

討11 Ca 処理による厚鋼板の鋼質改善

(株)神戸製鋼所 加古川製鉄所 製鋼部 喜多村實 川崎正蔵 河合健治
 厚板技術室 工博 笠松 裕 小山伸二
 田中隆義○安積昭人

1 緒言

Ca 処理は、介在物の形態制御とくに硫化物の形態制御に有効であることはよく知られている。今回、厚板非調質50キロ級高張力鋼およびラインパイプ用鋼を主対象にしてCaの添加方法および添加量を変化させた材料について溶鋼（Ca 添加後、鋳型内）、スラブ、鋼板の介在物の形態変化、ならびに介在物量の変化について調査し、介在物の形態および量が、内部品質、靱性および延性とその異方性、ならびに溶接性等の材料特性におよぼす影響を調査した。その結果、介在物形態変化および材料特性はCaの添加方法および量によって顕著に影響を受けることが認められたので以下にその要点を報告する。

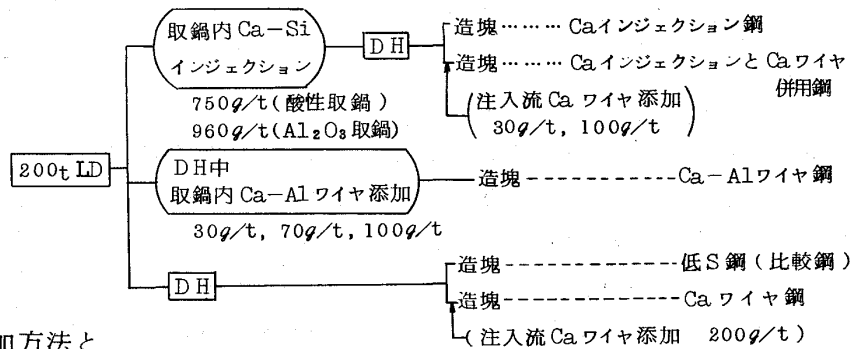
2 実験方法

(1) 試験材

- ① 非調質50キロ級高張力鋼
- ② ラインパイプ用鋼
(API X52~65クラス)

(2) Ca 添加方法および添加量

第1図に製造工程ならびにCa添加方法と添加量を示した。インジェクション法はArキャリアガスで取鍋内にCa-Siを添加し、造塊ではArシールを実施した。



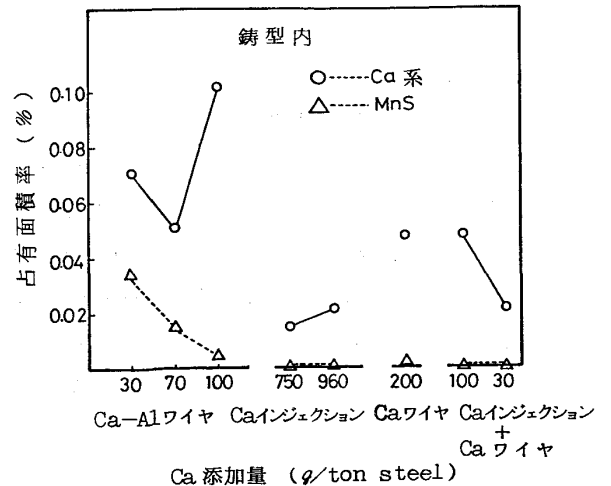
第1図 製造工程およびCa処理方法

Caインジェクション法とCaワイヤ併用法およびCaワイヤ法は、造塊でArシールした注入流にCaワイヤを添加した。Ca-Alワイヤ法は、DH中の取鍋内にCa-Alワイヤをフィーダで添加した。低S鋼は、注入流にArシールを施して造塊した。なお、供試材のSレベルは0.002~0.007%の範囲である。

3 実験結果および検討

I 溶鋼の介在物の形態変化

Ca添加方法およびCa添加量の違いによる鋳型内の溶鋼中のCa系介在物量とMnS量の変化について調査した結果を比較して第2図に示す。Ca-Alワイヤ鋼ではCa添加量の増加につれて、MnS量は減少し、一方Ca系介在物は増加する。しかし、Ca添加量が少ないため、MnSはかなり残存している。Caインジェクション鋼は、MnSが皆無となり、Ca系の介在物はCa添加量がかかなり多にもかかわらず、Ca-Alワイヤ鋼およびCaワイヤ鋼に比べて顕著に少なく、第2図 鋳型内の介在物量とCa添加量の関係溶鋼が清浄であることがわかる。注入流Caワイヤ鋼では



第2図 鋳型内の介在物量とCa添加量の関係

取鍋内Ca-Alワイヤ鋼に比べてMnSはより減少し、Ca系介在物の増加の程度が小さいが、Caインジェクション鋼に比べるといずれもやや多い。CaインジェクションとCaワイヤ併用鋼においてもMnSは皆無であ

るが、一方鑄型内にCaワイヤを添加したためにその添加量に応じてCa系の介在物は増加している。

ここでCa系の介在物を形態別に分類すると、 $(Ca-Al)O \cdot S$ … Aタイプ、 $(Ca \cdot Al)O + (Ca \cdot Al)O \cdot S$ … Bタイプ、 $(Ca \cdot Al)O$ … Cタイプ、 CaS … Dタイプの4タイプに分類される。Ca-Alワイヤ鋼はCタイプが主体であり、Bタイプ、Aタイプの順に少なくなる。Caワイヤ鋼はBタイプが多くなり、次いでAタイプとなっている。その他にわずかではあるがCタイプも認められる。Caインジェクション鋼およびCaインジェクションとCaワイヤ併用鋼はCaワイヤ鋼とほぼ同じ形態を示すが、Dタイプの生成が明瞭に見られるのが特徴である。以上のようにCaの添加方法および添加量によって介在物の形態に若干の相違が見られる。

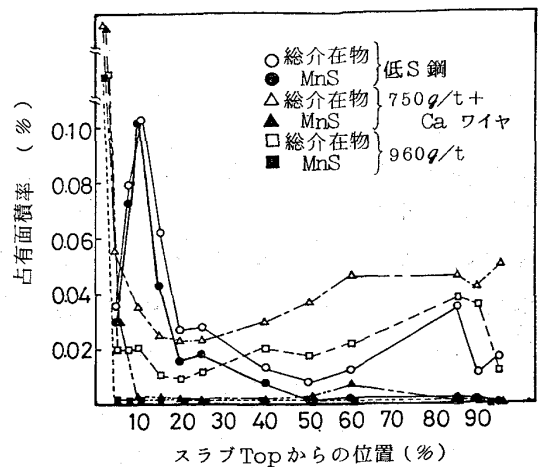
II スラブの介在物の形態変化

MnS と Ca系介在物の残存状況を第3図に示す。低S鋼では、Topより5%~20%付近にSの偏析にともなってMnSがかなり存在するが、Caインジェクション鋼およびCaインジェクションとCaワイヤ併用鋼は2%~5%（押湯部の最頭部）位置にかなりのMnSが見られるが、鋼塊本体部に相当する10%以降の位置ではMnSは殆んど認められない。なお、介在物の測定方法は400倍の視野で225mmの範囲の介在物をすべて計数したものであり、ここでCa処理鋼に認められる程度のMnS量では通常のJIS法では計量されない程度の僅かなものである。

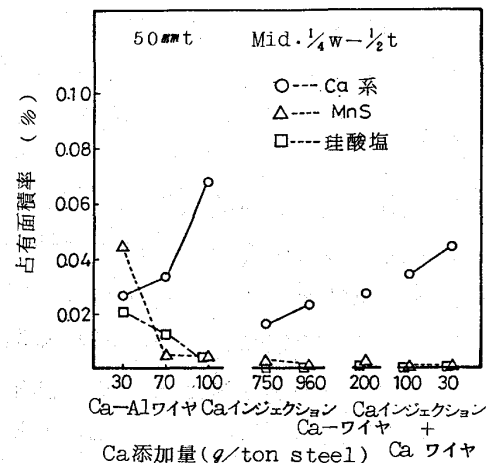
III 鋼板の介在物の形態変化

Ca添加方法および添加量の違いにもとづく介在物の形態と量の変化の一例を第4図に示す。MnSの減少およびCa系介在物の生成傾向は鑄型内の溶鋼で見られた傾向とはほぼ同じである。MnS量については第5図に示した様に添加方法には無関係でCa添加量に依存する傾向が見られる。

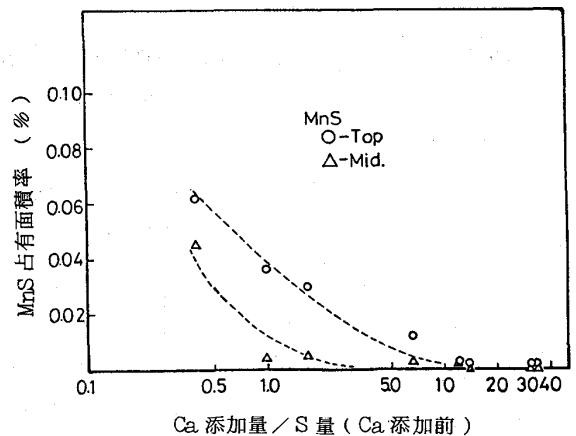
以上に述べた様に、鋼中のMnSの残存状況、Ca系介在物の生成と残存状況ならびにその形態、組成はCa添加方法および添加量によってかなりの相違が見られる。とくにMnSの生成をほぼ完全に防止するためにはかなり多量のCa添加が必要である。またCaの脱O力が脱S力に比べてかなり大きいためにCa添加時に実際上、脱O反応が優先しておこる。したがって、Ca添加前の溶鋼(O)量をできる限り低くする工程ないしCaの脱O力を有効に生かす工程を考えた必要があ



第3図 スラブ内の介在物の分布



第4図 鋼板の介在物量とCa添加量の関係



第5図 Ca添加量 / S量とMnSの関係

る。さらにCa系介在物の残存を少なくするためには反応生成物を溶鋼から分離除去し易い工程を考える必要がある。このような観点から、不活性ガスによるCaのインジェクション法は大きな利点を持つ一方法と考えられる。

IV. 鋼板の品質調査

(1) 断面の磁粉探傷検査

溶接構造物として使用される厚板では、溶接開先部を磁粉探傷して欠陥が認められないことを要求される場合が多い。そこで、鋼板のTopからBottom、板巾端部から中央部における断面の磁粉探傷検査を行なった。その結果、Top、Middleの $\frac{1}{4}W$ から $\frac{1}{2}W$ にかけて、形態制御を行っていない低S鋼では部分的に3~20mm程度の欠陥が見られたが、Ca処理鋼においては、ほとんど認められずこの点についてもCaによる形態制御の効果があるものと思われる。

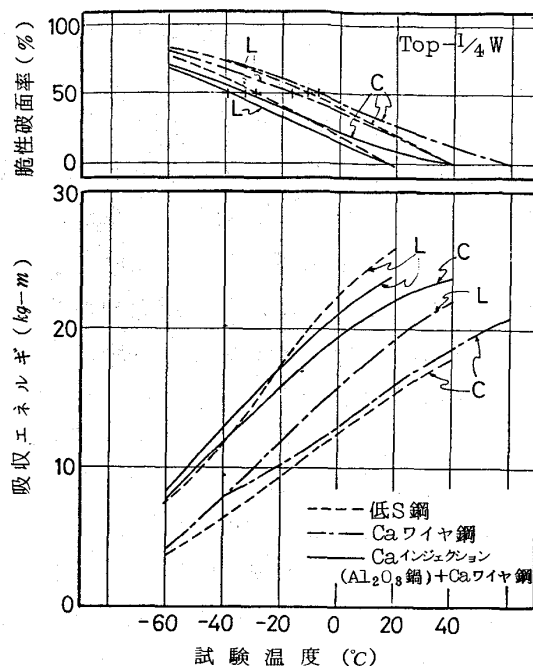
(2) 靱性

低S鋼とCa処理鋼のシャルピ衝撃吸収エネルギーおよび破面率遷移曲線の一例を第6図に示す。図よりCaワイヤ処理鋼およびCaインジェクションにCaワイヤを併用した処理鋼では、低S鋼よりL方向の靱性は若干低下するが、C方向の靱性が著しく向上し、その結果としてL、C方向の差はほとんどなくなり、異方性は減少する。また、CaインジェクションにCaワイヤを併用した処理鋼では、遷移温度も10~20℃低温側に移行し、L、C方向の遷移温度の差も少なくなり、Ca処理により靱性およびその異方性の改善に効果があることがわかる。

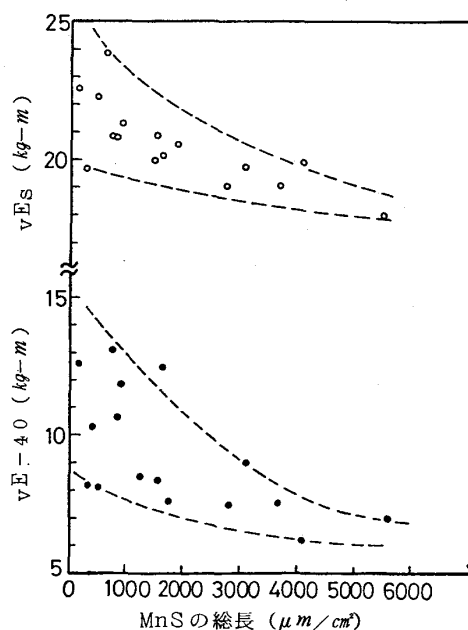
第7図に低S鋼、Ca処理鋼のC方向のシェルフエネルギー(vE_s)および-40℃での吸収エネルギー(vE_{-40})とMnSの関係を示す。従来から靱性とMnS量の相関についてはいくつかの報告があるが、本試験のような極低S域においてもMnSの影響が認められ、Ca処理により硫化物の形態制御を十分に行なえば vE_s のみならず低温靱性も顕著に改善されることがわかる。

(3) 板厚方向特性

第8図に低S鋼とCa処理鋼の鋼板のTopからBottom、板巾端部から中央部の各位置での板厚方向絞り値(RAz)の分布を示す。低S鋼では30~65%のRAzの分布であるが、Ca処理により鋼板の各位置において60%以上のRAzを有し、最小値、平均値とも大きく向上する。その中で、 Al_2O_3 質取鋼を用いたCaインジェクションとCaワイヤを併用した



第6図 低S鋼とCa処理鋼のシャルピ衝撃吸収エネルギーおよび破面率遷移曲線(50キロ鋼, 50mm t)



第7図 C方向の vE_s および vE_{-40} とMnSの総長との関係

処理鋼については、63~72%と値も高く、かつバラツキも小さく、優れた板厚方向特性を有している。

以上の結果をまとめて、RAzとMnS量との関係を示すと第9図のとおりであり、Ca添加方法および添加量に対応したMnS量によってRAzがほぼ決まってくるのがわかる。

ラメラテアはRAzとよい相関が認められており、したがって、低S鋼にCa処理を行なうことにより耐ラメラテア性は一段と向上することが推定されるが、さらに耐ラメラテア性のより直接的な評価としてクランフィールド形われ試験を行なった。その結果、Ca処理がRAzの向上に効果があったと同様に、低S鋼よりいずれのCa処理鋼においても断面われ率は減少した。また、Ca処理方法の違いにより、断面われ率には大きな差は認められなかった。これはRAzがほぼ50%以上の鋼板では、實際上ラメラテア感受性が無くなるものと考えられ、したがってクランフィールド形われ試験による評価が困難になるためと思われる。

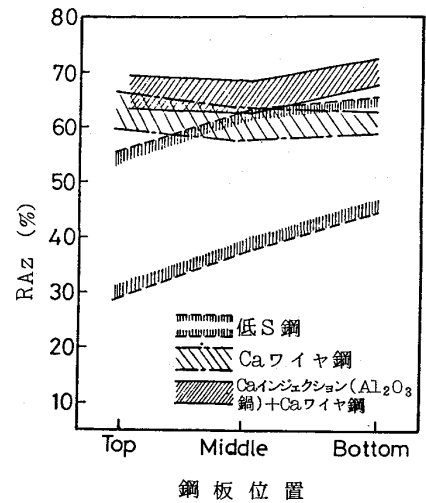
(4)溶接性

斜めY形溶接われ試験による溶接性の調査では、低S鋼とCa処理鋼のルートわれ防止予熱温度は150~200℃の範囲であり、明瞭な差は認められなかった。これは従来から言われている P_{cm} と予熱温度の関係と一致しており、Ca処理による硫化物の形態制御の影響は明瞭に認められないと言える。また、従来より低S鋼では水素による耐われ性が悪くなると報告されているが、本研究の範囲では認められなかった。

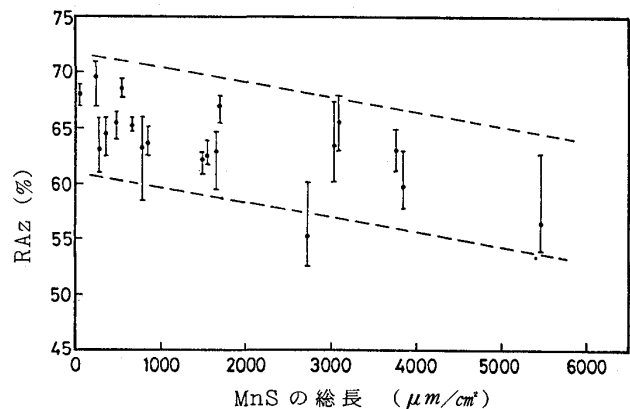
溶接ボンド部切欠靱性は、溶接入熱量が50kJ/cmのボンド部において、Ca処理鋼は母材とほぼ同等のエネルギー値を示し、したがって母材の靱性改善に有効であった結果と同じように、溶接ボンド部でもCa処理による靱性改善効果が認められる。Ca処理方法についても、 Al_2O_3 質取鍋を用いたCaインジェクション法ならびにそれとCaワイヤ添加法を併用した処理鋼が優れた継手性能を有している。

4. まとめ

(0.002~0.007)% Sの低S鋼を対象にCa処理による鋼質改善効果を調査した。介在物の形態制御の程度はCa添加量にはほぼ依存しており、MnSの生成を完全に防止するためにはかなり多量のCaの添加が必要である。MnSの生成をほぼ完全に防止することにより厚鋼板のC方向の靱性、耐ラメラテア性および溶接部の靱性等がとくに顕著に改善される。多量のCaの添加が比較的容易であり、しかも反応生成物であるCa系介在物を除去しやすいという点で、不活性ガスによるCaインジェクション法は、優れた方法である。



第8図 低S鋼とCa処理鋼の鋼板各位置でのRAzの分布 (50キロ鋼, 50 mm t)



第9図 RAzとMnSの総長との関係