

討11 低Si真空C脱酸鋼塊の内部性状について

(株) 日本製鋼所 室蘭製作所 製鋼部 ○ 理博 中川 義隆 前田 健次
 研究所 工博 鈴木 足明 谷口 晃造

1. 緒言

巨大化する原子力発電用ロータシャフトや厚板用バツアツプロールに用いられる鍛造用鋼塊は総重量300^T~500^Tにもおよび、製品に要求される高品質は鋼塊における内部性状健全性に負うところが大きい。高級大型鍛造用鋼塊の内部性状として特に留意される点は次のようなものである。

- (i) 有害ガス成分ならびに不純物元素含有量の低減。(ii) 合金元素の偏析軽減。
 (iii) 非金属介在物の低減。(iv) Vあるいは逆V偏析などのマクロ偏析の軽減。

これらのうち、脱ガスに関しては流滴脱ガス真空鑄造法が広く用いられている。また流滴脱ガス法において低Si真空C脱酸(以下V.C.D)を併用すれば、脱酸生成物に起因する非金属介在物の軽減が期待される。当所においても高級大型鍛造用鋼塊の造塊に対しV.C.Dを行なう流滴脱ガス法を成功裡に適用しているが、このような造塊法による製品の品質向上は鍛造、熱処理過程における種々の技術改善と相まって、非破壊検査成績の著しい向上、機械的性質の優劣性改善として評価されている。このことはV.C.Dによる鋼塊マクロ偏析軽減効果を予想させるものである。本報ではV.C.Dによる脱ガス効果の向上、非金属介在物清浄度の向上、鋼塊マクロ偏析の軽減効果について経験的な現象に基づいて述べる。

2 V.C.Dによる鋼塊内部性状改善効果

2.1 脱ガス効果の向上

V.C.Dは周知の如く、高真空下におけるCの強い脱酸力を利用して脱酸を行なう方法である。一例としてFig.1にNi-Cr-Mo-V溶鋼の1600°CにおけるSi-Oおよび低圧下におけるC-O平衡を实际操作における真空鑄造前後の全酸素含有量と比較して示した。平衡論的には低圧下におけるCは、SiO₂をも還元し得ることになるが、実操作的にはSiの含有量が低いほどV.C.D効果は大きいと考えてよい。Fig.1にみられるように処理前の全酸素はほぼSi-O平衡に近い値を示すが、処理後はSi含有量にかかわらず全酸素として30~40ppmの値を示している。流滴脱ガス法における脱ガス過程の特徴は溶鋼の流滴飛散過程にあるが、V.C.D時の飛散が非常に大きいことから、飛散の駆動力は処理前後の溶鋼ガス含有量の差であると考えられる。他社においてもG.E.Danner & E.Dyble¹⁾はV.C.D時の脱酸素の向上を指摘している。当所

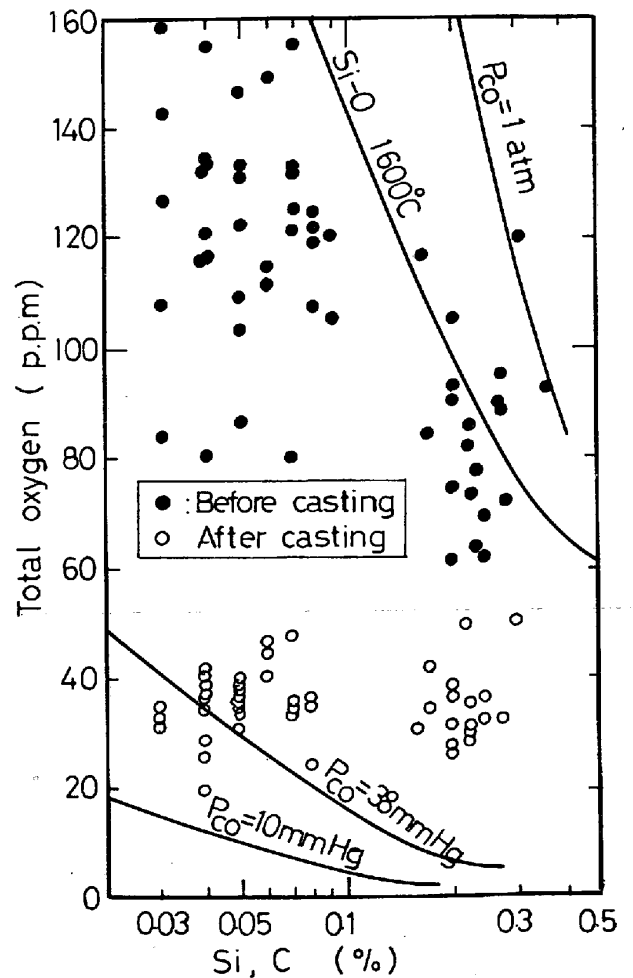


Fig.1 Total oxygen content before and after casting in Ni-Cr-Mo-V molten steel in relation to Si content

においてもV.C.Dによる脱酸素率の向上効果を認めている。これはV.C.Dに際し処理前の酸素量が高いため、流滴の微細化が大になり脱ガス界面積が著しく増大するためと考えられる。

2.2 酸化物系介在物の低減効果

V.C.Dを行なう場合は、SiやAlなどの強い脱酸剤を使用しないため、これらの脱酸生成物に起因する酸化物系介在物の低減が従来から指摘されて来²⁾た。当所においても多くのローターシャフト材を主体としてこの効果を認めているが、その一例をFig.2に示す。これはV.C.Dによる180^T鋼塊から製造したローターシャフト材の胴部端面における酸化物系介在物の清浄度(学振チヨ法による)を同材種でSiのみが高い140^T鋼塊から製造した、ほぼ同一鍛造比のローターシャフト材と比較したもので、V.C.D材での酸化物系介在物清浄度向上効果が明らかである。鋼塊中の酸化物系介在物の分布は一般的には鋼塊底部負偏析部において高くなることが知られている。大気鑄込に比して真空鑄造材の酸化物系介在物が低減することは従来から指摘されているが、V.C.Dによりこの清浄化が更に促進されていることをFig.3に示す。これは真空鑄造による75^Tおよび90^T鋼塊の鑄造後状態縦断面における酸化物系介在物清浄度を学振チヨ法に準じて測定した結果を模式的に示したものである。75^T鋼塊は真空度の比較的良くない場合であり、90^T鋼塊はスチームエジェクターによる高真空操業の場合である。この90^T鋼塊のうち一方はV.C.Dを行なっているが、高真空化による清浄度向上とともに、V.C.Dによる効果が認められる。また介在物の組成的には、V.C.D材でSiO₂に対するMnOの割合が増加していることが認められている⁴⁾。

2.3 マクロ偏析の軽減効果

大型鋼塊に発現する代表的なマクロ偏析

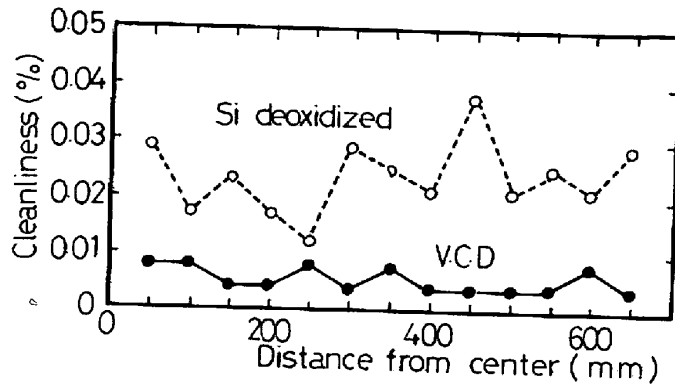
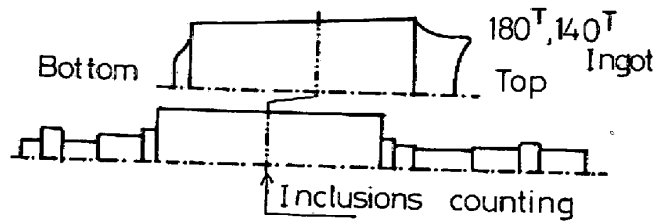


Fig.2 Distribution of oxide inclusions cleanliness along the transversal sections of Ni-Cr-Mo-V steel rotor forgings

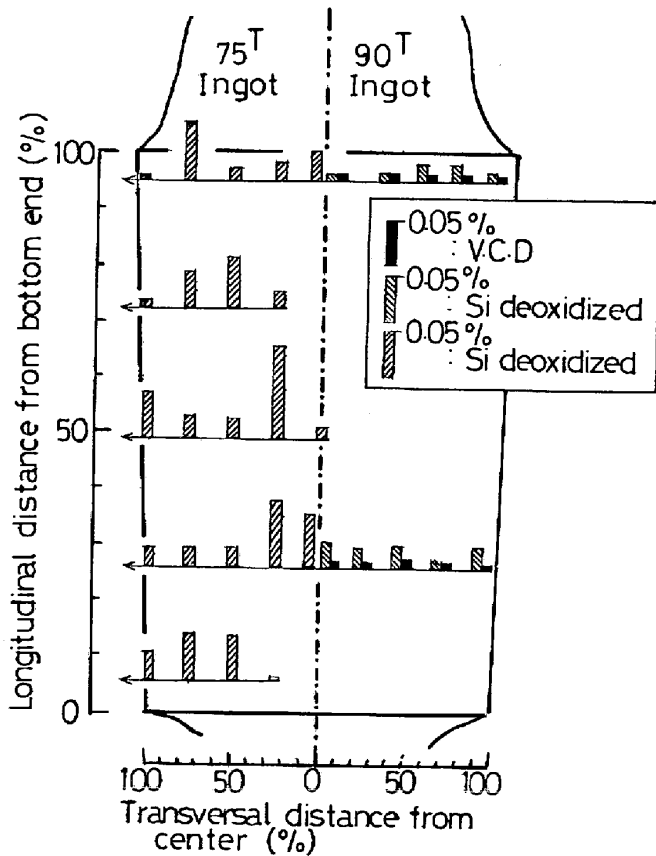


Fig.3 Distribution of oxide inclusions on the longitudinal sections of 75 T and 90 T ingot, comparing with V.C.D and Si deoxidized process

にV偏析と逆V偏析がある。いずれも Sulphur Print や Macro etching によって容易に観察される。これらのマクロ偏析の生成機構に対しては古くから多くの研究がなされている。当所においても実験室的な基礎研究を基にして、生成機構の説明と、それをもとにした軽減策の実操業への適用を計っている。D偏析に対しては鋼塊軸心部の加速凝固域において凝固収縮にもなるサクシオン効果により、溶質濃化溶鋼が吸引されることにより生ずることを明らかにし⁵⁾、加速凝固を軽減するために鋼塊の寸法を大きくすることで大型鋼塊に対しても着じるしい効果を得ている。一方、逆V偏析に対しては現実的な対策をうちだせる段階に至っていないが、実験室的に逆V偏析を再現できるようになっており、この発現に影響する諸因子を解析した結果、逆V偏析は凝固遷移尺内における凝固相の横方向前進速度と、冷却速度に密接に関連することを明らかにしている⁶⁾。経験的にも明らかになるように凝固速度が早く、冷却速度も早い鋼塊表面部には逆V偏析は発現せず、鋼塊内部に凝固が進行し、ある程度凝固速度、冷却速度が低下して凝固遷移尺の中が広がってはいじめ逆V偏析が発現しはじめることは、長時間の凝固過程を経る大型鋼塊になる程、逆V偏析発生の機会が多いことを意味する。したがって大型鋼塊において逆V偏析の発現を抑制することは Conventional な造塊法による限り非常に困難なものとされて来た。凝固速度の制御をある程度可能にする E.S.R法が近年脚光を浴びている背景には人為的な凝固速度の制御により、マクロ偏析を軽減しようとする意図があることはいうまでもない。一方、D.C.Dによりマクロ偏析が改善されるとする見方は E.Dyble²⁾, McMillan⁷⁾ が既に述べているが、直接逆V偏析に言及しているわけではない。逆V偏析の発現状況にD.C.Dが改善効果を有することは南、新東、三浦、永田⁸⁾や F.Hochstein⁹⁾ の報告がある。また、田代¹⁰⁾ のように真空鑄造あるいはD.C.Dによって逆V偏析やD偏析が顕著に発現するという見方もある。当所における経験では、D.C.Dによって造塊した鋼塊から製造したロータシャフト材を主体とする製品端面の Sulphur Print や Macro etching の実施例から、逆V偏析が大きく軽減されているという認識を得ている。90°鋼塊の逆V偏析発現状況におよぼすD.C.Dの効果は、別に報告⁴⁾ されているように、D.C.D材において発現領域が狭くなり、かつ、発現量も著しく減少している。Fig.4の例は Fig.2に示した、180° D.C.D鋼塊からのロータシャフト材と 140° Si脱酸ロータシャフト材の胴部横断面において Sulphur Print および Macro etching から、逆V偏析ストリクの端面として観察されるスポット状インデケーションの分布状況を図示したもので、D.C.D材では半径の中心から軸心側に、わずかな逆V偏析しか発現していないのに対し、Siを含む材料では、他の合金元素ならびに不純物元素がほぼ同程度の含有量であるにもかかわらず逆V発現領域が広く、また、数も多い。Photo.1は Fig.4に示したロータシャフト材のデンドライト組織を比較したものである。D.C.D材では白く見えるデンドライト組織の中には、デンドライト樹間に相当する領域が黒く溶質濃化領域としてほぼ均一に分散しているのに対し、Si脱酸鋼では、黒く円状にみえる逆V偏析の端面が巨視的な溶質濃化領域として散在していることがわかる。

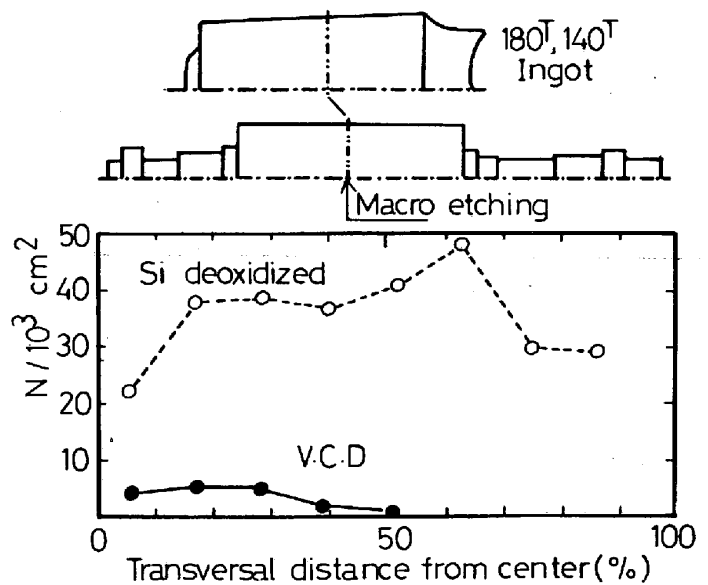


Fig.4 Distribution of inverse V segregation spots on the transversal sections of Ni-Cr-Mo-V steel rotor forgings

このように多くの製品実績と、切断調査例によれば、D.C.Dによる逆V偏析軽減効果は明らかなるものと考えられる。その反面、マクロ偏析とD.C.Dとの冶金学的関連は現段階において明らかにはなっていない。

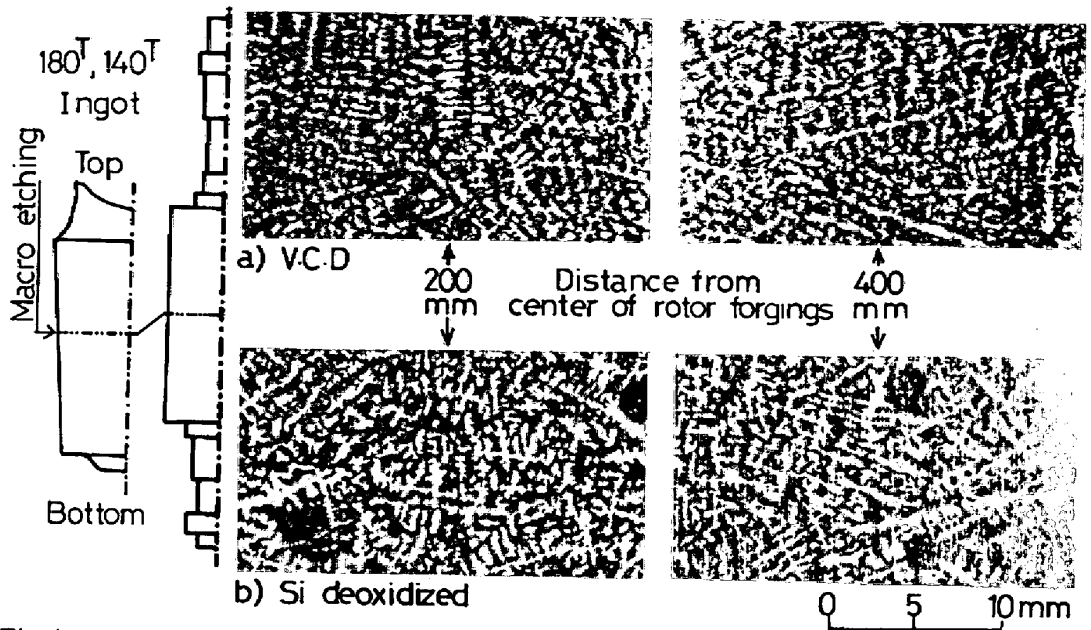


Photo.1 Macro etched structure of transversal section of V.C.D and Si deoxidized vacuum cast Ni-Cr-Mo-V rotor forgings

F. Hochstein⁹⁾はD.C.Dの場合、

酸素あるいは酸素の含量が大きくなることによるMnSの発現状態の差が逆V偏析の軽減に関連するものと予想しているが、既に述べたように、D.C.Dの効果は逆V偏析そのものの発現条件に影響をおよぼしていると考えるのが妥当であり、硫化物の分布が微細で均一になるのは大型硫化物の発生領域である逆V偏析が大巾に軽減される結果であるといえる。したがって、逆V偏析の発現条件を決めている凝固遷移域内のデンドライト固相と溶質濃化溶鋼との相互関係⁶⁾に対するD.C.Dの効果も基礎的に検討する必要がある。

3. 結言

D.C.Dにより大型鍛造用鋼塊を造塊することにより、溶鋼流動微細化とそれにもなる脱ガス効果の向上が期待される。また、SiやAlなどの脱酸剤を含まないため脱酸生成物に起因する酸化物系介在物の清浄度が改善されることが多くの実績より明らかである。一方、大型鋼塊に不可避的と考えられて来た逆V偏析に対してもD.C.Dは大きな影響を与え、これを著しく軽減する効果があることが明らかである。今後、凝固遷移域内における逆V偏析の発現機構を更に明らかにするとともに、これに及ぼすD.C.D.の冶金学的効果を基礎的に検討してゆく必要がある。

参考文献

1) G. E. Danner & E. Dyble: Metal Progress May(1961)75; 2) Dyble & Taylor: Proc. Open Hearth Steel Making. Conf. (1961)107; 3) A. Tix: Stahl und Eisen 76(1956)61; 4) 鈴木 喜本: 学振19巻9555 (S.48.5); 5) 鈴木 喜本 鉄と鋼 59(1973)1590; 6) 鈴木 喜本: 学振19巻9800 (S.50.1); 7) McMillan: I.S.I. Special Report (1965)63; 8) 南 他: 鉄と鋼 56(1970)S.423; 9) F. Hochstein: Stahl und Eisen 95(1975)785; 10) 田代 他: 鉄と鋼 57(1971)60