

討21

Nb添加厚鋼板の機械的性質に及ぼす直送圧延条件の影響

住友金属工業株式会社 中央技術研究所 ○鎌田芳彦 橋本保

I 緒言

厚鋼板にも省エネの観点から直送圧延(以後H/C圧延と呼ぶ)プロセスが導入されつつある。H/C圧延とは、製鋼と圧延の連続化をはかる新プロセスであり、連続鋳造設備により鋳造されるスラブを室温まで冷却せずに、直接圧延工場の加熱炉に装入し圧延する省エネプロセスである。一方、近年の多くの厚鋼板はマイクロアロイと制御圧延の組合せにより強靱化がはかられている。このような厚板鋼にH/C圧延が適用されると、加熱炉への装入温度(以後装入温度と呼ぶ)によっては (1)圧延初期 γ 粒の大きさ、(2)マイクロアロイの固溶・析出挙動、が従来の再加熱圧延(R/H圧延と呼ぶ)と異なり、強度・靱性に差を生じることが予想される。(1)~(5)

本報告では、SiMn鋼とNb添加鋼のH/C圧延時の機械的性質に及ぼす (1)装入温度、(2)加熱温度、(3)圧延開始温度、の影響について検討した結果を通常の再加熱圧延法と比較し、その差異をまとめた。

II 実験方法

実験に用いた供試鋼は、0.10% C-0.25% Si-1.35% Mn-0.03% Sol. Alを基本成分として、0.03% Nbの添加の有無により区分したSiMn鋼とNb鋼である。実験内容をFig. 1に示す。200kg高周波大気溶解炉と50kg高周波真空溶解炉を用いて溶製後、17kg用鑄型(100 f × 200 l)に前者は11分湯・後者は3分湯した。凝固後ただちに型抜きを行ない、表面温度を測定し、所定の温度に到達後電気炉に

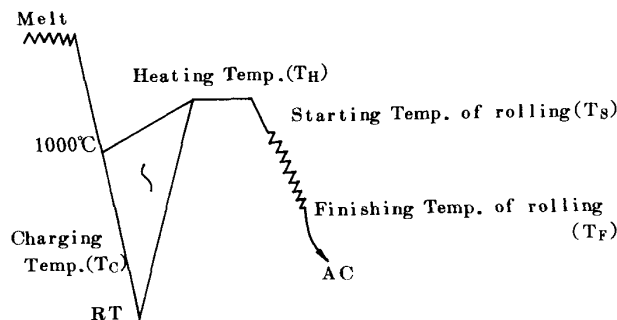


Fig. 1 Simulation of hot charge direct rolling process

装入し加熱($T_H \times 1$ hr)した。加熱後11パス圧延により15mm厚に780°C(一部750°C)にて仕上げた。実験条件としては、(1)装入温度(T_c)、(2)加熱温度(T_H)、(3)圧延開始温度(T_s)、を変化させて、強度・靱性に及ぼす影響について検討した。

III 実験結果

III-1 装入温度の影響

H/C圧延プロセスでは、装入温度の影響が大きいと考えられ、SiMn鋼とNb鋼を用いて強度・靱性の変化と組織との関係を検討した。結果をFig. 2に示す。

- (1) 両鋼種ともに $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態が完了していると考えられる600°C以下の装入温度で、靱性(vE_{-40})が改善される。
- (2) SiMn鋼は装入温度により強度は変化しないが、Nb鋼は大きく依存し、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態が完了していないと考えられる650°C以上の装入温度の時、3~4 kgf/mm²の強度上昇を示した。
- (3) 装入温度が $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態完了温度以下で、平均フェライト粒径が細粒化されるが、Nb鋼では完了温度以上の時、顕著な混粒組織

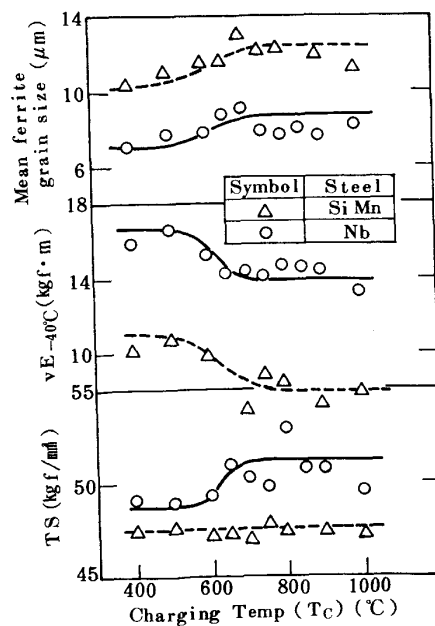


Fig. 2 Effect of charging temperature(T_c) on strength and toughness of SiMn and Nb bearing steel($T_H=1100^\circ\text{C}$, $T_F=750^\circ\text{C}$)

を呈した。(Photo. 1)

以上より、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態完了前後の装入温度で強度・韌性が大きく変化するとの結果が得られたが、これらは①粗大な凝固 γ 、②固溶Nb量の差、に起因するものと推察される。

III-2 加熱温度(T_H)の影響

凝固後の冷却から加熱時の昇温過程におけるNb炭化物の析出・固溶挙動が、強度・韌性に影響を及ぼすと考えられるので、装入温度を変化させた時の加熱温度の影響を検討した。Fig. 3より、Nb鋼についてまとめると

- (1) R/H圧延の場合、加熱温度の上昇とともに、強度の上昇と韌性の劣化が生じる。(図中 $T_c = RT$)
- (2) 900℃装入材は、加熱温度の上昇とともに、強度が上昇するも、韌性の変化は小さい。
- (3) 1000℃装入材は、加熱温度を上昇させても、強度は変化しないが、韌性は改善される。
- (4) Nbの完全固溶がはかれると推測される1200℃加熱時でも、R/HとH/C間で約2 kgf/mm²の強度差が認められる。

このように、 γ 域装入のNb鋼のH/C圧延では、むしろ高温装入、高温加熱時に強度・韌性が良好である。これは①高温装入によるNb炭化物の析出抑制、②高温域加工による組織の細粒化、が示唆される。

III-3 圧延開始温度の影響

前項にて、高温域の加工が強度・韌性の改善に有効であることが示唆されたため、H/C ($T_c = 1000^\circ\text{C}$)とR/H圧延時の圧延開始温度の影響について、比較検討した。(Fig. 4)

- (1) R/H圧延材は、低温から圧延開始する程韌性が改善される。
 - (2) H/C圧延材は、Nb鋼において高温域から圧延を開始する程組織が細粒化され、韌性が改善されている。
- 一方、SiMn鋼については顕著な差異は認められない。

このように、Nb鋼では圧延開始温度の韌性への影響がH/C圧延とR/H圧延では全く逆の傾向を示した。これはR/H圧延に比しH/C圧延が①圧延初期粒が粗大であること、②固溶Nb量が多いこと、に起因する γ の再結晶領域の変動が示唆される。

III-4 H/C圧延されるNb鋼の強度・韌性を支配する因子

強度は、Fig. 2, 3に示される如く装入温度と加熱温度に大きく依存する。

- (1) 装入温度が $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態完了温度を分岐点として大きく変化する。

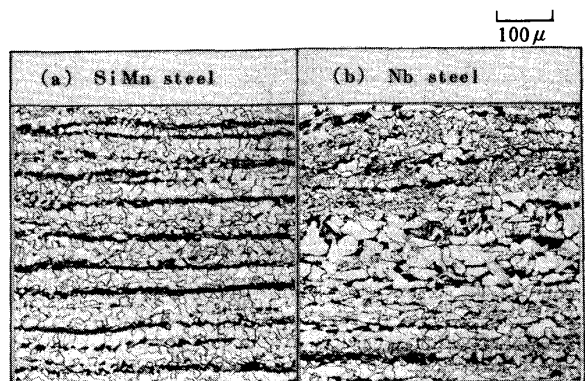


Photo. 1 Comparison of optical microstructures between SiMn steel and Nb bearing steel by H/C direct rolling ($T_c = 1000^\circ\text{C}$, $T_H = 1100^\circ\text{C} \times 1\text{hr}$)

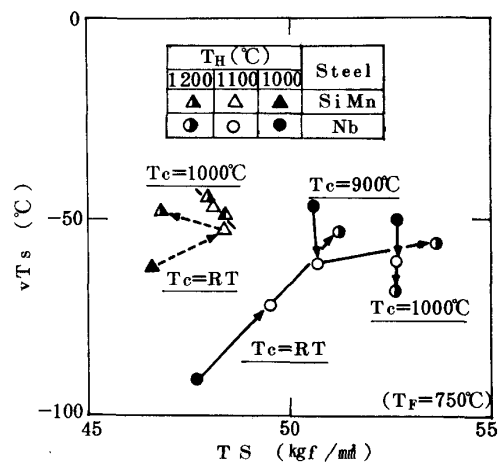


Fig. 3 Effect of heating temperature (T_H) on strength and toughness of SiMn and Nb bearing steel

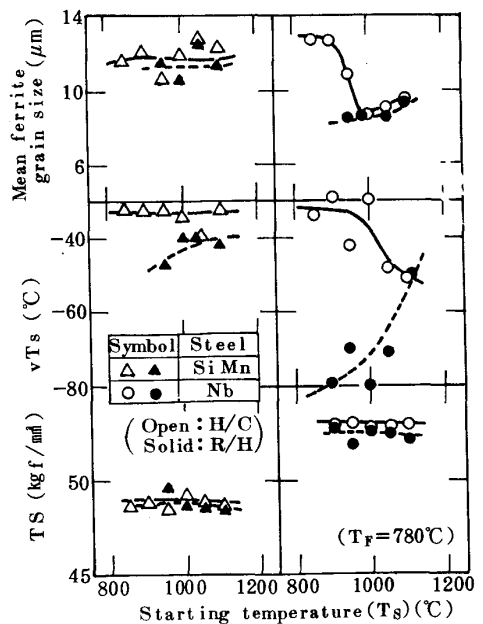


Fig. 4 Effect of starting temperature of rolling (T_s) on strength and toughness of SiMn and Nb bearing steel ($T_c = 1000^\circ\text{C}$ and RT , $T_H = 1100^\circ\text{C} \times 1\text{hr}$)

(2) γ 域装入でも、Nb炭窒化物の析出が考えられる温度域では加熱温度依存性がある。

(3) Nb炭窒化物の固溶温度以上の1200℃加熱の場合でもR/H圧延よりH/C圧延の方が、強度が高い。

以上より、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態終了以前にH/C圧延されるNb鋼では、Nbは非平衡な状態で存在し析出しても容易に固溶されると考えられ、R/H圧延よりも加熱時に γ 中に均質固溶がはかられ、Ti添加鋼にみられる如く⁽⁴⁾圧延中あるいは圧延後に微細分散析出することにより強化がはかられているであろう。

一方、高強度化される γ 域装入のNb鋼の靱性は、Fig. 4, 5に示される如く圧延開始温度に大きく依存する。

(1) 高温 γ 域装入時の靱性改善は、1100℃付近の圧延開始が最も効果的で、加熱温度に依存しない。

(2) 平均フェライト粒径(D_{mean})も1100℃で最低値を示し、1200℃では若干大きくなっている。

(3) フェライトの混粒度(D_{max}/D_{mean})は、圧延開始温度が高くなるにつれ単調減少する。

(4) 靱性の異方性も、1100℃付近が最良である。

以上より、高温 γ 域装入H/C圧延されるNb鋼の靱性は、1100℃付近に存在する γ 再結晶領域を利用して粗大な凝固 γ 粒を一度細粒化させることが重要である。Photo. 2に、1200℃加熱時の圧延開始温度によるマイクロ組織の変化を示すが、1000℃以下の場合粗大な γ 粒から $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態したと考えられる混粒組織を示し、1000℃以上では組織の整粒化がはかられており再結晶 γ 粒からの $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態した組織と考えられる。ここで、1200℃から圧延を開始した場合組織が粗くなっているが、再結晶 γ が粒成長したためであろう。

III-5 R/H圧延とH/C圧延における加工 γ の再結晶挙動の比較

R/H圧延とH/C圧延における加工 γ の再結晶挙動を比較するため、加工フォルマスターを用いた2段圧縮試験を実施した。1350℃×1min.と1100℃×1min.の加熱により、初期 γ 粒を約900 μ mと約100 μ mの差、Nb鋼ではNb炭窒化

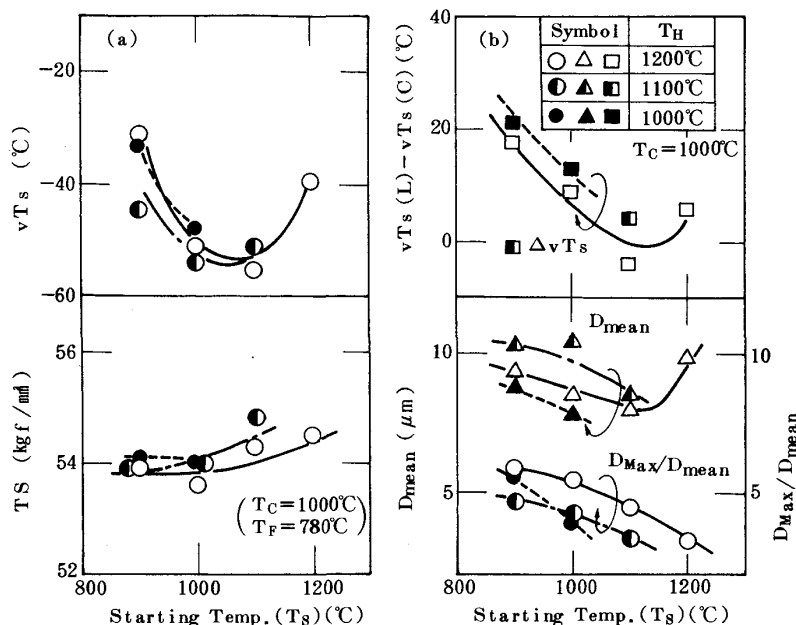


Fig. 5 Effect of starting temperature of rolling in various heating temperature on strength and toughness of Nb bearing steel by Hot charge direct rolling ($T_c=1000^\circ\text{C}$)

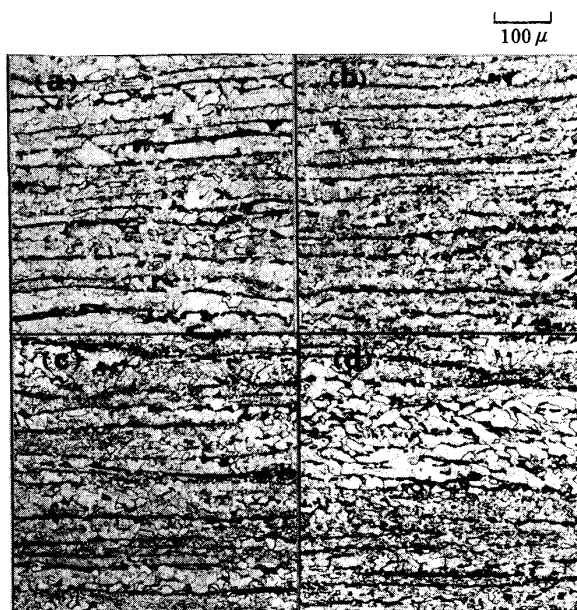


Photo. 2 Effect of starting temperature of rolling on optical microstructures of Nb bearing steel in hot charge direct rolling
(T_c : 1000 $^\circ\text{C}$, T_H : 1200 $^\circ\text{C}$ × 1 hr, T_F : 780 $^\circ\text{C}$)
(T_s : (a) 1200 $^\circ\text{C}$ (b) 1100 $^\circ\text{C}$ (c) 1000 $^\circ\text{C}$ (d) 900 $^\circ\text{C}$)

物の完全固溶と70%固溶(計算)の差, をつけ900~1200℃間で2段圧縮した. Fig. 6は前段50%加工時の, $X_s = (\sigma_m - \sigma_2) / (\sigma_m - \sigma_1)$ で示される軟化度が50%となる t_{50} で整理したもの. Fig. 7は, 軟化度の前段加工度依存性を示している.

- (1) SiMn鋼・Nb鋼ともに初期 γ 粒が粗大化すると, 再結晶は遅れる.
- (2) Nb鋼において, 1350℃加熱(H/C)と1100℃加熱(R/H)材の再結晶挙動は異なり, 前者が後者より約100℃高い1000℃位から再結晶が遅れる.
- (3) 初期 γ 粒が大きい程, 加工温度域が低い程, 再結晶に必要な歪量は増加する.

これらは, Fig. 5・Photo. 2とよ

く対応しており, Nb鋼のH/C圧延材は主として固溶Nb量が多いため高温域からNb炭窒化物の歪誘起析出が生じて再結晶を遅らせ, 再結晶領域を高温側に押し上げている. そのため, 1100℃付近に最適加工領域が存在しているのが理解できる.

IV まとめ

H/C圧延時の現象を単純化するため, 主としてNb鋼の γ 域装入時に関する強度・靱性に及ぼす因子を検討した. 多量のNbを固溶する粗大凝固 γ を初期 γ とする場合靱性劣化を生じるが, その改善にはNb炭窒化物の析出しない高温域で一度再結晶させてやる事が重要であり, Nb鋼では1100℃付近に存在していることが判明した.

V 参考文献

- (1)橋本; 鉄と鋼, 70(1984) S 1329 (2)佐藤ら; 鉄と鋼, 70(1984) S 1339 (3)長尾ら; 鉄と鋼, 70(1984) S 1340
 (4)長尾ら; 鉄と鋼, 71(1985) S 571 (5)橋本; 鉄と鋼, 71(1984) S 1296

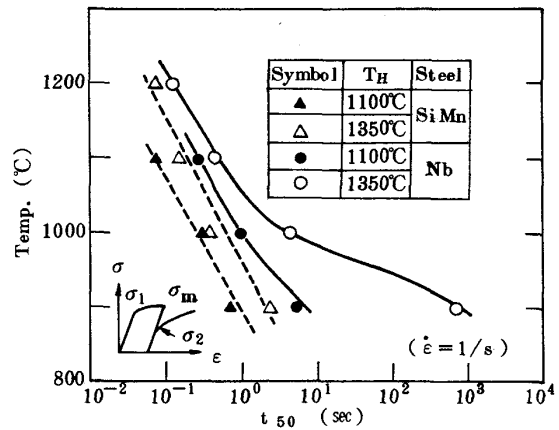


Fig. 6 Curves of 50% recrystallization time for SiMn and Nb bearing steel in different initial austenite grains

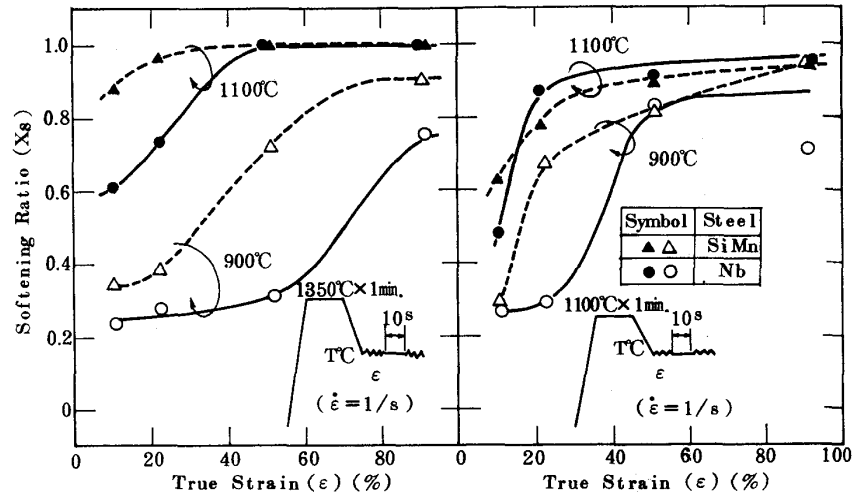


Fig. 7 Effect of hot working temperature and amount of strain on recrystallization in different austenite grains of SiMn and Nb bearing steel