

誌 上 討 論

(論文) 連続铸造スラブ表面縦割れ発生機構に
関する数学モデル解析

松宮 徹・佐伯 毅・田中 純・有吉敏彦
鉄と鋼 68 (1982) 13, pp. 1782~1791

【質問】

北海道大学工学部 高橋忠義

(1) 包晶変態に原因する歪みと Ar_4 変態による歪みの総和が炭素濃度 0.14% で最大となるとの結論ですが、これは固相率 $f_s = 0.85$ となる温度 T_a から 30°C 下の温度までの Ar_4 変態量を考えたことによる結果であり、 T_a からの降下温度の設定によつては総変態量の最大は大きくずれる場合も生じ、30°C 設定の意義は重要となります。割れ発生に関わる脆化域が $T_a - 30^\circ\text{C}$ までであると仮定した根拠はどのような理由によるものでしょうか。

(2) Fe-C 二元平衡固相線温度より下の温度域に存在する高温脆化域は一般に未凝固領域であり、これは鋼が多成分系であることに起因する。このような多成分系の鋼の凝固終了以前の段階での Ar_4 変態量を Fe-C 二元平衡状態図上の完全固相領域から求めておられますが、このことの妥当性についていかがお考えでしょうか。

(3) 総歪み量として包晶変態による $\delta-\gamma$ 変態量と Ar_4 変態による変態量との和を考えておられますが、当研究室で 0.39, 0.13 および 0.05 wt% の炭素含量を有する炭素鋼を用い、液相状態から γ 相まで平均冷却速度 $4^\circ\text{C}/\text{s}$ の冷却速度における $\delta-\gamma$ 変態現象を組織および炭素濃度などから把握する実験を行い、 $\delta-\gamma$ 変態の過程には二つの現象のあることが認められた。一つは包晶反応によつて初晶の δ デンドライトの界面上に γ 相が生成し、温度の降下につれて液相側への γ 相の成長を容易にするとともに、 γ 相を通して δ デンドライトのコア部への炭素の拡散をうながし、 γ 変態を促進する過程である。他の一つは未変態の δ デンドライトの領域において γ 相が核生成して変態領域を規定する過程である。この実験結果にみられるように包晶反応それ自体によつて生成する γ 相の量が少ないことを考えると、貴論文の $\delta-\gamma$ 変態量と炭素濃度に関する定量的評価の算定根拠が異なつてくると考えられますがいかがでしょうか。

【回答】

新日本製鉄(株)基礎研究所 松宮 徹
名古屋製鉄所 佐伯 毅

先生より示唆に富む御質問をいただき、ありがとうございます。私どもにもまだ良くわかつていない所もあり

ますが、現在のところ以下のように考えております。

(1) 本論文の考察では裏返しの記述をしましたが、歪み蓄積の下限温度を下げますと変態量最大の位置は低炭側へずれます。脆化域の下限温度を $T_a - 50^\circ\text{C}$ としますと、最大 0.09% C 付近まで移行します。歪み蓄積の下限温度を下げるということは、物理的には応力の緩和速度が遅く、一旦付加された歪みは長期に亘つて割れを誘起する歪みとして働く傾向が強い場合を想定することになります。この応力の緩和速度は歪みの付加速度・温度履歴により変化しますので、結局は铸造条件に依存すると考えています。ただし、 T_a は変化させても Fig. 14a の BD₀ が動くだけで、包晶変態による $\delta-\gamma$ 変態量は常に包晶点 C₀ では最大となります。従つて、歪み蓄積の下限温度を十分下げて総変態量の最大が 0.09% C になつた場合でも、包晶変態を考えることになり、0.09% C から炭素量が増すにつれ Ar_4 変態しか考慮しない場合のように急に総変態量が減することにはなりません。

(2) まず Fe-C 二元系に話を限りましても、非平衡凝固を考慮しますと、固相率 f_s が 0.85 に達する温度、および凝固が完了する温度が低温側へずれます。この二つの温度で挟まれた温度域を高温脆化域とみなす場合、本来はこの温度域で $\delta-\gamma$ 変態の非平衡も考慮して変態量を比較すべきと考えます。論文では非平衡の複雑な取り扱いを避けて平衡を仮定しておりますが、定性的には結論が変わることはないと思つています。次に C 以外の成分の影響について考えますと、Si や Mn のように多量に含まれている成分は変態域に影響を与えますから、これらの成分の影響を考慮すべきだとは考えます。しかし、鋼に微量に存在して固相線温度を著しく低下させる P や S はマイクロ偏析によつて凝固末期の溶鋼に強く濃化することにより凝固完了点を下げていると思われまます。そうしますと、濃化が生じるには凝固が進展していることが条件でありますから、凝固の大半が完了するまでは凝固の進展には影響を与えないのではないかと考えます。すなわち、ごく一部の領域を除いて大半は P や S に影響なく凝固・変態しているものと考えます。従つて Fe-C-Mn-Si 系状態図の完全固相領域の Ar_4 変態量を求めることにより、P や S によつて局部的に未凝固である高温脆化域の変態量を求めると考えます。

(3) $\delta-\gamma$ 変態量の C 量依存性はその内訳に包晶反応が多いか、 Ar_4 変態が多いかは問題ではなく、局部的に未凝固部をかかえる平衡固相線温度直下の脆化域で、どれだけ $\delta-\gamma$ 変態するかがポイントであると考えます。Fig. 14 b に示した変態量は炭素量毎に、この脆化域で変態するポテンシャルを示したものであると解釈しています。