



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111363985 A

(43)申请公布日 2020.07.03

(21)申请号 202010194186.4 *G22C 38/02*(2006.01)  
(22)申请日 2020.03.19 *G22C 33/04*(2006.01)  
(71)申请人 鞍钢股份有限公司 *G21C 7/10*(2006.01)  
地址 114021 辽宁省鞍山市铁西区鞍钢厂 *G21C 7/072*(2006.01)  
区内 *B22D 11/16*(2006.01)  
*G21D 8/02*(2006.01)  
(72)发明人 王爽 胡海洋 乔馨 颜秉宇 *G21D 1/25*(2006.01)  
段江涛 李黎明 石锋涛 王勇  
崔福祥 孙殿东

(51)Int.Cl.  
*G22C 38/58*(2006.01)  
*G22C 38/50*(2006.01)  
*G22C 38/46*(2006.01)  
*G22C 38/44*(2006.01)  
*G22C 38/42*(2006.01)  
*G22C 38/06*(2006.01)  
*G22C 38/04*(2006.01)

权利要求书1页 说明书6页

(54)发明名称

一种核电站安全壳用支承用钢及其制造方法

(57)摘要

本发明提供了一种核电站安全壳用支承用钢及其制造方法,该钢的成分按重量百分比计如下:0.10%-0.16%的C;0.25%-0.45%的Si;1.40%-1.65%的Mn;0.45%-0.65%的Ni;0.20%-0.50%的Cr;0.20%-0.55%的Mo;0.02%-0.04%的Al;0.05%-0.10%的Cu;0.03-0.05%的V;0.005-0.020%的Ti;≤0.008%的P;≤0.005%的S;N≤0.010%,其余含量为Fe和不可避免的杂质。制造方法包括冶炼、连铸、加热、轧制、热处理;应用本发明生产的钢板厚度为30-80mm,钢板在调质状态、模拟焊后热处理状态及200℃高温状态的完全满足技术指标的要求,同时-40℃冲击吸收能量仍保持在较高的水平。

1. 一种核电站安全壳用支承用钢,其特征在於,该钢的成分按重量百分比计如下:0.10%-0.16%的C;0.25%-0.45%的Si;1.40%-1.65%的Mn;0.45%-0.65%的Ni;0.20%-0.50%的Cr;0.20%-0.55%的Mo;0.02%-0.04%的Alt;0.05%-0.10%的Cu;0.03-0.05%的V;0.005-0.020%的Ti; $\leq 0.008\%$ 的P; $\leq 0.005\%$ 的S; $N \leq 0.010\%$ ,其余含量为Fe和不可避免的杂质。

2. 一种权利要求1所述的一种核电站安全壳用支承用钢的制造方法,包括冶炼、连铸、加热、轧制、热处理;其特征在於:

(1) 加热:采用三段式加热,预热段温度 $\leq 800^{\circ}\text{C}$ ,加热时间为1-1.5h;加热段温度1200-1260 $^{\circ}\text{C}$ ,加热时间为1-2h;均热段温度1180-1230 $^{\circ}\text{C}$ ,加热时间为1-1.5h;

(2) 轧制:开轧温度1150-1200 $^{\circ}\text{C}$ ,终轧温度 $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ ,总变形率 $\geq 60\%$ ,任意连续3道次变形率 $\geq 15\%$ ;

(3) 热处理:钢板轧后需要进行调质处理,具体工艺为:淬火温度 $900 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ,保温时间2-3min/mm;回火温度 $620 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ,保温时间4-6min/mm。

## 一种核电站安全壳用支承用钢及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于金属领域,尤其涉及一种核电站安全壳用支承用钢及其制造方法。

### 背景技术

[0002] 由于近年来我国核电事业的快速发展,特别是经历了福岛核电站事故的教训,对核电相关设备的安全性提出了更高的要求,核电厂的安全性和可靠性十分重要。核电站安全壳是核反应堆外部的一个密封结构,是核电站的标志性建筑物,核蒸汽供应系统的所有设备均安装其内,作为防止辐射的最后一道屏障,也是核电机组中用钢量最大的装备,在事故工况下阻止或缓解放射性物质释放到环境中,对核电站安全有着重要作用。

[0003] 核电支承用钢作为支撑核反应堆压力容器、稳压器、各种管道等重要设备的支撑材料,其运行的安全、性能的稳定将直接影响到整台机组能否安全运行。从目前来看,作为核电支承用钢的材料较多,如:A42、A52、P295GH、P355GH等等,其抗拉强度大都控制在400-550MPa之间。但作为支承设备,还需要经受长时间模拟焊后热处理处理,还要检验其高温拉伸性能,而上述钢种经长时间模拟焊后热处理后或在高温状态下的强度均会有不同程度的下降,很难满足要求,已远不能满足现有三代核电机组支承用钢的需求。如板厚为60mm的S355J0钢板经热处理后,屈服强度( $R_{e1}$ )和抗拉强度( $R_m$ )分别为360MPa和525MPa(指标要求 $R_{e1} \geq 330\text{MPa}$ 、 $R_m \geq 510\text{MPa}$ );模拟焊后热处理后,屈服强度( $R_{e1}$ )和抗拉强度( $R_m$ )分别为340MPa和500MPa(指标要求 $R_{e1} \geq 330\text{MPa}$ 、 $R_m \geq 510\text{MPa}$ );200℃高温拉伸时,屈服强度( $R_{e1}$ )和抗拉强度( $R_m$ )分别为255MPa和470MPa。从三个过程来看,钢板经热处理后,强度完全满足指标要求,但经过模拟焊后热处理后,钢板强度下降明显,尤其抗拉强度已不能满足指标要求;在200℃时,钢板的强度,尤其是屈服强度下降更为明显,表明该钢种抗高温能力相对较低,已不能满足核电关键设备建造的需求。

[0004] 目前生产的核反应堆安全壳用钢的相关专利申请如下:

[0005] 济钢集团有限公司申请的《一种第三代核电站反应堆安全壳用钢板及其制造方法》(申请号:201210282831.3),主要涉及一种第三代核电站反应堆安全壳用钢板及其制造方法,其成分范围为:C:0.08-0.12%,Si:0.15-0.55%,Mn:0.9-1.5%, $P \leq 0.007\%$ , $S \leq 0.004\%$ ,Ni:0.1-0.5%,Cr:0.0-0.3%,Mo:0.10-0.35%,V:0.010-0.050%,Nb:0.010-0.030%,Ti:0.008-0.035%,Al:0.020-0.050%, $N \leq 0.006\%$ , $Nb+V \leq 0.08\%$ ,余量为铁和不可避免的杂质。本发明制造的钢板,抗拉强度达到600MPa以上,耐200℃高温性能,成本低廉,焊接性能优良。但检验核反应堆安全壳用钢板的一项重要技术指标是模拟焊后热处理后钢板的力学性能,该专利中未提及其模拟焊后热处理的性能。

[0006] 山西太钢不锈钢股份有限公司申请的《一种压力容器用厚规格钢板的调制处理方法》(申请号:201010154420.7),它包括下述依次步骤:I淬火将钢板加热到920℃-930℃,保温45-55分钟,再进行淬火处理;II回火处理将淬火后的钢板加热到630℃-650℃保温40-50分钟,取出钢板冷却到室温;III二次淬火将加热钢板加热到920℃-930℃,保温50-60分钟,将钢板进行淬火处理;IV二次回火将二次淬火后的钢板在室状炉内,要求温度控制波动

不大于 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ,加热到 $615^{\circ}\text{C}$ - $625^{\circ}\text{C}$ 保温40-50分钟,取出自然冷却到室温。该发明中采用两次调质处理将钢板的抗拉强度 $R_m$ 提高到630MPa,延伸率A提高到20-23%,而本专利采用一次调质处理即可达到甚至超过其强度,并且能够大幅降低成本。

[0007] 宝山钢铁股份有限公司申请的《核电站安全壳用厚钢板及其制造方法》(申请号201210269122.1),设计钢板厚度为10-60mm,钢中含有C:0.06%-0.15%,Si:0.1%-0.4%,Mn:1.0%-1.5%, $P \leq 0.012\%$ , $S \leq 0.003\%$ ,Ni:0.2%-0.5%, $Cr \leq 0.25\%$ ,Mo:0.1%-0.3%, $V \leq 0.05\%$ , $Nb \leq 0.03\%$ , $Ti \leq 0.03\%$ ,Al:0.015%-0.05%,Ca:0.0005%-0.005%。该钢种采用低碳当量的成分设计,C、Si、Ni等元素含量均较低,无法保证钢板厚度达到100mm以上时的强度性能,并且对钢板在模拟焊后热处理后的常温力学性能及高温性能均未关注。

### 发明内容

[0008] 本发明的目的在于克服上述问题和不足而提供一种核电站安全壳用支承用钢及其制造方法,通过进化学成分,轧制和热处理工艺,使钢板在调质状态、模拟焊后热处理状态及 $200^{\circ}\text{C}$ 高温状态的力学性能均保持较高水平,完全满足技术指标的要求,同时 $-40^{\circ}\text{C}$ 冲击吸收能量仍保持在较高的水平,体现出较好的钢板强度及韧性的匹配,完全适用于核电支承设备用钢的需求。

[0009] 本发明目的是这样实现的:

[0010] 一种核电站安全壳用支承用钢,该钢的成分按重量百分比计如下:0.10%-0.16%的C;0.25%-0.45%的Si;1.40%-1.65%的Mn;0.45%-0.65%的Ni;0.20%-0.50%的Cr;0.20%-0.55%的Mo;0.02%-0.04%的Al;0.05%-0.10%的Cu;0.03-0.05%的V;0.005-0.020%的Ti; $\leq 0.008\%$ 的P; $\leq 0.005\%$ 的S; $N \leq 0.010\%$ ,其余含量为Fe和不可避免的杂质。

[0011] 本发明成分设计理由如下:

[0012] (1) C:钢中C是最主要、最经济的强化元素,随着C含量的增加,淬硬性进一步提高,但C含量对钢的延性、韧性和焊接性有负面影响,同时在钢材的焊接热影响区还会出现淬硬现象,导致焊接冷裂纹的产生,但C含量偏低,强度可能满足不了要求,尤其经过长时间模拟焊后热处理及在 $200^{\circ}\text{C}$ 高温下,强度均要得到一定程度的下降。因此,本发明中C重量百分含量应控制在0.10%-0.16%范围以便获得优良的综合性能。

[0013] (2) Si:Si在钢中有脱氧的作用,还有一定的固溶强化效果,同时也是廉价的元素, Si元素扩散缓慢,能抑制渗碳体的聚集长大过程,对于保证钢板模拟焊后热处理后性能有明显作用,但Si含量过高损害钢板的塑性和韧性,并降低钢的焊接性能,且容易产生硅酸盐类夹杂,同时含Si高有稳定辐照缺陷的作用,因此同样从保证钢板不同阶段强度变化均能够满足指标要求角度考虑,将Si含量控制在0.25%-0.45%。

[0014] (3) Mn:Mn具有强化铁素体,固溶强化作用明显,能有效地提高钢的淬透性,是钢中补偿因C含量降低而引起强度损失的最主要且经济的强化元素,但Mn具有增大辐照催化的趋势,过多的Mn易于偏析,并且使成品钢板产生回火脆化。因此要求钢中Mn含量控制在1.40%-1.65%范围内。

[0015] (4) Ni:Ni是钢中既能提高强度,又能有效提高韧性的元素,特别是低温韧性。随着

Ni含量的增加,钢的屈服强度比抗拉强度提高的快,故含Ni钢的屈服比普通碳素钢高,与Cr、Mo元素相结合能获得强度和韧性配合良好的综合力学性能,但是Ni有增加辐照脆性的倾向,因此本发明要求钢中Ni含量控制为0.45%~0.65%。

[0016] (5) Cr:是非常有效的强化元素,可以提高淬透性、耐蚀性和抗氧化性,配合Mn元素,能够形成Mn-Cr系合金系统,提高钢板的整体性能和均匀稳定性能,但Cr还会显著提高钢的脆性转变温度,促进回火脆性,增加钢的焊后裂纹敏感性,因此本发明要求钢中Cr含量控制为0.20%~0.50%。

[0017] (6) Mo:是有效提高钢材强度特别是高温强度的元素,明显提高再结晶温度,具有明显的固溶强化效果,提高钢的热强性和淬透性,并与Cr、Mn共同作用减少或抑制回火脆性,同时Mo较强地提高了固溶体原子间结合力,提高钢的热强性,更为重要的是Mo有效地抑制钢中有害元素偏聚,也能明显抑制辐照硬化。但是当Mo含量过多时,会增加焊接裂纹敏感性,降低钢的韧性和加工性能。因此本发明要求钢中Mo含量控制为0.2%~0.55%。

[0018] (7) Al<sub>t</sub>:Al是钢中的主要脱氧元素,是调整钢晶粒度的有效元素,与适量的N结合形成高熔点的小颗粒,有细化晶粒的作用,但Al含量不宜过多,不仅作用效果不明显,而且还会增加成本,产生Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>夹杂,影响钢的热加工性能、焊接性能,因此本发明要求钢中Al<sub>t</sub>含量控制为0.02%~0.04%。

[0019] (8) Cu:Cu在钢中主要起沉淀强化作用,能提高强度和韧性,改善普通低合金钢的抗大气腐蚀性能,特别利用铜元素的析出强化心部强度和韧性,此外还能提高钢材的抗疲劳裂纹扩展能力,但Cu对辐照有危害,Cu含量过高不利于钢板加工以及焊接,综合考虑Cu对钢板综合力学性能、耐蚀性和辐照脆化的影响,将Cu含量控制在0.05%~0.10%。

[0020] (9) V、Ti:V和Ti属于微合金元素,V和Ti能够形成细小的第二相粒子,起到钉扎晶界和析出强化的作用,能够有效地细化晶粒。此外,适量V的加入能改善长时间模拟焊后热处理后钢板强度的下降,但是V对辐照比较敏感,而且钒与C和O有较强的亲和力,当以碳化物形式存在时会影响淬透性,Ti能在一定程度上抑制辐照空洞的产生,微量的Ti可改善钢的高温强度和韧性,过多的Ti会造成钛的析出物增多。因此钢中V、Ti含量要求为0.03~0.05%的V,0.005~0.020%的Ti。

[0021] (10) P、S:是钢中有害的杂质元素,P虽然可大幅度提高强度,但易在钢中形成偏析,降低钢的韧性及焊接性能,增加钢的冷脆性,并且磷元素有加速辐照脆化的倾向。S易形成塑性硫化物,使钢各向异性严重,恶化钢的冲击韧性和加工性能,加重中心偏析、疏松等缺陷,同时S也有加速辐照脆化的倾向,故其含量应越低越好,结合实际生产控制水平及成本因素, $P \leq 0.008\%$ , $S \leq 0.005\%$ 。

[0022] 本发明技术方案之二是提供一种核电站安全壳用支承用钢的制造方法,包括冶炼、连铸、加热、轧制、热处理;

[0023] (1) 冶炼、连铸:铁水预处理,转炉冶炼及炉外精炼处理,LF采用早期造白渣方式,白渣保持时间35min,RH真空处理,保真空时间15~20min,真空度65Pa,吹氩时间不小于15min,出钢温度目标为1600~1630℃,弱冷和连铸拉速1.5~2.0m/min能够保证连铸坯中柱状晶发达,减少心部等轴晶的生成,连铸时中间罐采用浸入式水口,全程氩气保护浇注,在铸坯凝固末端投入电磁搅拌,以充分改善铸坯内在质量,连铸坯下线后立即堆垛缓冷48小时以上。

[0024] (2) 加热:采用三段式加热,使奥氏体组织均匀化,预热段温度 $\leq 800^{\circ}\text{C}$ ,加热时间为1-1.5h;加热段温度 $1200-1260^{\circ}\text{C}$ ,加热时间为1-2h;均热段温度 $1180-1230^{\circ}\text{C}$ ,加热时间为1-1.5h;加热后出炉温度控制在 $1180-1230^{\circ}\text{C}$ 。

[0025] (3) 轧制:开轧温度 $1150-1200^{\circ}\text{C}$ ,终轧温度 $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ ,任意连续3道次变形率 $\geq 15\%$ ,辊道水全部关停,提高除鳞高压水的压力,可快速有效地清除钢板表面氧化铁皮,并减少热量损失。钢板下线后进行堆垛缓冷,保证钢板内外散热一致。

[0026] (4) 热处理:钢板轧后需要进行调质处理(淬火+回火),使组织更加均匀、晶粒更加细小、性能更加稳定。调质处理工艺为:淬火温度 $900\pm 10^{\circ}\text{C}$ ,保温时间2-3min/mm,保证钢板内外温度一致,形成单一均匀的奥氏体组织,出炉后最大水量冷却至室温;回火温度 $620\pm 10^{\circ}\text{C}$ ,保温时间4-6min/mm,在该温度区间充分保温,保证钢中碳化物析出,并形成高温回火索氏体组织,钢板出炉后自然冷却。

[0027] 本发明在化学成分方面,在合金元素方面进行了改进,有效地提高钢的淬透性,C、Si、Mn的添加作为主要的强化元素,Cr的添加是为了降低碳钢在核电设备使用过程中流动加速腐蚀的腐蚀速率,较低的P、S控制为了保证钢板低温韧性要求,保证钢板经过长时间模拟焊后热处理后仍具有良好的室温和高温强度,低温冲击等关键指标良好,完全满足使用要求。

[0028] 通过化学成分的优化设计,再配合适宜的轧制和热处理工艺,最大限度减少了钢板正火后晶界有害元素的偏聚,并通过组织细化来保证钢板的强韧性指标,从而保证钢板长时间模拟焊后热处理的性能,塑韧性好, $200^{\circ}\text{C}$ 高温拉伸和 $-40^{\circ}\text{C}$ 低温冲击韧性均有较大的富余量,完全满足设备制造要求。

[0029] 本发明的有益效果在于:

[0030] (1) 生产的钢板厚度为30-80mm,通过进一步优化化学成分,轧制和热处理工艺,使钢板在调质状态、模拟焊后热处理状态及 $200^{\circ}\text{C}$ 高温状态的力学性能均保持较高水平,完全满足技术指标的要求,同时 $-40^{\circ}\text{C}$ 冲击吸收能量仍保持在较高的水平,体现出较好的钢板强度及韧性的匹配,本发明钢种经调质处理后,不同状态下均具有较好的强度水平,以60mm板为例,调质处理后屈服强度( $R_{e1}$ )和抗拉强度( $R_m$ )分别为550MPa和675MPa(指标要求 $R_{e1}\geq 450\text{MPa}$ 、 $R_m:620-795\text{MPa}$ );模拟焊后热处理后,屈服强度( $R_{e1}$ )和抗拉强度( $R_m$ )分别为510MPa和645MPa(指标要求 $R_{e1}\geq 450\text{MPa}$ 、 $R_m:620-795\text{MPa}$ );调质处理后 $200^{\circ}\text{C}$ 高温拉伸时,屈服强度( $R_{e1}$ )和抗拉强度( $R_m$ )分别为490MPa和665MPa(指标要求 $R_{e1}\geq 380\text{MPa}$ 、 $R_m\geq 560\text{MPa}$ );模拟焊后热处理后,屈服强度( $R_{e1}$ )和抗拉强度( $R_m$ )分别为440MPa和600MPa(指标要求 $R_{e1}\geq 380\text{MPa}$ 、 $R_m\geq 560\text{MPa}$ )。从调质处理和模拟焊后热处理后室温拉伸和高温拉伸结果来看,不同状态钢板拉伸性能远高于指标要求,相比于其它钢种有较大幅度提高。完全适用于核电支撑设备用钢的需求。

[0031] (2) 本发明通过Mn、Cr合金元素形成复合强化,添加少量Ni合金提高基体韧性,添加少量Mo合金保证高温强度,添加微量V合金并配合控制轧制技术使钢板晶粒均匀细小,使得钢板同时具有高强度、高韧性和模拟焊后热处理后稳定的综合机械性能。

[0032] (3) 通过对连铸工艺的控制,连铸坯内部均为柱状晶,未产生柱状晶和等轴晶的搭界,避免了碳化物在连铸坯凝固过程中易在柱状晶和等轴晶的交界处聚集,保证钢板厚度1/4处的低温韧性,钢板在不同状态下的 $-40^{\circ}\text{C}$ 冲击吸收能量同样保持在较高的水平。60mm

板调质处理及模拟焊后热处理后的冲击吸收能量分别为135J和150J左右,不仅满足指标的要求,而且具有较大的余量。

[0033] 综上,本发明的钢板高温强度和抗蠕变性能非常好,能够应对高温、机械冲击和热应力等恶劣条件的挑战,且该发明钢种巧妙发挥了Mo元素在钢中的作用使其具有优良的高温热强性和耐磨性,更能符合各应用领域的使用要求,该发明钢板性能稳定、安全系数高,钢板交货状态和模拟焊后热处理的强度、韧性和探伤性能得到良好的匹配,完全能够满足核电安全壳支承用钢要求。同时具有优良的焊接性能、低辐照脆化效应,并保证了钢板模拟焊后热处理后的力学性能。本发明钢以调质状态交货,对轧制制度要求不高,轧制成本较低,钢板合格率高等优点,适应大生产要求。

### 具体实施方式

[0034] 下面通过实施例对本发明作进一步的说明。

[0035] 本发明实施例根据技术方案的组分配比,进行冶炼、连铸、加热、轧制、热处理。本发明实施例钢的成分见表1。本发明实施例钢的主要工艺参数见表2。本发明实施例钢的热处理主要工艺参数见表3。本发明实施例钢的性能见表4。

[0036] 表1本发明实施例钢的成分 (wt%)

[0037]

实施例	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Al <sub>t</sub>	Cu	V	Ti	P	S	N
1	0.12	0.30	1.45	0.48	0.35	0.26	0.026	0.064	0.038	0.015	0.008	0.004	0.0064
2	0.16	0.45	1.65	0.65	0.48	0.52	0.036	0.100	0.048	0.010	0.006	0.003	0.0048
3	0.10	0.42	1.60	0.60	0.50	0.55	0.038	0.060	0.050	0.008	0.008	0.002	0.0044
4	0.14	0.35	1.50	0.52	0.28	0.30	0.024	0.070	0.036	0.012	0.008	0.002	0.0068
5	0.10	0.25	1.40	0.45	0.22	0.20	0.022	0.055	0.032	0.006	0.005	0.003	0.0082
6	0.14	0.35	1.52	0.55	0.40	0.35	0.032	0.080	0.042	0.018	0.006	0.002	0.0040
7	0.12	0.40	1.55	0.56	0.36	0.42	0.028	0.050	0.048	0.016	0.005	0.005	0.0058
8	0.16	0.30	1.48	0.42	0.24	0.24	0.022	0.055	0.045	0.005	0.005	0.003	0.0042

[0038] 表2本发明实施例钢的轧制主要工艺参数

[0039]

实施例	预热段		加热段		均热段		连续3道次 变形率%	开轧 温度 ℃	终轧 温度 ℃
	加热 温度℃	加热 时间 h	加热 温度℃	加热 时间 h	加热 温度℃	加热 时间 h			
1	780	1.2	1230	1.5	1180	1.0	18/24/22	1170	1120
2	750	1.5	1200	1.5	1180	1.5	20/26/28	1150	1080
3	800	1.5	1260	2.0	1200	1.2	18/24/26	1150	1100
4	760	1.5	1250	1.2	1200	1.5	16/20/22	1160	1095
5	780	1.5	1220	1.8	1220	1.0	15/22/24	1182	1135
6	800	1.0	1250	1.5	1220	1.2	18/24/20	1160	1110
7	740	1.2	1200	1.5	1230	1.2	16/22/24	1175	1130
8	780	1.5	1240	2.0	1230	1.5	18/22/24	1200	1165

[0040] 表3本发明实施例钢的热处理主要工艺参数

[0041]

实施例	淬火温度℃	淬火保温时间 min/mm	回火温度℃	回火保温时间 min/mm
-----	-------	---------------	-------	---------------

[0042]

1	890	2	610	4
2	900	2	610	5
3	910	3	610	6
4	890	3	620	4
5	900	3	620	5
6	910	2	620	6
7	900	2.5	630	4
8	910	2.5	630	6

[0043] 表4本发明实施例钢的性能

[0044]

实施 例	厚度 /mm	热处 理 状态	室温拉伸			200℃高温拉伸			-40℃Akv, J		
			$R_{el}/\text{MPa}$	$R_m/\text{MPa}$	$A/\%$	$R_{el}/\text{MPa}$	$R_m/\text{MPa}$	$A/\%$			
1	30	调质	545	648	26.0	480	635	26.0	134	140	135
		模拟 焊后	510	640	26.5	465	622	25.0	165	150	163
2	35	调质	541	650	26.0	488	642	24.0	137	137	131
		模拟 焊后	505	635	24.0	455	618	23.0	159	161	162
3	45	调质	560	672	24.0	495	668	25.0	133	137	130
		模拟 焊后	522	655	24.0	454	620	24.5	162	163	151
4	55	调质	565	692	25.0	505	685	23.0	136	141	137
		模拟 焊后	540	667	27.0	482	636	22.5	156	158	151
5	60	调质	550	675	29.0	490	665	24.0	135	138	133
		模拟 焊后	510	645	25.5	440	600	23.5	155	150	145
6	70	调质	574	690	27.0	518	674	23.5	134	134	143
		模拟 焊后	543	669	29.0	487	636	22.5	154	155	154
7	75	调质	569	692	23.5	522	672	24.0	148	132	137
		模拟 焊后	548	668	24.0	480	633	25.0	152	162	163
8	80	调质	580	695	24.5	526	670	23.0	133	140	144
		模拟 焊后	552	675	26.0	496	623	22.0	164	153	157

[0045] 为了表述本发明,在上述中通过实施例对本发明恰当且充分地进行了说明,以上实施方式仅用于说明本发明,而并非对本发明的限制,有关技术领域的普通技术人员,在不脱离本发明的精神和范围的情况下,还可以做出各种变化和变型,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内,本发明的专利保护范围应由权利要求限定。