(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3636872号
(P3636872)

(45)発行日　平成17年4月6日(2005.4.6)　(24)登録日　平成17年1月14日(2005.1.14)

(51)Int.Cl.[7]	F I	
C22C 38/00	C22C 38/00	301A
C21D 8/02	C21D 8/02	A
C21D 9/46	C21D 9/46	S
C22C 38/58	C22C 38/00	301W
	C22C 38/58	

請求項の数 1　(全 26 頁)

(21)出願番号　特願平9-253658
(22)出願日　平成9年9月18日(1997.9.18)
(65)公開番号　特開平11-92859
(43)公開日　平成11年4月6日(1999.4.6)
審査請求日　平成12年7月19日(2000.7.19)
審判番号　不服2003-581(P2003-581/J1)
審判請求日　平成15年1月9日(2003.1.9)

(73)特許権者　000001258
ＪＦＥスチール株式会社
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号
(74)代理人　100072051
弁理士　杉村　興作
(72)発明者　安原　英子
千葉県千葉市中央区川崎町１番地　川崎製鉄株式会社　技術研究所内
(72)発明者　森田　正彦
岡山県倉敷市水島川崎通１丁目（番地なし）　川崎製鉄株式会社　水島製鉄所内
(72)発明者　古君　修
千葉県千葉市中央区川崎町１番地　川崎製鉄株式会社　技術研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】超微細組織を有する高張力熱延鋼板の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

Ｃ：0.05～0.30wt%、Si：1.0 ～2.5 wt%、Mn：0.7 ～3.0 wt%、Al：0.0005～0.1 wt%及びTi：0.05～0.3 wt%を含み、かつ、Cu, Ni, Cr, Moの１種または２種以上を合計で０～2.5 wt%、Nb, Zr, Taの１種または２種以上を合計で０～0.3 wt%、およびCa：０～0.05wt%、Ｂ：０～0.010 wt%を含有すると共に、Ｐ：0.05wt%以下、Ｓ：0.025 wt%以下に制限し、下記式で表される成分パラメータＰmpが1499未満になる条件を満たして残部は実質的に鉄の組成になる鋼を、950～1100℃の温度範囲で10min 以上加熱保持する工程と、 950～1100℃の温度範囲で１パス当たりの圧下量が20%以上となる圧下を１回以上加える第１段階の圧延工程と、 700℃以上950 ℃未満の温度範囲で５℃/s以上の冷却速度で冷却しながら１パス当たりの圧下量が20%以上で、累計圧下率が50%以上の圧延を施す第２段階の圧延工程と、この第２段階の圧延工程後に20℃/s以上の冷却速度で 600℃以下の温度範囲まで冷却する工程とを施す、ミクロ組織中のポリゴナルフェライト分率が70%以上でしかもそのフェライト粒の平均粒径が２μm 未満の超微細組織を有する高張力熱延鋼板の製造方法。

記

$$Pmp=1538-55\times C\ (\%)-80\times \{C\ (\%)\}^{2}-13\times Si\ (\%)-4.8\times Mn\ (\%)$$
$$-1.5\times Cr\ (\%)-4.3\times Ni\ (\%)-3.5\times Cu\ (\%)-1.2\times Mo\ (\%)$$

【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
この発明は、熱延ままで平均粒径２μｍ未満の超微細フェライト粒を有し、延性、じん性、疲労強度、耐衝突特性に優れた熱延鋼板、特に490 MPa 以上の高強度範囲において上記特性の優位性が発揮される自動車用材、機械構造材、建築用材、パイプ材等の用途に用いて好適な高張力熱延鋼板の製造方法に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
自動車用材、構造材、パイプ材などに用いられる鋼材の機械的性質を向上させるためには、一般に、金属組織を微細化することが有効であり、超微細組織を目指す製造方法が従来より数多く模索されてきた。特に近年では、低コスト化と高機能特性を両立できる高張力鋼板のニーズが高く、かつ、これらの鋼板が多く使用されるようになり、高張力化に伴う延性、靱性、耐久比などの劣化を抑える目的で高張力鋼における組織の微細化が重要な課題となっている。
【０００３】
ここに、従来技術における組織の微細化手段を総括すると、制御圧延法、制御冷却法、大圧下圧延法などが知られている。これらの方法のうち、高張力化と組織微細化とを同時に達成する目的に対して最も広く用いられてきたのは、Nb又はTiを含む析出強化型高張力鋼板であり、これらの鋼板は、上記した組織の微細化手段のなかの制御圧延法、制御冷却法を用いている。かかる析出強化型高張力鋼板が広く用いられた背景には、これらの鋼板に含有されるNb, Tiの析出強化作用を利用して高張力化が容易に図られること、Nb、Tiのオーステナイト粒の再結晶抑制作用を利用して、低温仕上圧延を施した時の未再結晶変形オーステナイト粒からのγ→α歪誘起変態によって、フェライト結晶粒を微細化することができるためである。しかし、この方法で製造された高張力熱延鋼板の難点は機械的性質の異方性が大きいことである。このため例えば、プレス成形用の自動車用鋼板などにおいては、成形限界は最も延性が劣る方向での特性水準によって決まるので、異方性が大きい鋼板では組織を微細化した効果が全く現れない場合がある。また、構造材あるいはパイプ材においても、重要な特性である靱性や疲労強度などの異方性が大きいという難点は同様の問題につながる。
【０００４】
一方、大圧下圧延による組織微細化法として、例えば、特開昭５８－１２３８２３号公報などに代表される提案がある。これらの方法における微細化機構の要点は、オーステナイト粒に大圧下を加えることによってγ→αへの歪誘起変態を促進することにあり、上記のNb、Tiを含む析出強化鋼板の場合と基本的には同じ機構を利用するものである。だだし、両者の違いは析出強化鋼では未再結晶オーステナイト粒からの歪誘起変態であるから、上記特開昭５８－１２３８２３号公報の方法のほうが前述した異方性の問題は少ないという利点がある。しかし、この大圧下圧延による組織微細化法は、１パスあたりの圧下量を40％以上にするなど、一般的なホットストリップミルで実施し難く、また、一般的なホットストリップミルで実施し難いが故に、得られる鋼板の最終組織の微細化には限界が生じていた。
【０００５】
かかる特開昭５８－１２３８２３号公報の難点である大圧下圧延条件を緩和させる手段として、特開平９－１４３５７０号公報には、オーステナイト圧延領域における動的再結晶現象を利用する方法の提案がある。この提案は、大圧下圧延法に比べて一般のホットストリップで実施し易いこと、最終組織が等軸晶となり機械的性質の異方性が少ない等の有利性をもつものの、到達できる最終フェライト粒径は、やはり２μｍが限界である。
【０００６】
【発明が解決しようとする課題】
結晶粒径の微細化による機械的性質の改善効果は、結晶粒径の平方根の逆比例することか

ら、この改善効果は、粒径が２μｍ以上の領域では緩慢な向上しか見られないが、２μｍ未満の結晶粒径が実現されるならば、大幅な特性向上が達成される。

【０００７】

この発明は、上記の従来技術が残していた問題を解決するために、一般のホットストリップミルで容易に実施可能で、かつ、機械的性質の異方性が少なく、しかも従来技術で達成できなかった最終フェライト粒径２μｍ未満の超微細粒を達成した加工用熱延鋼板の有利な製造方法を提案することを目的とする。

【０００８】

【課題を解決するための手段】

この発明は、２μｍ未満の超微細粒を達成するために、次の２点を骨子として構成したものである。

第一は、熱間圧延工程において生じる各種の微細化過程を加算的に積み重ねる点にある。この手段は、加熱段階での初期オーステナイト粒径を可能な限り微細化させること、第一段階の圧延で動的再結晶微細化を進展させること、第二段階の圧延工程において上記工程で微細化したオーステナイト粒に更に静的再結晶微細化を積み重ねてオーステナイト粒を極限まで微細化させること、最終の冷却工程においてγ→α変態による変態微細化を生じさせること、の結合にある。

第二は、化学成分を上述のそれぞれの微細化過程において最善の効果が発揮されるように冶金的設計を行った点である。特に後者がこの発明で最も重要かつ、効果を引き出す上で重要な要素である。

【０００９】

上記骨子を要部とするこの発明は、Ｃ：0.05～0.30wt%、Si：1.0 ～2.5 wt%、Mn：0.7 ～3.0 wt%、Al：0.0005～0.1 wt%及びTi：0.05～0.3 wt%を含み、かつ、Cu，Ni，Cr，Moの１種または２種以上を合計で０～2.5 wt%、Nb，Zr，Taの１種または２種以上を合計で０～0.3 wt%、およびCa：０～0.05wt%、Ｂ：０～0.010 wt%を含有すると共に、Ｐ：0.05wt%以下、Ｓ：0.025 wt%以下に制限し、下記式で表される成分パラメータＰmpが1499未満になる条件を満たして残部は実質的に鉄の組成になる鋼を、 950～1100℃の温度範囲で 10min以上加熱保持する工程と、 950～1100℃の温度範囲で１パス当たりの圧下量が20%以上となる圧下を１回以上加える第１段階の圧延工程と、 700℃以上950 ℃未満の温度範囲で５℃/s以上の冷却速度で冷却しながら１パス当たりの圧下量が20%以上で、累計圧下率が50%以上の圧延を施す第２段階の圧延工程と、この第２段階の圧延工程後に20℃/s以上の冷却速度で 600℃以下の温度範囲まで冷却する工程とを施す、ミクロ組織中のポリゴナルフェライト分率が70%以上でしかもそのフェライト粒の平均粒径が２μｍ未満の超微細組織を有する高張力熱延鋼板の製造方法である。

記

$$Pmp=1538-55\times C\,(\%)-80\times\{C\,(\%)\}^{2}-13\times Si\,(\%)-4.8\times Mn\,(\%)-1.5\times Cr\,(\%)-4.3\times Ni\,(\%)-3.5\times Cu\,(\%)-1.2\times Mo\,(\%)$$

なお、この発明において、Cu等の含有量（または合計含有量）の下限が０wt%であるのは、それらの成分を添加しない場合があることを意味する。

【００１０】

【発明の実施の形態】

この発明の作用効果について、発明者らが行った実験結果を基に詳述する。

まず、動的再結晶微細化に関し、発明者らは、次の二つの考えの下に実験を行った。

第１は、スラブ加熱段階での初期オーステナイト粒を極度に微細化することである。この発明では、このための手段として加熱時に多量の未溶解TiC粒子を存在させ、この粒子によるピンニング作用によって初期オーステナイト粒の微細化を図る方法を採る。この観点からTi量が重要であり、また、加熱条件が重要であると考えた。

第２は，第１段階での動的再結晶ができるだけ容易に生起する成分条件に予め調整してお

くことが重要であると考えた。

【００１１】

以上の考えの下に、発明者らは動的再結晶による微細化が最も進展する鋼の成分条件について研究した。そして、この発明を構成するに当たっての有益な知見を得たのでその研究結果について述べる。

表１，表２に示す化学成分が種々に異なる鋼について、950 ～1100℃の温度範囲で10min 以上加熱保持し、次いで950～1100℃未満の温度範囲で１パス当たりの圧下量が20％以上となる圧下を少なくとも２回以上加える第１段階の圧延工程を施し、800 ℃以上950 ℃未満の温度範囲で５℃/s以上の冷却速度で冷却しながら１パス当たりの圧下量が20％以上で、累計圧下率が50％以上の圧延を施す第２段階の圧延工程を施したのち、この第２段階の圧延工程後に20℃/s以上の冷却速度で600 ℃以下の温度範囲まで冷却する工程を施して製造した熱延鋼板について、平均フェライト粒径を測定した結果を解析し、図１の結果を得た。

【００１２】

【表１】

（wt%）

鋼	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	Nb	P	S	Al	N	Pmp	発明区分
A 1	0.140	1.51	1.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.010	0	0.05	0.002	1504.2	×
A 2	0.160	1.52	1.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.010	0.002	0.052	0.0020	1502.4	×
A 3	0.140	1.63	1.51	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.011	0.002	0.044	0.0020	1500.3	×
A 4	0.139	2.01	1.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.011	0.002	0.042	0.0020	1497.8	×
A 5	0.160	2.03	1.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.012	0.002	0.039	0.0020	1495.9	×
A 6	0.165	1.92	1.66	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.012	0.004	0.051	0.0026	1493.8	×
A 7	0.201	1.80	1.76	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.013	0.002	0.035	0.0028	1491.9	×
A 8	0.179	2.20	1.43	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.010	0.003	0.040	0.0026	1490.1	×
B 1	0.140	1.50	1.06	<0.01	<0.01	<0.01	0.030	<0.01	0.010	0.002	0.052	0.0020	1504.1	×
B 2	0.159	1.52	1.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.030	<0.01	0.010	0.002	0.050	0.0015	1502.5	×
B 3	0.139	1.63	1.49	<0.01	<0.01	<0.01	0.031	<0.01	0.011	0.001	0.035	0.0020	1500.5	×
B 4	0.139	2.01	1.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.030	<0.01	0.011	0.002	0.046	0.0020	1497.8	×
B 5	0.160	2.03	1.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.029	<0.01	0.012	0.002	0.045	0.0026	1495.9	×
B 6	0.167	1.90	1.65	<0.01	<0.01	<0.01	0.030	<0.01	0.010	0.001	0.029	0.0030	1494.0	×
B 7	0.202	1.80	1.74	<0.01	<0.01	<0.01	0.030	<0.01	0.008	0.002	0.053	0.0021	1491.9	×
B 8	0.180	2.20	1.40	<0.01	<0.01	<0.01	0.031	<0.01	0.009	0.003	0.055	0.0015	1490.2	×
C 1	0.140	1.51	1.05	<0.01	<0.01	<0.01	0.052	<0.01	0.010	0.002	0.052	0.0020	1504.1	×
C 2	0.160	1.52	1.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.053	<0.01	0.010	0.002	0.002	0.0035	1502.4	×
C 3	0.140	1.62	1.50	<0.01	<0.01	<0.01	0.051	<0.01	0.011	0.003	0.004	0.0038	1500.5	×
C 4	0.140	2.00	1.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.051	<0.01	0.011	0.001	0.004	0.0043	1497.8	○
C 5	0.160	2.03	1.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.052	<0.01	0.012	0.002	0.003	0.0040	1495.9	○
C 6	0.167	1.90	1.65	<0.01	<0.01	<0.01	0.053	<0.01	0.013	0.003	0.002	0.0036	1494.0	○
C 7	0.200	1.82	1.72	<0.01	<0.01	<0.01	0.053	<0.01	0.011	0.005	0.003	0.0035	1491.9	○
C 8	0.182	2.18	1.42	<0.01	<0.01	<0.01	0.052	<0.01	0.012	0.003	0.005	0.0038	1490.2	○

【００１３】
【表２】

〔表２〕

(wt%)

鋼	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	Nb	P	S	Al	N	Pmp	発明区分
D１	0.140	1.50	1.06	<0.01	<0.01	<0.01	0.100	<0.01	0.010	0.002	0.052	0.0020	1504.1	×
D２	0.160	1.52	1.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.100	<0.01	0.010	0.006	0.005	0.0035	1502.4	×
D３	0.140	1.61	1.51	<0.01	<0.01	<0.01	0.101	<0.01	0.011	0.005	0.003	0.0046	1500.6	×
D４	0.140	2.00	1.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.100	<0.01	0.011	0.002	0.002	0.0040	1497.8	○
D５	0.165	2.00	1.00	<0.01	<0.01	<0.01	0.101	<0.01	0.012	0.002	0.004	0.0036	1495.9	○
D６	0.165	1.90	1.67	<0.01	<0.01	<0.01	0.099	<0.01	0.010	0.003	0.003	0.0038	1494.0	○
D７	0.200	1.80	1.75	<0.01	<0.01	<0.01	0.100	<0.01	0.090	0.002	0.004	0.0036	1492.0	○
D８	0.181	2.19	1.40	<0.01	<0.01	<0.01	0.098	<0.01	0.080	0.001	0.003	0.0042	1490.2	○
E１	0.140	1.51	1.05	<0.01	<0.01	<0.01	0.152	<0.01	0.010	0.002	0.052	0.0020	1504.1	×
E２	0.160	1.52	1.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.150	<0.01	0.010	0.002	0.003	0.0045	1502.4	×
E３	0.140	1.60	1.52	<0.01	<0.01	<0.01	0.152	<0.01	0.011	0.002	0.003	0.0042	1500.6	×
E４	0.140	2.00	1.00	<0.01	<0.01	<0.01	0.150	<0.01	0.011	0.002	0.002	0.0040	1497.9	○
E５	0.160	2.01	1.03	<0.01	<0.01	<0.01	0.151	<0.01	0.012	0.002	0.003	0.0036	1496.1	○
E６	0.166	1.90	1.65	<0.01	<0.01	<0.01	0.150	<0.01	0.011	0.003	0.001	0.0039	1494.0	○
E７	0.201	1.79	1.75	<0.01	<0.01	<0.01	0.149	<0.01	0.011	0.004	0.003	0.0041	1492.0	○
E８	0.180	2.20	1.39	<0.01	<0.01	<0.01	0.148	<0.01	0.010	0.001	0.004	0.0060	1490.2	○
F１	0.140	1.50	1.06	<0.01	<0.01	<0.01	0.201	<0.01	0.010	0.002	0.052	0.0020	1504.1	×
F２	0.160	1.52	1.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.201	<0.01	0.010	0.003	0.001	0.0044	1502.4	×
F３	0.141	1.60	1.50	<0.01	<0.01	<0.01	0.201	<0.01	0.011	0.002	0.002	0.0031	1500.7	×
F４	0.138	2.00	1.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.200	<0.01	0.011	0.001	0.003	0.0035	1498.0	○
F５	0.160	2.01	1.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.202	<0.01	0.012	0.002	0.002	0.0033	1496.1	○
F６	0.166	1.89	1.66	<0.01	<0.01	<0.01	0.201	<0.01	0.009	0.002	0.004	0.0039	1494.1	○
F７	0.202	1.79	1.73	<0.01	<0.01	<0.01	0.199	<0.01	0.000	0.003	0.003	0.0036	1492.1	○
F８	0.180	2.19	1.40	<0.01	<0.01	<0.01	0.198	<0.01	0.011	0.001	0.004	0.0038	1490.3	○

【００１４】

すなわち、図１からわかるように、この発明の範囲の熱延条件としたときの平均フェライト粒径の変化は、Ti量と成分パラメータＰmp、すなわち、Ｐmp＝1538－55×Ｃ（％）－80

×｛Ｃ（％）｝^{2} －13×Si（％）－4.8 ×Mn（％）－1.5 ×Cr（％）－4.3 ×Ni（％）－3.5 ×Cu（％）－1.2 ×Mo（％）によって整理することができ、Ti量が多く、かつ、Ｐmpが小さい側でフェライト粒径が微細化することがわかる。そして、平均フェライト粒径が２μｍ未満の超微細フェライト粒が得られる条件は、Ti量が0.05wt％以上で、Ｐmpが1499未満であることがわかる。ここで、Ti量はTiＣ粒子の加熱段階での初期オーステナイト粒径の微細化作用を通じて影響したものであり、このことは、この研究の実験材についての電子顕微鏡による析出物観察結果によっても裏付けることができた。

【００１５】

一方、成分パラメータＰmpの影響の機構は必ずしも明確ではないものの次のように考えることができる。動的再結晶の難易を左右する要因の一つとして、固溶元素の影響があることが知られている。また、動的再結晶には自己拡散係数が大きいことが有利となることも知られている。Ｐmpは鋼の固溶元素の融点の変化に対する成分パラメータであるが、この融点と固相域でのFe原子の自己拡散のし易さの間には一定の関係があり、融点が低くなる成分条件のものはFe原子の自己拡散が容易化する方向となる。したがって、図１におけるＰmpの影響は、固溶元素による自己拡散のし易さの変化を通じて、動的再結晶に影響するものと考えることができる。

【００１６】

このように、加熱工程はTiＣ粒子による初期オーステナイト粒径を微細化し、この発明における微細化過程の初期条件を与える上で重要な工程であって、この段階での微細化が不足すれば、以降における圧延段階での動的再結晶が進行し難くなり、最終組織でのフェライト粒径の微細化も不十分となる。図２は、この発明の範囲の成分の鋼を用いて調査した初期オーステナイト粒径と加熱温度との関係であるが、加熱温度が1100℃を超えると急速に初期オーステナイト粒径が粗大化することがわかる。これは、初期オーステナイト粒界をピンニングしているTiＣ粒子が溶解し始めるからである。

【００１７】

また、第１段階の圧延工程は、上記加熱工程の初期微細オーステナイト粒に圧延による動的再結晶を生じさせ更に微細化させていく工程である。この段階での要点は、１パス当たりの圧下量が重要となる。図３は、この発明の範囲の成分鋼を用いて調査した、第１段階圧延工程における１パス当たりの圧下量と、最終組織における平均フェライト粒径との関係を示す図である。図３から、最終組織のフェライト粒微細化は、１パス当たりの圧下量を20％以上とする条件において明確であり、したがって、この圧下条件を採択することにより動的再結晶微細化が進展することが分かる。なお、この第１段階の圧延工程で微細化されたオーステナイト粒は、比較的安定で、通常の熱間圧延工程におけるパス間時間程度の滞留によっても急激な粒成長を起こし難いという特徴がある。これは、動的再結晶粒であることと、鋼中に分散するTiＣの存在によって起こる特有の現象と考えられ、この発明による微細化法の有利な点の一つである。

【００１８】

次に、静的再結晶微細化に必要な要件に関する実験結果について述べる。

第２段階の圧延工程は、第１段階の圧延工程までの動的再結晶で微細化したオースナイト粒に歪を蓄積し、静的再結晶による微細化を進展させる工程である。従来法においても静的再結晶微細化法は採られてはいるが、最終フェライト粒径を２μｍ未満にすることはできない。しかし、この発明の特長は、その前工程において動的再結晶微細化を極限まで進めた上で、静的再結晶微細化を追加させるので、格段に微細化が進展するところにある。これは、後述するように、静的再結晶過程に入る前のオーステナイト粒径が20μｍ以下と極めて微細粒であることと、動的再結晶粒を出発材としていることによるものと考えられる。

【００１９】

この工程での要件としては、累積圧下率と圧延中の冷却速度が重要である。図４は、この発明の範囲の成分鋼に関する第２段階圧延工程における累積圧下率と圧延中の冷却速度が、最終組織のフェライト粒径に及ぼす影響を示すものである。図４から明らかなように

、累積圧下率50%以上で、かつ、圧延中の冷却速度が５℃/s以上の条件としたときに、最終組織のフェライト粒径が最も微細化することがわかる。ここでの累積圧下率の効果は、蓄積歪エネルギーを高め、静的再結晶粒数を増加させる作用を通じて最終組織の微細化に寄与するものと思われる。

なお、図４から、冷却速度が５℃/s未満の遅い条件では、累積圧下率を高めても最終組織のフェライト粒径の微細化が進展しなくなることがわかるが、これは、冷却速度が遅い場合には、圧延後の回復などが生じ、蓄積エネルギーがロスするためである。

【００２０】

次に、第２段階圧延後の冷却工程では、動的再結晶微細化と静的再結晶微細化を積み重ねて極限まで微細化させたオーステナイト粒をγ→α変態させ、変態微細化を図ることと変態後のα粒成長を抑制することが重要となる。また、ここは第２相を目標の組織に制御する工程でもある。図５は、この発明の範囲を成分鋼を用いて調査した、最終組織のフェライト粒径と圧延終了温度から600 ℃までの冷却速度の関係を示すものである。図５から、最終の平均フェライト粒径を２μｍ 未満にするためには、20℃/s以上の冷却速度が必要であることがわかる。

【００２１】

なお、20℃/s以上の冷却速度で冷却した場合でも、最終組織のフェライト分率は十分に70%以上にすることができる。これは、変態前のオーステナイト粒が極めて微細であることと、第２段階の圧延工程で蓄積された歪エネルギーによってα変態核数が著しく増大しており、速い冷却速度条件でもγ→α変態が加速的に進行するためである。しかし、極度に大きな冷却速度とした場合には、フェライト分率が低下する場合がある。好適な冷却速度は30～200 ℃/sの範囲である。

【００２２】

また、フェライト粒微細化のために重要な温度区間は、圧延終了から600 ℃までであるが、600 ℃未満の温度区間は第２相を制御する上で重要な区間であり、目的の組織とするためにはこの区間での冷却停止温度を調整する必要がある。この目的のための冷却停止温度は、化学成分によって異なるものの、概略的には次ようである。

すなわち、第２相をパーライトとする場合の冷却停止温度は約550 ～590 ℃、ベイナイト及びアシキュラーフェライトとする場合には470 ～530 ℃、残留オーステナイト相を得たい場合には400 ～450 ℃、マルテンサイト相を得たい場合には400 ℃未満がそれぞれの冷却停止温度の好適範囲である。また、第２相が２種以上の異なる相を持つ複合相とする場合には、圧延終了温度から600 ℃まで20℃/s以上の冷却速度で冷却した後、600 ℃未満の温度範囲において上記したそれぞれの相での好適な温度範囲における冷却速度を調整することによって得ることができる。

【００２３】

かくして、この発明の範囲の成分鋼を用い、上記した各段階における好適な圧延条件を採択することにより、平均フェライト粒径が２μｍ 未満であり、ポリゴナルフェライト分率が70%以上でかつ、第２相が種々に異なるミクロ組織を持つ熱延鋼板を製造することができる。

【００２４】

次に、この発明において成分組成範囲について限定した理由について述べる。Ｃは、初期オーテナイト粒の微細化並びに圧延中及び圧延後の微細化を進展する上で必要なTiＣ粒子を生成するために必要であるばかりでなく、第２相を形成させ鋼の強度上昇を図るために必要である。前者の目的のために必要なＣ量は、重量比で少なくとも添加したTi量の1/4倍以上であることが望ましく、かつ、後者の目的に対してはTiＣとして結合するＣ量を除いた余剰のＣ量が少なくとも0.03wt%以上は必要である。したがって、この発明の目的とする２μｍ 以上の超微細フェライト粒径でかつ490 MPa 級以上の強度を得るために必要なＣ量の下限は0.05wt%である。一方、Ｃ量が0.30wt%を超えるとフェライト分率を70%以上とすることができなくなり、延性、じん性、耐疲労特性、耐衝突特性が劣化する。最も好ましい範囲は0.07～0.25%の範囲である。

【００２５】
Siは、固溶強化元素として、強度上昇に寄与すること、冷却工程でのフェライト変態を加速し、フェライト分率を高める上で効果的であるばかりでなく、この過程で生じる第２相中へのＣ濃化を進展させて強度－延性バランス並びに強度じん性バランスの改善に寄与すること、成分パラメータＰmpを低下させることを通じて動的再結晶を起こし易くさせ、最終組織のフェライト粒の微細化を助長し、延性、じん性、耐疲労特性、耐衝突特性を向上させる極めて有益な成分である。しかし、2.5 wt%以上になるとAr_3 変態点が著しく高くなり、この発明における好適な圧延温度範囲が狭くなること及びTiC粒子を粗大化させる作用が大きくなり過ぎて逆に結晶粒の微細化が阻害される弊害が生じるので、上限を2.5 wt%とした。なお、最も好適な範囲は1.0 ～2.0 wt%の範囲である。

【００２６】
Mnは適量使用すればAr_3 変態点を低下させる作用と、Pmp を低下させる作用を通じて結晶粒の微細化を助長する有益な作用を発揮する。また、第２相のマルテンサイト化および残留γ相化を進展させる作用を通じて、強度－延性バランス、強度－疲労強度バランスを高める作用を有する。この有益な作用を発揮させるためには少なくとも0.7 %以上が必要である。しかし、3.0 %を超えるとAr_3 点が低下しすぎてフェライト分率70%以上を確保できなくなり、かえって強度－延性バランスが悪化するので上限を3.0 %とした。もっとも好適な範囲は1.0 ～2.5 %の範囲である。

【００２７】
Tiは、TiC粒子による微細化を利用するこの発明では必須の成分である。この作用を発揮させるうえで必要なTi量の下限は0.05%であり、これに満たない範囲では２μm 未満の超微細フェライト粒径を得ることはできない。また、このTiの作用は添加量が多くなってくると次第に飽和し、0.3 wt%を超えて添加してもそれ以上の効果を期待することができなくなる。そのため、添加量の範囲を0.05～0.3 wt%の範囲とした。好ましい範囲は0.10～0.20%である。なお、Ti添加量はＣ量との関係において留意すべき点がある。すなわち、この発明は、添加したTi量のほとんどをTiC粒子として存在させることを基本としている。TiC生成のためのＣ量に見合う以上に余剰のTiが存在する条件、すなわち、固溶状態のTiが存在する条件では、固溶Tiによる再結晶性の阻害作用が現れるので、動的再結晶及び静的再結晶微細化の積み上げにより超微細化を達成するこの発明では回避するのが望ましい。したがって、Ti量とＣ量は重量比でTi＜４×Ｃの関係を満たすことが望ましい。

【００２８】
Ｐは、結晶粒界で強い偏析を起こした場合、粒界強度を低下させるので特にじん性に悪影響が現れる。この発明の鋼は、結晶粒径が極めて微細であるために、従来の鋼よりもこのようなＰの粒界偏析を起こし難い。Ｐ量が0.05wt%を超えるとその悪影響を避け難くなるので、Ｐ量は0.05wt%以下に制限した。下限は、経済性の観点から 0.001wt%とするのが好ましい。さらに好ましい範囲は0.015 wt%未満である。
Ｓは、硫化物を形成して鋼の清浄度を悪化させ、耐疲労特性、じん性、耐衝突特性等に悪影響を及ぼす。この悪影響を避けるために上限は0.025 wt%とした。さらに好ましい範囲は0.015 wt%未満である。なお、耐サワー用のラインパイプなどに用いる場合には、硫化物の存在が耐ＨＩＣ特性に著しい悪影響を及ぼすので、これを避けるためにはＳ量は0.005 wt%以下とすることが望ましい。下限は経済性の観点から0.0005wt%とするのが好ましい。
Alは、脱酸成分として通常用いられる範囲で添加しても何の問題もない。一方、この発明の鋼はSi及びTiを比較的多く添加するので、その一部を利用してSi脱酸、あるいはAl－Si複合脱酸、もしくはSi－Ti脱酸を行うこともできる。したがって、このような場合には、Al添加量を極めて抑制しても清浄鋼を製造することができる。したがって、Alは0.0005wt%以上添加することとした。上限は経済性の観点から0.1 wt%に定めた。

【００２９】
以上がこの発明の鋼における基本成分であるが、この発明では、以上の成分の他に必要に応じCu、Ni、Cr、Moの一種又は二種以上、Nb、Zr、Taの一種又は二種以上、Ca、Ｂを含有

させても良い。
Cu、Ni、Cr、Moは、Mnと同じようにAr_3 変態点を低下させる作用及びＰmpを低下させる作用を通じてこの発明の効果を引き出す上で有効である。これらの添加量は一種又は二種を合計して2.5 wt%以下の範囲が望ましい。この範囲を超えて添加するとMnの上限を超えた場合と同様に悪影響が生じる。好ましい範囲は2.0wt%以下である。
Nb、Zr、Taは、TiＣと同様の炭化物と形成して結晶粒微細化に有効に作用するので、一種若しくは二種以上を合計して0.3 wt%以下の範囲で添加することができる。しかし、0.3 wt%を超えて添加するとTiの上限を超えた場合と同様に再結晶性に悪影響が生じる。好ましい範囲は0.2 wt%以下である。
Caは、硫化物の形状制御を通じて加工性を改善する作用があり、0.050 wt%以下の範囲で添加することができる。しかし、これを超えると却って清浄度を害する。好ましい範囲は0.01wt%以下である。
Ｂは、Ar_3 変態点を低下させる作用を通じてこの発明の効果を助長する作用を有し、0.010 wt%以下の範囲で添加することができる。しかし、0.010 wt%を超えると再結晶性に悪影響が生じるので避けなければならない。好ましい範囲は５～30wtppm である。
【００３０】
Ｐmpの規制は、この発明において極めて重要な点である。その理由は、先に述べたように、この発明が動的再結晶及び静的再結晶による微細化を極限まで進めることを目的として構成されたものであって、その基本的条件をこの因子の規制によって確保しているからである。Ｐmpが1499以上であると第１段階の圧延工程及び第２段階の圧延工程におけるオーステナイト粒の微細化が不十分となり、最終組織のフェライト粒の粒径を２μｍ 未満にすることができなくなる。一方、Ｐmpを1499未満の領域で低下していくと次第にその効果は飽和してくるので、必要以上に低下させる必要はない。最も好ましい範囲は1440～1485の範囲である。
【００３１】
次に、圧延条件の数値規制理由について述べる。
スラブ加熱温度（ＳＲＴ）は、初期オーステナイト粒径を微細化するうえで1100℃以下とすることが必要である。この理由は、1100℃を超えるとTiＣ粒子の溶解が始まって初期オーステナイト粒の粗大化が生じ、以降の工程での再結晶微細化が有効に進展しなくなるためである。ＳＲＴの下限を950 ℃と定めたのは、次に述べる第１段階の圧延工程を動的再結晶温度範囲で行うために必要な要件である。また、加熱時間を10分以上とする理由は、鋼片内の温度を均一にし、最終組織の均一性を確保するために必要な条件だからである。なお、この発明の製造条件を満たした場合の加熱工程終了時点での初期オーステナイト粒径は20μｍ 以下を達成することができる。
【００３２】
第１段階の圧延工程は、動的再結晶によるオーステナイト粒の微細化を進行させる工程であり、このために望ましい圧延温度範囲は950 ～1100℃の領域である。1100℃を超える温度域での圧下によっても動的再結晶は生じるものの、オーステナイト粒を有効に微細化させることはできない。ただし、1100℃を超える温度域での圧下を予め行っても何か問題を生じることはない。一方、950 ℃未満の温度領域では動的再結晶が起こり難くなり、静的再結晶温度域となるので次に述べる第２段階の圧延工程に該当する。
【００３３】
第１段階の圧延工程において必要な要件は上記した950 ～1100℃の領域で１パス当たりの圧下量が20%以上である圧延を少なくとも１回以上施すことである。１パス当たりの圧下量が20%に満たない場合には動的再結晶微細化が進行せず最終組織のフェライト粒径を２μｍ 未満にすることができなくなる。なお、上述の条件で少なくとも１回の動的再結晶を生じさせると、オーステナイト粒の微細化は十分に進行する。これは、この発明が、加熱段階で初期オーステナイト粒を十分に微細化していることと、動的再結晶後のオーステナイト粒が安定で粒成長を起こし難いためである。なお、第１段階の圧延工程でこの発明の製造条件を満たす圧下を複数回行えば、更に微細化が進行するが、回数を重ねるに従って

効果は飽和してくるので、むやみにパス数を多くする必要はなく、５パス以下で十分である。また、１パス当たりの圧下率は大きいほど微細化に有効であるが、この発明の鋼は、上述したＰmpの効果とTiC粒子による初期オーステイナイト粒の微細化効果によって従来の鋼よりもはるかに動的再結晶微細化が生起し易くしてあるので、従来鋼よりも低い圧下率範囲、大きい歪速度範囲、低い温度領域においても動的再結晶微細化が進行する。この発明の条件を満たした場合の第１段階の圧延工程終了時点でオーステナイト粒は20μｍ以下に達する。

【００３４】

第２段階の圧延工程は、静的再結晶による微細化を進行させる過程である。この第２段階の圧延工程の意義は、上述した動的再結晶による微細化を繰り返しても到達できるオーステナイト粒に限界が生じるために、更に、超微細粒領域、すなわちオーステナイト粒として５μｍ以下まで再結晶微細化を進行させる点にある。この工程は、750 ℃以上950 ℃未満の温度範囲で行うのが好適である。950 ℃以上は上述した動的再結晶範囲に該当するので第２段階圧延工程には含まれない。一方、750 ℃未満の温度範囲では難再結晶領域となるので回避しなければならない。また、この工程での必要な要件は、上記した温度範囲での累積圧下率であり、50%以上とすることが必要である。これに満たない場合には静的再結晶微細化が不十分となる。また、１パス当たりの圧下量を20%以上に定める理由は、この条件が満たされない時には歪エネルギーの蓄積効果が小さくなってたとえ累積圧下率が本発明範囲になったとしても第２段階圧延工程後の静的再結晶微細化が生じ難くなり最終フェライト粒径を２μｍ未満にすることができなくなるからである。さらに、重要な要件はこの温度区間において施される圧延パスと次パスとの間における冷却速度であり、少なくとも５℃/s以上とすることが必要である。これに満たない冷却速度では、パス間において歪の回復が生じて歪エネルギー累積効果が生じない。したがって、この圧延工程内でパス間の冷却速度が５℃/sに満たない区間が生じた場合には、その冷却区間の直前の圧下分を累積圧下率に加えてはならない。パス間の冷却速度が大きくなると歪蓄積効果は大きくなって行くが、次第に飽和するので必要以上に大きくしなくても良い。最も好ましいのは、10℃/s～50℃/sである。

【００３５】

第２段階圧延工程後の冷却工程では、平均冷却速度を20℃/s以上とすることが必要であり、これに満たない場合には最終組織のフェライト粒径を２μｍ未満にすることはできない。

また、必要な冷却温度区間は、第２段階圧延工程終了後から６００℃以下の温度区間であり、この温度区間より高い領域で冷却を停止したならば変態後のα粒の成長が生じて最終フェライト粒径を２μｍ未満にすることができない。なお、上記の冷却速度は圧延終了から600 ℃以下の温度区間での平均冷却速度であるから、この条件が満たされるならばこの区間中の短時間の20℃/s未満の区間があっても差し支えない。平均冷却速度の好ましい範囲は、30～150 ℃/sの範囲であるが、200 ℃/s以上の冷却速度とするとフェライト変態の進行が抑制され、最終フェライト分率を70%以上とするこの発明の組織が得られなくなる。

【００３６】

600 ℃未満の温度領域での冷却速度並びに冷却停止温度、あるいは巻取温度などについてはこの発明では特に規制しない。この理由は、フェライト粒径２μｍ未満、かつ、ポリゴナルフェライト分率70%以上の最終組織を得るための必要要件ではないためである。600 ℃未満の温度領域の温度履歴が影響するのは第２相であり、これを目的に応じて調整する場合に以上の因子を規制する。これらの方法については既に述べた。

【００３７】

【実施例】

（実施例１）

次に実施例によってこの発明をさらに具体的に説明する。表１、表２に示す種々の成分組成になるスラブを、1080℃で30min 加熱保持し、次いで、第１段階の圧延工程として950

～1050℃の温度範囲で１パス当たりの圧下量が25～40％の圧下を３回（この発明の条件を満たすパス回数が３回）加え、次いで、第２段階の圧延工程として800 ～925 ℃の温度範囲、パス後の最小冷却速度10℃/sで冷却しながら１パス当たりの圧下量が25～40％で、累計圧下率が88％の圧延を施して（総パス回数７回、この発明の条件を満たすパス回数が７回）、800 ℃で仕上げ（仕上板厚3.0 mm）、その後は60℃/s以上の冷却速度で450 ℃まで冷却し、420 ℃で巻き取った。

かくして得られた3.0 mm厚さの熱延鋼板について、酸洗した後、ポリゴナルフェライトの体積率、フェライト結晶粒径を測定するとともに、JIS ５号試験片による引張り特性、両振り曲げ試験法による疲労特性、原厚まま２ｍｍＶノッチシャルピー試験片による延性一脆性遷移温度を調査した。これらの調査結果を表３、表４に示す。また、穴広げ性について調べ、その結果を表５、表６に示す。

【００３８】

【表３】

実施例１のフェライト結晶粒径、フェライト分率、機械的性質

No.	鋼	da μm	S_α %	第２相組織	YS MPa	TS MPa	YR	El %	TS×El MPa %	FL MPa	FL/TS	vTr_s ℃
1	A 1	18.00	>70	B	540	678	0.80	23.3	15809	303	0.447	-60
2	A 2	17.00	〃	B	559	701	0.80	22.7	15900	314	0.449	-60
3	A 3	16.00	〃	B	615	769	0.80	20.8	16000	346	0.450	-60
4	A 4	15.00	〃	B	582	726	0.80	22.2	16109	328	0.452	-70
5	A 5	14.00	〃	B	602	749	0.80	21.7	16230	340	0.453	-70
6	A 6	13.00	〃	B	683	848	0.81	19.3	16365	386	0.455	-80
7	A 7	12.00	〃	B	718	889	0.81	18.6	16516	407	0.458	-80
8	A 8	11.50	〃	B	690	853	0.81	19.5	16598	391	0.459	-90
9	B 1	18.00	〃	B	543	682	0.80	23.2	15809	305	0.447	-50
10	B 2	12.00	〃	B	569	702	0.81	23.5	16516	322	0.458	-70
11	B 3	8.00	〃	M + B	636	771	0.82	22.5	17381	363	0.471	-100
12	B 4	5.90	〃	M + B	616	733	0.84	24.8	18156	354	0.482	-120
13	B 5	4.70	〃	M + B	647	761	0.85	24.7	18817	374	0.492	-130
14	B 6	4.60	〃	M + B	726	858	0.85	22.0	18883	423	0.493	-130
15	B 7	4.50	〃	M + B	758	897	0.84	21.1	18952	444	0.494	-130
16	B 8	4.40	〃	M + B	729	860	0.85	22.1	19023	426	0.495	-130
17	C 1	10.00	〃	B	561	686	0.82	24.6	16883	318	0.463	-70
18	C 2	4.00	〃	M + B	619	716	0.86	27.0	19333	358	0.500	130
19	C 3	2.50	〃	M + B	701	790	0.89	26.7	21099	416	0.526	-160
20	C 4	1.70	〃	M + B + γ	699	757	0.92	30.3	22893	419	0.553	<-190
21	C 5	1.40	〃	M + B + γ	736	784	0.94	30.5	23935	446	0.569	<-190
22	C 6	1.20	〃	M + B + γ	829	885	0.94	28.1	24838	516	0.583	<-190
23	C 7	1.10	〃	M + B + γ	867	924	0.94	27.5	25380	546	0.591	<-190
24	C 8	1.10	〃	M + B + γ	842	892	0.94	28.4	25380	527	0.591	<-190

【００３９】
【表４】

実施例１のフェライト結晶粒径、フェライト分率、機械的性質

No.	鋼	d a μm	S_{α} %	第２相組織	YS MPa	TS MPa	YR	E_l %	TS×El MPa %	FL MPa	FL/TS	vTr_s ℃
25	D 1	7.00	〃	M + B	576	691	0.83	25.6	17706	328	0.476	-100
26	D 2	3.50	〃	M + B	626	718	0.87	27.6	19794	364	0.507	-120
27	D 3	2.30	〃	M	708	792	0.89	27.1	21458	421	0.532	-150
28	D 4	1.50	〃	M + B + γ	711	760	0.94	31.0	23553	428	0.563	<-190
29	D 5	1.20	〃	M + B + γ	750	787	0.95	31.6	24838	458	0.583	<-190
30	D 6	1.00	〃	M + B + γ	850	892	0.95	29.2	26000	535	0.600	<-190
31	D 7	0.90	〃	M + B + γ	892	933	0.96	28.6	26721	570	0.611	<-190
32	D 8	0.90	〃	M + B + γ	862	895	0.96	29.9	26721	547	0.611	<-190
33	E 1	6.00	〃	M	582	692	0.84	26.2	18110	333	0.482	-110
34	E 2	3.30	〃	M	630	719	0.88	27.8	20006	367	0.510	-120
35	E 3	2.20	〃	M	712	794	0.90	27.3	21656	424	0.535	-150
36	E 4	1.40	〃	M + B + γ	715	758	0.94	31.6	23935	431	0.569	<-190
37	E 5	1.10	〃	M + B + γ	760	790	0.96	32.1	25380	467	0.591	<-190
38	E 6	0.90	〃	M + B + γ	861	893	0.96	29.9	26721	545	0.611	<-190
39	E 7	0.80	〃	M + B + γ	907	937	0.97	29.4	27574	584	0.624	<-190
40	E 8	0.80	〃	M + B + γ	876	897	0.98	30.7	27574	560	0.624	<-190
41	F 1	5.50	〃	M	587	693	0.85	26.5	18352	337	0.485	-90
42	F 2	3.10	〃	M + B	634	720	0.88	28.1	20239	370	0.514	-110
43	F 3	2.10	〃	M + B + γ	714	792	0.90	27.6	21868	426	0.538	-140
44	F 4	1.35	〃	M + B + γ	720	760	0.95	31.7	24142	435	0.572	<-190
45	F 5	1.05	〃	M + B + γ	764	790	0.97	32.5	25679	470	0.575	<-190
46	F 6	0.85	〃	M + B + γ	868	895	0.97	30.3	27129	552	0.617	<-190
47	F 7	0.75	〃	M + B + γ	914	937	0.98	30.0	28063	591	0.631	<-190
48	F 8	0.76	〃	M + B + γ	883	900	0.98	31.1	27961	566	0.629	<-190

【００４０】
【表５】

〔表５〕

No.	鋼	λ %	TS×λ MPa %	発明区分			
				成分	熱延条件	粒径	α分率
1	A 1	50.5	34237	×	○	×	○
2	A 2	49.4	34602	×	○	×	○
3	A 3	45.5	35000	×	○	×	○
4	A 4	48.8	35437	×	○	×	○
5	A 5	48.0	35921	×	○	×	○
6	A 6	43.0	36459	×	○	×	○
7	A 7	41.7	37063	×	○	×	○
8	A 8	43.9	37394	×	○	×	○
9	B 1	50.2	34237	×	○	×	○
10	B 2	52.8	37063	×	○	×	○
11	B 3	52.6	40523	×	○	×	○
12	B 4	59.5	43624	×	○	×	○
13	B 5	60.8	46267	×	○	×	○
14	B 6	54.2	46533	×	○	×	○
15	B 7	52.2	46808	×	○	×	○
16	B 8	54.8	47092	×	○	×	○
17	C 1	56.2	38532	×	○	×	○
18	C 2	67.5	48333	×	○	×	○
19	C 3	70.2	55398	×	○	×	○
20	C 4	82.7	62571	○	○	○	○
21	C 5	85.1	66742	○	○	○	○
22	C 6	79.5	70353	○	○	○	○
23	C 7	89.5	72518	○	○	○	○
24	C 8	81.3	72518	○	○	○	○

【００４１】
【表６】

〔表６〕

No.	鋼	λ %	TS×λ MPa %	発明区分			
				成分	熱延条件	粒径	α分率
25	Ｄ１	60.6	41825	×	○	×	○
26	Ｄ２	69.8	50175	×	○	×	○
27	Ｄ３	71.8	56834	×	○	×	○
28	Ｄ４	85.8	65213	○	○	○	○
29	Ｄ５	89.4	70353	○	○	○	○
30	Ｄ６	84.1	75000	○	○	○	○
31	Ｄ７	83.5	77885	○	○	○	○
32	Ｄ８	87.0	77885	○	○	○	○
33	Ｅ１	62.8	43440	×	○	×	○
34	Ｅ２	70.9	51026	×	○	×	○
35	Ｅ３	72.6	57624	×	○	×	○
36	Ｅ４	88.0	66742	○	○	○	○
37	Ｅ５	91.8	75218	○	○	○	○
38	Ｅ６	87.2	77885	○	○	○	○
39	Ｅ７	86.8	81295	○	○	○	○
40	Ｅ８	90.6	81295	○	○	○	○
41	Ｆ１	64.0	44408	×	○	×	○
42	Ｆ２	72.1	51958	×	○	×	○
43	Ｆ３	73.8	58470	×	○	×	○
44	Ｆ４	88.8	67569	○	○	○	○
45	Ｆ５	93.3	73715	○	○	○	○
46	Ｆ６	88.8	79515	○	○	○	○
47	Ｆ７	88.9	83251	○	○	○	○
48	Ｆ８	82.1	82844	○	○	○	○

【００４２】

（実施例２）

表７に示す種々の成分組成になるスラブを、種々の条件で加熱保持し、次いで、第１段階の圧延工程を行い、加え、次いで、第２段階の圧延工程を施し、その後は冷却した。これらの加熱、第１段階の圧延、第２段階の圧延、冷却の各条件について表８に示す。

かくして得られた3.0 mm厚さの熱延鋼板について、酸洗した後、ポリゴナルフェライトの体積率、フェライト結晶粒径を測定するとともに、JIS ５号試験片による引張り特性、両振り曲げ試験法による疲労特性、原厚まま２ｍｍＶノッチシャルピー試験片による延性一脆性遷移温度を調査した。これらの調査結果を表９に示す。また、穴広げ性について調べ、その結果を表10に示す。

【００４３】

【表７】

鋼	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	Ti	Nb	P	S	Al	N	その他	Pmp	成分	熱延条件
G 1	0.030	1.81	2.45	0.01	0.02	0.03	0.007	0.205	0.025	0.015	0.003	0.032	0.0025	−	1500.9	×	○
G 2	0.060	1.80	2.40	1.02	0.01	0.91	0.005	0.201	0.024	0.017	0.002	0.045	0.0023	−	1494.7	○	○
G 3	0.140	1.83	1.81	0.55	0.25	0.31	0.006	0.233	0.026	0.014	0.003	0.042	0.0028	−	1496.8	○	○
G 4	0.250	1.29	1.02	0.01	0.83	0.02	0.008	0.229	0.025	0.016	0.002	0.048	0.0026	−	1497.6	○	○
G 5	0.350	1.53	1.02	0.02	0.02	0.04	0.007	0.232	0.023	0.012	0.002	0.036	0.0024	−	1484.2	×	○
H 1	0.200	0.01	2.90	0.01	0.01	0.03	0.006	0.220	0.052	0.013	0.002	0.052	0.0020	−	1509.7	×	○
H 2	0.203	0.70	2.70	0.50	0.55	0.28	0.009	0.223	0.053	0.012	0.002	0.050	0.0015	−	1496.9	○	○
H 3	0.206	1.36	1.95	0.45	0.02	0.03	0.006	0.221	0.055	0.011	0.001	0.035	0.0020	−	1495.5	○	○
H 4	0.080	2.41	0.75	0.01	0.03	0.02	0.008	0.220	0.052	0.010	0.002	0.046	0.0020	−	1498.0	○	○
H 5	0.080	2.70	0.83	0.02	0.02	0.04	0.007	0.223	0.051	0.015	0.002	0.045	0.0026	−	1493.9	×	○
I 1	0.140	2.02	0.50	0.01	0.01	0.03	0.008	0.175	0.075	0.006	0.002	0.002	0.0038	−	1500.0	×	○
I 2	0.160	2.05	0.80	0.02	0.01	0.03	0.009	0.177	0.074	0.007	0.002	0.001	0.0039	−	1496.6	○	○
I 3	0.140	2.13	1.70	0.01	0.02	0.03	0.007	0.176	0.076	0.005	0.004	0.001	0.0042	−	1492.8	○	○
I 4	0.140	1.80	2.50	0.01	0.03	0.02	0.007	0.178	0.077	0.004	0.001	0.001	0.0049	−	1493.2	○	○
I 5	0.160	1.35	3.30	0.02	0.02	0.04	0.006	0.170	0.072	0.007	0.002	0.003	0.0043	−	1493.6	×	○
J 1	0.140	1.80	1.55	0.02	0.01	0.01	0.005	0.133	0.105	0.030	0.002	0.052	0.0028	−	1497.8	○	○
J 2	0.151	1.82	1.54	0.02	0.50	0.01	0.006	0.136	0.099	0.060	0.006	0.045	0.0035	−	1497.9	×	○
K 3	0.140	1.85	1.51	0.01	0.01	0.30	0.009	0.225	<0.001	0.011	0.015	0.003	0.0046		1496.4	○	○
K 4	0.140	1.81	1.48	0.01	0.02	0.02	0.007	0.236	<0.001	0.011	0.030	0.002	0.0040	−	1498.0	×	○
L	0.150	1.75	1.58	0.01	0.01	0.02	0.132	0.218	<0.001	0.006	0.005	0.001	0.0041	−	1497.7	○	○
M	0.206	1.42	1.97	0.01	0.02	0.03	0.006	0.220	<0.001	0.006	0.001	0.032	0.0029	Ca=0.0053	1495.3	○	○
N	0.138	1.88	1.89	0.01	0.25	0.01	0.006	0.225	<0.001	0.004	0.002	0.049	0.0035	Ta=0.0028	1494.3	○	○
O	0.145	1.85	2.43	0.01	0.03	0.02	0.007	0.188	<0.001	0.004	0.001	0.058	0.0048	Zr=0.0046	1492.5	○	○
P	0.144	1.86	1.80	0.01	0.25	0.01	0.006	0.236	<0.001	0.005	0.003	0.002	0.0036	B=0.0012	1494.5	○	○

【００４４】

【表８】

実施例	加熱工程		第1段階圧延工程				第2段階圧延工程							冷却工程			
	加熱温度 ℃	加熱時間 min	圧延温度 ℃	総パス回数 回	パス当たりの圧下率 %	発明条件を満たすパス回数 回	圧延温度 ℃	総パス回数 回	パス当たりの圧下率 %	パス後の最小冷却速度 ℃／s	発明条件を満たす累計パス回数 回	発明条件を満たすパスの累計圧下率 %	仕上板厚 mm	圧延終了温度 ℃	冷却速度 ℃/s	冷却停止温度 ℃	巻取温度 ℃
1&2	1080	30	1000～1050	3	25～40	3	800～925	7	25～40	10.0	7	88	3.0	800	60	450	420

【００４５】
【表９】

実施例２のフェライト結晶粒径、フェライト分率、機械的性質

No.	鋼	da μm	Sα %	第２相組織	YS MPa	TS MPa	YR	El %	TS×El MPa %	FL MPa	FL/TS	vTrs ℃
49	G１	26.00	100	A,F	653	829	0.788	18.4	15650	364	0.439	-70
50	G２	1.25	90	M＋A,F	831	892	0.931	27.6	24144	516	0.579	<-190
51	G３	0.98	88	M＋B＋γ	846	884	0.957	29.6	25527	532	0.602	<-190
52	G４	1.11	78	M＋B	772	806	0.958	31.4	23750	475	0.590	<-190
53	G５	2.56	65	P＋B＋M	795	908	0.875	23.1	17963	477	0.525	-110
54	H１	10.10	65	A,F＋M	732	900	0.813	18.7	13737	417	0.463	-90
55	H２	1.06	85	M	914	978	0.934	26.2	24641	581	0.594	<-190
56	H３	0.95	88	M＋B＋γ	882	926	0.952	28.4	25715	561	0.605	<-190
57	H４	1.05	95	M	698	707	0.987	36.3	25905	421	0.595	<-190
58	H５	4.70	90	M	612	717	0.854	26.2	18342	353	0.492	-110
59	I１	10.00	93	A,F＋B	560	684	0.818	24.7	16676	317	0.463	-100
60	I２	0.99	93	B＋γ	761	779	0.976	33.4	26036	468	0.601	<-190
61	I３	0.90	90	M＋B＋γ	865	898	0.963	29.8	26316	549	0.611	<-190
62	I４	0.95	83	M＋B	937	995	0.942	26.5	25176	602	0.605	<-190
63	I５	2.85	51	B	922	1074	0.858	19.1	16047	557	0.518	-120
64	J１	1.22	88	M＋B＋γ	785	832	0.943	29.7	24133	484	0.581	<-190
65	J２	2.29	90	M＋B＋γ	738	829	0.890	25.9	20996	400	0.483	-130
66	K３	1.23	86	M＋B＋γ	783	830	0.943	29.7	23884	460	0.554	<-190
67	K４	2.10	87	M＋B＋γ	727	809	0.899	27.0	21108	395	0.489	-80
68	L	0.99	89	M＋B＋γ	816	848	0.962	30.7	26067	510	0.601	<-190
69	M	0.97	82	M＋B＋γ	887	935	0.949	28.0	26205	564	0.603	<-190
70	M	0.96	93	M＋B＋γ	861	901	0.956	29.2	26275	544	0.604	<-190
71	O	0.95	92	M＋B＋γ	936	993	0.942	26.5	26346	601	0.605	<-190
72	P	0.98	90	M＋B＋γ	850	889	0.956	29.4	26135	535	0.602	<-190

【００４６】
【表１０】

No.	鋼	λ %	TS×λ MPa %	発明区分			
				成分	熱延条件	粒径	α分率
49	G 1	38.8	32126	×	○	×	○
50	G 2	77.8	69369	○	○	○	○
51	G 3	85.5	75541	○	○	○	○
52	G 4	89.7	72288	○	○	○	○
53	G 5	60.6	55000	×	○	×	×
54	H 6	42.7	38448	×	○	×	×
55	H 7	75.1	73469	○	○	○	○
56	H 8	82.5	76386	○	○	○	○
57	H 1	104.3	73715	○	○	○	○
58	H 2	64.5	46267	×	○	×	○
59	I 1	56.3	38532	×	○	×	○
60	I 2	96.6	75269	○	○	○	○
61	I 3	86.7	77885	○	○	○	○
62	I 4	76.8	76386	○	○	○	○
63	I 5	49.6	53259	×	×	×	×
64	J 1	84.1	69952	○	○	○	○
65	J 2	52.6	43605	×	○	×	○
66	K 3	84.0	69756	○	○	○	○
67	K 4	42.0	33959	×	○	×	○
68	L	88.8	75269	○	○	○	○
69	M	81.1	75818	○	○	○	○
70	N	84.5	76100	○	○	○	○
71	O	76.9	76386	○	○	○	○
72	P	85.0	75541	○	○	○	○

【００４７】
（実施例３）
表７のＩ３の成分組成になるスラブを、種々の条件で加熱保持し、次いで、第１段階の圧延工程を行い、加え、次いで、第２段階の圧延工程を施し、その後は冷却した。これらの加熱、第１段階の圧延、第２段階の圧延、冷却の各条件について表１１に示す。
かくして得られた熱延鋼板について、酸洗した後、ポリゴナルフェライトの体積率、フェライト結晶粒径を測定するとともに、JIS ５号試験片による引張り特性、両振り曲げ試験法による疲労特性、原厚まま２ｍｍＶノッチシャルピー試験片による延性一脆性遷移温度を調査した。これらの調査結果を表12に示す。また、穴広げ性について調べ、その結果を表13に示す。
【００４８】
【表１１】

No.	鋼	加熱工程		第1段階圧延工程				第2段階圧延工程						冷却工程				発明区分
		加熱温度 ℃	加熱時間 min	圧延温度 ℃	総パス回数 回	パス当たりの圧下率 %	発明条件を満たすパス回数 回	圧延温度 ℃	総パス回数 回	パス当たりの圧下率 %	パス後の最小冷却速度 ℃/s	発明条件を満たすパス回数 回	発明条件を満たすパスの累計圧下率 %	仕上板厚 mm	圧延終了温度 ℃	冷却速度 ℃/s	冷却停止温度 ℃	巻取温度 ℃	
68	13	900	30	800～880	3	25～40	0	700～750	7	25～40	10.0	7	88	3.0	700	80	450	420	×
69	13	1050	5	930～1000	3	25～40	3	750～825	7	25～40	10.0	7	88	3.0	750	80	450	420	×
70	13	1050	30	950～1000	3	25～40	3	750～825	7	25～40	10.0	7	88	3.0	750	80	450	420	○
71	13	1080	30	1000～1050	3	25～40	3	800～925	7	25～40	10.0	7	88	3.0	800	60	450	420	○
72	13	1200	30	1050～1150	3	25～40	2	800～925	7	25～40	10.0	7	88	3.0	800	80	450	420	×
73	13	950	30	850～900	3	25～40	0	725～800	7	25～40	10.0	7	88	3.0	725	80	450	420	×
74	13	1050	30	950～1000	7	15	0	750～825	7	25～40	10.0	7	88	3.0	750	80	450	420	×
75	13	1050	30	950～1000	3	15～40	1	750～825	7	25～40	10.0	7	88	3.0	750	80	450	420	○
76	13	1050	30	950～1000	3	25～40	3	750～825	7	15	8.5	0	0	8.0	750	60	450	420	×
77	13	1050	30	950～1000	3	25～40	3	750～825	7	20～40	2.5	3	64	3.0	750	60	450	420	×
78	13	1050	30	950～1000	3	25～40	3	750～825	2	20～25	7.5	2	40	15.0	750	40	450	420	×
79	13	1050	30	950～1000	3	25～40	3	750～825	3	20～35	7.5	3	60	9.0	750	60	450	420	○
80	13	1050	30	950～1000	3	25～40	3	750～825	3	20～35	10.0	3	88	3.0	750	10	450	420	×
81	13	1050	30	950～1000	3	25～40	3	750～825	3	20～35	10.0	3	88	3.0	750	40	650	640	×
82	13	1050	30	950～1000	3	25～40	3	750～825	3	20～35	10.0	3	88	3.0	750	25	580	560	○
83	13	1050	30	950～1000	3	25～40	3	750～825	3	20～35	10.0	3	88	3.0	750	40	500	490	○
84	13	1050	30	950～1000	3	25～40	3	750～825	3	20～35	10.0	3	88	3.0	750	80	350	350	○

【００４９】
【表１２】

実施例３のフェライト結晶粒径、フェライト分率、機械的性質

No.	鋼	d_{α} μm	S_{α} %	第２相組織	YS MPa	TS MPa	YR	El %	TS×El MPa %	FL MPa	FL/TS	$vTrs$ ℃
68	I 3	8.51	>70	M + B + γ	736	855	0.861	19.7	16833	401	0.469	-100
69	I 3	2.99	>70	M + B + γ	778	869	0.896	23.0	19974	448	0.516	-140
70	I 3	0.91	>70	M + B + γ	864	898	0.962	29.2	26240	547	0.610	<-190
71	I 3	1.22	>70	M + A.F	838	889	0.943	27.4	24334	517	0.581	<-190
72	I 3	5.38	>70	M + B + γ	752	860	0.874	20.9	18011	418	0.486	-120
73	I 3	6.33	>70	M + B + γ	746	858	0.869	20.5	17562	412	0.480	-110
74	I 3	5.57	>70	M + B + γ	750	860	0.873	20.8	17912	417	0.485	-110
75	I 3	1.54	>70	M + B + γ	820	883	0.929	26.1	23007	496	0.561	<-190
76	I 3	5.26	>70	M + B + γ	753	860	0.875	21.0	18076	419	0.487	- 90
77	I 3	4.55	>70	M + B + γ	758	862	0.880	21.5	18513	426	0.494	-130
78	I 3	4.85	>70	M + B + γ	756	861	0.877	23.0	19789	423	0.491	- 70
79	I 3	1.74	>70	A.F + B + M	811	880	0.922	25.4	22371	486	0.552	<-190
80	I 3	2.96	>70	B + M	779	869	0.896	23.0	20013	449	0.516	-150
81	I 3	3.87	>70	P	766	865	0.885	22.0	19040	434	0.502	-140
82	I 3	1.85	>70	P	807	879	0.919	25.1	22066	481	0.547	<-190
83	I 3	1.30	>70	B	833	887	0.939	27.0	23957	511	0.576	<-190
84	I 3	0.89	>70	M	866	898	0.964	29.1	26396	550	0.612	<-190

【００５０】
【表１３】

No.	鋼	λ %	TS×λ MPa %	発明区分			
				成分	熱延条件	粒径	α分率
68	I 3	46.8	39954	○	×	×	○
69	I 3	60.4	52515	○	×	×	○
70	I 3	86.4	77580	○	○	○	○
71	I 3	78.7	69957	○	○	○	○
72	I 3	51.9	44665	○	×	×	○
73	I 3	50.0	42870	○	×	×	○
74	I 3	51.5	44270	○	×	×	○
75	I 3	73.2	64649	○	○	○	○
76	I 3	—	—	○	×	×	○
77	I 3	54.1	46675	○	×	×	○
78	I 3	—	—	○	×	×	○
79	I 3	—	—	○	○	○	○
80	I 3	60.6	52671	○	×	×	○
81	I 3	56.4	48783	○	×	×	○
82	I 3	69.3	60883	○	○	○	○
83	I 3	77.2	68448	○	○	○	○
84	I 3	87.1	78205	○	○	○	○

【００５１】

【発明の効果】

以上説明したように、この発明に従い得られた熱延鋼板は、ポリゴナルフェライトの平均粒径が２μｍ未満と、従来よりも超微細であり、しかも異方性が少ないので、延性、じん性、疲労強度、耐衝突特性に優れるため、自動車用材、機械構造材、建築用材、パイプ材等としての工業的価値は大きい。また、この発明の熱延鋼板を得る製造方法は、一般のホットストリップミルで容易に実施可能であり、この点でも産業上の寄与は極めて大きい。

【図面の簡単な説明】

【図１】Ｐmpと鋼板の平均フェライト粒径との関係についてTi量を異ならせて調べた結果を示す図である。

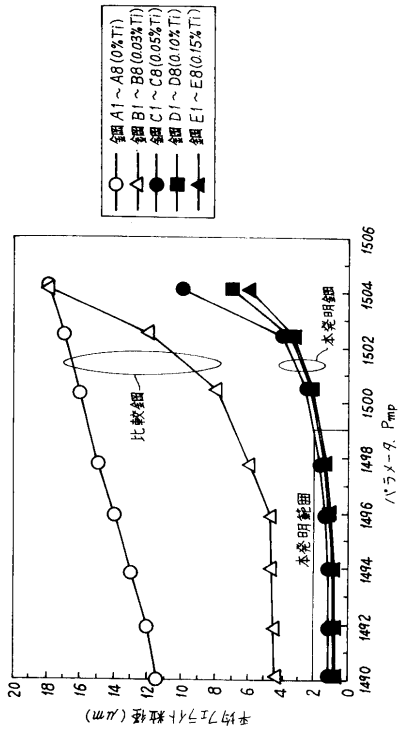
【図２】初期オーステナイト粒径と加熱温度との関係を示す図である。

【図３】第１段階圧延工程における１パス当たりの圧下量と、最終組織における平均フェライト粒径との関係を示す図である。

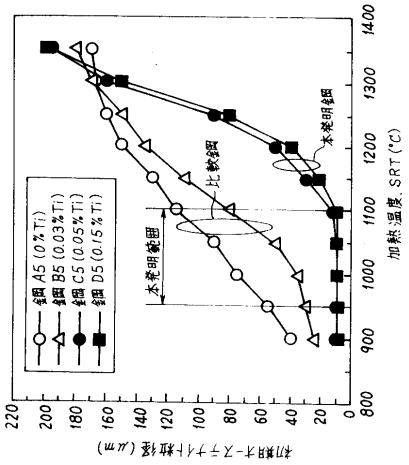
【図４】第２段階圧延工程における累積圧下率と圧延中の冷却速度が、最終組織のフェライト粒径に及ぼす影響を示す図である。

【図５】最終組織のフェライト粒径と圧延終了温度から600 ℃までの冷却速度の関係を示す図である。

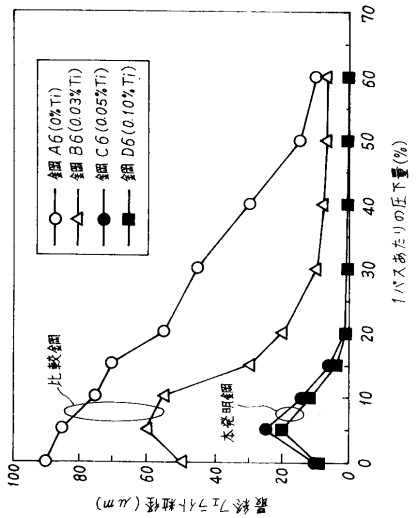
【図１】


鋼 A1～A8(0%Ti)
鋼 B1～B8(0.03%Ti)
鋼 C1～C8(0.05%Ti)
鋼 D1～D8(0.10%Ti)
鋼 E1～E8(0.15%Ti)
比較鋼
本発明鋼
本発明範囲
平均フェライト粒径(μm)
パラメータ、Pmp

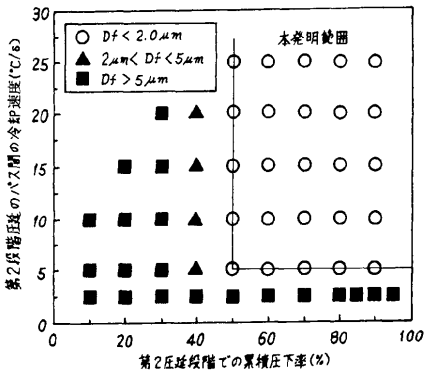
【図２】


鋼 A5(0%Ti)
鋼 B5(0.03%Ti)
鋼 C5(0.05%Ti)
鋼 D5(0.15%Ti)
比較鋼
本発明鋼
本発明範囲
加熱温度、SRT(℃)

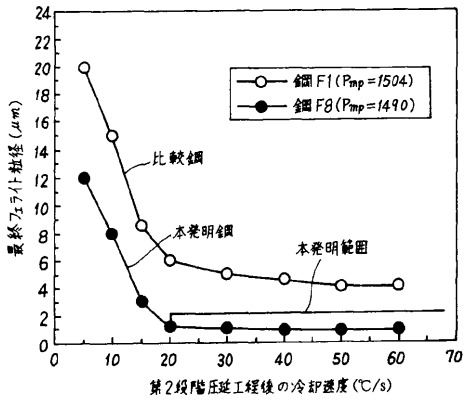
【図３】


鋼 A6(0%Ti)
鋼 B6(0.03%Ti)
鋼 C6(0.05%Ti)
鋼 D6(0.10%Ti)
比較鋼
本発明鋼
最終フェライト粒径(μm)
1パスあたりの圧下量(%)

【図４】


Df < 2.0μm
2μm< Df <5μm
Df > 5μm
本発明範囲
第2圧延段階のパス間の冷却速度(℃/s)
第2圧延段階での累積圧下率(%)

【図５】


鋼F1(Pmp=1504)
鋼F8(Pmp=1490)
比較鋼
本発明鋼
本発明範囲
最終フェライト粒径(μm)
第2段階圧延工程後の冷却速度(℃/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
10
20
30
40
50
60
70

フロントページの続き

(72)発明者　岡田　　進
東京都千代田区内幸町２丁目２番３号　川崎製鉄株式会社　東京本社内

合議体
審判長　沼沢　幸雄
審判官　平塚　義三
審判官　金　公彦

(56)参考文献　特開平９－８７７９８（ＪＰ，Ａ）
特開平９－１１１３９６（ＪＰ，Ａ）
特開平６－２６４１８２（ＪＰ，Ａ）