伸材について 850°~1200°C の温度範囲にわたり種々の温度のもとで一定の時間真空加熱し、真空腐食法によつて粒界を現出せしめオーステナイト結晶粒度を測定し、粗大化温度を求めた結果を示すと Fig. 1 に併記したとおりである。粗大化温度は供試材の平均オーステナイト結晶粒度が粒度番号で 5 に達した時の温度をもつて表わした。Fig. 1 に示した

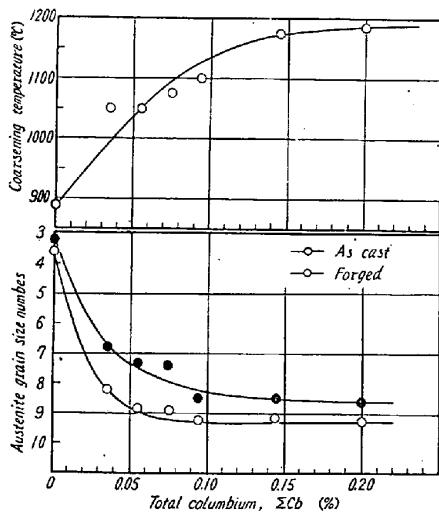


Fig. 1. Effects of columbium on the austenite grain size and the coarsening temperature.

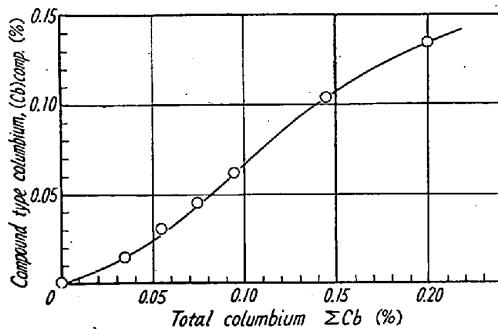


Fig. 2. Relation between total columbium and compound type columbium.

実験結果より明らかなように、オーステナイト結晶粒の粗大化温度は Cb 量が増加するにつれて上昇し、たとえば Cb 量が約 0.03% の場合、粗大化温度は 1000~1050°C であり、約 0.08% の場合、粗大化温度は約 1100°C であり、さらに Cb 量が増加して約 0.14% になると粗大化温度は 1170°~1180°C に達するが、さらにそれ以上に Cb 量を増しても粗大化温度には大きな変化は認められない。

4. オーステナイト結晶粒微細化因子

(1) Cb を含む鋼試料をブロム・エステル溶液で処理すると、マトリックス中に置換型で固溶している Cb はマトリックスの溶解とともにとけるが、窒化物、炭化物、酸化物などの Cb 化合物はほとんどとけずにそのまま残留物中に残る。したがつてこの残留物中より定量される Cb はこれらの化合物を構成している Cb、すなわち化合物型 Cb であると見做すことができる。Fig. 2 はこのような分析化学的根拠にもとづいて定量した化合物型 Cb 量と全 Cb 量との関係を示した結果である。すなわち Cb 添加量が多くなるにしたがつて化合物型 Cb 量も多くなることわかる。

(2) つぎにオーステナイト結晶粒度と化合物型 Cb 量との関係は、化合物型 Cb 量が多くなるにしたがつてオーステナイト結晶粒は著しく微細化し、たとえば化合物型 Cb 量が 0.015% の場合、オーステナイト結晶粒は粒度番号で 8.0 から 8.5 に、また化合物型 Cb 量が 0.05% 以上では粒度番号で 9 に微細化している。すなわちオーステナイト結晶粒度と化合物型 Cb 量との間には密接なる関係があり、オーステナイト結晶粒の微細化機構は Cb 化合物の存在によるものであると考えられる。

(3) 上記オーステナイト結晶粒の微細化がいかなる Cb 化合物によるものであるかは本実験では明らかでないが、溶鋼中における Cb の脱酸平衡より考えれば、Si の存在する溶鋼中においては Cb の脱酸反応は望めず、供試材中に Cb 酸化物が存在するとすれば、それは凝固過程において過剰の酸素と化合して析出した酸化物であり、したがつて量的にも比較的少なく、これに当量な酸化型 Cb をもつて Fig. 2 に示した化合物型 Cb 量を説明することはできない。

一方、塩酸にとけない安定な炭化物ならびに窒化物型の炭素および窒素量は、Cb 添加量、いい換えると化合物型 Cb 量の多い供試材ほど多くなっている。これらの実験結果より化合物型 Cb は主として炭化 Cb および窒化 Cb 型の Cb であり、そのほかに若干の酸化 Cb 型の Cb を含んでいると考えられる。

(4) すなわちオーステナイト結晶粒の微細化現象は

炭化物、窒化物（ならびに酸化物）等の Cb 化合物が鋼の変態に際して析出するオーステナイト相の結晶核となるためであり、また Fig. 1 に示したオーステナイト結晶粒の粗大化温度の上昇は、これらの Cb 化合物が結晶粒の成長を抑制する結果であると考えられる。なお鋼塊の鑄造組織の微細化は凝固過程中に析出する化合物たとえば酸化 Cb あるいは Cb と鉄との金属間化合物等によるものとも考えられるが、この点についてはさらに検討をおこなう予定である。

5. 経 済 性

Fe-Cb を用いてオーステナイト結晶粒の微細化調整をおこなうことにより、従来の V によるオーステナイト結晶粒微細化調整法に較べて 50~70% 経費節減を計ることが可能である。

(126) オーステナイト粒度と窒化アルミの形態

(鋼中の窒化アルミの研究—VI)

住友金属工業中央技術研究所

長谷部 茂雄

Austenite Grain Size and Morphology of Aluminum Nitride.

(Study of aluminum nitride in steel—VI)

Shigeo HASEBE

I. 緒 言

窒化アルミ (AlN) の量と、オーステナイト粒度との関係については、K. BORN らの研究¹⁾をはじめ多くの報告があり、AlN による結晶粒の微細化作用および粗粒化の阻止作用について論議されている。しかしながら、AlN の固溶現象だけでなく、AlN の析出形態の変化にも注意して研究する必要がある事が述べられている²⁾。

前報に続き³⁾今回は電子顕微鏡によつて観察される AlN の形態とオーステナイト粒度との関係について調査した結果である。

II. オーステナイト粒度におよぼす Al の含有量の影響

(1) 実験方法

Al の量を異にする 4 種の中炭素鋼について行なつた。高周波炉製の 50 kg の鋼塊を鍛造したのち供試したが、鍛造前の加熱温度は 1000°C、鍛造終了温度はおよそ 800°C、鍛造比は 5 とし、鍛造後空冷した。AlN を観察するための試料は、粒度測定用の試料とおなじ速度

で加熱し、おなじ時間加熱したのち水冷した。

(2) 実験結果ならびに考察

a) 酸可溶の Al が 0.10% をこえた試料では、それより Al の少ない試料よりもかえつて粗粒となるが、こ

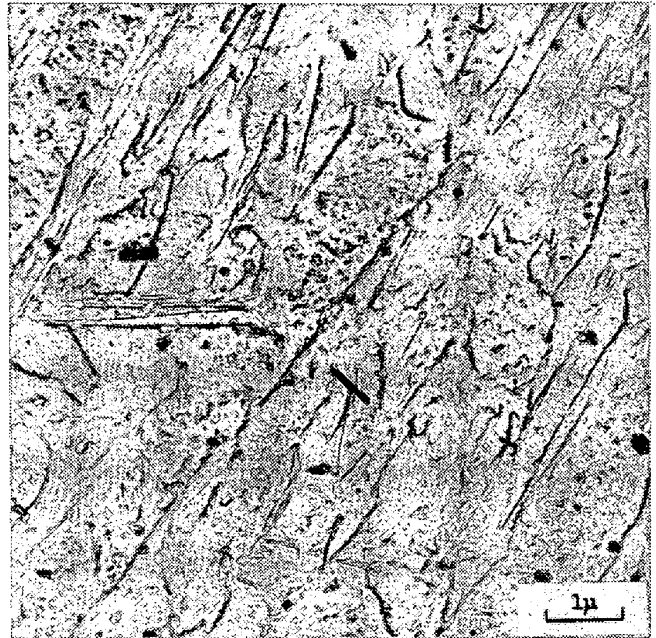


Photo. 1. Many small precipitates of aluminum nitride (AlN extracted by carbon replica from the medium-carbon steel (acid-soluble Al 0.025% and N 0.009%) heated for 6 h at 1000°C after forging (forging temperature, 1000-800°C).

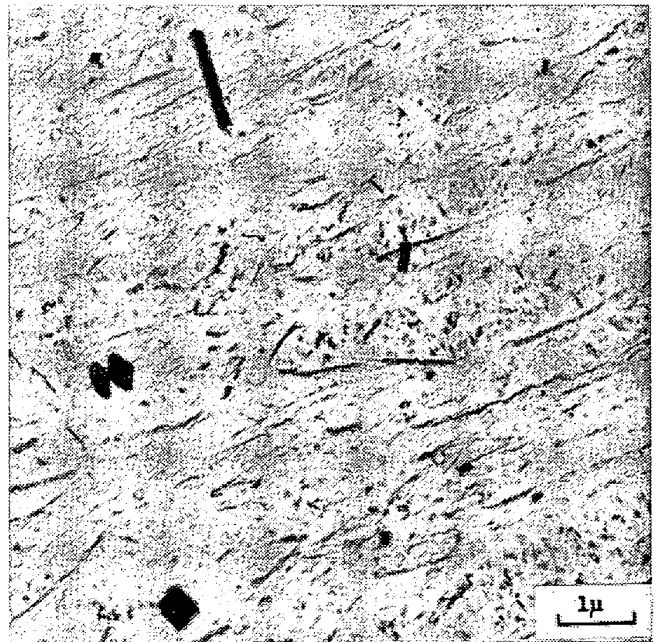


Photo. 2. Large AlN precipitates extracted by carbon replica from the medium-carbon steel (acid-soluble Al 0.124% and N 0.010%) after the same heat-treating and forging as in Photo. 1.