

明 細 書

発明の名称：突起付きH形鋼およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、突起付きH形鋼およびその製造方法に関し、橋脚等の大型構造物の補強材として用いられている鉄筋の代替となる、引張強度および伸びといった機械特性に優れることに加え、靱性にも優れた、突起付きH形鋼およびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 橋脚等の大型構造物では、補強材として鉄筋を用いた鉄筋コンクリートが幅広く使用されている。一般的に鉄筋コンクリート構造物の工事は、鉄筋を組み立てた後に型枠を設置し、型枠内にコンクリートを打設することにより行われる。ここで、強度的に鉄筋の過密配設が必要となる場合、コンクリートの充填性が低下し、施工品質が悪化するだけでなく、工事が長期化する点が大きな課題となっている。加えて、当該工事に従事する技能労働者の数は年々減少傾向にあり、現場作業の省力化ならびに工期短縮に寄与する構造用鋼の開発がより一層求められている。

[0003] そのような要請を受け、鉄筋に比べて大きな断面剛性を有し、同一構造において必要な部材本数を減らすことが可能となる突起付きH形鋼に関して、様々な研究がおこなわれている。この突起付きH形鋼は、フランジ外面に突起が設けられており、鉄筋と同等以上の高いコンクリート付着性能を有することが知られている。鉄筋代替として大型構造物に使用される突起付きH形鋼に対しては、構造体としての性能を保証するため、引張強度、伸びといった機械特性に加えて、靱性の保証が要求されている。

[0004] これらの要求を満足するため、たとえば特許文献1には、鋼中のNb、VおよびNiの添加量を調整することで、引張強度と靱性をバランスよく高めた突起付きH形鋼が開示されている。また、特許文献2には、突起付きH形鋼の靱性を向上することを目的として、フランジ厚に応じて最適な冷却停止温度

を設定すると共に、フランジ内外面の冷却水量を適宜調整する技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特許4045977号公報

特許文献2：特開2006-75883号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、上述した特許文献1、2に記載の突起付きH形鋼は、炭窒化物を形成するNbやVを添加して高い引張強度と靱性の両立を図っているが、連続鋳造により圧延素材を製造する際に、連鋳割れと呼ばれる鋳片表面の欠陥が生じやすく、製造性を低下させるという問題があった。本発明は、上述した問題を有利に解決すべくなされたもので、従来の突起付きH形鋼に比べ、同等以上の引張強度を確保しつつ、製造性を飛躍的に向上し得る突起付きH形鋼をその製造方法と共に提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明者らは、C、Si、Mn、P、S、Nb、V、TiおよびNの含有量を変化させた突起付きH形鋼を作製し、引張特性および靱性を鋭意調査した。その結果、鋼中にNbやVを含有されている場合、連鋳割れの発生する率が高いことがわかった。さらに、鋼中に含まれるS、Ti、N量を適正化することで、NbおよびVが含まれる場合であっても連鋳割れを安定化して抑制でき、さらに、TiNを核とした粒内フェライト変態の促進により、優れた靱性が得られることを見出した。

[0008] 本発明の、上記の知見に立脚するものであり、その要旨構成は次の通りである。

1. C：0.05～0.20質量%、Si：0.05～0.60質量%、Mn：1.20～1.70質量%、P：0.035質量%以下、S：0.035質量%以下、Nb：0.005～0.050質量%、

V : 0.005~0.050質量%、Ti : 0.005~0.030質量%およびN : 0.0020~0.0100質量%を、下記(1)式を満足する範囲で含有し、残部がFeおよび不可避免の不純物の鋼組成を有し、引張強さが490MPa以上、降伏強度が355MPa以上、かつ0℃における衝撃吸収エネルギー $vE0$ が27J以上である、突起付きH形鋼。

記

$$\left(\frac{[\%S]}{32} \right) / \left(\frac{[\%Ti]}{48} \right) + 4 \times \left(\frac{[\%N]}{14} \right) / \left(\frac{[\%Ti]}{48} \right) \leq 15.0$$

・・・(1)

ここで、[%S]、[%Ti]および[%N]はそれぞれ、鋼中のS、TiおよびNの含有量(質量%)である。

[0009] 2. 前記鋼組成は、さらに、Cr : 1.0質量%以下、Cu : 1.0質量%以下、Ni : 1.0質量%以下、Mo : 1.0質量%以下、Al : 0.10質量%以下、B : 0.010質量%以下、Ca : 0.10質量%以下、Mg : 0.10質量%以下およびREM : 0.10質量%以下の中から選ばれる1種または2種以上を含有する上記1記載の突起付きH形鋼。

[0010] 3. 前記突起は、高さが1.5mm以上である上記1または2に記載の突起付きH形鋼。

[0011] 4. 上記1または2のいずれかに記載の鋼組成を有する鋼素材に、熱間圧延を施して突起付きH形鋼を成形する突起付きH形鋼の製造方法であって、

前記熱間圧延の仕上圧延によりH形鋼のフランジ外面に突起を形成し、該仕上圧延の後に、750℃以上の冷却開始温度から500℃までの間を平均冷却速度 : 0.1~30℃/sの条件で冷却する突起付きH形鋼の製造方法。

[0012] 5. 前記仕上圧延を800℃以上の温度で行う上記4に記載の突起付きH形鋼の製造方法。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、優れた靱性を有する突起付きH形鋼を安定して製造することが可能となり、大型構造物の急速施工実現やコンクリート施工品の品質向上に寄与し、産業上有益な効果がもたらされる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]突起付きH形鋼の断面図を示す。

[図2]突起付きH形鋼を示す図であり、(a)はウェブの対向方向から見た側面図を、(b)はフランジ外面の対向方向から見た平面図を、(c)はフランジ外面の上面図を、それぞれ示す。

発明を実施するための最良の形態

[0015] 以下、本発明を具体的に説明する。まず、本発明において、鋼組成を上記の範囲に限定した理由について説明する。なお、以下の説明における「%」は、特に断らない限り「質量%」を表すものとする。

[0016] C : 0.05~0.20%

Cは、母材強度を確保するために必要な元素であり、少なくとも0.05%含有されていることを必要とする。しかし、C含有量が0.20%を超えると、母材靱性を低下させるばかりか、溶接性を低下させる。そのため、本発明ではC含有量を0.05~0.20%とする。なお、C含有量は0.10%以上とすることが好ましい。また、C含有量は0.15%以下とすることが好ましい。

[0017] Si : 0.05~0.60%

Siは、母材強度の確保および脱酸剤として0.05%以上で含有される必要があるが、Si含有量が0.60%を超えると靱性の低下に加え、Siの有する高い酸素との結合力のため、溶接性が劣化する。そのため、本発明ではSi含有量を0.05~0.60%とする。なお、Si含有量は0.20%以上とすることが好ましい。また、Si含有量は0.40%以下とすることが好ましい。

[0018] Mn : 1.20~1.70%

Mnは、Siと同様、鋼の強度を高める効果のある比較的安価な元素であるため、高強度化には重要な元素である。しかし、Mn含有量が1.20%未満では、その添加効果は小さく、一方、1.70%を超えると、上部ベイナイト変態を促進させ、靱性を低下させるので好ましくない。そのため、本発明ではMn含有量を1.20~1.70%とする。なお、Mn含有量は1.40%以上とすることが好ましい。また、Mn含有量は1.60%以下とすることが好ましい。

[0019] P : 0.035%以下

Pは、その含有量が0.035%を超えると、鋼の延性が劣化する。そのため、本発明では鋼中のP量を0.035%以下とする。好ましくは0.020%以下である。一方、Pは少ないほど好ましいため、P含有量の下限は特に限定されず、0%であってよい。しかし、通常、Pは不純物として鋼中に不可避免的に含有される元素であり、過度の低P化は精錬時間の増加やコストの上昇を招くため、P含有量は0.005%以上とすることが好ましい。

[0020] S : 0.035%以下

Sは、鋼中に含有されると主にA系介在物の形態で鋼材中に存在する。S含有量が0.035%を超えると、この介在物量が著しく増加し、同時に粗大な介在物を生成するため、鋼の靱性を大きく低下させる。そのため、本発明では鋼中のS含有量を0.035%以下とする。好ましくは0.020%以下である。一方、Sは少ないほど好ましいため、S含有量の下限は特に限定されず、0%であってよい。なお、通常、Sは不純物として鋼中に不可避免的に含有される元素であり、過度の低S化は精錬時間の増加やコストの上昇を招くため、S含有量は0.002%以上とすることが好ましい。

[0021] Nb : 0.005~0.050%

Nbは、炭窒化物として析出することで引張強度や降伏点を向上させる効果を有する元素である。この効果を得るためには、Nb含有量を0.005%以上とする必要がある。一方、Nb含有量が0.050%を超えると、析出脆化を助長することに加え、上部ベイナイト変態を促進させるため、連铸割れが生じ易くなり、さらに靱性も低下する。そのため、本発明では、Nb含有量は0.005~0.050%とする。なお、Nb含有量は、0.010%以上とすることが好ましい。また、Nb含有量は、0.030%以下とすることが好ましい。

[0022] V : 0.005~0.050%

Vは、炭窒化物として析出することで引張強度や降伏点を向上させる効果を有する元素である。この効果を得るためには、V含有量を0.005%以上とする必要がある。一方、V含有量が0.050%を超えると、析出脆化を助長するため、連铸割れが生じ易くなる。そのため、本発明では、V含有量を0.005~0.

0.50%とする。なお、V含有量は0.010%以上とすることが好ましい。また、V含有量は0.030%以下とすることが好ましい。

[0023] Ti : 0.005~0.030%

Tiは、連続鋳造時の曲げ―曲げ戻しの際の表面割れを防止するのに効果のある有用な元素であり、0.005%以上の範囲で積極的に添加する。また、Tiは鋼中でTiNを形成してオーステナイト粒を微細化し、さらに、TiNを核とした粒内フェライト変態の促進によってミクロ組織を微細化し、靱性向上にも有効な元素である。一方、Ti含有量が0.030%を超えることは、粗大なTiNが発生し鋼の靱性を低下させるので好ましくない。そのため、本発明では、Ti含有量は、0.005~0.030%とする。なお、Ti含有量は0.010%以上とすることが好ましい。また、Ti含有量は0.020%以下とすることが好ましい。

[0024] N : 0.0020~0.0100%

Nは、鋼中で炭窒化物を形成し、鋼の強度を向上させる有用な元素であり、その含有量は0.0020%以上である必要がある。しかし、N含有量が0.0100%を超えると形成される炭窒化物が粗大化して鋼の靱性を低下させる。また、N含有量が0.0100%を超えると、鋳片の表面割れが生じ、鋳片品質が低下するため好ましくない。そのため、本発明ではN含有量を0.0020~0.0100%とする。なお、N含有量は0.0030%以上とすることが好ましい。また、N含有量は0.0070%以下とすることが好ましい。

[0025] さらに本発明では、各々の元素が単に上記の範囲を満足するだけでは不十分で、S、TiおよびNについては、[%S]、[%Ti]および[%N]をそれぞれ、鋼中のS、TiおよびNの含有量（質量%）としたときに、次の（1）式の関係を満たさせることが重要である。

$$\left(\frac{[\%S]}{32} \right) / \left(\frac{[\%Ti]}{48} \right) + 4 \times \left(\frac{[\%N]}{14} \right) / \left(\frac{[\%Ti]}{48} \right) \leq 15.0 \cdots (1)$$

[0026] 発明者らは、連続鋳造時に鋼に割れが発生する原因について調査を行い、連続鋳造時にオーステナイト粒界に生成するフェライトへの粗大なMnSとVおよびNbの炭窒化物との析出が、割れの原因となっているとの知見を得た。

そこで、該フェライトへのMnSとVおよびNb系炭窒化物との析出を抑制すべく検討を行ったところ、鋼中のS、TiおよびNの含有量を調整することによって、粒界フェライトへのMnSとVおよびNb系炭窒化物との析出を抑制して、連続鋳造時の割れを抑制できることが分かった。すなわち、S、TiおよびNの含有量に基づくパラメータである上記(1)式左辺で算出される値を、15.0を超えないようにすることで、SをTi炭硫化物、NをTiNとして析出させ、連続鋳造時にオーステナイト粒界に生成するフェライトへの粗大なMnSとVおよびNb系炭窒化物との析出を抑制し、連続鋳造割れを安定して抑制することができる。なお、上記(1)式における右辺は10.0以下とすること、すなわち、以下の(1)'式を満足させることがより好ましい。

$$([\%S] / 32) / ([\%Ti] / 48) + 4 \times ([\%N] / 14) / ([\%Ti] / 48) \leq 10.0 \cdots (1)'$$

[0027] 本発明で用いられる突起付きH形鋼の鋼組成は、以上説明した成分以外の残部は、Feおよび不可避免的不純物である。

さらに、本発明の突起付きH形鋼では、以上説明した成分の他に、強度や延性、靱性、溶接部特性の向上を目的として、Cr : 1.0%以下、Cu : 1.0%以下、Ni : 1.0%以下、Mo : 1.0%以下、Al : 0.10%以下、B : 0.010%以下、Ca : 0.10%以下、Mg : 0.10%以下、REM : 0.10%以下の中から選ばれる1種または2種以上を任意に含有していてもよい。

以下、上記元素の含有量を特定した理由を説明する。

[0028] Cr : 1.0%以下

Crは、固溶強化により鋼の更なる高強度化を図ることができる元素である。ただし、その含有量が1.0%を超えると上部ベイナイト変態を促進させ、靱性を低下させるので好ましくない。したがって、鋼の成分組成がCrを含有する場合は、Cr含有量は1.0%以下とする。より好ましくは0.005%以上であり、0.5%以下である。

[0029] Cu : 1.0%以下

Cuは、固溶強化により鋼の更なる高強度化を図ることができる元素である

。ただし、その含有量が1.0%を超えると、Cu割れを生じやすくなる。したがって、鋼の成分組成がCuを含有する場合は、Cu含有量は1.0%以下とする。より好ましくは0.005%以上であり、0.5%以下である。

[0030] Ni : 1.0%以下

Niは、延性を劣化することなく鋼の高強度化を図ることができる元素である。また、Cuと複合添加することによりCu割れを抑制することができるため、鋼組成がCuを含有する場合にはNiも含有することが望ましい。ただし、Ni含有量が1.0%を超えると、鋼の焼入れ性がより上昇し、靱性が低下する傾向がある。したがって、鋼組成がNiを含有する場合は、Ni量は1.0%以下とする。より好ましくは0.005%以上であり、0.5%以下である。

[0031] Mo : 1.0%以下

Moは、固溶強化によってさらなる鋼の高強度化を図ることができる元素である。ただし、その含有量が1.0%を超えると、鋼中に上部ベイナイトが多量に生成するようになり、靱性が低下する傾向がある。したがって、成分組成がMoを含有する場合は、Mo含有量は1.0%以下とする。より好ましくは0.005%以上であり、0.5%以下である。

[0032] Al : 0.10%以下

Alは、脱酸剤として添加することができる元素である。しかし、Al含有量が0.10%を超えると、Alの有する高い酸素との結合力のため、鋼中に酸化物系介在物が多量に生成し、その結果、鋼の延性が低下する。したがって、鋼組成がAlを含有する場合は、Al量は0.10%以下とすることが好ましい。一方、Al含有量の下限は特に限定されないが、脱酸のためには0.001%以上とすることが好ましい。より好ましくは0.001%以上であり、0.03%以下である。

[0033] B : 0.010%以下

Bは、鋼中で粒界に偏析し粒界強度を向上させる効果を有する元素である。また、粒内フェライトの核生成サイトとなるTiNとの複合析出物を形成し、ミクロ組織を微細化することで靱性向上にも有効な元素である。一方、その含有量が0.010%を超えると、粗大な炭窒化物の粒界析出により靱性が低下す

る。したがって、鋼組成がBを含有する場合は、B含有量は0.010%以下とする。より好ましくは0.001%以上であり、0.003%以下である。

[0034] Ca : 0.10%以下

Caは、硫化物系介在物中の酸化物および硫化物を、高温における安定性が高いものへ変質させて、硫化物系介在物を粒状化する作用を有する。そして、このCaによる介在物の形態制御効果により、鋼の靱性、延性の向上を図ることが出できる。但し、Ca含有量が0.10%を超えると、清浄度が低下して靱性が低下しがちとなる。したがって、鋼組成がCaを含有する場合は、Ca含有量は0.10%以下とする。より好ましくは0.0010%以上であり、0.0050%以下である。

[0035] Mg : 0.10%以下

Mgは、硫化物系介在物中の酸化物および硫化物を、高温における安定性が高いものへ変質させて粒状化する作用を有する。そして、このMgによる介在物の形態制御効果により、鋼の靱性、延性の向上を図ることが出できる。但し、Mg含有量が0.10%を超えると、清浄度が低下して靱性が低下しがちとなる。したがって、鋼組成がMgを含有する場合は、Mg含有量は0.10%以下とする。より好ましくは0.0010%以上であり、0.0050%以下である。

[0036] REM : 0.10%以下

REM(希土類金属)は、硫化物系介在物中の酸化物および硫化物を、高温における安定性が高いものへ変質させて、硫化物系介在物を粒状化する作用を有する。そして、このREMによる介在物の形態制御効果により、鋼の靱性、延性の向上を図ることが出できる。但し、REM含有量が0.10%を超えると、清浄度が低下して靱性が低下しがちとなる。したがって、鋼組成がREMを含有する場合は、REM含有量は0.10%以下とする。より好ましくは0.0010%以上であり、0.0050%以下である。

以上説明した元素以外の残部はFeおよび不可避免の不純物である。

[0037] 本発明の、突起付きH形鋼について詳しく説明する。すなわち、突起付きH形鋼は、図1に示すように、一般的なH形鋼と同様に、1対のフランジ2

をウェブ3にて連結してなる。そして、突起付きH形鋼は、前記フランジ2の外面に突起4を有している。この突起4は、コンクリート付着性能を付与するために設けられるものである。この目的で突起4が設けられた突起付きH形鋼1において、突起4が設けられる箇所は、図2(a)に示すように、フランジ2の外面である。図示例では、フランジ2の外面全体に、図2(a)に四角で囲った部分の拡大図である、同図(b)に示す断面形状にてフランジ2の幅方向に延びる突条としての突起4がフランジ2の長手方向に配列して形成されている。

[0038] なお、突起の形状や寸法、個数などは突起付きH形鋼に要求される仕様に応じて任意に設定できる。従って、図示例に限定されないが、例えば突起4の高さ h はコンクリート付着性能を考慮すると1.5mm以上とすることが好ましい。一方、高さ h の上限は、ロール割損防止の観点から6mmとすることが好ましい。また、突起4相互の間隔 d は、コンクリート付着性能を考慮すると、高さ h との間に $h/d \geq 0.05$ の関係を満足することが好ましい。

[0039] 次に、本発明の突起付きH形鋼の製造方法について説明する。鋼(スラブまたはビームブランク)の溶製法および鋳造法については特に制限はなく、従来公知の方法いずれもが適合する。また、H形鋼に成形するための熱間圧延条件も特に制限されることはなく、常法に従って行えば良い。熱間圧延の仕上圧延において、突起を形成させる部分(フランジ外面)を圧下するロールとして、形成させる突起に対応した溝をロール表面に形成したものを用いることで、突起を形成することができる。仕上圧延の後には、以下の条件を満足させた冷却を行う必要がある。

[0040] 冷却開始時のフランジ温度：750℃以上

本発明では、仕上圧延直後に鋼材の冷却を開始することによって生産能率の低下を防止することを所期して、冷却開始時のフランジ温度は750℃以上とする。一方、冷却開始時のフランジ温度が Ar_3 温度未満になると、十分な強度を得難くなるため、さらに冷却開始時のフランジ温度を Ar_3 温度以上とすることが好ましい。なお、 Ar_3 変態温度は、例えば以下の(2)式により鋼成分と

の関係で簡易的に示される。

$$Ar_3 = 910 - 310 \times [\%C] + 25 \times ([\%Si] + 2 \times [\%Al]) - 80 \times [Mneq] \quad \dots (2)$$

ここで、[Mneq]は次の(3)式で算出される値である。

$$[Mneq] = [\%Mn] + [\%Cr] + [\%Cu] + [\%Mo] + [\%Ni] / 2 + 10 \times ([\%Nb] - 0.02) \quad \dots (3)$$

なお、上記(2)式、(3)式において、[%M]は鋼中の元素Mの含有量(質量%)を意味する。ここで、上記(2)式および(3)式で Ar_3 を計算するにあたり、積極的に含有させていない元素Mの含有量については、不可避的不純物として含有されている元素Mの含有量(分析値)を用いて算出するものとする。

[0041] 冷却開始温度から500℃までの平均冷却速度：0.1～30℃/s

冷却開始温度から500℃までの平均冷却速度が0.1℃/sに満たないと、所定の引張特性および靱性を確保することが難しいため、冷却速度は0.1℃/s以上とする。一方、前記冷却速度が30℃/sを超えて大きくなると、ベイナイトあるいはマルテンサイトの生成により、靱性の低下や引張強さの過度な上昇といった弊害が生じるため、冷却開始温度から500℃までの平均冷却速度は0.1～30℃/sの範囲とする。好ましい平均冷却速度は、0.5～10℃/sの範囲とする。

[0042] 上記した成分組成に調整し、上記した条件に従って圧延および冷却を行うことにより、突起付きH形鋼において、引張強さが490MPa以上、降伏強度が355MPa以上、そして0℃における衝撃吸収エネルギー $vE0$ が27J以上という、優れた機械的性能を得ることができる。いずれの特性も上限を規定する必要はないが、実用的には、引張強さが640MPa、降伏強度が475MPaおよび0℃における衝撃吸収エネルギー $vE0$ が350J程度である。

[0043] ここで、本発明で対象とする突起付きH形鋼は、そのフランジ厚が特に限定されることはない。フランジ外面の突起は、仕上げ圧延の工程において溝付きのロールを用いて形成する。すなわち、所望の突起高さを付与するためには、フランジ部の圧下量をできるだけ大きくする必要がある。従って、厚

いフランジを有する突起付きH形鋼はより大きな圧下を必要とする。本発明では後述の通り、圧延温度を適正範囲にコントロールすることにより、突起高さの形成効率が低下するとされる、フランジ厚が16mm以上の厚肉のH形鋼においても十分な突起高さを付与することができる。

- [0044] 熱間圧延時に突起を形成する成形を行う仕上圧延では、十分な突起高さを有する突起を形成させる観点から、仕上圧延温度を800℃以上とすることが好ましい。仕上圧延温度が800℃に満たないと、十分な高さの突起を安定して形成することが難しい。一方、前記仕上げ温度の上限は特に限定されないが、1050℃を超えると、オーステナイト粒径が粗大になるため、靱性が低下しがちとなる。そのため、前記仕上げ温度を1050℃以下とすることが好ましい。

実施例

- [0045] 以下、実施例に従って、本発明の構成および作用効果をより具体的に説明する。しかし、本発明は下記の実施例によって制限を受けるものではなく、本発明の趣旨に適合し得る範囲内にて適宜変更することも可能であり、これらは何れも本発明の技術的範囲に含まれる。
- [0046] 表1に示す成分組成の鋼材を、連続鋳造機にて断面400mm×560mm×長さ8000mmのビームブランクとし、表面における割れの有無を調査した。すなわち、前記ビームブランクの表面を長手方向に観察し、長さ10mm以上の割れの有無を調査した。表面割れは1 m²当たりの割れの個数を求め、A：割れ無し、B：1～4個/m²、C：5個以上/m²の指標を用いて評価し、この指標においてAまたはB判定のものを合格とした。表1に、表面割れの判定結果を合わせて示す。鋼組成が、上記の(1)式を満足する鋼は、表面割れの判定結果がAまたはBであった。
- [0047] 次いで、これらのビームブランクのうち、表面割れの判定結果がAあるいはBであるものについて、1250℃で2時間加熱後、表2に示す条件で熱間圧延ならびに冷却を行って、図1に示す断面形状、すなわち、ウェブ3とウェブの両端に配置された1対のフランジ2を有する形状の突起付きH形鋼1を

製造した。ここで、断面寸法（ウェブ高さ×フランジ幅×ウェブ厚×フランジ厚）は、 $320 \times 323 \times 25 \times 25\text{mm}$ および $350 \times 333 \times 35 \times 40\text{mm}$ の2種のうちのいずれかとして、突起付きH形鋼を製造した。仕上圧延においては、フランジ外面を圧下する圧延ロールとして、フランジ外面に形成させる突起形状に対応した溝を設けたものを用い、フランジ外面に、図2に示すような、フランジ2の幅方向に延在する突起6を形成した。ここで、フランジ外面を圧下する仕上圧延ロールには、突起幅 w ：15mmおよび突起高さ h ：1.5mm以上の突起を形成し得る、溝を設けてある。仕上圧延後の冷却速度は、フランジ外面表面の温度を放射温度計で測定し、冷却開始から冷却停止までの間の温度変化を単位時間（秒）あたりに換算することで、冷却速度（ $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ）を算出した。

[0048]

[表1]

鋼 No.		成分組成(質量%)※1																		式(1)※ 判定※3	備考
		C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti	N	Cr	Cu	Ni	Mo	Al	B	Ca	Mg	REM		
1	0.10	0.30	1.55	0.009	0.005	0.020	0.020	0.007	0.0046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.1	B	
2	0.19	0.07	1.21	0.015	0.008	0.048	0.007	0.018	0.0039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.6	A	
3	0.09	0.36	1.67	0.016	0.006	0.018	0.025	0.020	0.0051	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.9	A	
4	0.16	0.19	1.39	0.012	0.010	0.025	0.016	0.015	0.0060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.5	A	
5	0.13	0.34	1.48	0.016	0.006	0.024	0.018	0.013	0.0045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.4	A	
6	0.14	0.20	1.35	0.010	0.034	0.016	0.025	0.011	0.0022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.4	A	
7	0.17	0.42	1.42	0.018	0.011	0.031	0.039	0.017	0.0050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.0	A	
8	0.12	0.39	1.56	0.011	0.008	0.015	0.021	0.015	0.0056	-	-	0.11	-	-	-	-	-	-	5.9	A	
9	0.14	0.35	1.50	0.021	0.005	0.009	0.043	0.009	0.0034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0	A	
10	0.15	0.16	1.64	0.035	0.024	0.009	0.034	0.006	0.0038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.7	B	
11	0.13	0.34	1.58	0.014	0.006	0.017	0.027	0.012	0.0040	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	5.3	A	
12	0.05	0.58	1.69	0.020	0.009	0.006	0.049	0.028	0.0091	-	-	-	0.16	-	-	-	-	-	4.9	A	
13	0.12	0.30	1.47	0.013	0.007	0.011	0.026	0.021	0.0045	0.43	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4	A	
14	0.11	0.33	1.60	0.008	0.015	0.008	0.013	0.016	0.0052	-	0.28	0.15	-	-	-	-	-	-	5.9	A	
15	0.16	0.48	1.39	0.012	0.009	0.040	0.028	0.008	0.0071	-	-	-	-	-	0.0026	-	-	-	13.9	B	
16	0.15	0.18	1.35	0.017	0.006	0.023	0.025	0.018	0.0055	-	-	-	-	-	-	0.0032	-	-	4.7	A	
17	0.13	0.32	1.62	0.015	0.005	0.016	0.032	0.010	0.0046	-	-	-	-	-	-	-	0.0045	-	7.1	A	
18	0.14	0.40	1.40	0.022	0.007	0.038	0.041	0.011	0.0095	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0071	12.8	B
19	0.04	0.26	1.30	0.015	0.008	0.015	0.018	0.015	0.0045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.9	A	
20	0.22	0.51	1.64	0.018	0.010	0.029	0.034	0.006	0.0050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.9	B	
21	0.13	0.03	1.22	0.013	0.006	0.009	0.020	0.019	0.0029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	A	
22	0.15	0.61	1.61	0.012	0.009	0.027	0.019	0.010	0.0034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0	A	
23	0.08	0.15	1.19	0.010	0.007	0.016	0.007	0.012	0.0040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.4	A	
24	0.18	0.39	1.73	0.016	0.005	0.032	0.030	0.016	0.0038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.7	A	
25	0.14	0.31	1.50	0.037	0.020	0.020	0.027	0.021	0.0046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.4	A	
26	0.12	0.35	1.56	0.024	0.036	0.021	0.026	0.006	0.0055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.6	C	
27	0.13	0.24	1.42	0.026	0.016	0.004	0.010	0.012	0.0041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.7	A	
28	0.17	0.41	1.64	0.015	0.023	0.052	0.035	0.008	0.0073	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.8	C	
29	0.15	0.30	1.38	0.018	0.006	0.010	0.003	0.016	0.0032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3	A	
30	0.18	0.45	1.52	0.017	0.022	0.029	0.051	0.007	0.0074	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.2	C	
31	0.11	0.37	1.55	0.011	0.008	0.024	0.024	0.004	0.0058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.9	C	
32	0.10	0.19	1.64	0.019	0.010	0.045	0.029	0.032	0.0089	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.3	A	
33	0.08	0.28	1.68	0.022	0.006	0.027	0.030	0.018	0.0017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8	A	
34	0.14	0.34	1.50	0.015	0.018	0.033	0.025	0.009	0.0104	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.8	C	
35	0.19	0.28	1.56	0.009	0.027	0.036	0.022	0.005	0.0087	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32.0	C	
36	0.13	0.31	1.43	0.012	0.010	0.020	0.013	0.007	0.0066	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.1	C	

表1

※1: 下線は発明範囲外を示す。

※2: $([\%S]/32)/([\%Ti]/48)+4 \times ([\%N]/14)/([\%Ti]/48)$ ※3: 表面割れ判定基準 A: 割れ無し、B: 1~4個/m²、C: 5個以上/m²

[0049] 得られた突起付きH形鋼について、突起高さ評価、引張試験および靱性試験を実施した。以下にそれぞれの評価内容について詳細に説明する。

[0050] <突起高さ評価>

得られた突起付きH形鋼について、図2に示したフランジ外面の突起高さ h を測定した。かかる値の測定は、仕上圧延後の突起付きH形鋼の圧延方向における先端部、中央部および尾端部の3箇所について行い、その平均値を採用した。なお、突起高さの要求性能下限値を1.5mmに設定し、この値以上を突起高さ h の好適範囲とした。また、突起高さ h がこの値以上となる突起付きH形鋼が得られた製造条件は、突起形成のし易さの観点からも特に好ましい条件と評価できる。

[0051] <引張試験>

図1に符号5として示すフランジ1/6B部（1/6Bを挟むフランジ幅方向長さ60mm）より、引張方向がH形鋼のフランジ長手方向となるように、JIS Z 2201に規定されたJIS 1 A試験片（フランジ全厚試験片）を採取し、JIS Z 2241に準じて引張試験を行い、降伏強度（降伏応力 Y_S または0.2%耐力）、引張強さを測定した。

[0052] <靱性試験>

図1に示したフランジ1/6B部5のフランジ裏面から1/4 t （ t はフランジ厚）の位置を中心として、JIS Z 2202に規定された2mmVノッチシャルピー衝撃試験片を採取し、JIS Z 2242に準じてシャルピー衝撃試験を行い、0℃における吸収エネルギーを測定した。

[0053] 表2に上記調査の結果をあわせて示す。本発明の鋼組成を満足する適合鋼を用い、本発明範囲の製造方法（フランジ外面の平均冷却速度が本発明範囲内）で作製した突起付きH形鋼の試験結果（表2中の試験No. 1～19、31）は、いずれも所望の特性（引張強さ：490MPa以上、降伏強度：355MPa以上および0℃における衝撃吸収エネルギー vE_0 ：27J以上）を満足していた。なお、試験No. 33は、引張強さ、降伏強度、0℃における衝撃吸収エネルギーについては所望の特性を満足しているが、仕上圧延温度が好適下限である800℃を下回っ

ていたため、突起高さが1.4mmであり、好適範囲（1.5mm以上）に満たなかった。

[0054] 一方、H形鋼の鋼組成が本発明の条件を満足しないか、あるいは、本発明範囲の製造方法を適用しなかった比較例（表2中の試験No. 20～30、32～34）は、引張強さ、降伏強度および靱性のいずれかの値が要求特性を満足していない。

[0055] [表2]

[表2]										
試験No.	鋼No.	フランジ厚 [mm]※2	熱間圧延条件※1			突起高さ [mm]	機械特性※1			備考
			圧延仕上げ 温度[℃]	冷却開始時の フランジ 温度[℃]	平均冷却速 度 [℃/s]		引張強さ [MPa]	降伏強度 [MPa]	衝撃吸収 エネルギー vE0[J]	
1	1	25	924	885	27.6	2.5	602	420	185	発明例
2	2	25	905	873	7.4	2.3	583	405	89	
3	3	25	943	905	11.7	2.6	559	390	251	
4	4	25	886	842	0.8	2.2	562	388	172	
5	5	25	902	880	0.6	2.3	555	376	158	
6	6	25	924	892	7.7	2.4	560	372	223	
7	7	25	896	851	7.8	2.3	600	405	103	
8	8	25	868	822	6.2	2.2	531	377	234	
9	9	25	971	930	10.6	2.8	557	380	248	
10	10	25	910	864	0.8	2.4	542	371	256	
11	11	25	908	865	0.9	2.3	546	380	208	
12	12	25	917	879	19.3	2.2	498	356	312	
13	13	25	955	912	7.1	2.7	528	360	211	
14	14	25	843	835	0.5	2.2	506	358	229	
15	15	25	900	857	0.5	2.4	594	415	96	
16	16	25	894	862	8.3	2.2	569	391	143	
17	17	25	829	764	7.5	2.2	573	399	198	
18	18	25	902	871	6.8	2.3	585	406	85	
19	5	40	910	868	0.6	2.3	546	364	124	
20	19	25	925	897	0.8	2.6	446	306	289	
21	20	25	954	919	15.3	2.4	685	502	13	
22	21	25	878	836	0.5	2.5	476	321	234	
23	22	25	906	885	11.9	2.1	634	423	24	
24	23	25	923	882	0.7	2.4	468	335	195	
25	24	25	915	879	12.6	2.2	649	459	18	
26	25	25	931	900	7.8	2.5	558	394	15	
27	27	25	948	904	8.6	2.6	496	350	253	
28	29	25	967	927	9.5	2.7	503	353	230	
29	32	25	880	846	7.0	2.2	580	399	10	
30	33	25	903	873	0.7	2.3	490	340	126	
31	2	25	792	771	8.1	1.4	594	406	78	
32	12	25	910	745	7.5	2.1	475	339	91	
33	5	25	905	860	0.08	2.3	501	348	45	
34	5	25	918	879	32.1	2.4	596	420	24	
										比較例

※1：下線は発明範囲外を示す。

※2：断面寸法：320×323×25×25mmおよび350×333×35×40mmのいずれか。

符号の説明

- [0056]
- 突起付きH形鋼（圧延H形鋼）
 - フランジ
 - ウェブ
 - 突起
 - フランジ1/6B部（試験片採取位置）