



(10) 授权公告号 CN 118639120 B

(45) 授权公告日 2024.11.12

(21) 申请号 202411125828.X

C21D 8/06 (2006.01)

(22) 申请日 2024.08.16

C21D 9/52 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

C21D 6/00 (2006.01)

申请公布号 CN 118639120 A

B21B 1/16 (2006.01)

(43) 申请公布日 2024.09.13

B21B 37/74 (2006.01)

(73) 专利权人 江苏永钢集团有限公司

C21D 1/46 (2006.01)

地址 215600 江苏省苏州市张家港市南丰

C21D 1/84 (2006.01)

镇永联工业园永钢大道100号

F16B 35/00 (2006.01)

C21D 11/00 (2006.01)

(72) 发明人 彭梦都 胡俊辉 陈远清

(56) 对比文件

(74) 专利代理机构 南京智造力知识产权代理有

CN 118007026 A, 2024.05.10

限公司 32382

CN 118166190 A, 2024.06.11

专利代理师 邵娟

审查员 许甜

(51) Int. Cl.

G22C 38/02 (2006.01)

G22C 38/04 (2006.01)

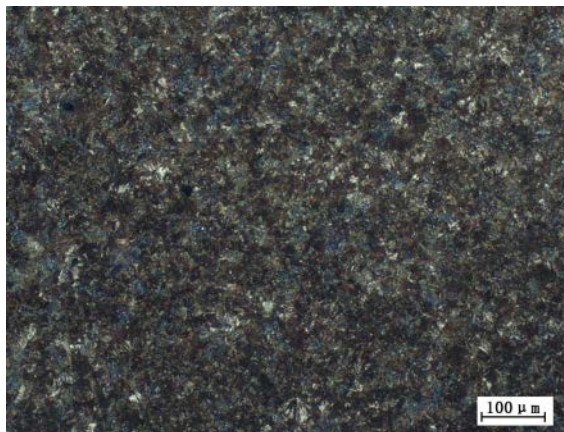
权利要求书2页 说明书12页 附图3页

(54) 发明名称

一种14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷镦钢盘条及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷镦钢盘条及其制造方法,采用高C-Si-Mn的高碳碳素成分控轧吐丝为盘条后进行在线熔盐相变调控,盘条先经过首段熔盐并以 ≥ 44 °C/s的冷速降温至贝氏体与索氏体相区进行组织相变,促进部分奥氏体向贝氏体和索氏体转变,再经过末段熔盐升温至珠光体相区等温,促进未转变奥氏体向珠光体转变,同时回火软化,最后经过辊道缓冷,制为显微组织包括大部分回火珠光体、小部分回火索氏体、少量回火贝氏体和熔断珠光体的冷镦钢盘条,抗拉强度为1305~1345MPa,断面收缩率为44%~49%,用于在非调质工艺下高效绿色制造14.9级螺栓,有效降低开裂风险和材料成本,提高成材率。



1. 一种14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条,其特征在于,所述冷锻钢盘条的化学成分及质量百分比包括:C:0.79%~0.83%、Si:0.15%~0.25%、Mn:0.58%~0.72%、 $P \leq 0.015\%$ 、 $S \leq 0.015\%$,其余为Fe和不可避免杂质;其显微组织包括体积百分比占50%~60%的回火珠光体、体积百分比占5%~10%的回火贝氏体、体积百分比占25%~35%的回火索氏体,其余为熔断珠光体所组成的混合组织,其制造方法包括:

按所述14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的化学成分控轧生产线材,线材按 $\geq 935^{\circ}\text{C}$ 的吐丝温度吐丝为盘条后,进行在线熔盐相变调控,使盘条先经过首段熔盐,盘条以 $\geq 44^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速降温至贝氏体与索氏体相区进行组织相变,促进部分奥氏体向贝氏体和索氏体转变,盘条再经过末段熔盐升温至珠光体相区等温,促进未转变奥氏体向珠光体转变,同时促进贝氏体、索氏体和珠光体回火软化,最后经过辊道缓冷,制为显微组织包括回火珠光体、回火贝氏体、回火索氏体、熔断珠光体所组成混合组织的冷锻钢盘条,所述首段熔盐的熔盐温度为 $420\sim 450^{\circ}\text{C}$,处理时间为 $5\sim 15\text{s}$,所述末段熔盐的熔盐温度为 $460\sim 520^{\circ}\text{C}$,处理时间为 $200\sim 400\text{s}$,所述辊道缓冷采用关闭保温罩,控制盘条以 $0.35\sim 0.80^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷却速度冷却至 300°C 以下。

2. 根据权利要求1所述的14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条,其特征在于,所述回火珠光体的片层间距为 $155\sim 185\text{nm}$,所述回火索氏体的片层间距为 $75\sim 105\text{nm}$,所述冷锻钢盘条的网状碳化物级别为0级。

3. 根据权利要求1所述的14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条,其特征在于,所述冷锻钢盘条的直径为 $5.5\sim 12.0\text{mm}$,抗拉强度为 $1305\sim 1345\text{MPa}$,断面收缩率为 $44\%\sim 49\%$ 。

4. 一种14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的制造方法,其特征在于,其制造方法包括:按权利要求1所述14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的化学成分控轧生产线材,线材按 $\geq 935^{\circ}\text{C}$ 的吐丝温度吐丝为盘条后,进行在线熔盐相变调控,使盘条先经过首段熔盐,盘条以 $\geq 44^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速降温至贝氏体与索氏体相区进行组织相变,促进部分奥氏体向贝氏体和索氏体转变,盘条再经过末段熔盐升温至珠光体相区等温,促进未转变奥氏体向珠光体转变,同时促进贝氏体、索氏体和珠光体回火软化,最后经过辊道缓冷,制为显微组织包括体积百分比占50%~60%的回火珠光体、体积百分比占5%~10%的回火贝氏体、体积百分比占25%~35%的回火索氏体,其余为熔断珠光体所组成混合组织的冷锻钢盘条;所述首段熔盐的熔盐温度为 $420\sim 450^{\circ}\text{C}$,处理时间为 $5\sim 15\text{s}$,所述末段熔盐的熔盐温度为 $460\sim 520^{\circ}\text{C}$,处理时间为 $200\sim 400\text{s}$,所述辊道缓冷采用关闭保温罩,控制盘条以 $0.35\sim 0.80^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷却速度冷却至 300°C 以下。

5. 根据权利要求4所述的14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的制造方法,其特征在于,所述控轧时,轧制前控制加热炉温度为 $1050\sim 1100^{\circ}\text{C}$,在炉时间为 $2\sim 4\text{h}$,炉内氧含量 $\leq 1.4\%$ 。

6. 根据权利要求4所述的14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的制造方法,其特征在于,所述控轧时,控制初轧温度为 $1030\sim 1075^{\circ}\text{C}$,初轧压下量为 $20\%\sim 28\%$,终轧温度 $\geq 950^{\circ}\text{C}$,终轧压下量为 $32\%\sim 42\%$ 。

7. 根据权利要求4所述的14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的制造方法,其特征在于,所述首段熔盐的熔盐循环量为 $350\sim 550\text{t}/\text{h}$,熔盐温升 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ 。

8. 根据权利要求4所述的14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的制造方法,其

特征在于,所述末段熔盐的熔盐循环量为350~550t/h,熔盐温升 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。

一种14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷镦钢盘条及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明属于冷镦钢盘条技术领域,具体涉及一种14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷镦钢盘条及其制造方法。

背景技术

[0002] 螺栓连接作为重要的连接方式,在机械、汽车、建筑等领域应用广泛,在结构钢轻量化的发展趋势下,钢的强度等级不断提升,作为连接构件的螺栓服役应力条件也不断提高,为此需不断提高螺栓的强度等级,以满足日益发展的高应力工业领域应用。螺栓用冷镦钢盘条作为母材,对螺栓的强度等级提升起到至关重要的作用,因此要求冷镦钢盘条强度等级不断提高,但现有技术中对于8.8~12.9级螺栓及其冷镦钢盘条制造的研究较多,由于13.9级及以上更高性能等级的螺栓,如抗拉强度要求 $>1400\text{MPa}$ 的14.9级螺栓及高速线材冷镦钢的开发难度较大,主要通过在中低碳基础上提高淬透性合金元素含量、添加多种微合金元素来保证成分体系的强度等级,但同时带来材料成本的显著增加,受到盘条热轧吐丝后的斯太尔摩风冷线冷速的影响,成分体系的高淬透性会加剧马氏体、贝氏体等恶化拉拔性能的异常组织析出风险,导致成材易脆断、难以集卷,成材率较低,因此冷镦钢会采用圆钢形式开发来适应批量生产,例如专利CN110106443A公开的一种超高强度螺栓用圆钢生产方法,以42CrMo为基材,通过轧钢、开坯、缓冷、热处理等复杂工艺开发的14.9级冷镦钢,虽然避免了高线集卷问题,但难以直接获得小规格原材料,工序复杂、生产效率低,生产成本低。

[0003] 虽然例如专利CN118186298A公开了一种高塑性耐延迟断裂超高强紧固件钢盘条及其制造方法,采用中C-Si-Mn-Cr-Mo-V-Al-Ni成分设计,结合吐丝后在斯太尔摩风冷线上先空冷再保温缓冷制为贝氏体为主、含少量马氏体和铁素体的热轧态金相组织,能通过熔盐等温热处理来获得下贝氏体组织,来达到14.9级紧固件力学性能,但一方面,Cr含量较高、添加Mo、V、Ni等贵价成分也使得钢材材料成本较高,以降低成本为目的,省却合金元素或降低合金含量会导致盘条强度及淬透性明显损失,以及贝氏体、马氏体作为畸变和位错密度较高的硬脆相组织,在斯太尔摩风冷线上保温处理的持续冷却过程中难以得到软化,使得盘条在钢厂集卷、盘卷向下游用户运输和下游用户放卷过程中脆断,导致材料浪费,成材率下降、紧固件制造成本增加;另一方面,虽然采用了盐浴处理,但属于离线盐浴,下游用户需要再将盘卷拆包、放卷、加热至奥氏体化温度和进行长时间熔盐处理,导致工序、能耗和成本增加,对紧固件高效生产不利。

[0004] 现有12.9级及以下等级螺栓用冷镦钢盘条还需要进行多次球化退火、拉拔、冷镦和调质工艺来制造螺栓,用球化退火来改善冷变形性能,拉拔和冷镦减面提强后还需要通过调质来进一步改善综合力学性能,以达到最终性能等级,对于14.9级螺栓用冷镦钢盘条,更需要开发能省却球化退火和调质工序的非调质型螺栓用冷镦钢盘条,来简化螺栓制造、降低排放和能耗,实现其高效绿色制造,但对应冷镦钢盘条的更高强度等级也给盘条塑性

的提升带来挑战。

[0005] 高碳钢用碳元素替代其他合金元素,具有材料成本更低的优势,但现有高碳钢盘条主要集中在通过提高组织中的索氏体含量,来实现桥索、帘线等强度等级的提升和获得适当拉拔性能,还难以应用于冷锻钢盘条,其原因包括:一、斯太尔摩风冷线采用保温或延迟冷却来降低异常组织风险、促进索氏体孕育,但经过二次渗碳体的析出温度区间的时间较长,高碳元素会导致盘条在风冷线冷却过程中形成网状碳化物恶化相,会破坏组织连续性,特别是增加材料脆性,且退火或调质难以消除,更易造成非调质工艺下的拉拔和冷锻过程中易开裂;二、由于过冷度较小、盘条经过索氏体相区的时间较短,在保温持续冷却下、经索氏体孕育后的盘条已处于低温状态,故所得索氏体组织的片层间距较大、组织应力和位错密度较高,使得盘条最终塑性不足、冷变形能力较差、容易拉拔硬化,无法满足拉拔冷锻需求,而提高组织中的铁素体含量则会造成明显劣化盘条强度,对免调质下达到14.9级螺栓的性能等级不利;三、碳含量的增加使得片层变厚,合金元素的增加使得碳的扩散减慢,虽然利用盘条淬透性可适当增大冷速、利用相变形成一定量贝氏体,但贝氏体作为低温组织同样会由于盘条在持续冷却相变过程中已降至低温状态,无法软化而明显增加脆性,不能直接获得高强度、高塑性的盘条,引起成材率损失和非调质工艺开裂风险。

发明内容

[0006] 本发明旨在至少在一定程度上解决上述技术问题之一,本发明提供一种14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条及其制造方法,能够利用高碳碳素成分有效降低材料成本,实现盘条组织调控、高强度与高塑性匹配,用于在非调质工艺下高效绿色制造14.9级螺栓,有效降低开裂风险,提高成材率。

[0007] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0008] 一种14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条,所述冷锻钢盘条的化学成分及质量百分比包括:C:0.79%~0.83%、Si:0.15%~0.25%、Mn:0.58%~0.72%、 $P \leq 0.015\%$ 、 $S \leq 0.015\%$,其余为Fe和不可避免杂质;其显微组织包括体积百分比占50%~60%的回火珠光体、体积百分比占5%~10%的回火贝氏体、体积百分比占25%~35%的回火索氏体,其余为熔断珠光体所组成的混合组织。

[0009] 上述冷锻钢盘条的化学成分及质量百分比设计依据包括:

[0010] (1) 碳:C元素作为主要添加元素,相对其他合金元素更为廉价,用以通过固溶强化保证钢的基体强度、高淬透性和耐磨性,以便在省去退火和调质工序后通过拉拔冷锻能达到14.9级螺栓的性能等级,但同时增加了钢的脱碳风险、渗碳体沿晶界呈网状分布风险和时效敏感性,且C元素含量过高,渗碳体片层变厚、碳的扩散变慢,对在线熔盐相变调控的组织熔断软化不利,因此为了便于组织调控、兼顾冷锻钢盘条冷变形性能和强度特征,C的质量百分比控制为0.79%~0.83%。

[0011] (2) 硅:Si元素是炼钢过程中的脱氧剂,能溶于奥氏体中提高钢的硬度和强度,可以抑制在线熔盐相变调控首段熔盐处理的晶粒粗化,对贝氏体与索氏体形核有利,但硅过量会增加非金属夹杂和脱碳风险,提升钢的冷加工硬化程度而使钢的冷塑性变形和韧性降低,因此Si的质量百分比控制为0.15%~0.25%。

[0012] (3) 锰:Mn元素在冶炼过程中常作为脱氧剂和脱硫剂加入钢中,能与Fe无限固溶,

固溶于奥氏体中可以提高钢的强度级别、淬透性和耐磨性,增加奥氏体冷却时的过冷度,对盘条经过首段熔盐快速转变为贝氏体和片层间距较细的索氏体有利,但Mn含量过高会加剧钢坯凝固过程中的偏析,导致钢的均匀性变差,增加材料加热过程中的晶粒粗化倾向,影响C的活度而增加回火软化难度,因此Mn的质量百分比控制为0.58%~0.72%。

[0013] (4) 磷、硫:P元素和S元素属于杂质元素,越低越好,因此控制 $P \leq 0.015\%$ 、 $S \leq 0.015\%$ 。

[0014] 上述冷锻钢盘条采用高C-Si-Mn的高碳碳素成分设计,用价格低廉的C作为主要成分替代Cr、Mo、Ti、V、Nb、B、Ni等合金成分的添加,能够有效降低材料成本,保证基体强度和高淬透性,所述冷锻钢盘条组织中包括大部分回火珠光体、小部分回火索氏体、少量回火贝氏体和熔断珠光体,珠光体的片层间距较索氏体更大、塑性较索氏体更好、强度较铁素体更高,回火珠光体保留了珠光体强度和塑性适中的特性,珠光体熔断和向球化组织转变形成熔断珠光体和回火珠光体后,组织应力和位错密得以进一步下降,塑性性能得以改善,索氏体的片层间距较珠光体更小、强度较珠光体更高、具有较好的拉拔性能,索氏体相球化组织转变成回火索氏体后,位错密度得以进一步下降,可以提供一定基体强度并有效降低拉拔硬化,回火贝氏体保留了贝氏体较珠光体、铁素体等软相组织强度高的特征,贝氏体通过回火转变为回火贝氏体后位错密度进一步下降,使得塑性得到显著提升。

[0015] 故相较于现有含有贝氏体或以贝氏体为主的热轧态中低碳合金冷锻钢盘条组织,所述冷锻钢盘条能够通过高碳成分配合回火贝氏体和回火索氏体提供较高的基体强度,弥补省却合金元素、降低合金含量带来的强度损失,能够通过珠光体、贝氏体和索氏体的回火态组织调控有效的显著改善盘条塑性,弥补高碳成分和贝氏体硬脆相组织对冷变形性能的不利影响,相较于现有高索氏体化率的高碳钢盘条,所述冷锻钢盘条也通过适当添加回火珠光体与熔断珠光体组织,有效改善组织应力和索氏体位错密度,能够有效降低拉拔硬化和冷锻开裂,进而实现高碳碳素成分的高强度与高塑性匹配,适用于14.9级非调质型螺栓制造。

[0016] 在优选的实施例中,所述回火珠光体的片层间距为155~185nm,所述回火索氏体的片层间距为75~105nm,回火索氏体片层间距的减小伴有回火贝氏体占比增加,盘条强度上升、塑性下降,回火珠光体片层间距的增加伴有熔断珠光体占比增加,盘条强度下降、塑性上升。

[0017] 在优选的实施例中,所述冷锻钢盘条的网状碳化物级别为0级,能够有效抑制网状碳化物形成,避免其引起的开裂风险,提升碳元素的经济价值。

[0018] 在优选的实施例中,所述冷锻钢盘条的直径为5.5~12.0mm,抗拉强度为1305~1345MPa,断面收缩率为44%~49%,较现有14.9级螺栓用冷锻圆钢具有更小的直径规格,有利于简化和降低小规格螺栓的制造难度,较现有低级别或调质型紧固件用冷锻钢盘条,所述冷锻钢盘条兼具明显提高的抗拉强度和断面收缩率,较现有贝氏体组织盘条能有效避免集卷、运输和下游放卷脆断,减少原料浪费,提高成材率,能够在省却退火工序后,通过拉拔和冷锻进一步条盘条抗拉强度和成型制造,在省却调质工序下通过简单的时效处理达到14.9级性能等级,由于盘条塑性较高,在省却退火和调质工序下的冷加工过程中不易开裂,由于盘条强度较高,通过简单的拉拔和冷锻即可提强到14.9级性能,过程中不会导致盘条塑性的过度损失,进而也降低了断丝和开裂风险,简化了螺栓制造工序,降低了整体成本。

[0019] 一种14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的制造方法,其制造方法包括:按上述任意一项所述14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的化学成分控轧生产线材,线材按 $\geq 935^{\circ}\text{C}$ 的吐丝温度吐丝为盘条后,进行在线熔盐相变调控,使盘条先经过首段熔盐,盘条以 $\geq 44^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速降温至贝氏体与索氏体相区进行组织相变,促进部分奥氏体向贝氏体和索氏体转变,盘条再经过末段熔盐升温至珠光体相区等温,促进未转变奥氏体向珠光体转变,同时促进贝氏体、索氏体和珠光体回火软化,最后经过辊道缓冷,制为显微组织包括体积百分比占50%~60%的回火珠光体、体积百分比占5%~10%的回火贝氏体、体积百分比占25%~35%的回火索氏体,其余为熔断珠光体所组成混合组织的冷锻钢盘条。

[0020] 相较于现有受限于为降低异常组织析出风险,或为延长索氏体相变孕育但在在线时间不宜过长,高碳钢盘条的吐丝温度不能过高,上述制造方法采用吐丝后直接进行在线熔盐相变调控,可以快速降温和调控组织,故可以打破低温吐丝限制,选用较高的吐丝温度,一方面,用于避免在吐丝阶段形成二次渗碳体析出,抑制网状碳化物,另一方面,为后续经过首段熔盐形成较高过冷度、促进片层间距更细的索氏体相变提供有利条件。

[0021] 吐丝后的盘条进行在线熔盐相变调控时首先经过首段熔盐,相较于斯太尔摩风冷线的最高冷速仅能到达 $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 左右,能够利用熔盐的高换热能力使盘条极快速降温,一方面,能够以超快冷速通过二次网碳析出区间,抑制网状碳化物形成,有效提升碳元素的经济价值,另一方面,能够形成较大的过冷度,抑制先共析铁素体析出,使盘条快速进入贝氏体与索氏体相区进行组织相变,通过较低的等温温度和短暂的等温相变,促进部分高温奥氏体向贝氏体和片层间距小细的索氏体转变,以此来控制回火贝氏体和回火索氏体含量,同时相较于强风冷环境,由于盘条经过熔盐时,熔盐能够包覆盘条表面,不存在受风面与背风面的温差问题,可以避免盘条出现马氏体异常组织,降低盘条力学性能波动。

[0022] 经过首段熔盐的盘条再经过升温的末段熔盐,可以快速到达珠光体相变温度区间,促进经过首段熔盐后,盘条中未转变的高温奥氏体向珠光体组织转变,同时相较于现有保温缓冷的持续冷却相变控制工艺,上述制造方法在组织相变后还能够利用末端熔盐升温,以及盘条与熔盐温度一致,延长盘条在高温区间的时间,在相变后能促进贝氏体、索氏体和珠光体组织进行回火软化,不断降低基体位错密度和调整碳化物形态,调控基体强度和塑性,也避免了盘条在后续冷却过程中出现马氏体异常组织,再经过辊道缓冷后,能够利用盘条经过熔盐后的高温状态,促进已回火的贝氏体、索氏体和珠光体组织进行一步软化,实现最终组织调控和强塑性能匹配,较离线盐浴工艺,这种吐丝后直接盐浴的在线熔盐相变调控,既能够解决现有斯太尔摩线控冷的异常组织和强塑性能调控难点,避免脆断和成材率问题,也能够避免下游用户对盘条重新加热及热处理带来的效率和成本不利影响。

[0023] 在优选的实施例中,所述控轧时,轧制前控制加热炉温度为 $1050\sim 1100^{\circ}\text{C}$,在炉时间为 $2\sim 4\text{h}$,炉内氧含量 $\leq 1.4\%$,选用较低的加热炉温度和较短的在炉时间,促进成分均匀扩散并结合低炉氧含量,抑制高温氧化,控制高碳钢钢坯脱碳程度。

[0024] 由于采用较高的吐丝温度,可以打破低温吐丝对低温轧制的限制,选用较高的轧制温度降低对轧制线的磨损、提高轧制速度,在优选的实施例中,所述控轧时,控制初轧温度为 $1030\sim 1075^{\circ}\text{C}$,初轧压下量为 $20\%\sim 28\%$,选用较高初轧温度促进成分均匀化,通过反复变形及再结晶细化奥氏体晶粒。

[0025] 在优选的实施例中,所述控轧时,控制终轧温度 $\geq 950^{\circ}\text{C}$,终轧压下量为 $32\%\sim 42\%$,

选用较高的终轧温度,有利于高碳钢中的碳化物溶解,增加奥氏体稳定性,选用较大的终轧压下量,降低奥氏体晶粒长大倾向,为细化组织和控制网状碳化物创造有利条件。

[0026] 在优选的实施例中,所述首段熔盐的熔盐温度为420~450℃,处理时间为5~15s,首段熔盐的熔盐温度越低、处理时间越长,则奥氏体向贝氏体转变越多,索氏体片层间距越细,回火贝氏体占比升高,盘条强度上升、塑性下降,但首段熔盐的熔盐温度过低,则回火贝氏体占比过高或无法获得索氏体组织,处理时间过长,则贝氏体与索氏体转变越多,对盘条塑性不利;反之熔盐温度越高、时间越短,则回火贝氏体占比减小,索氏体片层间距变大,盘条强度下降、塑性上升,但熔盐温度过高、时间过短,对贝氏体转变不利,甚至无法获得片层较细的索氏体组织,会导致基体强度明显损失,会导致盘条强度的过分劣化。

[0027] 在优选的实施例中,所述首段熔盐的熔盐循环量为350~550t/h,熔盐温升 $\leq 10^{\circ}\text{C}$,可以用熔盐循环量控制熔盐温升保持处理精度,避免熔盐循环量过大引起不必要的能耗增大,避免熔盐循环量过小引起异常组织和调控差异。

[0028] 在优选的实施例中,所述末段熔盐的熔盐温度为460~520℃,处理时间为200~400s,末段熔盐的熔盐温度越低,则形成的珠光体片层间距越越细,细化的片层间距可以降低熔断难度,但熔盐温度过低,因过冷度致使索氏体占比增大会影响盘条塑性,反之熔盐温度越高,则形成的珠光体片层间距越粗,能够给贝氏体、索氏体和珠光体组织回火软化提供更多热动力,使得盘条强度下降、塑性上升,但熔盐温度过高易引起片层过粗或形成铁素体组织,过分回火软化,对盘条强度不利;末段熔盐的处理时间越长,则降低基体位错密度和调整碳化物形态向球化转变的回火软化效果越明显,盘条强度下降、塑性上升,但处理时间过长,过分软化会造成较大的强度损失,同时对高效生产不利,反之处理时间越短,则回火软化效果越差,盘条塑性下降,甚至处理时间过短影响珠光体充分孕育而增加异常组织析出风险,对组织调控不利,故可以进一步控制末段熔盐的熔盐温度和处理时间,促进未转变的高温奥氏体向珠光体转变,同时回火软化调控基体强度和塑性。

[0029] 在优选的实施例中,所述末段熔盐的熔盐循环量为350~550t/h,熔盐温升 $\leq 5^{\circ}\text{C}$,选用较高的熔盐循环量控制熔盐温升可以促进组织均匀转变和回火软化,并避免熔盐循环量过高引起不必要的能耗增加。

[0030] 在优选的实施例中,所述辊道缓冷采用关闭保温罩,控制盘条以0.35~0.80℃/s的冷却速度冷却至300℃以下,通过关闭保温罩形成保温通道结构,用辊道输送经过末段熔盐的盘条在保温罩内持续缓冷,必要时还可以将在线熔盐相变调控过程中产生的热气输入保温罩内控制盘条冷却速度,可以利用缓慢的冷却速度延长盘条处于高温的时间,促进盘条组织的进一步软化,随后进行集卷。

[0031] 与现有技术相比,本发明的有益效果至少在于:

[0032] (1) 针对现有冷锻钢盘条提高淬透性合金元素含量、添加多种微合金元素来提高体系强度,但带来材料成本高、异常组织析出风险加剧和塑性难以兼顾的现状,本发明的冷锻钢盘条采用高C-Si-Mn的高碳碳素成分设计,能够省却Cr、Mo、Ti、V、Nb、B、Ni等合金成分,有效降低材料成本,显微组织包括大部分回火珠光体、小部分回火索氏体、少量回火贝氏体和熔断珠光体,不包括马氏体组织,能够用高碳固溶强化配合回火贝氏体和回火索氏体组织提供基体强度,弥补省却合金成分后带来的强度损失,又能够结合对珠光体、贝氏体和索氏体的回火态组织调控有效降低组织应力和位错密度,显著改善盘条塑性,弥补高碳成分

和贝氏体硬脆相组织对冷变形性能的不利影响,降低拉拔硬化和冷镦开裂,实现高强度与高塑性匹配,达到抗拉强度为1305~1345MPa,断面收缩率为44%~49%,既能够避免集卷、运输和下游放卷的脆断问题,提高成材率,又能够适用于在非调质工艺下高效绿色制造14.9级螺栓,降低碳排放和螺栓成本,具有良好的市场应用前景。

[0033] (2) 针对高速线材冷镦钢由于受到斯太尔摩风冷线冷速的影响,导致冷镦钢以圆钢形式开发或难以满足14.9级非调质型螺栓应用需求的现状,本发明的制造方法通过高碳碳素成分设计结合在线熔盐相变调控技术,能够选用较高的吐丝温度,结合后续在线熔盐快速降温,经过首段熔盐以超快冷速通过二次网碳析出区间,抑制网状碳化物形成,有效提升碳元素的经济价值,并促进部分高温奥氏体向贝氏体和索氏体组织转变,进而有效控制基体回火贝氏体与回火索氏体含量,以保证基体强度和塑性,再经过末段熔盐促进未转变高温奥氏体向珠光体转变,同时高温奥氏体转变而成的贝氏体、索氏体和珠光体组织进行回火软化,不断降低基体位错密度和调整碳化物形态,调控基体强度和塑性,最后经过辊道缓冷促进盘条组织的进一步软化,较离线盐浴工艺能够避免集卷脆断、简化工艺步骤,实现盘条组织调控、高强度与高塑性匹配,具有良好的工业适应性。

附图说明

[0034] 本发明的上述和/或附加的方面和优点从结合下面附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解,其中:

[0035] 图1是本发明实施例1的金相组织图;

[0036] 图2是本发明实施例2的金相组织图;

[0037] 图3是本发明实施例3的金相组织图。

具体实施方式

[0038] 下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,仅仅为了进行举例说明且不限对本发明的特点和特征的描述,以提出执行本发明的最佳方式,旨在用于解释本发明,并足以使得本领域技术人员能够实施本发明,而不能理解为对本发明的范围有任何限制。

实施例1:

[0039] 本发明所述14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷镦钢盘条的制造方法的一种较佳实施方式,所述冷镦钢盘条的化学成分及质量百分比包括:C:0.82%、Si:0.15%、Mn:0.63%、P:0.013%、S:0.012%,其余为Fe和不可避免杂质;其制造方法按照控轧→吐丝→在线熔盐相变调控→辊道缓冷→集卷的工艺流程制造,具体的:

[0040] 所述控轧用于将规格为180mm×180mm的钢坯,通过加热炉加热为达到可轧制塑性的高温钢坯,选用较低的加热炉温度和较短的在炉时间,控制高碳钢钢坯脱碳程度,再通过轧制线将从加热炉出来的钢坯,轧制为直径规格为8mm的线材,用较高的轧制温度降低对轧制线的磨损、提高轧制速度,选用较大的压下量为细化组织和控制网状碳化物创造有利条件,具体的:控制加热炉温度为1070℃,在炉时间为3h,炉内氧含量≤1.3%,初轧温度为1045℃,初轧压下量为26%,终轧温度为970℃,终轧压下量为38%;所述吐丝工序用于将出轧制线的线材,经过吐丝机制为盘条,盘条散布在辊道上沿辊道输送,选用较高的吐丝温度,利于控制盘条二次网碳析出和形成较大的过冷度,促进贝氏体和索氏体形核,具体的:控制吐丝

温度为945℃。

[0041] 所述在线熔盐相变调控采用内设熔盐的两个盐浴槽,吐丝后的盘条先经辊道输送穿过盐第一个盐浴槽即首段熔盐,快速降温至熔盐温度,选取较低的等温温度,使盘条以44℃/s的冷速降温,快速通过二次网碳析出区间,促进部分高温奥氏体向贝氏体和索氏体组织转变,以保证基体强度和塑性,经过首段熔盐的盘条再经过辊道输送穿过第二个盐浴槽即末段熔盐,升温至珠光体相区等温,促进未转变高温奥氏体向珠光体转变,同时促进贝氏体、索氏体和珠光体回火软化,具体的:所述首段熔盐的熔盐温度为442℃,处理时间为8s,熔盐循环量为400t/h,熔盐温升 $\leq 10^{\circ}\text{C}$;所述末段熔盐的熔盐温度为500℃,处理时间为350s,熔盐循环量为480t/h,熔盐温升 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。

[0042] 所述辊道缓冷工序采用关闭保温罩,形成保温通道结构,用保温辊道输送从第二个盐浴槽出来的盘条进入保温罩,对盘条进行缓冷处理,促进盘条组织的进一步软化,具体的:控制盘条以0.65℃/s的冷却速度冷却至286℃,随后进行集卷;所述集卷工序用于通过集卷筒将盘条集卷为盘卷,包装入库后获得冷锻钢盘条成品,其金相组织图如图1所示。

[0043] 对比例1:

[0044] 一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例1的区别在于,其制造方法按照控轧→低温吐丝→斯太尔摩保温缓冷的工艺流程制造,具体的:控制加热炉温度为990℃,在炉时间为5h,初轧温度为950℃,终轧温度为840℃,吐丝温度为820℃,所述斯太尔摩保温缓冷采用关闭全部风机和保温罩,用辊道输送盘条,盘条在罩内以1.2℃/s的冷速完成相变,下线后获得盘条成品。

[0045] 对比例2:

[0046] 一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例1的区别在于,其制造方法按照控轧→低温吐丝→空冷→斯太尔摩保温缓冷的工艺流程制造,具体的:控制加热炉温度为1000℃,在炉时间为4h,初轧温度为990℃,终轧温度为885℃,吐丝温度为860℃,所述空冷采用开启保温罩、关闭风机,用辊道输送盘条,使盘条按2.2℃/s的冷速冷却至685℃,所述斯太尔摩保温缓冷采用关闭风机和保温罩,用辊道输送盘条,盘条在罩内以0.9℃/s的冷速完成相变,下线后获得盘条成品。

[0047] 对比例3:

[0048] 一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例1的区别在于,其制造方法按照控轧→吐丝→斯太尔摩快冷+保温缓冷的工艺流程制造,具体的:控制加热炉温度为1035℃,在炉时间为4h,初轧温度为1015℃,终轧温度为935℃,吐丝温度为910℃,所述斯太尔摩快冷+保温缓冷采用1~7#风机按45%开启,使盘条按5.8℃/s的冷速冷却至690℃,之后关闭后方风机和保温罩,用辊道输送盘条,盘条在罩内以0.6℃/s的冷速完成相变,下线后获得盘条成品。

[0049] 对上述实施例1和对比例1~3所得盘条进行组织与性能检测:拉伸测试采用《GB-T 228 .1-2021金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》进行测试,获得抗拉强度和断面收缩率,按照GB/T13298标准的金属显微组织检测方法进行组织检测,获得的对比结果如下表1所示:

[0050] 表1.不同制造方法的盘条组织性能的对比结果

| 序号 | 抗拉强度/MPa | 断面收缩率/% | 显微组织 | 网状碳化物/级 |
|--------------|----------|---------|-----------------------------|---------|
| [0051] 实施例 1 | 1323 | 47 | 回火珠光体+回火贝氏体+回火索氏体+ 熔断珠光体 | 0 |
| 对比例 1 | 1399 | 27 | 索氏体+铁素体 | 3 |
| 对比例 2 | 1426 | 18 | 贝氏体+珠光体+铁素体 | 3 |
| 对比例 3 | 1503 | 7 | 马氏体+贝氏体+珠光体+铁素体 | 2 |

[0052] 由实施例1与对比例1的对比结果可见,相较于采用高C-Si-Mn的高碳碳素成分设计,在低温吐丝和保温缓慢冷却工艺下,获得的索氏体+铁素体组织,盘条强度较高但过程中形成网状碳化物恶化相,会破坏组织连续性,所得索氏体组织的片层间距较大、组织应力和位错密度较高,使得盘条最终塑性不足、冷变形能力较差、容易拉拔硬化,本发明通过高碳碳素成分设计结合在线熔盐相变调控技术,以超快冷速抑制网状碳化物形成,有效提升碳元素的经济价值,并促进部分高温奥氏体向贝氏体和索氏体组织转变,以保证基体强度和塑性,再经过末段熔盐进行回火软化,不断降低基体位错密度和调整碳化物形态,能实现高强度与高塑性匹配。

[0053] 由实施例1与对比例2的对比结果可见,相较于稍提高吐丝温度后采用空冷和保温冷却,对网碳的改善有限,同时贝氏体作为畸变和位错密度较高的硬脆相组织,在斯太尔摩风冷线上保温处理的持续冷却过程中难以得到软化,容易导致材料浪费,成材率下降,本发明回火贝氏体保留了贝氏体较珠光体、铁素体等软相组织强度高的特征,通过回火转变为回火贝氏体后位错密度进一步下降,使得塑性得到显著提升。

[0054] 由实施例1与对比例3的对比结果可见,相较于进一步提高吐丝温度后采用风冷快速冷却和保温冷却,但对网碳的改善有限,会加剧马氏体、贝氏体等恶化拉拔性能的异常组织析出风险,导致成材易脆断、难以集卷,本发明可以避免盘条出现马氏体异常组织,降低盘条力学性能波动,弥补高碳成分和贝氏体硬脆相组织对冷变形性能的不利影响。

实施例2:

[0055] 本发明所述14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的制造方法的一种较佳实施方式,所述冷锻钢盘条的化学成分及质量百分比包括:C:0.83%、Si:0.23%、Mn:0.67%、P:0.013%、S:0.014%,其余为Fe和不可避免杂质;其制造方法按照控轧→吐丝→在线熔盐相变调控→辊道缓冷→集卷的工艺流程制造,具体的:

[0056] 所述控轧用于将规格为180mm×180mm的钢坯,通过加热炉加热为达到可轧制塑性的高温钢坯,选用较低的加热炉温度和较短的在炉时间,控制高碳钢钢坯脱碳程度,再通过轧制线将从加热炉出来的钢坯,轧制为直径规格为10mm的线材,用较高的轧制温度降低对轧制线的磨损、提高轧制速度,选用较大的压下量为细化组织和控制网状碳化物创造有利条件,具体的:控制加热炉温度为1085℃,在炉时间为3.5h,炉内氧含量≤1.2%,初轧温度为1065℃,初轧压下量为22%,终轧温度为980℃,终轧压下量为36%;所述吐丝工序用于将出轧制线的线材,经过吐丝机制为盘条,盘条散布在辊道上沿辊道输送,选用较高的吐丝温度,利于控制盘条二次网碳析出和形成较大的过冷度,促进贝氏体和索氏体形核,具体的:控制吐丝温度为950℃。

[0057] 所述在线熔盐相变调控采用内设熔盐的两个盐浴槽,吐丝后的盘条先经辊道输送穿过盐第一个盐浴槽即首段熔盐,快速降温至熔盐温度,选取较低的等温温度,使盘条以44℃/s的冷速降温,快速通过二次网碳析出区间,促进部分高温奥氏体向贝氏体和索氏体组

织转变,以保证基体强度和塑性,经过首段熔盐的盘条再经过辊道输送穿过第二个盐浴槽即末段熔盐,升温至珠光体相区等温,促进未转变高温奥氏体向珠光体转变,同时促进贝氏体、索氏体和珠光体回火软化,具体的:所述首段熔盐的熔盐温度为450°C,处理时间为5s,熔盐循环量为350t/h,熔盐温升 $\leq 10^{\circ}\text{C}$;所述末段熔盐的熔盐温度为472°C,处理时间为400s,熔盐循环量为350t/h,熔盐温升 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。

[0058] 所述辊道缓冷工序采用关闭保温罩,形成保温通道结构,用保温辊道输送从第二个盐浴槽出来的盘条进入保温罩,对盘条进行缓冷处理,促进盘条组织的进一步软化,具体的:控制盘条以0.5°C/s的冷却速度冷却至284°C,随后进行集卷;所述集卷工序用于通过集卷筒将盘条集卷为盘卷,包装入库后获得冷锻钢盘条成品,其金相组织图如图2所示。

[0059] 对比例4:

[0060] 一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例2的区别在于,控制加热炉温度为1040°C,在炉时间为4h,初轧温度为1020°C,终轧温度为940°C,吐丝温度为920°C,吐丝后的盘条先经辊道输送穿过首段熔盐,使盘条以39°C/s的冷速降温,下线后获得盘条成品。

[0061] 对比例5:

[0062] 一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例2的区别在于,所述在线熔盐相变调控采用内设熔盐的一个盐浴槽,吐丝后的盘条经辊道输送穿过盐浴槽,使盘条以42°C/s的冷速降温,熔盐温度为465°C,处理时间为405s,下线后获得盘条成品。

[0063] 对比例6:

[0064] 一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例2的区别在于,吐丝后的盘条先经辊道输送穿过首段熔盐,使盘条以48°C/s的冷速降温,所述首段熔盐的熔盐温度为410°C,处理时间为20s,熔盐循环量为500t/h,下线后获得盘条成品。

实施例3:

[0065] 本发明所述14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的制造方法的一种较佳实施方式,所述冷锻钢盘条的化学成分及质量百分比包括:C:0.81%、Si:0.2%、Mn:0.58%、P:0.015%、S:0.014%,其余为Fe和不可避免杂质;其制造方法按照控轧→吐丝→在线熔盐相变调控→辊道缓冷→集卷的工艺流程制造,具体的:

[0066] 所述控轧用于将规格为180mm×180mm的钢坯,通过加热炉加热为达到可轧制塑性的高温钢坯,选用较低的加热炉温度和较短的在炉时间,控制高碳钢钢坯脱碳程度,再通过轧制线将从加热炉出来的钢坯,轧制为直径规格为5.5mm的线材,用较高的轧制温度降低对轧制线的磨损、提高轧制速度,选用较大的压下量为细化组织和控制网状碳化物创造有利条件,具体的:控制加热炉温度为1050°C,在炉时间为2h,炉内氧含量 $\leq 1.4\%$,初轧温度为1030°C,初轧压下量为28%,终轧温度为950°C,终轧压下量为42%;所述吐丝工序用于将出轧制线的线材,经过吐丝机制为盘条,盘条散布在辊道上沿辊道输送,选用较高的吐丝温度,利于控制盘条二次网碳析出和形成较大的过冷度,促进贝氏体和索氏体形核,具体的:控制吐丝温度为935°C。

[0067] 所述在线熔盐相变调控采用内设熔盐的两个盐浴槽,吐丝后的盘条先经辊道输送穿过盐第一个盐浴槽即首段熔盐,快速降温至熔盐温度,选取较低的等温温度,使盘条以45°C/s的冷速降温,快速通过二次网碳析出区间,促进部分高温奥氏体向贝氏体和索氏体组织转变,以保证基体强度和塑性,经过首段熔盐的盘条再经过辊道输送穿过第二个盐浴槽

即末段熔盐,升温至珠光体相区等温,促进未转变高温奥氏体向珠光体转变,同时促进贝氏体、索氏体和珠光体回火软化,具体的:所述首段熔盐的熔盐温度为420°C,处理时间为15s,熔盐循环量为550t/h,熔盐温升 $\leq 10^{\circ}\text{C}$;所述末段熔盐的熔盐温度为520°C,处理时间为270s,熔盐循环量为550t/h,熔盐温升 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。

[0068] 所述辊道缓冷工序采用关闭保温罩,形成保温通道结构,用保温辊道输送从第二个盐浴槽出来的盘条进入保温罩,对盘条进行缓冷处理,促进盘条组织的进一步软化,具体的:控制盘条以0.8°C/s的冷却速度冷却至295°C,随后进行集卷;所述集卷工序用于通过集卷筒将盘条集卷为盘卷,包装入库后获得冷锻钢盘条成品,其金相组织图如图3所示。

[0069] 对比例7:

[0070] 一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例3的区别在于,所述末段熔盐的熔盐温度为455°C,下线后获得盘条成品。

[0071] 对比例8:

[0072] 一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例3的区别在于,所述末段熔盐的熔盐温度为535°C,处理时间为420s,熔盐循环量为600t/h,下线后获得盘条成品。

[0073] 对比例9:

[0074] 一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例3的区别在于,所述末段熔盐的处理时间为165s,下线后获得盘条成品。

实施例4:

[0075] 本发明所述14.9级非调质型螺栓用高碳碳素冷锻钢盘条的制造方法的一种较佳实施方式,所述冷锻钢盘条的化学成分及质量百分比包括:C:0.79%、Si:0.25%、Mn:0.72%、P:0.014%、S:0.015%,其余为Fe和不可避免杂质;其制造方法按照控轧→吐丝→在线熔盐相变调控→辊道缓冷→集卷的工艺流程制造,具体的:

[0076] 所述控轧用于将规格为180mm×180mm的钢坯,通过加热炉加热为达到可轧制塑性的高温钢坯,选用较低的加热炉温度和较短的在炉时间,控制高碳钢钢坯脱碳程度,再通过轧制线将从加热炉出来的钢坯,轧制为直径规格为12mm的线材,用较高的轧制温度降低对轧制线的磨损、提高轧制速度,选用较大的压下量为细化组织和控制网状碳化物创造有利条件,具体的:控制加热炉温度为1100°C,在炉时间为4h,炉内氧含量 $\leq 1.4\%$,初轧温度为1075°C,初轧压下量为20%,终轧温度为990°C,终轧压下量为32%;所述吐丝工序用于将出轧制线的线材,经过吐丝机制为盘条,盘条散布在辊道上沿辊道输送,选用较高的吐丝温度,利于控制盘条二次网碳析出和形成较大的过冷度,促进贝氏体和索氏体形核,具体的:控制吐丝温度为965°C。

[0077] 所述在线熔盐相变调控采用内设熔盐的两个盐浴槽,吐丝后的盘条先经辊道输送穿过盐第一个盐浴槽即首段熔盐,快速降温至熔盐温度,选取较低的等温温度,使盘条以47°C/s的冷速降温,快速通过二次网碳析出区间,促进部分高温奥氏体向贝氏体和索氏体组织转变,以保证基体强度和塑性,经过首段熔盐的盘条再经过辊道输送穿过第二个盐浴槽即末段熔盐,升温至珠光体相区等温,促进未转变高温奥氏体向珠光体转变,同时促进贝氏体、索氏体和珠光体回火软化,具体的:所述首段熔盐的熔盐温度为430°C,处理时间为12s,熔盐循环量为500t/h,熔盐温升 $\leq 10^{\circ}\text{C}$;所述末段熔盐的熔盐温度为460°C,处理时间为200s,熔盐循环量为380t/h,熔盐温升 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。

[0078] 所述辊道缓冷工序采用关闭保温罩,形成保温通道结构,用保温辊道输送从第二个盐浴槽出来的盘条进入保温罩,将在线熔盐相变调控过程中产生的热气输入保温罩内,对盘条进行缓冷处理,促进盘条组织的进一步软化,具体的:控制盘条以0.35℃/s的冷却速度冷却至295℃,随后进行集卷;所述集卷工序用于通过集卷筒将盘条集卷为盘卷,包装入库后获得冷镦钢盘条成品。

[0079] 对上述实施例2~4和对比例4~10所得盘条进行组织与性能检测:拉伸测试采用《GB-T 228 .1-2021金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》进行测试,获得抗拉强度和断面收缩率,按照GB/T13298标准的金属显微组织检测方法进行组织检测,获得的对比结果如下表2所示:

[0080] 表2.不同冷镦钢盘条成分与制造方法的盘条组织性能的对比结果

| 序号 | 抗拉强度/MPa | 断面收缩率/% | 显微组织 | | | | | | 网状碳化物/级 |
|--------|----------|---------|---------|--------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| | | | 回火珠光体/% | 回火珠光体片层间距/nm | 回火贝氏体/% | 回火索氏体/% | 回火索氏体片层间距/nm | 熔断珠光体/% | |
| 实施例 1 | 1323 | 47 | 56 | 176 | 7 | 28 | 93 | 9 | 0 |
| 实施例 2 | 1305 | 49 | 59 | 160 | 5 | 25 | 105 | 11 | 0 |
| 对比例 4 | 1277 | 40 | 62 | 162 | 5 | 22 | 110 | 11 | 0.5 |
| 对比例 5 | 1204 | 43 | 52 | 159 | 0 | 38 | 125 | 10 | 0 |
| 对比例 6 | 1375 | 38 | 40 | 164 | 12 | 36 | 70 | 12 | 0 |
| 实施例 3 | 1331 | 45 | 50 | 185 | 10 | 35 | 75 | 5 | 0 |
| 对比例 7 | 1348 | 41 | 48 | 155 | 10 | 38 | 76 | 4 | 0 |
| 对比例 8 | 1281 | 49 | 43 | 195 | 10 | 35 | 78 | 12 | 0 |
| 对比例 9 | 1388 | 33 | 55 | 184 | 10 | 35 | 73 | 0 | 0 |
| 实施例 4 | 1345 | 44 | 60 | 155 | 8 | 29 | 80 | 3 | 0 |
| 对比例 10 | 1357 | 40 | 62 | 154 | 8 | 29 | 79 | 1 | 0 |

[0081] 由实施例1~4的结果可见,本发明的冷镦钢盘条采用高C-Si-Mn的高碳碳素成分设计,能够省却Cr、Mo、Ti、V、Nb、B、Ni等合金成分,有效降低材料成本,显微组织包括大部分回火珠光体、小部分回火索氏体、少量回火贝氏体和熔断珠光体,不包括马氏体组织,实现高强度与高塑性匹配,达到抗拉强度为1305~1345MPa,断面收缩率为44%~49%,能够适用于在非调质工艺下高效绿色制造14.9级螺栓,降低碳排放和螺栓成本。

[0082] 由实施例2与对比例4的对比结果可见,选用较高的吐丝温度,利用熔盐的高换热能力使盘条极快速降温,能够有效避免抑制网状碳化物,并为促进片层间距更细的索氏体相变提供有利条件;由实施例2与对比例5的对比结果可见,采用一个盐浴槽处理即相当于提高首段熔盐的熔盐温度,熔盐温度越高、时间越短,则回火贝氏体占比减小,索氏体片层间距变大,盘条强度下降、塑性上升,但熔盐温度过高、时间过短,对贝氏体转变不利,基体强度明显损失;由实施例2与对比例6的对比结果可见,首段熔盐的熔盐温度越低、处理时间越长,则奥氏体向贝氏体转变越多,索氏体片层间距越细,回火贝氏体占比升高,盘条强度上升、塑性下降,但首段熔盐的熔盐温度过低、时间过长,回火贝氏体占比过高,对盘条塑性不利。

[0083] 由实施例3与对比例7的对比结果可见,末段熔盐的熔盐温度越低,则形成的珠光体片层间距越越细,但熔盐温度过低,因过冷度致使索氏体占比增大会影响盘条塑性;由实施例3与对比例8的对比结果可见,之熔盐温度越高,则形成的珠光体片层间距越粗,能够给贝氏体、索氏体和珠光体组织回火软化提供更多热动力,使得盘条强度下降、塑性上升,但

熔盐温度过高易引起片层过粗,过分回火软化,对盘条强度不利;由实施例3与对比例9的对比结果可见,处理时间越短,则回火软化效果越差,盘条塑性下降;由实施例4与对比例10的对比结果可见,经过辊道缓冷后,能够利用盘条经过熔盐后的高温状态,促进已回火的贝氏体、索氏体和珠光体组织进行一步软化。

[0085] 上文所列出的一系列详细说明仅仅是针对本发明的可行性实施例的具体说明,它们并非用以限制本发明的保护范围,凡未脱离本发明技艺精神所作的等效实施例或变更均应包含在本发明的保护范围之内。

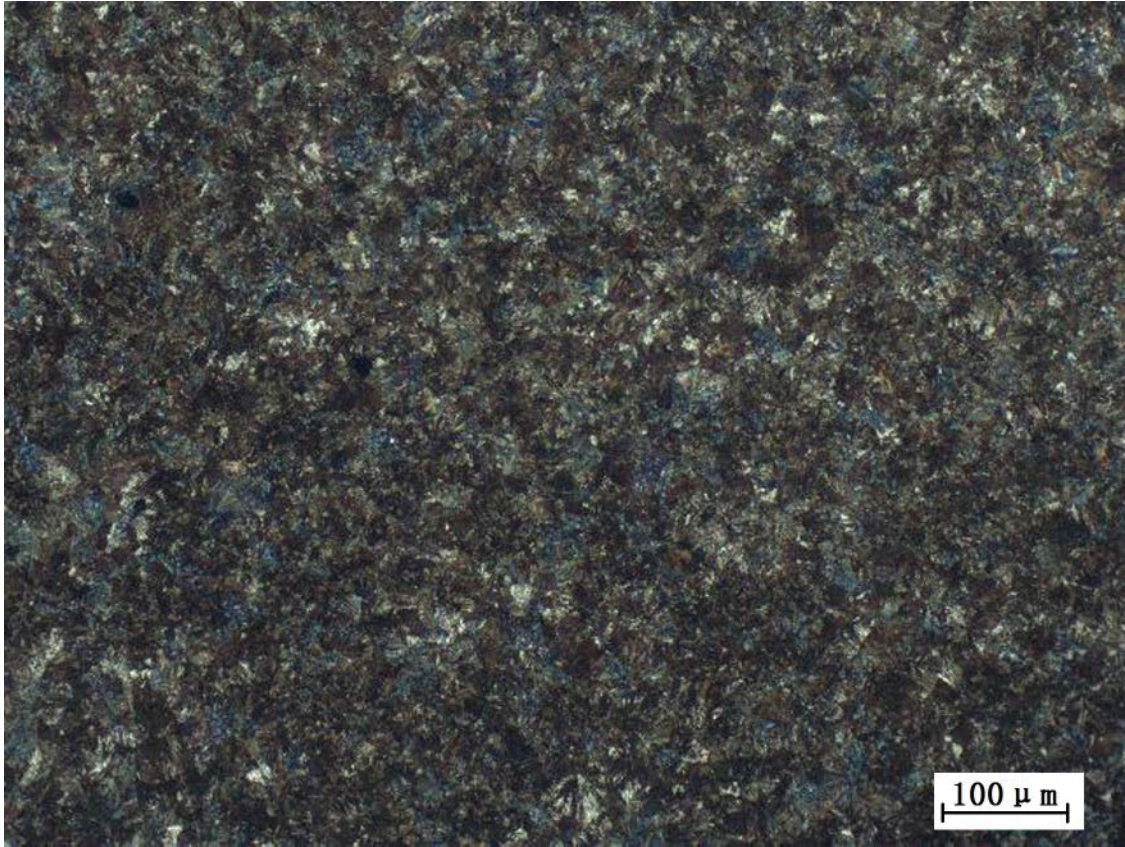


图 1

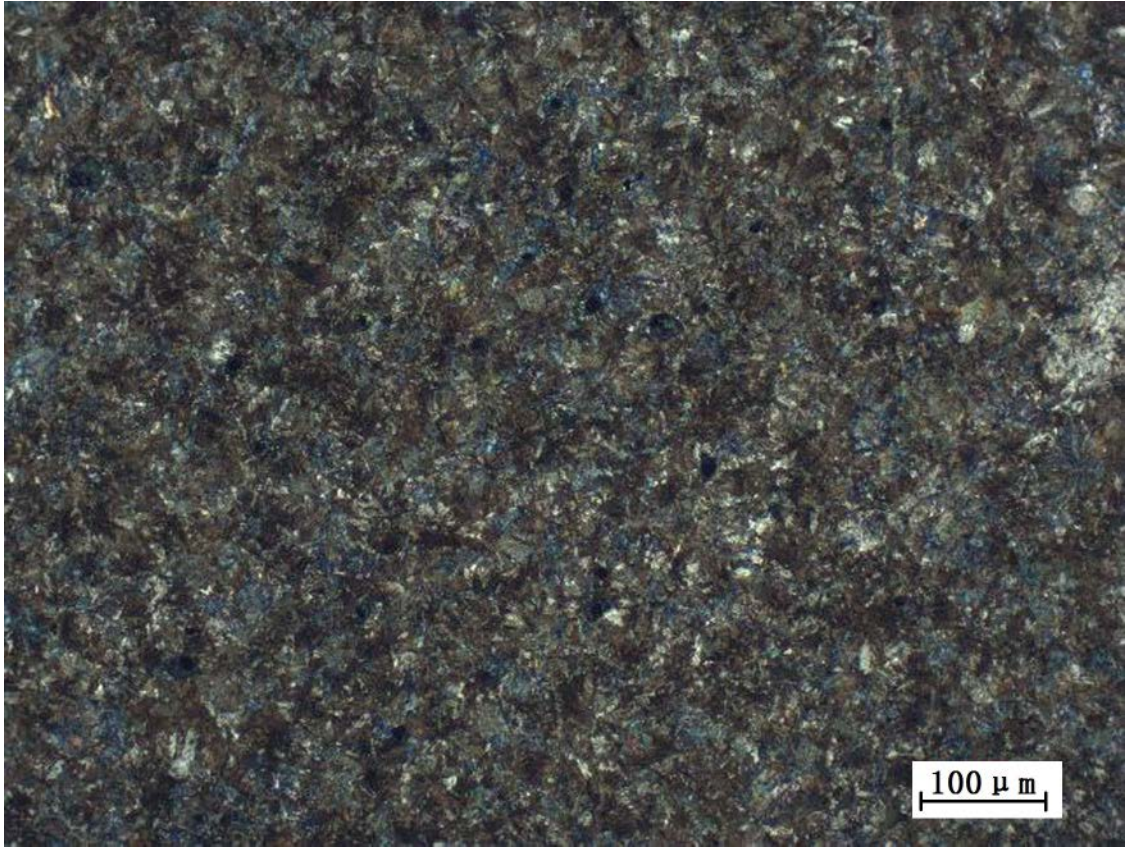


图 2

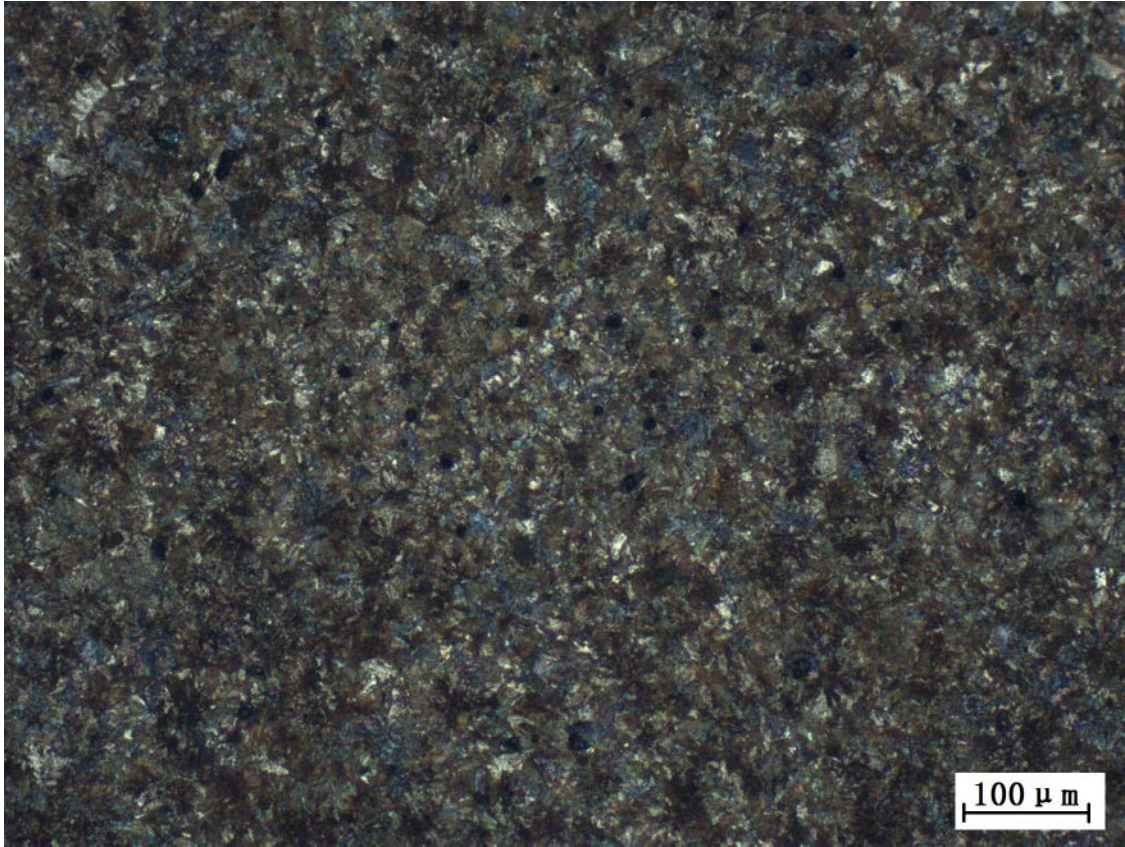


图 3