



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118639122 A

(43) 申请公布日 2024.09.13

(21) 申请号 202411125830.7
(22) 申请日 2024.08.16
(71) 申请人 江苏永钢集团有限公司
地址 215600 江苏省苏州市张家港市南丰镇永联工业园永钢大道100号
(72) 发明人 彭梦都 胡俊辉 陈远清 屈小波
(74) 专利代理机构 南京智造力知识产权代理有限公司 32382
专利代理师 邵娟

C21D 9/52 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01)
B21B 1/16 (2006.01)
B21B 37/74 (2006.01)
C21D 1/46 (2006.01)
C21D 1/84 (2006.01)
C21D 11/00 (2006.01)

(51) Int. Cl.
G22C 38/02 (2006.01)
G22C 38/04 (2006.01)
G22C 38/06 (2006.01)
G22C 38/18 (2006.01)
C21D 8/06 (2006.01)

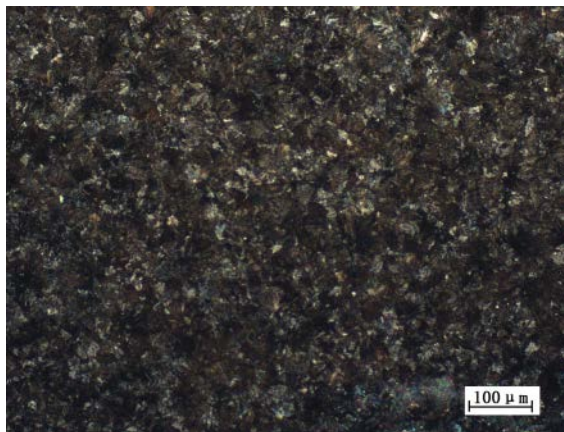
权利要求书1页 说明书12页 附图3页

(54) 发明名称

一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条及其制造方法,基于高C-Si-Mn-Al-Cr成分设计热轧吐丝为盘条后进行在线盐浴强回火,控制前端熔盐循环量大于后端熔盐循环量,使盘条以 $\geq 38^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速降温至珠光体相区进行等温相变,控制盘条形成索氏体组织和珠光体组织并促进回火软化,最后经过辊道缓冷,制为以回火珠光体为主、少量回火索氏体、铁素体和熔断珠光体组织的冷镦钢盘条,能够利用高碳成分降低材料成本、避免异常组织、实现盘条组织调控和强塑性能匹配,抗拉强度为1115~1165MPa,断面收缩率为47%~52%,适用于15.9级紧固件省却退火的高效绿色制造,有利于降低冷加工开裂风险,提高成材率。



1. 一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条,其特征在于,所述冷镦钢盘条的化学成分及质量百分比包括:C:0.82%~0.86%、Si:0.30%~0.45%、Mn:0.22%~0.42%、Al:0.10%~0.30%、Cr:0.15%~0.35%、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74%~80%的回火珠光体、体积百分比占14%~20%的回火索氏体、其余为铁素体和熔断珠光体所组成的混合组织。

2. 根据权利要求1所述的15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条,其特征在于,所述回火珠光体的片层间距为165~205nm,所述回火索氏体的片层间距为90~130nm,所述铁素体的体积百分比 \leq 5%,所述冷镦钢盘条的网状碳化物为0级。

3. 根据权利要求1所述的15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条,其特征在于,所述冷镦钢盘条的直径为12.0~26.0mm,抗拉强度为1115~1165MPa,断面收缩率为47%~52%。

4. 一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条的制造方法,其特征在于,其制造方法包括:
按权利要求1所述15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条的化学成分轧制生产线材,线材按 \geq 960 $^{\circ}$ C的吐丝温度吐丝为盘条后,进行在线盐浴强回火,控制在线盐浴强回火的前端熔盐循环量大于后端熔盐循环量,使盘条以 \geq 38 $^{\circ}$ C/s的冷速降温至珠光体相区进行等温相变,控制盘条形成索氏体组织和珠光体组织,同时促进索氏体组织和珠光体组织回火软化,最后经过辊道缓冷,制为显微组织包括体积百分比占74%~80%的回火珠光体、体积百分比占14%~20%的回火索氏体、其余为铁素体和熔断珠光体所组成混合组织的冷镦钢盘条。

5. 根据权利要求4所述的一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条的制造方法,其特征在于,所述轧制前控制加热炉温度 \leq 1155 $^{\circ}$ C,均热时间为3~4h,在炉时间为 \leq 6h。

6. 根据权利要求4所述的一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条的制造方法,其特征在于,所述轧制时,采用高温轧制,控制初轧温度为1085~1125 $^{\circ}$ C,初轧压下量为33%~38%,终轧温度 \leq 1000 $^{\circ}$ C,终轧压下量为32%~42%。

7. 根据权利要求4~6任意一项所述的一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条的制造方法,其特征在于,所述在线盐浴强回火的熔盐温度为590~625 $^{\circ}$ C,处理时间为490~740s。

8. 根据权利要求7所述的一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条的制造方法,其特征在于,所述在线盐浴强回火的前端熔盐循环量为600~900t/h,控制前段熔盐温升 \leq 10 $^{\circ}$ C,后端熔盐循环量为200~400t/h,控制后段熔盐温升 \leq 5 $^{\circ}$ C。

9. 根据权利要求7所述的一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条的制造方法,其特征在于,所述辊道缓冷采用关闭保温罩,控制盘条以0.2~0.5 $^{\circ}$ C/s的冷却速度冷却,缓冷冷却时间 \geq 500s。

10. 根据权利要求9所述的一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条的制造方法,其特征在于,所述辊道缓冷采用将在线盐浴强回火的盐浴槽上方热气通入保温罩内。

一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明属于热轧冷镦钢盘条技术领域,具体涉及一种15.9级免退火热轧高碳冷镦钢盘条及其制造方法。

背景技术

[0002] 目前,8.8级~12.9级紧固件用冷镦钢应用较多,一般采用低碳、中碳及结合合金化成分设计,鉴于冷镦钢优异的室温冷加工性能,往往用于制作螺钉、螺栓、螺母、自攻螺钉、墙板钉等各类紧固件,对更高强度等级的紧固件,如抗拉强度 $\geq 1500\text{MPa}$ 、屈强比 ≥ 0.9 的15.9级紧固件用冷镦钢提出了应用需求。更高强度等级的紧固件用冷镦钢往往通过添加大量高淬透性元素以提高冷镦钢的强度等级,例如:

专利CN114058974B公开的一种15.9级耐腐蚀高强度螺栓用钢及其生产方法和热处理方法,基于中C-Si-Mn-Cr-Mo-V-Nb-Ti-B-Ni-Cu-Al成分设计,结合轧制为方坯后进行优棒轧制、上冷床缓慢冷却获得珠光体+铁素体的热轧态组织,再经过形变热处理和高频回火热处理调控为回火索氏体+弥散析出的细小碳化物,采用退火→拉拔→温锻→热处理→涂镀工序加工15.9级紧固件,但为了实现成本更低、更绿色高效的15.9级紧固件制造,还存在以下问题和技术难点:

(1) 为了实现冷镦后调质热处理能达到15.9级紧固件的高强度性能等级,钢中添加大量Mn、Cr、Mo等强淬透性和V、Ti、Nb等微合金成分,但同时带来高淬透性引起轧后控冷时出现异常组织风险提高,以及塑性提升难度增大的问题,为了降低异常组织析出引起盘条制造过程中的脆断、紧固件加工过程中的开裂风险:

一种情况是钢材采用锻造或轧制获得直径较大的毛坯或棒材,来避免高线制造的轧后斯太尔摩线控冷过程中产生马氏体或贝氏体硬脆相,进而引起的集卷脆断和成材率不利影响,这使得工艺下难以通过轧制直接获得直径较小的盘条,较为适合规格较大的紧固件制造,对于规格较小的紧固件制造则难度较大或工序较多。

[0003] 另一种情况是钢材采用低温轧制和保温冷却来获得片层间距较大的珠光体+占比较大的铁素体软相组织,来降低异常组织析出风险、改善盘条塑性,但形成的珠光体组织组织应力和位错密度较大,对盘条塑性的提升有限,增加软相组成还会过分劣化盘条强度和拉拔性能,之后需要通过较大的减面率提强来拉高强度,以达到调质前的强度需求,过程中塑性的损失较大,进而增大了拉拔断丝和冷镦开裂风险,而对珠光体+铁素体的热轧态组织进一步形变热处理和高频回火热处理调控,则需要将冷后棒材再升至奥氏体化温度后进一步热处理,带来工序多、能耗和成本大、影响生产效率的问题,以及不足以直接获得高塑性材料,下游用户对成材后热轧原材料还需要进一步退火处理,来改善棒材变形性能,给紧固件制造带来能耗、成本和效率压力。

[0004] (2) 除了工艺难度和工序流程的增加,添加大量高淬透性元素及微合金成分还带来钢材原料成本显著增加的问题,价格更为低廉的高碳钢受限于轧后斯太尔摩冷却线的控冷能力,还不足以满足15.9级免退火热轧冷镦钢盘条的需求,原因在于:

现有用于拉拔制造的高碳钢主要通过提高组织中的索氏体含量来改善拉拔性能,会结合吐丝后的保温或低速冷却工艺来延长盘条在索氏体相区的孕育时间,来增加组织中的索氏体含量,也是为了避免吐丝后风冷强度增加引起的盘条表面风量差异和温差过大,来减少出现贝氏体或马氏体异常组织的风险,但过低的冷速会导致吐丝后的高温盘条停留在二次渗碳体析出区间的时间较长,形成较高级别的网状碳化物,严重劣化盘条塑韧性,无法省却退火工序且退火处理难以消除网状碳化物残留,引起冷敏加工过程的开裂风险。

[0005] 为了降低低温吐丝带来的吐丝阶段网碳析出风险,采用适当提高吐丝温度,同时受限于为降低硬脆异常组织析出风险,吐丝为盘条后采用保温工艺,不仅延长了盘条的在线时间,且受限于保温冷速较低、在线时间不宜过长至影响生产效率,故吐丝温度不能过高,也难以获得较大过冷度,索氏体片层间距较大,对拉拔性能不利,基体强度难以调控,以及保温的冷速虽然相对较低但仍使盘条处于持续冷却状态,盘条经过索氏体相变后已处于低温状态,渗碳体的粗化也增加了软化难度,使得最终索氏体组织的位错密度较高,盘条塑性难以提升,进而难以免除退火加工,也会加剧冷敏加工过程的开裂风险。

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15.9级免退火热轧高碳冷敏钢盘条及其制造方法,能够利用高碳成分降低材料成本、避免异常组织、实现盘条组织调控和强塑性能匹配,显著提高盘条塑性,简化制造方法,适用于15.9级紧固件省却退火工序的高效绿色制造,有利于降低冷加工开裂风险,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:

一种15.9级免退火热轧高碳冷敏钢盘条,所述冷敏钢盘条的化学成分及质量百分比包括:C:0.82%~0.86%、Si:0.30%~0.45%、Mn:0.22%~0.42%、Al:0.10%~0.30%、Cr:0.15%~0.35%、P≤0.015%、S≤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74%~80%的回火珠光体、体积百分比占14%~20%的回火索氏体、其余为铁素体和熔断珠光体所组成的混合组织。

[0008] 上述冷敏钢盘条的化学成分及质量百分比设计依据包括:

(1) 碳:C元素作为固溶强化和析出强化作用最为经济有效的元素,为本发明主要添加元素,用以保证钢的基体强度和高淬透性,但同时增加了脱碳敏感性和渗碳体沿晶界呈网状分布风险,且C元素含量过高,渗碳体片层较厚,会增加渗碳体熔断和回火软化难度,对基体组织调控不利,因此为了保证冷敏钢盘条冷变形性能以及满足15.9级紧固件的最终性能等级需求,C的质量百分比控制为0.82%~0.86%。

[0009] (2) 硅:Si元素钢中主要的脱氧元素,且能溶于奥氏体中提高钢的强度,可以抑制在线盐浴强回火初期的晶粒粗化,对索氏体形核和回火软化有利,但硅过量会增加非金属夹杂和杂质元素偏聚,提高钢中碳的扩散,加剧钢材的脱碳,显著增加冷敏变形抗力,对冷敏和冷挤压不利,因此Si的质量百分比控制为0.30%~0.45%。

[0010] (3) 锰:Mn元素在冶炼过程中常作为脱氧剂加入钢中,作为固溶强化元素可提高钢的强度和淬透性,但Mn含量过高会加剧钢坯凝固过程中的偏析,降低碳的活度使碳的扩散速度下降,增加球化回火软化难度和控冷组织控制难度,引起变形抗力,Mn过高也会带来材料成本的增加,因此Mn的质量百分比控制为0.22%~0.42%。

[0011] (4) 铝:Al元素在冶炼过程中作为脱氧剂,可减少钢中的非金属夹杂数量,在热轧时形成细小析出相,有利于抑制渗碳体粗化,细化渗碳体片层厚度,进而利于渗碳体片层经过在线盐浴强回火在高温下的熔断,提高钢的冲击韧性,降低冷脆倾向,但Al含量过高会促进钢的石墨化,增加脱碳风险,因此Al的质量百分比控制为0.22%~0.42%。

[0012] (5) 铬:Cr元素作为固溶强化元素,可强烈提升材料的淬透性调控基体相组成,经过在线盐浴强回火析出细小弥散的碳化物颗粒,提高材料强度,但Cr含量过高,会增加钢的回火脆性倾向和低温组织风险,增大塑性提升难度,Cr的析出粗化还会明显劣化盘条强塑性性能,因此Cr的质量百分比控制为0.15%~0.35%。

[0013] (6) 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] 在优选的实施例中,所述回火珠光体的片层间距为165~205nm,所述回火索氏体的片层间距为90~130nm,所述铁素体的体积百分比 $\leq 5\%$,回火珠光体与回火索氏体片层间距越小,则盘条的强度上升、塑性下降,回火珠光体占比增多、片层间距增大伴有铁素体含量增多,盘条的强度下降、塑性上升。

[0015] 上述冷锻钢盘条采用高C-Si-Mn-Al-Cr成分设计,以价格更低的碳元素替代强淬透性元素和微合金元素的添加,Mn、Cr合金含量更低,不含有贵价Mo、Ti、Nb、V、B等元素,使成分体系能满足拉拔、冷锻和调质后能达到15.9级紧固件性能等级,降低材料成本,配合显微组织中的回火珠光体和回火索氏体提供基体强度,珠光体组织较索氏体组织片层间距较粗、塑性较索氏体更高、强度较铁素体更好,经过回火熔断和向球化组织转变为回火珠光体和熔断珠光体后,能够保留珠光体的强度适中的特征、使得组织应力和位错密度进一步下降,塑性得以进一步改善,回火珠光体占比较大,伴有极少量不可比避免的软相铁素体组织,避免盘条强度的过分损失,索氏体组织较珠光体组织片层间距更细、塑性较贝氏体和马氏体硬脆相组织更好,经过回火向球化组织转变为回火索氏体后,能够保留索氏体强度更高的特征,使得索氏体组位错密度进一步下降,塑性得以改善,有效降低拉拔硬化,相较于现有珠光体+铁素体的热轧态盘条组织,能够避免盘条强度过分劣化,相较于现有含贝氏体或马氏体或高索氏体化率的热轧态组织,具有明显改善的塑韧性能,弥补了高碳成分体系对盘条塑性和冷变形性能的不利影响,进而可以提高成材率,通过轧制快速地直接获得规格较小的线材,降低小规格紧固件的制造难度,在免退火工艺下冷锻制造15.9级紧固件、降低开裂风险。

[0016] 在优选的实施例中,所述冷锻钢盘条的网状碳化物为0级,可消除由于网状碳化物引起的不可控恶化因素,提升碳元素的强化作用,降低开裂风险。

[0017] 在优选的实施例中,所述冷锻钢盘条的直径为12.0~26.0mm,抗拉强度为1115~1165MPa,断面收缩率为47%~52%,冷锻钢盘条具有较高的抗拉强度和显著增加的断面收缩率,可以在省却退火工序下,通过拉拔、冷锻和调质热处理达到15.9级紧固件的性能等级。

[0018] 一种15.9级免退火热轧高碳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15.9级免退火热轧高碳冷锻钢盘条的化学成分轧制生产线材,线材按 $\geq 960^{\circ}\text{C}$ 的吐丝温度吐丝为盘条后,进行在线盐浴强回火,控制在线盐浴强回火的前端熔盐循环量大于后端熔盐循环量,使盘条以 $\geq 38^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速降温至珠光体相区进行等温相变,控制盘条形成索氏体组织和珠光体组织,同时促进索氏体组织和珠光体组织回

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74%~80%的回火珠光体、体积百分比占14%~20%的回火索氏体、其余为铁素体和熔断珠光体所组成混合组织的冷镦钢盘条。

[0019] 上述制造方法选用较高的吐丝温度,能够使盘条奥氏体化且避免在吐丝阶段析出二次渗碳体,相较于保温冷却等缓冷方式,吐丝后直接进行在线盐浴强回火,能够利用熔盐的高换热能力,以比10°C/s的风冷强度上限明显更高的冷却速度控制盘条降温,一方面,能够快速略过二次渗碳体和三次渗碳体的析出温度区间,避免产生网状碳化物而劣化高碳钢盘条的力学性能,特别是塑韧性能,提高碳的利用度;另一方面,冷速的显著增加也打破了以往在线时间不能过长对吐丝温度提高的限制,可以采用更高的吐丝温度,配合前端熔盐循环量相对后端更大形成更大的过冷度,使盘条快速进入珠光体相区进行等温扩散相变,控制盘条的奥氏体组织形成片层间距更细的索氏体组织,且由于盘条经过熔盐时能够穿过熔盐,熔盐均匀包覆在盘条表面,不存在盘条在强风冷工艺下存在受风面与背风面的风量差异与温差问题,也可以避免盘条进入贝氏体相区而产生贝氏体异常组织。

[0020] 在线盐浴强回火的后端熔盐循环量相对前端更小,可以适当降低过冷度,控制未转变的高温奥氏体进入珠光体相区进行等温相变,这使得盘条在一个在线盐浴强回火过程中即可实现索氏体与珠光体的相变调控,简化了工序,同时由于高换热作用,盘条可以与熔盐温度保持一致,而非现有保温处理的持续降温,这使得相变完成后盘条仍处于高温状态,随着更长时间的高温等温过程,促进索氏体向球化转变形成回火索氏体、降低位错密度,配合Al细化渗碳体片层厚度,促进珠光体渗碳体片层熔断变为熔断珠光体,珠光体向球化组织转变形成回火珠光体、降低组织应力和位错密度,避免Cr的析出粗化,调控基体强塑性能。

[0021] 盘条经过在线盐浴强回火后进行了组织充分相变,也避免了辊道缓冷阶段出现异常组织,经过在线盐浴强回火处理后盘条处于高温状态,利用辊道缓冷可以用低速冷却延续盘条的高温状态软化效果,进一步促进组织软化和塑性提升,相较于直接延长在线盐浴强回火的时间也能够节约能耗,最终获得以回火珠光体为主、少量回火索氏体、铁素体和熔断珠光体组织,无贝氏体和马氏体组织,实现组织调控和强塑性匹配,能够顺利集卷,避免脆断,提高成材料,相较于现有工艺也不再需要重新加热与热处理或退火即可运输至下游放卷拉拔,使盘条的制造与紧固件的制造工艺流程都能得到简化,高效减排。

[0022] 在优选的实施例中,所述轧制时,轧制前控制加热炉温度 $\leq 1155^{\circ}\text{C}$,均热时间为3~4h,在炉时间为 $\leq 6\text{h}$,选用较高的加热炉温度、较长的均热时间促进钢坯成分均匀,能够快速进入高温轧制,同时避免在炉时间过长引起烧损、钢坯表面脱碳风险。

[0023] 由于打破了现有低温吐丝对低温轧制需求的限制,在优选的实施例中,所述轧制时,采用高温轧制,控制初轧温度为1085~1125°C,初轧压下量为33%~38%,选用较高的初轧温度可以降低钢坯的变形抗力和对轧机的磨损,提高轧制速度,配合较大的初轧压下量提高界面结合强度,细化原始奥氏体晶粒。

[0024] 在优选的实施例中,所述轧制时,控制终轧温度 $\leq 1000^{\circ}\text{C}$,终轧压下量为32%~42%,避免终轧温度过大使奥氏体晶粒粗大,配合较大的终轧压下量增加形核率,促进动态再结晶,避免局部区局应力集中加剧。

[0025] 在优选的实施例中,所述在线盐浴强回火的熔盐温度为590~625°C,处理时间为

490~740s, 熔盐温度越低, 则相变形成的索氏体和珠光体组织片层间距越细, 基体强度上升、塑性下降, 对熔断和向球化组织转变为回火态进行软化有利, 但熔盐温度过低, 则回火索氏体占比增多、对盘条塑性提升不利, 甚至产生贝氏体异常组织而明显增大盘条脆性, 反之熔盐温度越高, 则相变形成的索氏体和珠光体片层间距越大, 铁素体占比升高, 基体强度下降、塑性上升, 能给基体软化提供更多热动力, 但熔盐温度过高, 难以形成较大过冷度, 对形成片层间距较细的索氏体和抑制网碳不利, 产生较多的铁素体, 导致基体强度和拉拔性能下降; 处理时间越长, 则相变完成后的回火软化效果越好, 回火索氏体与回火珠光体的组织应力和位错密度越低, 盘条强度下降、塑性上升, 但处理时间过长, 有过分回火软化损失盘条强度、Cr的析出粗化而明显降低强塑性能的风险, 反之处理时间越短, 则回火软化效果越差, 盘条强度上升、塑性下降, 处理时间过短则获得的索氏体和珠光体未能软化, 位错密度较高, 易应力集中和拉拔硬化引发拉拔断丝和冷镦开裂风险, 对免除退火工序不利, 甚至相变不充分引起强度损失甚至出现异常组织, 因此可以进一步控制在线盐浴强回火的熔盐温度和处理时间, 调控回火索氏体、回火珠光体占比、片层间距以及软化效果。

[0026] 在优选的实施例中, 所述在线盐浴强回火的前端熔盐循环量为600~900t/h, 控制前段熔盐温升 $\leq 10^{\circ}\text{C}$, 可以将熔盐循环管路设置在靠近盐浴槽的前端来控制前端熔盐循环量, 选用较大的前端熔盐循环量控制熔盐温升、提高处理精度, 使得盘条能够以更大的过冷度进入相区进行等温扩散相变, 促进少量奥氏体组织转变为片层间距更细的索氏体组织, 调控回火索氏体占比。

[0027] 在优选的实施例中, 所述在线盐浴强回火的后端熔盐循环量为200~400t/h, 控制后段熔盐温升 $\leq 5^{\circ}\text{C}$, 可以将熔盐循环管路设置在靠近盐浴槽的后端来控制后端熔盐循环量, 选优较小的后端熔盐循环量控制过冷度较低, 进一步控制温度精度, 使得未转变的高温奥氏体进入珠光体相区进行等温相变和回火软化, 调控基体强塑性能。

[0028] 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 $0.2\sim 0.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷却速度冷却, 缓冷冷却时间 $\geq 500\text{s}$, 可以利用较低的冷却速度控制经过在线盐浴强回火处理的盘条沿辊道在保温罩内缓冷处理, 进一步促进回火珠光体与回火索氏体软化、调控基体强塑性能。

[0029] 在优选的实施例中, 所述辊道缓冷采用将在线盐浴强回火的盐浴槽上方热气通入保温罩内, 可以回收利用在线盐浴强回火过程中的热气热能, 为辊道缓冷保温降低盘条冷却速度, 能够节约能耗。

[0030] 与现有技术相比, 本发明的有益效果至少在于:

(1) 针对更高强度等级的紧固件用冷镦钢往往通过添加大量高淬透性元素以提高冷镦钢的强度等级, 但同时带来材料成本高、异常组织风险提高和塑性不足的问题, 导致材料冷加工开裂风险提高的现状, 本发明的冷镦钢盘条通过高C-Si-Mn-Al-Cr成分设计, Mn、Cr合金含量更低, 不含有贵价Mo、Ti、Nb、V、B等元素, 能够降低材料成本, 显微组织中不含贝氏体或马氏体硬脆相, 以回火珠光体为主、少量回火索氏体、铁素体和熔断珠光体组织, 使得组织应力和位错密度进一步下降, 显著提高盘条塑性, 弥补了高碳成分体系对盘条塑性和冷变形性能的不利影响, 使得强塑性得以匹配, 进而可以提高成材率、降低拉拔硬化, 达到抗拉强度为1115~1165MPa, 断面收缩率为47%~52%, 可以在省却退火工序下, 通过直接拉拔、冷镦和调质热处理达到15.9级紧固件的性能等级, 具有良好的市场应用前景。

[0031] (2) 针对现有制造工艺受控制异常组织限制难以直接获得小规格盘条、成材率不高、塑性不足或工序过多的问题,本发明的制造方法通过高C-Si-Mn-Al-Cr成分设计、结合在线盐浴强回火和辊道缓冷技术,选用较高的吐丝温度来提高盘条在随后在线盐浴强回火处理中的过冷度、并有效缩短在网碳区域的停留时间,消除网状碳化物不可控恶化因素,提升碳元素的强化作用,利用熔盐的高速换热能力,控制盘条进行等温扩散相变形成索氏体,用前端熔盐循环量大于后端熔盐循环量,使后段过冷度较低,控制未转变高温奥氏体进入珠光体相区进行等温相变,待相变完成后,在随后的长时间高温等温过程中进行回火软化,用辊道缓冷进一步软化基体,调控基体强塑性匹配,能够顺利集卷,避免脆断,提高成材料,不再需要重新加热与热处理或退火,能够简化冷锻钢盘条与紧固件的制造,具有良好的工业适应性。

附图说明

[0032] 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:

- 图1是本发明实施例1的金相组织图;
- 图2是本发明实施例2的金相组织图;
- 图3是本发明实施例3的金相组织图。

具体实施方式

[0033] 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,本发明的范围仅由所附权利要求来限定。

实施例1:

[0034] 本发明所述15.9级免退火热轧高碳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:0.84%、Si:0.45%、Mn:0.22%、Al:0.29%、Cr:0.27%、P:0.014%、S:0.013%,其余为Fe和不可避免杂质,其制造方法按照高温轧制→吐丝→在线盐浴强回火→辊道缓冷→集卷的工艺流程制造,具体的:

所述高温轧制用于将规格为220mm×220mm的钢坯,通过加热炉加热促进钢坯成分的均匀化,并避免烧损、脱碳风险,加热为达到可轧制塑性的高温钢坯后,再通过轧制线将从加热炉出来的钢坯,轧制为直径规格为22mm的线材,采用高温轧制来提高轧制速度、降低钢坯的变形抗力和对轧制线的磨损,配合较大的压下量细化原始奥氏体晶粒,具体的:加热炉采用依次升温的预热、加热、均热程序,控制加热炉温度为1150℃,均热时间为3h,在炉时间为5.5h,初轧温度为1115℃,初轧压下量为34%,终轧温度为995℃,终轧压下量为35%。

[0035] 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,用于提高盘条在随后在线盐浴强回火处理中的过冷度,并有效缩短在网碳区域的停留时间,具体的:控制吐丝温度为970℃。

[0036] 所述在线盐浴强回火采用内设熔盐的盐浴槽,吐丝后的盘条经辊道输送穿过盐浴槽,快速降温至熔盐温度,控制在盐浴槽的前端熔盐循环量大于后端熔盐循环量,使盘条以

39°C/s的冷速降温至珠光体相区进行等温相变,快速通过二次渗碳体的析出温度区间,消除碳元素过高引起的网碳恶化相,提升碳元素的使用价值,同时用较大的前端熔盐循环量形成更大的过冷度,促进少量奥氏体组织转变为片层间距更细的索氏体组织,用较小的后端熔盐循环量适当降低过冷度,控制未转变的高温奥氏体进入珠光体相区进行等温相变形成珠光体组织,同时促进索氏体组织和珠光体组织回火软化,具体的:控制熔盐温度为615°C,处理时间为565s,前端熔盐循环量为700t/h,前段熔盐温升 $\leq 10^{\circ}\text{C}$,后端熔盐循环量为250t/h,后段熔盐温升 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。

[0037] 所述辊道缓冷工序采用关闭保温罩,用辊道输送从盐浴槽出来的盘条进入保温罩,将盐浴槽上方热气通入保温罩内,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0.4°C/s的冷却速度冷却,缓冷冷却时间为680s,冷却至343°C;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。

[0038] 对比例1:

一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例1的区别在于,其制造方法按照轧制→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1090°C,均热时间为4h,在炉时间为6h,初轧温度为1050°C,终轧温度为950°C,吐丝温度为920°C,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1.5°C/s的冷速完成相变,下线后获得盘条成品。

[0039] 对比例2:

一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例1的区别在于,其制造方法按照低温轧制→低温吐丝→斯太尔摩风冷→保温缓冷的工艺流程制造,具体的:所述低温轧制控制加热炉温度为1010°C,均热时间为5h,在炉时间为6.5h,初轧温度为980°C,终轧温度为880°C,所述低温吐丝的吐丝温度为850°C,所述斯太尔摩风冷采用将1~7#风机按10%开启,使盘条按2.3°C/s的冷速冷却至690°C,所述保温缓冷采用关闭全部风机和保温罩,使盘条在罩内以0.9°C/s的冷速完成相变,下线后获得盘条成品。

[0040] 对比例3:

一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例1的区别在于,其制造方法按照轧制→吐丝→斯太尔摩快冷→辊道缓冷的工艺流程制造,具体的:控制加热炉温度为1080°C,均热时间为4.5h,在炉时间为6h,初轧温度为1040°C,终轧温度为940°C,吐丝温度为910°C,所述斯太尔摩快冷采用将1~6#风机按45%开启,使盘条按4.5°C/s的冷速冷却至680°C,所述辊道缓冷采用关闭全部风机和保温罩,使盘条在罩内以0.9°C/s的冷速完成相变,下线后获得盘条成品。

[0041] 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:

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
实施例 1	1132	50	回火珠光体+回火索氏体+铁素体+熔断珠光体	0
对比例 1	1295	26	索氏体+铁素体	3
对比例 2	1065	28	珠光体+铁素体	3
对比例 3	1411	19	珠光体+铁素体+贝氏体	1.5

[0042] 由实施例1与对比例1的对比结果可见,相较于受限于保温冷速较低、在线时间不宜过长至影响生产效率,吐丝温度不能过高,保温冷却下虽能够获得索氏体组织,但网状碳化物级别较高,盘条经过索氏体相变后已处于低温状态,位错密度较高,盘条塑性难以提升,本发明能够利用高碳成分降低材料成本,结合在线盐浴强回火和辊道缓冷技术,能够消除网状碳化物不可控恶化因素,提升碳元素的强化作用,在长时间高温等温过程中进行实现回火软化,可以提高成材率、降低拉拔硬化。

[0043] 由实施例1与对比例2的对比结果可见,相较于低温轧制与吐丝下虽然晶粒细化,但受限于为降低硬脆异常组织析出风险,网状碳化物改善有限,同时形成的珠光体组织组织应力和位错密度较大,对盘条塑性的提升有限,增加软相组成还会过分劣化盘条强度和拉拔性能,本发明控制盘条进行等温扩散相变形成索氏体,配合显微组织中的回火珠光体和回火索氏体提供基体强度,提升碳元素的强化作用,调控基体强塑性匹配。

[0044] 由实施例1与对比例3的对比结果可见,相较于加快冷冷速下加剧异常组织析出风险,进而引起的集卷脆断和成材率不利影响,本发明避免盘条进入贝氏体相区而产生贝氏体异常组织,无贝氏体和马氏体组织,具有明显改善的塑韧性能,弥补了高碳成分体系对盘条塑性和冷变形性能的不利影响,进而可以提高成材率,通过轧制快速地直接获得规格较小的线材,降低小规格紧固件的制造难度。

实施例2:

[0045] 本发明所述15.9级免退火热轧高碳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:0.82%、Si:0.3%、Mn:0.31%、Al:0.1%、Cr:0.32%、P:0.015%、S:0.013%,其余为Fe和不可避免杂质,其制造方法按照高温轧制→吐丝→在线盐浴强回火→辊道缓冷→集卷的工艺流程制造,具体的:

所述高温轧制用于将规格为220mm×220mm的钢坯,通过加热炉加热促进钢坯成分的均匀化,并避免烧损、脱碳风险,加热为达到可轧制塑性的高温钢坯后,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,采用高温轧制来提高轧制速度、降低钢坯的变形抗力和对轧制线的磨损,配合较大的压下量细化原始奥氏体晶粒,具体的:加热炉采用依次升温的预热、加热、均热程序,控制加热炉温度为1140℃,均热时间为3h,在炉时间为5h,初轧温度为1080℃,初轧压下量为38%,终轧温度为985℃,终轧压下量为42%。

[0046] 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,用于提高盘条在随后在线盐浴强回火处理中的过冷度,并有效缩短在网碳区域的停留时间,具体的:控制吐丝温度为960℃。

[0047] 所述在线盐浴强回火采用内设熔盐的盐浴槽,吐丝后的盘条经辊道输送穿过盐浴槽,快速降温至熔盐温度,控制在盐浴槽的前端熔盐循环量大于后端熔盐循环量,使盘条以41℃/s的冷速降温至珠光体相区进行等温相变,快速通过二次渗碳体的析出温度区间,消除碳元素过高引起的网碳恶化相,提升碳元素的使用价值,同时用较大的前端熔盐循环量

形成更大的过冷度,促进少量奥氏体组织转变为片层间距更细的索氏体组织,用较小的后端熔盐循环量适当降低过冷度,控制未转变的高温奥氏体进入珠光体相区进行等温相变形成珠光体组织,同时促进索氏体组织和珠光体组织回火软化,具体的:控制熔盐温度为590℃,处理时间为740s,前端熔盐循环量为900t/h,前段熔盐温升 $\leq 10^{\circ}\text{C}$,后端熔盐循环量为400t/h,后段熔盐温升 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。

[0048] 所述辊道缓冷工序采用关闭保温罩,用辊道输送从盐浴槽出来的盘条进入保温罩,将盐浴槽上方热气通入保温罩内,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 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷却速度冷却,缓冷冷却时间为990s,冷却至 392°C ;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,其金相组织图如图2所示。

[0049] 对比例4:

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 1090°C ,均热时间为4h,在炉时间为6h,初轧温度为 1050°C ,终轧温度为 950°C ,吐丝温度为 920°C ,所述在线盐浴强回火控制盘条以 $35^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速降温至珠光体相区进行等温相变,下线后获得盘条成品。

[0050] 对比例5:

一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例2的区别在于,所述在线盐浴强回火控制盘条以 $35^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速降温至珠光体相区进行等温相变,熔盐温度为 630°C ,所述辊道缓冷工序控制盘条以 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷却速度冷却,缓冷冷却时间为1200s,冷却至 390°C ;下线后获得盘条成品。

[0051] 对比例6:

一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例2的区别在于,所述在线盐浴强回火控制盘条以 $44^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速降温至珠光体相区进行等温相变,熔盐温度为 560°C ,下线后获得盘条成品。

实施例3:

[0052] 本发明所述15.9级免退火热轧高碳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:0.83%、Si:0.4%、Mn:0.37%、Al:0.18%、Cr:0.15%、P:0.012%、S:0.015%,其余为Fe和不可避免杂质,其制造方法按照高温轧制→吐丝→在线盐浴强回火→辊道缓冷→集卷的工艺流程制造,具体的:

所述高温轧制用于将规格为 $220\text{mm} \times 220\text{mm}$ 的钢坯,通过加热炉加热促进钢坯成分的均匀化,并避免烧损、脱碳风险,加热为达到可轧制塑性的高温钢坯后,再通过轧制线将从加热炉出来的钢坯,轧制为直径规格为18mm的线材,采用高温轧制来提高轧制速度、降低钢坯的变形抗力和对轧制线的磨损,配合较大的压下量细化原始奥氏体晶粒,具体的:加热炉采用依次升温的预热、加热、均热程序,控制加热炉温度为 1145°C ,均热时间为3.5h,在炉时间为6h,初轧温度为 1095°C ,初轧压下量为36%,终轧温度为 990°C ,终轧压下量为40%。

[0053] 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,用于提高盘条在随后在线盐浴强回火处理中的过冷度,并有效缩短在网碳区域的停留时间,具体的:控制吐丝温度为 965°C 。

[0054] 所述在线盐浴强回火采用内设熔盐的盐浴槽,吐丝后的盘条经辊道输送穿过盐浴

槽,快速降温至熔盐温度,控制在盐浴槽的前端熔盐循环量大于后端熔盐循环量,使盘条以 $40^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速降温至珠光体相区进行等温相变,快速通过二次渗碳体的析出温度区间,消除碳元素过高引起的网碳恶化相,提升碳元素的使用价值,同时用较大的前端熔盐循环量形成更大的过冷度,促进少量奥氏体组织转变为片层间距更细的索氏体组织,用较小的后端熔盐循环量适当降低过冷度,控制未转变的高温奥氏体进入珠光体相区进行等温相变形成珠光体组织,同时促进索氏体组织和珠光体组织回火软化,具体的:控制熔盐温度为 600°C ,处理时间为 650s ,前端熔盐循环量为 $800\text{t}/\text{h}$,前段熔盐温升 $\leq 10^{\circ}\text{C}$,后端熔盐循环量为 $300\text{t}/\text{h}$,后段熔盐温升 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。

[0055] 所述辊道缓冷工序采用关闭保温罩,用辊道输送从盐浴槽出来的盘条进入保温罩,将盐浴槽上方热气通入保温罩内,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 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷却速度冷却,缓冷冷却时间为 790s ,冷却至 363°C ;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。

[0056] 对比例7:

一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例3的区别在于,所述在线盐浴强回火的处理时间为 400s ,下线后获得盘条成品。

[0057] 对比例8:

一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例3的区别在于,所述在线盐浴强回火的处理时间为 780s ,下线后获得盘条成品。

实施例4:

[0058] 本发明所述15.9级免退火热轧高碳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:0.86%、Si:0.43%、Mn:0.42%、Al:0.3%、Cr:0.35%、P:0.014%、S:0.012%,其余为Fe和不可避免杂质,其制造方法按照高温轧制→吐丝→在线盐浴强回火→辊道缓冷→集卷的工艺流程制造,具体的:

所述高温轧制用于将规格为 $220\text{mm}\times 220\text{mm}$ 的钢坯,通过加热炉加热促进钢坯成分的均匀化,并避免烧损、脱碳风险,加热为达到可轧制塑性的高温钢坯后,再通过轧制线将从加热炉出来的钢坯,轧制为直径规格为 26mm 的线材,采用高温轧制来提高轧制速度、降低钢坯的变形抗力和对轧制线的磨损,配合较大的压下量细化原始奥氏体晶粒,具体的:加热炉采用依次升温的预热、加热、均热程序,控制加热炉温度为 1155°C ,均热时间为 4h ,在炉时间为 6h ,初轧温度为 1125°C ,初轧压下量为 33% ,终轧温度为 1000°C ,终轧压下量为 32% 。

[0059] 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,用于提高盘条在随后在线盐浴强回火处理中的过冷度,并有效缩短在网碳区域的停留时间,具体的:控制吐丝温度为 975°C 。

[0060] 所述在线盐浴强回火采用内设熔盐的盐浴槽,吐丝后的盘条经辊道输送穿过盐浴槽,快速降温至熔盐温度,控制在盐浴槽的前端熔盐循环量大于后端熔盐循环量,使盘条以 $38^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷速降温至珠光体相区进行等温相变,快速通过二次渗碳体的析出温度区间,消除碳元素过高引起的网碳恶化相,提升碳元素的使用价值,同时用较大的前端熔盐循环量形成更大的过冷度,促进少量奥氏体组织转变为片层间距更细的索氏体组织,用较小的后端熔盐循环量适当降低过冷度,控制未转变的高温奥氏体进入珠光体相区进行等温相变形成

成珠光体组织,同时促进索氏体组织和珠光体组织回火软化,具体的:控制熔盐温度为625℃,处理时间为490s,前端熔盐循环量为600t/h,前段熔盐温升 $\leq 10^{\circ}\text{C}$,后端熔盐循环量为200t/h,后段熔盐温升 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。

[0061] 所述辊道缓冷工序采用关闭保温罩,用辊道输送从盐浴槽出来的盘条进入保温罩,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 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷却速度冷却,缓冷冷却时间为500s,冷却至 375°C ;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。

[0062] 对比例9:

一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例4的区别在于,所述在线盐浴强回火的前端熔盐循环量为450t/h,后端熔盐循环量为450t/h,下线后获得盘条成品。

[0063] 对比例10:

一种盘条的制造方法,其制造方法与实施例4的区别在于,其制造方法按照高温轧制 \rightarrow 吐丝 \rightarrow 在线盐浴强回火 \rightarrow 空冷 \rightarrow 集卷的工艺流程制造,具体的:所述空冷采用打开保温罩,用辊道输送从盐浴槽出来的盘条进行空冷,控制盘条以 $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的冷却速度冷却125s,冷却至 375°C ,下线后获得盘条成品。

[0064] 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:

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	回火索氏体/%	回火索氏体片层间距/nm	铁素体/%	熔断珠光体/%	
实施例1	1132	50	78	187	16	123	4	2	0
实施例2	1115	52	74	165	20	90	2	4	0
对比例4	1044	44	79	189	13	125	2	6	0.5
对比例5	1023	51	81	195	10	140	5	4	0.5
对比例6	1168	42	75	155	23	85	1	1	0
实施例3	1165	47	76	175	18	110	3	3	0
对比例7	1189	39	79	170	18	115	3	0	0
对比例8	1085	38	70	180	18	118	3	9	0
实施例4	1151	48	80	205	14	130	5	1	0
对比例9	1091	49	83	210	11	138	5	1	0
对比例10	1160	45	81	200	14	126	5	0	0

[0065] 由实施例1~4的结果可见,本发明的冷镦钢盘条通过高C-Si-Mn-Al-Cr成分设计,显微组织中不含贝氏体或马氏体硬脆相,以回火珠光体为主、少量回火索氏体、铁素体和熔断珠光体组织,能够达到抗拉强度为1115~1165MPa,断面收缩率为47%~52%,可以在省却退火工序下,通过直接拉拔、冷镦和调质热处理达到15.9级紧固件的性能等级,具有良好的市场应用前景。

[0066] 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来提高盘条在随后的在线盐浴强回火处理中的过冷度,利用熔盐的高速换热能力,控制盘条进行等温扩散相变形成索氏体,并可以消除网状碳化物不可控恶化因素;由实施例2与对比例5的对比结果可

见,熔盐温度越高,则相变形成的索氏体和珠光体片层间距越大,铁素体占比升高,能给基体软化提供更多热动力,但熔盐温度过高,难以形成较大过冷度,对形成片层间距较细的索氏体和抑制网碳不利,导致基体强度和拉拔性能下降;由实施例2与对比例6的对比结果可见,熔盐温度越低,则相变形成的索氏体和珠光体组织片层间距越细,基体强度上升、塑性下降,但熔盐温度过低,则回火索氏体占比增多、对盘条塑性提升不利。

[0067] 由实施例3与对比例7的对比结果可见,处理时间过短则获得的索氏体和珠光体未能软化,位错密度较高,对塑性不利,易应力集中和拉拔硬化引发拉拔断丝和冷镦开裂风险;由实施例3与对比例8的对比结果可见,处理时间越长,则相变完成后的回火软化效果越好,回火索氏体与回火珠光体的组织应力和位错密度越低,盘条强度下降、塑性上升,但处理时间过长,过分回火软化损失盘条强度、Cr的析出粗化会明显降低强塑性能。

[0068] 由实施例4与对比例9的对比结果可见,前端熔盐循环量与后端熔盐循环量一致,形成的索氏体组织较小,片层间距较粗,对组织调控不利,本发明通过进一步控制前后端的熔盐循环量差异,在一个在线盐浴强回火过程中即可实现索氏体与珠光体的相变调控,简化了工序;由实施例4与对比例10的对比结果可见,利用辊道缓冷可以用低速冷却延续盘条的高温状态软化效果,进一步促进组织软化和塑性提升。

[0069] 上文所列出的一系列的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,例如:钢坯可以由炼钢原料依次进行转炉冶炼、精炼、连铸工序获得;前端熔盐循环量与后端熔盐循环量的控制:可以采用如专利CN116287664B公开的基于能源循环利用的高速线材在线热处理设备及工艺,其中对快冷槽或等温槽的循环位置设计,沿输送方向,对在线盐浴强回火的盐浴槽的前端和后端分别设置熔盐循环管路和温度检测装置,来分别控制前端熔盐循环量、后端熔盐循环量及熔盐温升,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。

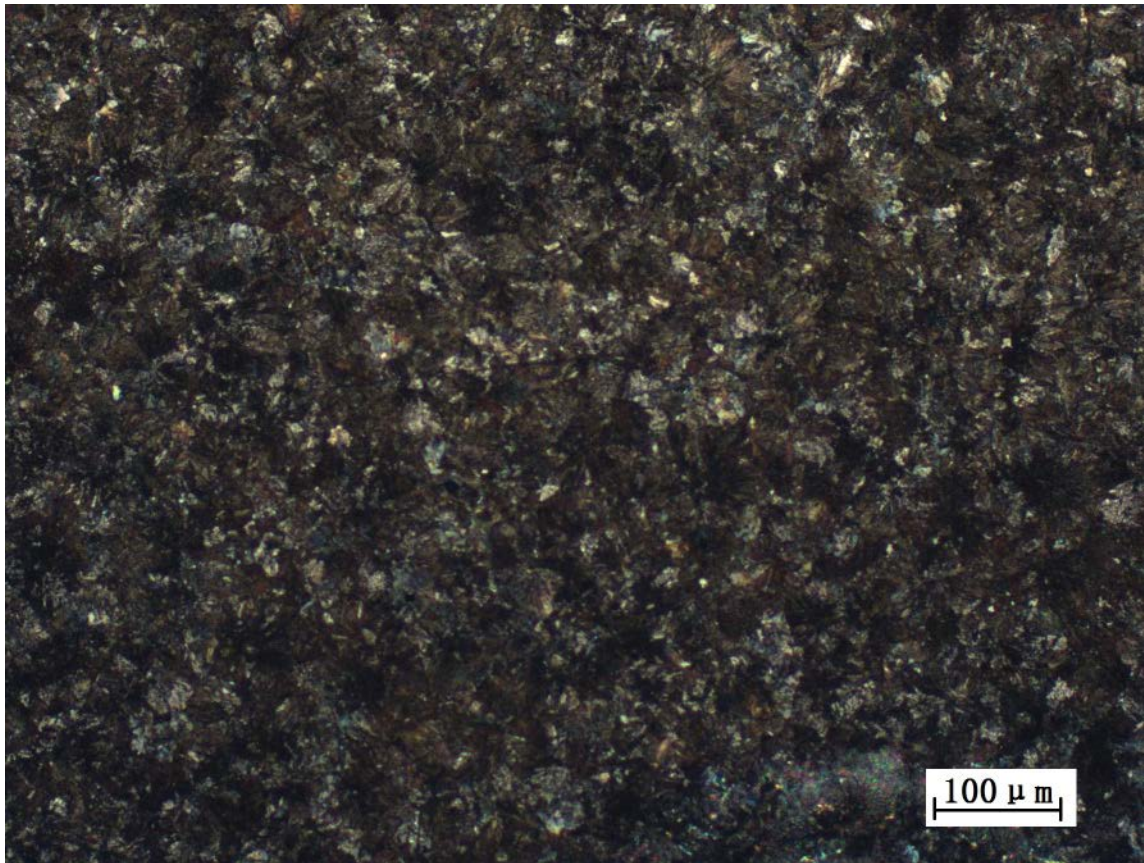


图 1

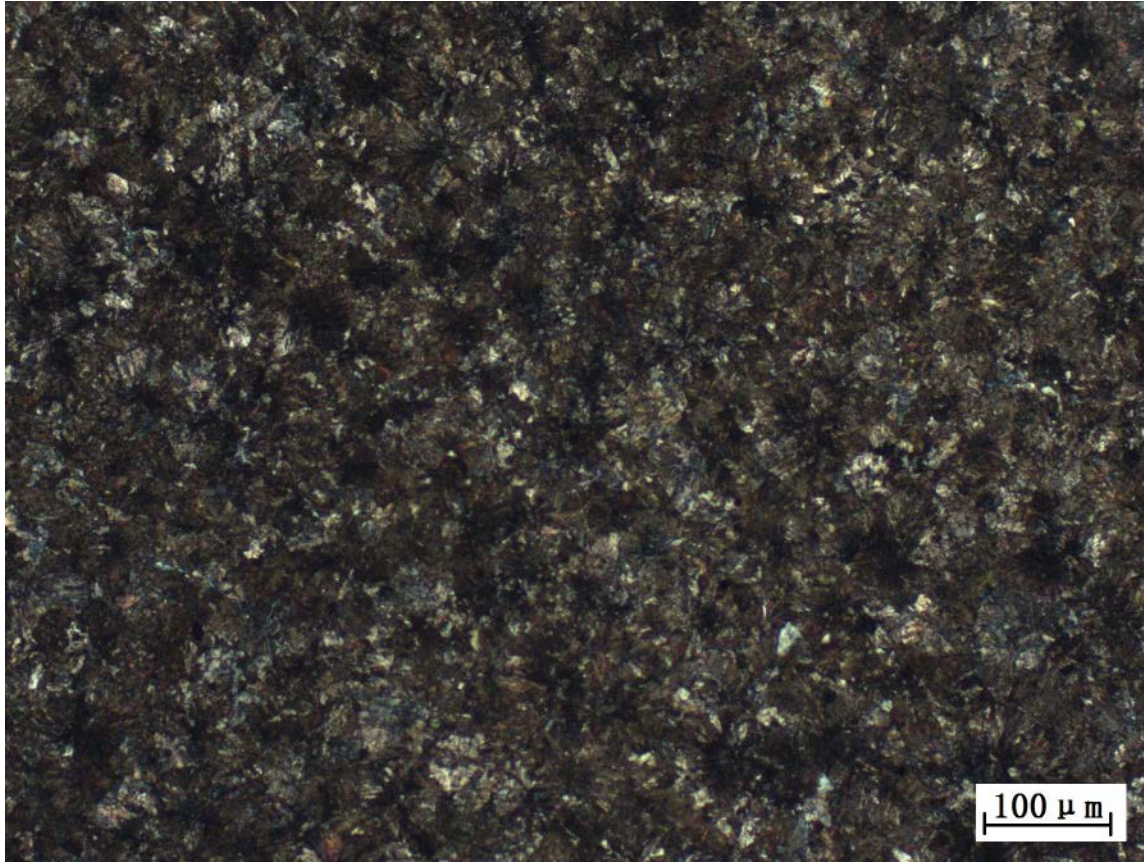


图 2

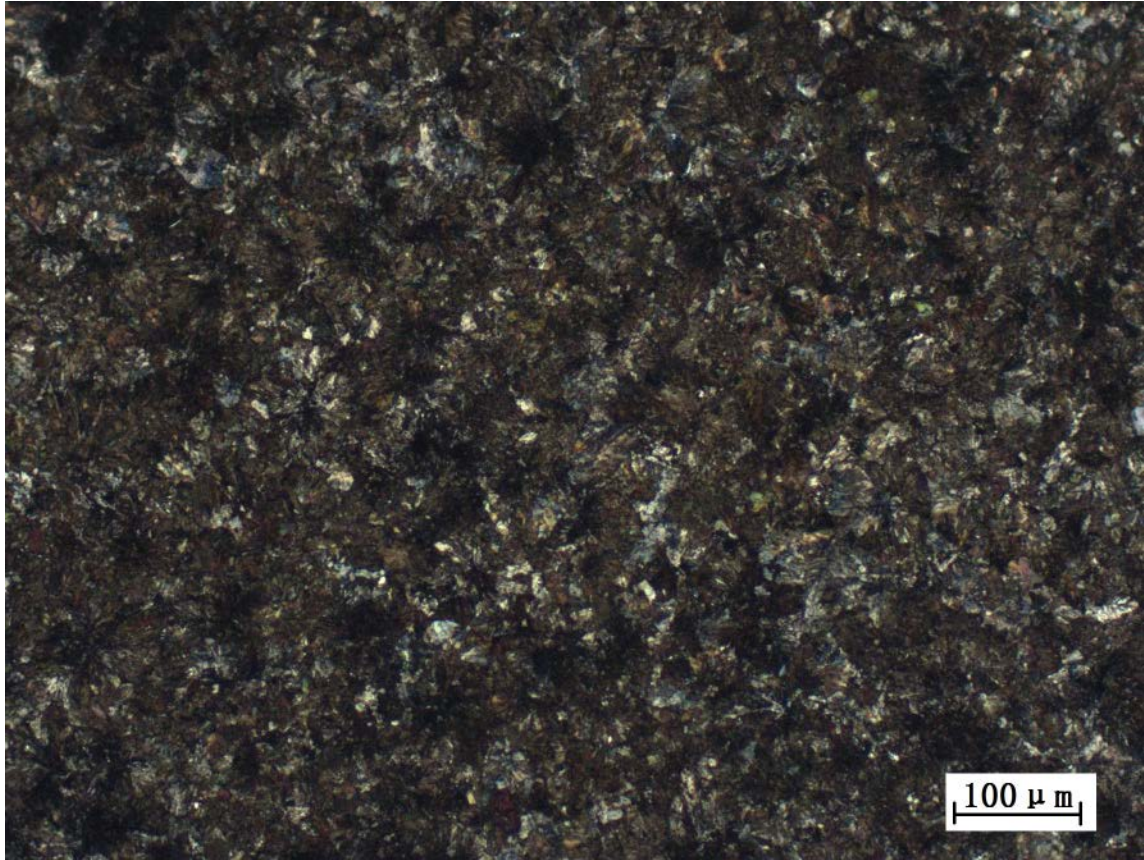


图 3