

不同材料夹送辊堆焊层退火处理后的组织及性能对比

滕宏胤, 王银军, 吴索团

(梅山钢铁股份有限公司, 江苏 南京 210039)

摘要:为提高夹送辊性能,延长使用寿命,针对现用的 Delstain-442 焊丝及拟替换的 Multipass-249 及 Multipass-224HC 两种焊丝展开研究,对比了3种焊丝制备的堆焊层经不同温度(500 °C 和 540 °C)退火处理后的组织和性能变化。结果表明,经退火处理后,3种堆焊层中的残留奥氏体均向马氏体转化,Delstain-442 堆焊层组织转化更为充分。540 °C 退火 Multipass-249 堆焊层的韧性更好,组织更稳定,有更好的高温耐磨性能。540 °C 退火 Delstain-442 堆焊层也能获得更好的高温硬度和高温耐磨性能。Multipass-224HC 堆焊层具有较高的脆性,两种温度退火处理后均有良好的耐磨性,磨损率相对 Delstain-442 降低了一个量级。540 °C 退火处理 Multipass-249 堆焊层综合性能较好,但由于冲击韧性存疑,是否可替换 Delstain-442 还需进一步验证。

关键词:热轧;夹送辊;力学性能;显微组织;耐磨性

中图分类号: TG172 **文献标志码:** A **文章编号:** 0254-6051(2025)01-0155-08

DOI: 10.13251/j.issn.0254-6051.2025.01.024

Comparison of microstructure and properties of surfacing layer on pinch roller produced by different materials after annealing treatment

Teng Hongyin, Wang Yinjun, Wu Suotuan

(Meishan Iron & Steel Ltd., Nanjing Jiangsu 210039, China)

Abstract: In order to improve the properties of the pinch roller and extend its service life, the current Delstain-442 welding wire and the proposed Multipass-249 and Multipass-224HC welding wires were studied. The microstructure and properties changes of the surfacing layers prepared by the three types of welding wires after annealing at 500 °C and 540 °C were compared. The results indicate that after annealing, the retained austenite in the three types of surfacing layers transformed into martensite, and the transformation of the Delstain-442 layer is more complete. The Multipass-249 layer annealed at 540 °C has better toughness, more stable microstructure, and better high-temperature wear resistance. The Delstain-442 layer annealed at 540 °C can also achieve better high-temperature hardness and high-temperature wear resistance. The Multipass-224HC layer has higher brittleness, while obtains good wear resistance after annealing at both the temperatures, where the wear rate is reduced by one order of magnitude compared to that of the Delstain-442. The comprehensive properties of the Multipass-249 layer annealed at 540 °C are good, but due to doubts about its impact toughness, further verification is needed to determine whether it can replace the Delstain-442.

Keywords: hot rolling; pinch roller; mechanical properties; microstructure; wear resistance

随着我国经济及科技的飞速发展,国家对高品质钢材的需求量日益增长,尤其是高品质、高性能钢材方面需求量极大^[1-2],高强钢板材在由板坯轧制成板材过程中,对热轧线的设备使役性能提出了更高的挑战^[3-5]。夹送辊系统是热轧卷取系统中的关键装备,其主要由上、下夹送辊和机架等组成,上、下夹送辊之间呈偏心布置以引导带钢转向进入卷取辊,夹送辊的主要作用为当带钢进入夹送辊辊缝时将带钢咬紧,从

而在轧机与夹送辊之间建立带钢张力^[6-8],绷直带钢且通过上、下夹送辊的偏心布局给予带钢一定弯矩而下倾转向,最后带钢经引导进入卷取。夹送辊在工作过程中与钢板直接接触,工作温度达 500 ~ 700 °C,受到冲击及表面摩擦,因而要求夹送辊辊面应具有较好的硬度、耐磨性和抗冲击性等力学性能^[9-11]。

目前改善夹送辊性能的方法很多。李文等^[12]对夹送辊辊型进行了优化,选用上、下夹送辊凸度分别为

收稿日期:2024-07-15 修订日期:2024-10-28

基金项目:梅山钢铁有限公司项目(RH2200002225)

作者简介:滕宏胤(1979—),男,工程师,主要研究方向为轧钢设备的维护技术管理和技术攻关工作,E-mail:jiayanner@126.com。通信作者:吴索团,教授级高级工程师,E-mail:W25802KJL@126.com

引文格式:滕宏胤,王银军,吴索团.不同材料夹送辊堆焊层退火处理后的组织及性能对比[J].金属热处理,2025,50(1):155-162.

Teng Hongyin, Wang Yinjun, Wu Suotuan. Comparison of microstructure and properties of surfacing layer on pinch roller produced by different materials after annealing treatment [J]. Heat Treatment of Metals, 2025, 50(1): 155-162.

0.75 mm 和 1.5 mm 的夹送辊辊型配置,因上、下夹送辊增加边部导角,夹送辊运行过程中的不稳定性得到有效解决,提高了夹送辊的抗冲击性及耐磨性,从而进一步提升了夹送辊的服役寿命。汪磊^[13]分析了沉没辊系统周期短的主要原因是由于磨损过快,根据结果制定了优化材质,改变轴套、衬套硬度配比的方案,使得沉没辊的工作周期有了显著的延长。

某热轧线夹送辊使用 Stellite 的 Delstain-442 焊丝堆焊制备硬质合金辊面,该辊面在轧制高强钢时,服役性能存在不足,导致辊面在重载、强冲击下冲击痕频繁出现,磨损量也较高,大幅降低了夹送辊的使用寿命,降低了生产效率,需要通过升级辊面材质来提升夹送辊堆焊层的力学性能。为探寻合适材质及热处理制度,本文针对现用的 Delstain-442 焊丝及拟替换的 Multipass-249 及 Multipass-224HC 两种焊丝展开热处理制度对其微观组织及力学性能的影响研究。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本文采用的堆焊材料由 Stellite 提供,在外径 $\phi 300$ mm \times 20 mm 厚的 20 号钢管表面堆焊打底层和硬质合金层。打底层堆焊 1~2 层,采用 Multipass-108 焊丝;硬质合金层堆焊 5~6 层(总厚度约 20 mm),3 种硬质合金层分别为:Delstain-442、Multipass-249 及 Multipass-224HC。由于药芯焊丝堆焊层的热处理温度一般局限于 500~550 °C 之间,选择 500 °C 和 540 °C 对堆焊层试样进行退火处理,各种焊丝的化学成分如表 1 所示。

表 1 不同焊丝的化学成分(质量分数,%)

Table 1 Chemical composition of different welding wires (mass fraction, %)

焊丝	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe	其他
Multipass-108	0.10	0.80	1.90	1.00	0.90	0.60	Bal.	—
Delstain-442	0.40	0.50	4.50	4.00	3.50	2.50	Bal.	≤ 5.00
Multipass-249	0.40	0.40	1.80	5.50	1.0	1.5	Bal.	≤ 5.00
Multipass-224HC	0.55	0.65	1.80	6.50	—	1.10	Bal.	≤ 5.00

1.2 试验方法

从堆焊层表面取样,用水磨砂纸将试样表面打磨至 2000 目后抛光。磨好的试样用 4% 硝酸 + 4% 氢氟酸 + 92% 水溶液进行浸蚀,腐蚀时间 20 s 左右,腐蚀后依次用蒸馏水、酒精冲洗干净试样表面,吹干后用 Hirox-7700 视频显微镜和 NANO-SEM430 场发射扫描电镜观察显微组织;物相分析使用 Smart Lab X 射线衍

射仪进行,使用 MDI Jade 6 软件进行分析。

堆焊层的室温硬度依照 GB/T 230.1—2018《金属材料 洛氏硬度试验 第 1 部分:试验方法》使用 HR-150 洛氏硬度计进行,高温硬度依照 GB/T 231.1—2018《金属材料 布氏硬度试验 第 1 部分:试验方法》使用 Bruker UMT-TriboLab 试验机进行。考虑到夹送辊大部分的服役温度处于 400~600 °C 之间,所以高温硬度测定选取温度为 200、300、400、450、500、550、600 °C。

高温拉伸试验依据 GB/T 228.2—2015《金属材料拉伸试验 第 2 部分:高温试验方法》,采用 MTS E45.105 万能试验机进行,拉伸应变速率 0.23 mm/min,试样尺寸如图 1 所示。

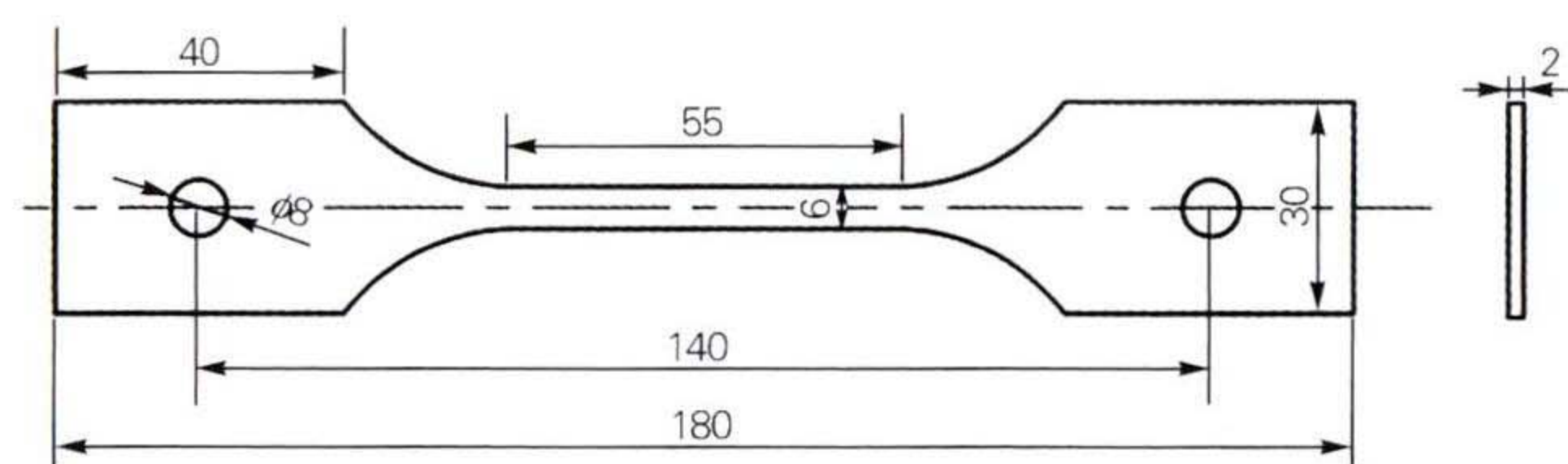


图 1 拉伸试样示意图

Fig. 1 Schematic diagram of tensile specimen

高温冲击试验根据 GB/T 229—2007《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》,使用 PIT302-D 型冲击试验机进行,试样尺寸 55 mm \times 10 mm \times 10 mm,无缺口试样。

堆焊层的高温划痕磨损测试依据 ASTM G133-05 (2016),使用 Bruker UMT-TriboLab 多功能摩擦磨损试验机进行,采用 ZYGO newview 9000 白光干涉仪拍摄划痕形貌并记录相关数据。

2 试验结果及讨论

2.1 微观组织

堆焊时因非均匀加热、冷却速度过快等因素,使得堆焊层存在焊接残余应力,3 种堆焊层焊态时的室温下抗拉强度均不超过 900 MPa。图 2 所示为 3 种焊丝堆焊后,堆焊层焊态显微组织,组织均匀性较差。Delstain-442 堆焊层表面有网状白色残留奥氏体及针状马氏体^[14],Multipass-249 表面残留奥氏体为断续网状,Multipass-224HC 中布满了白色组织,夹杂少量针状马氏体。

Delstain-442 堆焊层经 500、540 °C 退火处理后,组织均匀性显著增强(见图 3(a,c)),残留奥氏体全部转化为马氏体^[15],XRD 分析已无法检测到残留奥氏体,组织主要由 α -Fe、MC 型弥散碳化物^[16]组成(见图 3(b,d))。

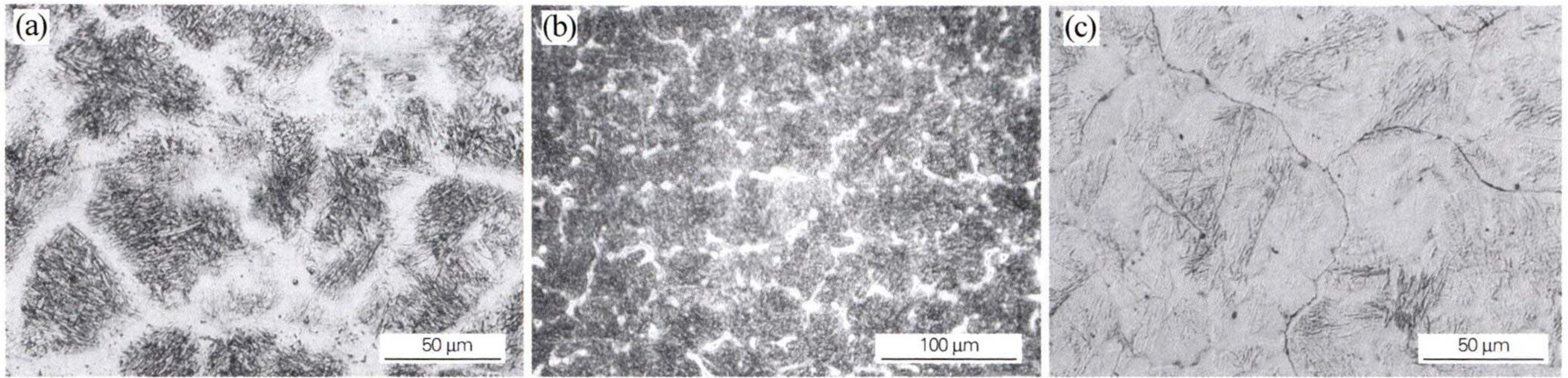


图 2 堆焊层焊态显微组织
Fig. 2 Microstructure of the as-welded surfacing layers
(a) Delstain-442; (b) Multipass-249; (c) Multipass-224HC

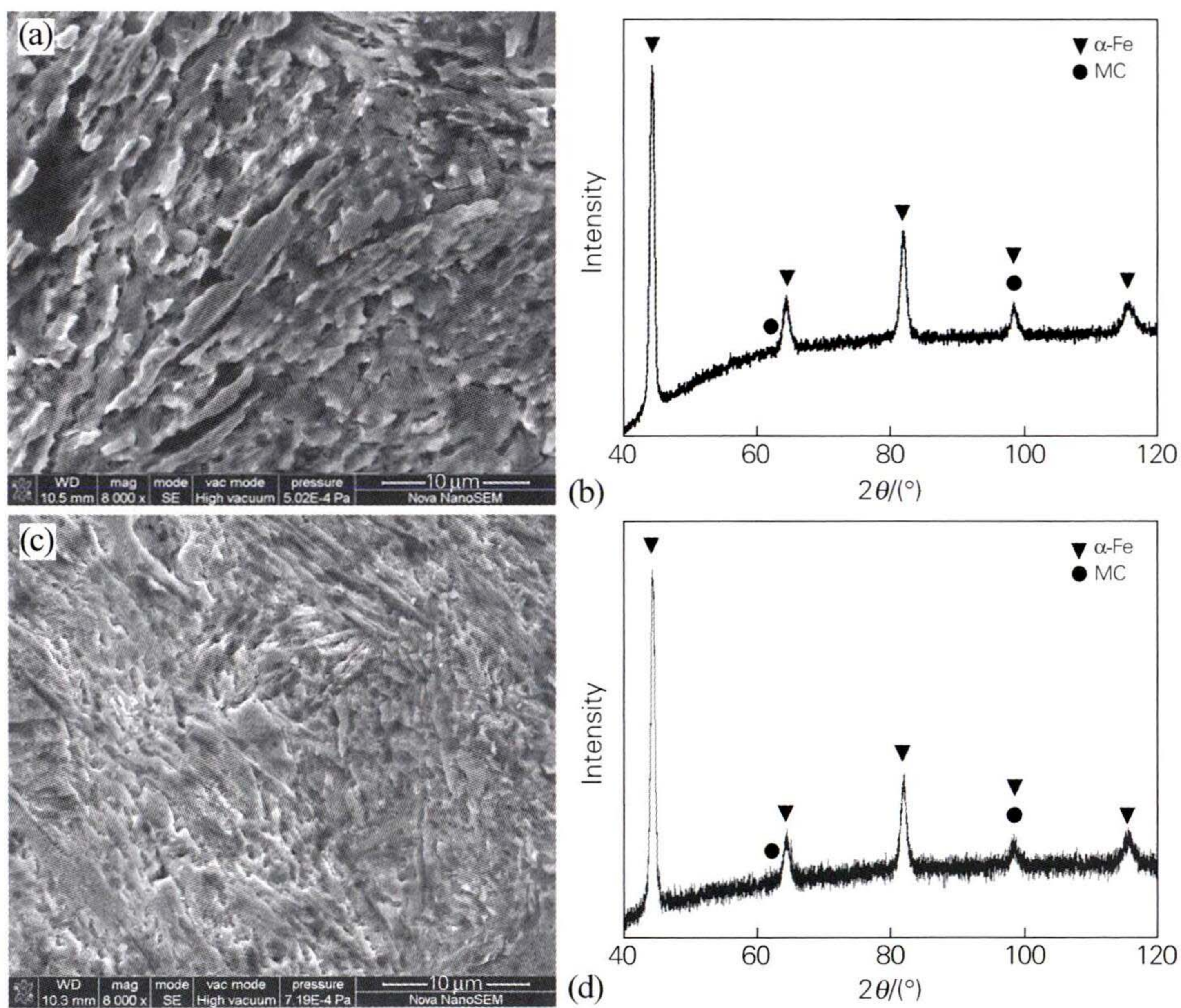


图 3 Delstain-442 堆焊层退火态显微组织(a, c)和 XRD 图谱(b, d)
Fig. 3 Microstructure(a, c) and XRD patterns(b, d) of the annealed Delstain-442 surfacing layer
(a,b) 500 °C; (c,d) 540 °C

Multipass-249 堆焊层经 500、540 °C 退火处理后,组织均匀性增强,存在析出的夹杂物和少量残留奥氏体,500 °C 退火处理后以针状马氏体为主,540 °C 退火处理后为板条状马氏体和针状马氏体并存(见图 4(a,b))。

Multipass-224HC 堆焊层经 500、540 °C 退火处理后,组织均匀性增强,以针状马氏体为主,但仍存在少量残留奥氏体(见图 5(a,c)),经 XRD 检测,组织主要由马氏体、残留奥氏体及 MC/M₂C 碳化物组成(见图 5(b,d))。

总体说来,3 种堆焊层经退火处理后,微观组织均匀性均有较大幅度改善,Delstain-442 堆焊层经退火处理后残留奥氏体转化为马氏体更充分, Multipass-249 及 Multipass-224HC 堆焊层退火处理后均保留少量残留奥氏体。

2.2 表面硬度

由于夹送辊辊面线速度一般要略高于带钢的传输速度,以避免带钢直接剧烈冲击夹送辊辊面,因此在带钢进入夹持后辊面与带钢之间速度并不完全一致,两者之间存在相对运动,同时夹送辊要实现有效夹送带

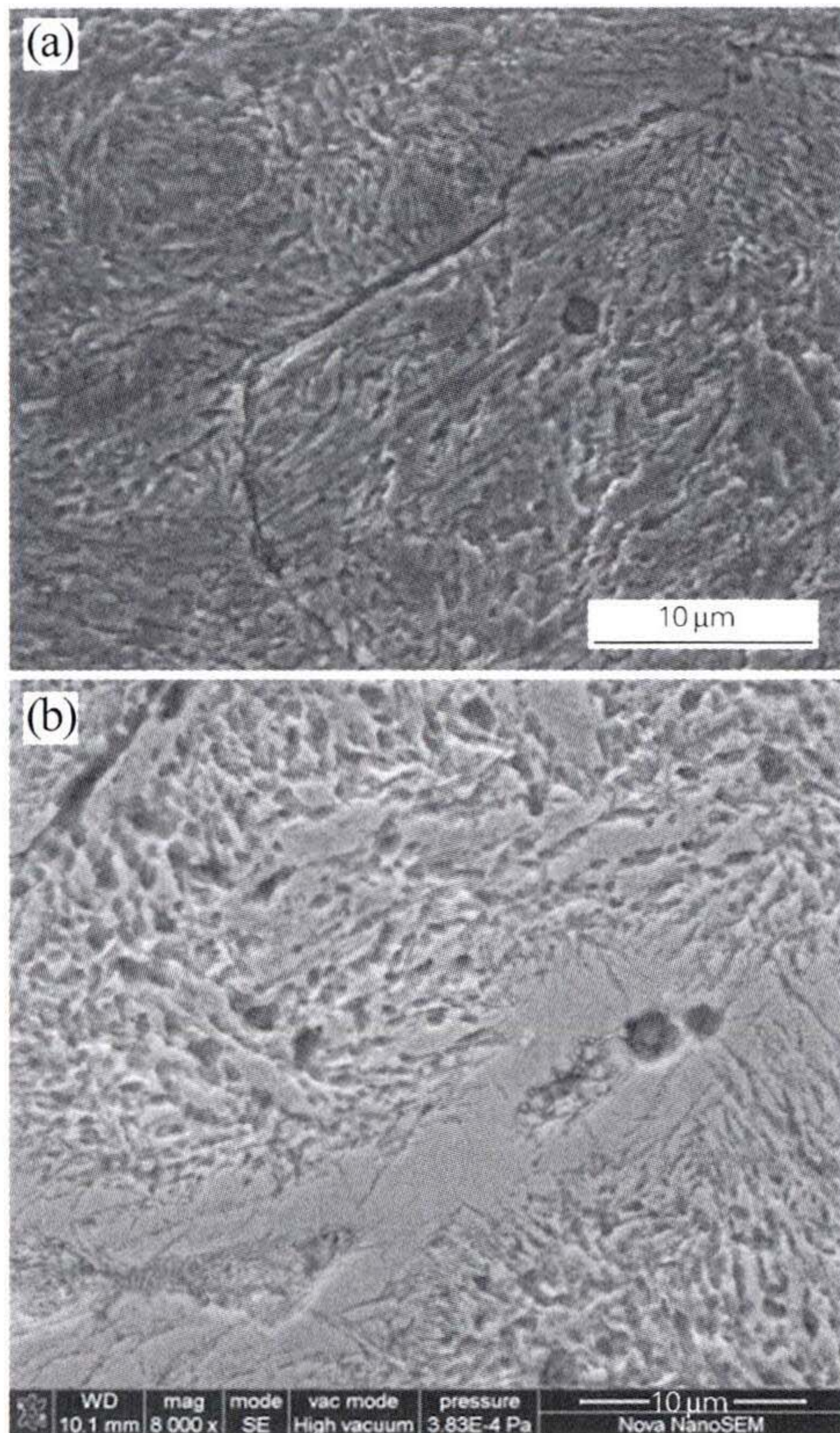


图 4 Multipass-249 堆焊层退火态显微组织

Fig. 4 Microstructure of the annealed Multipass-249 surfacing layer
(a) 500 °C; (b) 540 °C

钢,并在夹送辊与轧机之间建立带钢张力,上、下夹送辊与带钢之间还存在较高接触应力^[17-19],且夹送辊辊面磨损也会显著影响夹送辊的服役性能,因此夹送辊辊面合金层的表面硬度是考核性能指标之一。

3 种堆焊层经 500、540 °C 退火后的室温表面硬度如图 6 所示,可以看出,Delstain-442 堆焊层 540 °C 退火后的表面硬度略高于 500 °C,但二者均低于 55 HRC;两种温度退火处理 Multipass-249 堆焊层表面硬度均优于 Delstain-442 堆焊层,但均未超过 60 HRC; Multipass-224HC 堆焊层经两种温度退火处理后的表面硬度大部分超过 60 HRC,且表面硬度差异较小。

由于高强钢轧制后卷取时温度常在 600 °C 左右,因此夹送辊辊面温度会迅速提升至 500 °C 以上,夹送辊运行时间歇水冷又可将辊面温度降低至 60 °C,夹送辊辊面处于冷热循环状态,其高温硬度对其服役性能具有更重要的影响。

图 7 为 3 种堆焊层经 500、540 °C 退火后的高温表面硬度,可以看出,3 种堆焊层在温度不低于 500 °C 后,表面硬度整体呈急剧降低趋势。500 °C 退火处理 Delstain-442 堆焊层,600 °C 时的表面硬度已降低至 32.1 HRC; 540 °C 退火处理 Delstain-442 堆焊层,在 600 °C 时的表面硬度为 37.3 HRC。就室温和服役温

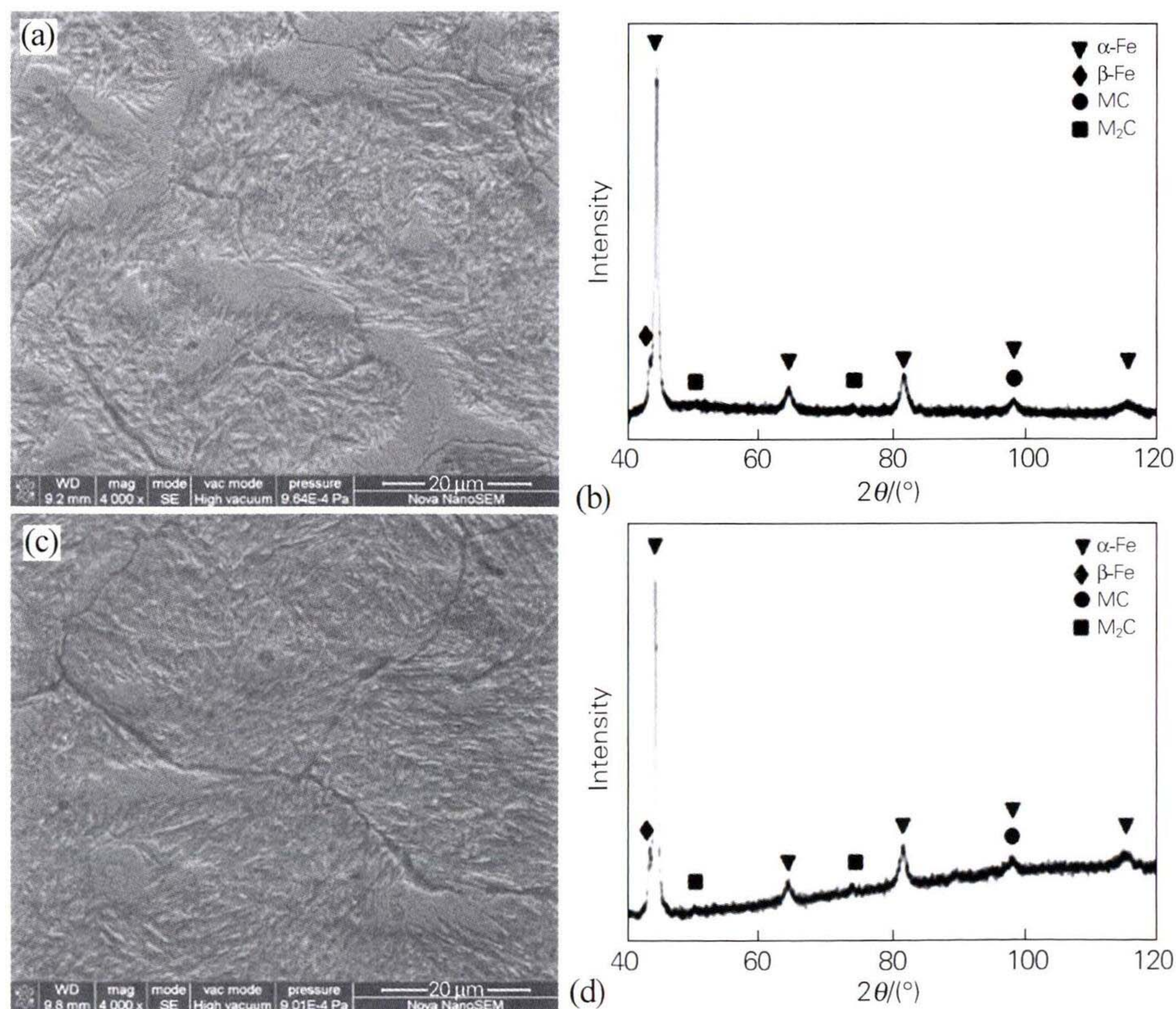


图 5 Multipass-224HC 堆焊层退火态显微组织(a, c)和 XRD 图谱(b, d)

Fig. 5 Microstructure(a, c) and XRD patterns(b, d) of the annealed Multipass-224HC surfacing layer
(a, b) 500 °C; (c, d) 540 °C

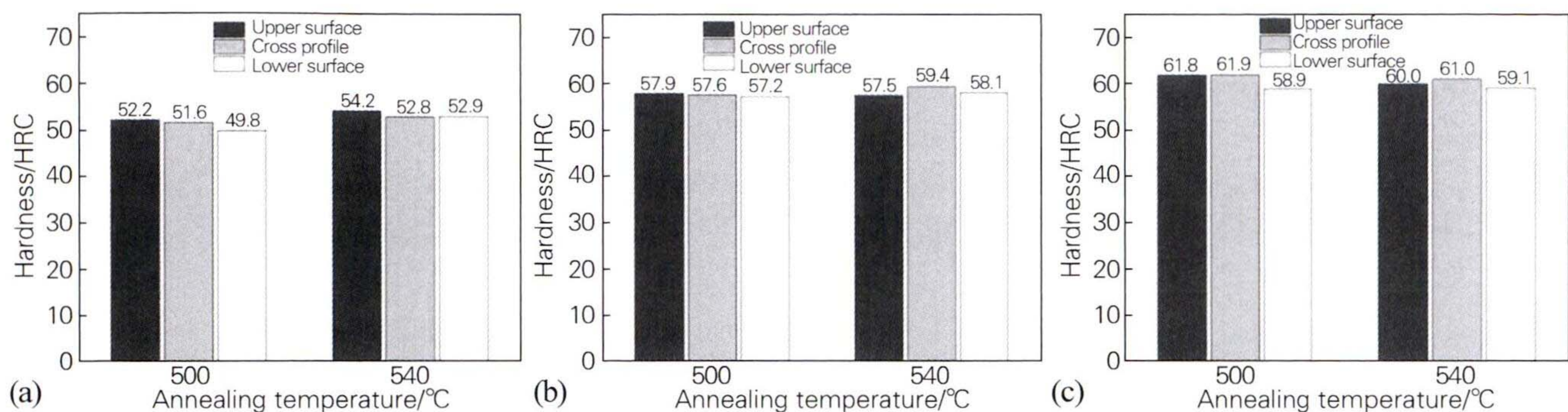


图6 堆焊层退火态室温表面硬度

Fig. 6 Surface hardness at room temperature of the annealed surfacing layers

(a) Delstain-442; (b) Multipass-249; (c) Multipass-224HC

度来说, Delstain-442 堆焊层经 540 °C 热处理可获得更高的表面硬度; 两种温度退火态 Multipass-249 堆焊层室温硬度差异较小, 但 500 °C 热处理的高温硬度更佳; Multipass-224HC 堆焊层无论室温硬度还是高温硬度, 两种热处理方式均未显示有显著差异。

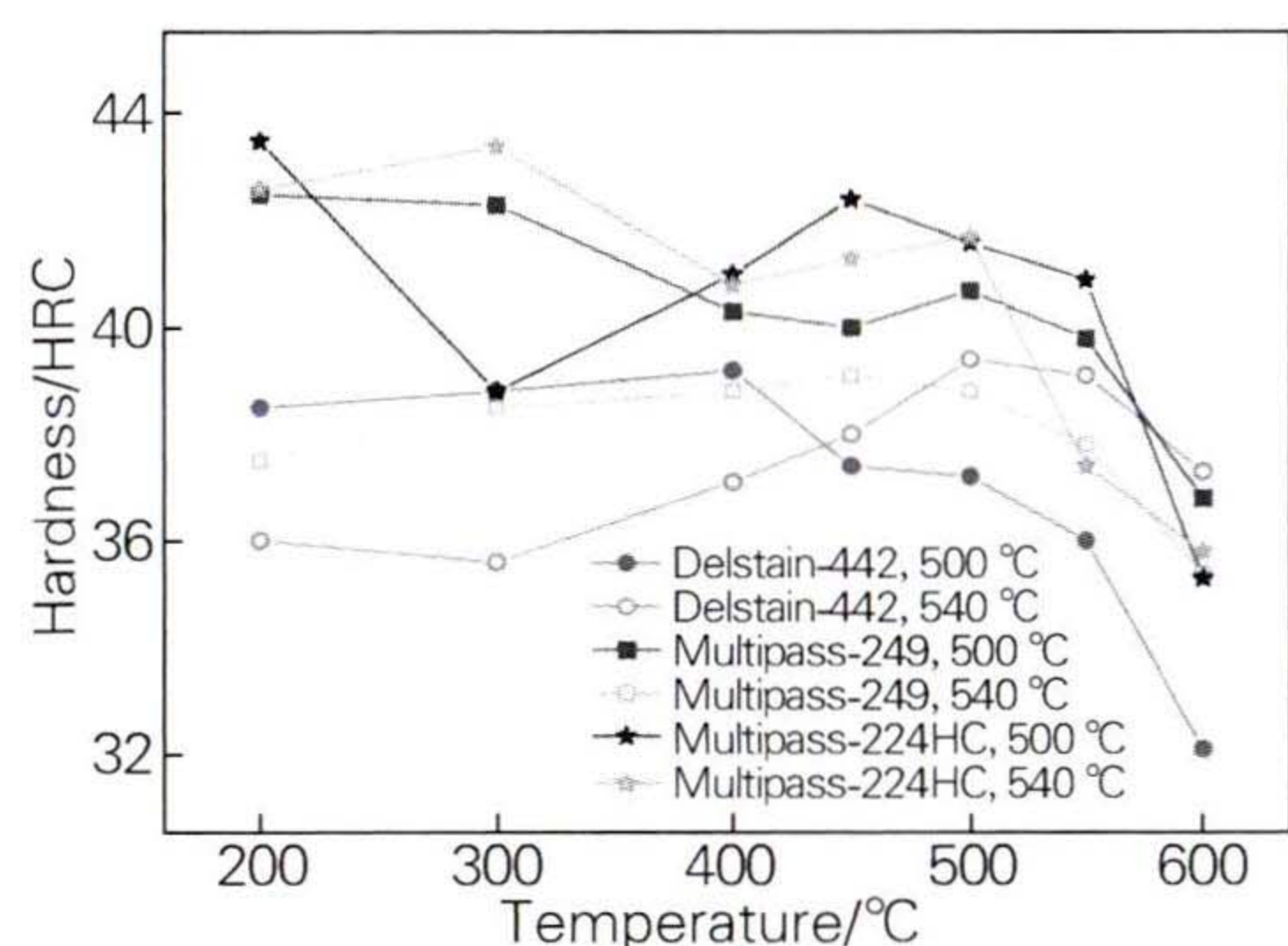


图7 堆焊层退火态高温表面硬度

Fig. 7 Surface hardness at high temperatures of the annealed surfacing layers

2.3 力学性能

夹送辊辊面在带钢完成轧制后进入卷取时, 带钢头部与夹送辊辊面接触瞬间存在高冲击应力, 尤其是轧制高强钢时辊面冲击痕频繁出现, 导致夹送辊需要经常下线磨辊, 因此辊面的力学性能也极为重要。

图8为3种堆焊层经500、540 °C退火后的高温力学性能检测结果(有些堆焊层试样因脆性过大, 未达到屈服断裂, 无法获得有效数据), 可以看出试验温度400 °C下, Delstain-442堆焊层经500 °C退火处理后抗拉强度接近1430 MPa, 屈服强度约为1150 MPa, 具有良好的力学性能, 同时还保持了良好的伸长率, 拉伸断口呈韧窝状, 存在撕裂棱特征及孔洞, 如图9(a)所示; 测试温度在550 °C时力学性能急剧退化, 伸长率仍保持在5%以上, 保留了较好的塑性, 拉伸断口为正断韧

窝^[20-21], 如图9(b)所示。Delstain-442堆焊层经540 °C退火处理后抗拉强度、屈服强度略高于500 °C退火处理, 但断后伸长率及无缺口冲击吸收能量均明显恶化, 材料脆性显著增加。540 °C退火态 Multipass-249 和 500、540 °C退火态 Multipass-224HC 表现出较高的脆性, 未达到屈服断裂。Multipass-224HC 经500 °C退火后的拉伸断口在试验温度400 °C时呈现准解理断裂, 如图9(c)所示, 试验温度为550 °C时断口出现小而浅的韧窝, 呈现冰糖状, 为典型的脆性断裂特征, 如图9(d)所示。

两种退火处理 Multipass-249 和 Multipass-224HC 堆焊层, 不同高温下的伸长率均未超过5%, 具有较高的脆性。540 °C退火态 Multipass-249 堆焊层的抗拉强度要高于 Delstain-442, 但塑性及冲击韧性显著低于 Delstain-442, 使得 Multipass-249 焊丝在制备夹送辊辊面时的抗冲击性存疑。Multipass-224HC 堆焊层的塑性及冲击韧性大幅低于 Multipass-249 和 Delstain-442 堆焊层, 由于脆性过大, 在拉伸测试时无法得出准确的抗拉强度等力学数据。

2.4 磨损性能

针对夹送辊辊面原堆焊层 Delstain-442 及拟替换的 Multipass-249、Multipass-224HC 堆焊层进行高温划痕磨损试验, 磨损结果如图10所示。可以看出, Multipass-249、Multipass-224HC 堆焊层的抗磨损能力均显著优于 Delstain-442 堆焊层, 普遍磨损率降低幅度均超过了50%, 所以 Multipass-249 及 Multipass-224HC 这两种焊丝制备的堆焊层由于表面硬度较高, 抗磨损能力有显著提升, 尤其在高温下 Multipass-224HC 的抗磨损性能相对 Delstain-442 有量级的提升。就耐磨性能而言, Multipass-249 及 Multipass-224HC 两种焊丝制备的堆焊层要明显优于 Delstain-442 焊丝制备的堆焊层。

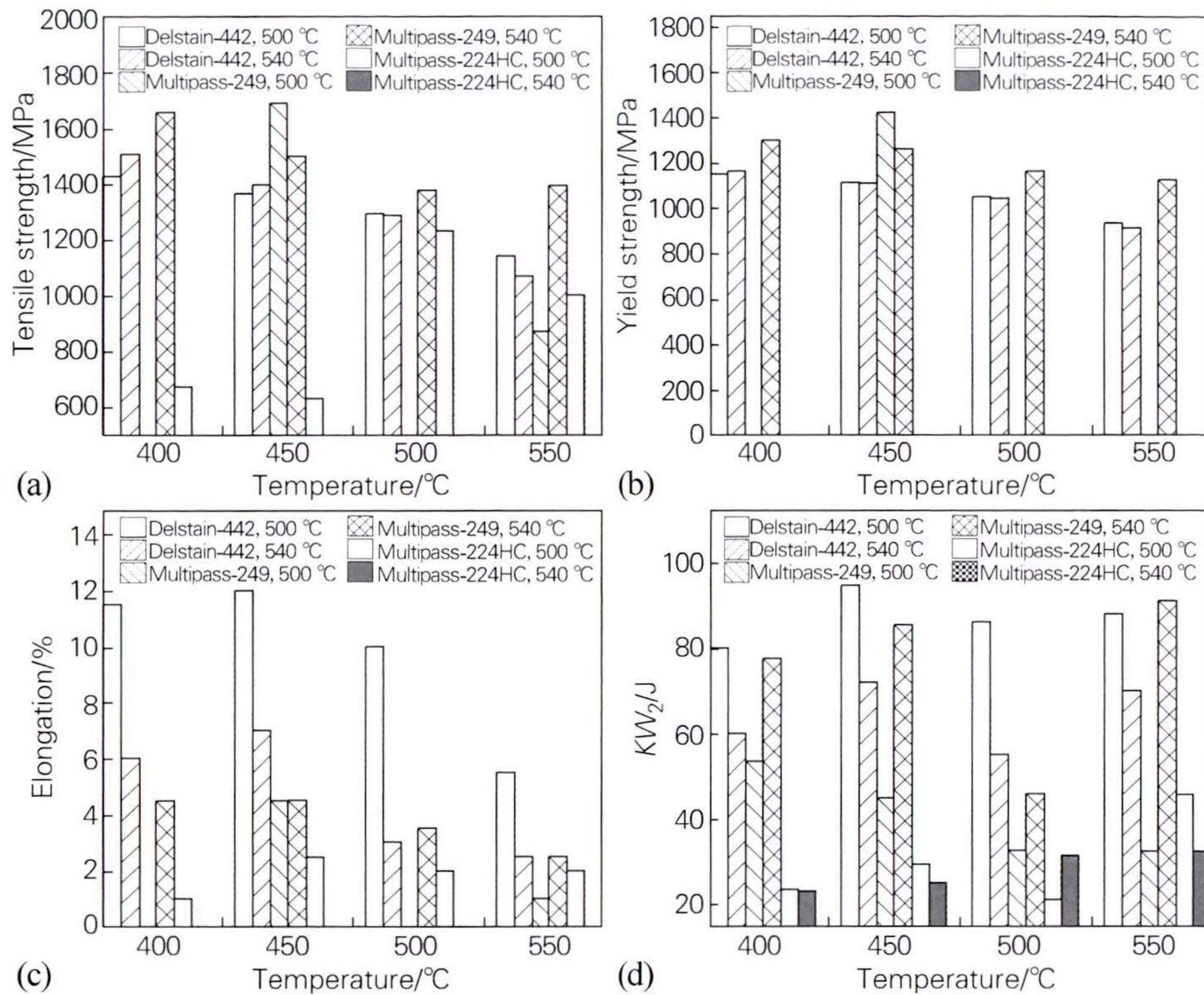


图 8 堆焊层退火态高温力学性能

Fig. 8 Mechanical properties at high temperatures of the annealed surfacing layers

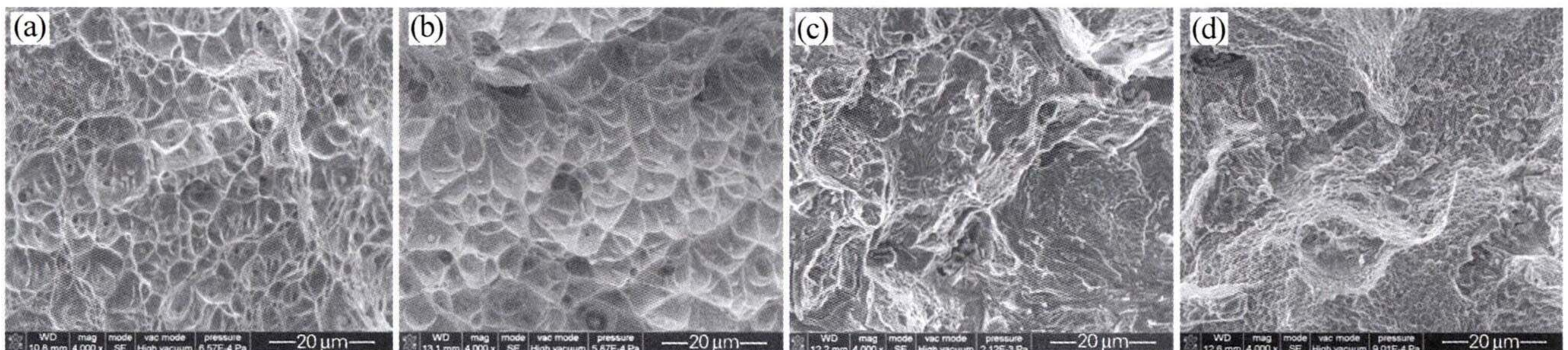


图 9 500 °C 退火处理堆焊层的高温拉伸断口形貌

Fig. 9 Tensile fracture morphologies at high temperatures of the surfacing layers annealed at 500 °C

(a, b) Delstain-442; (c, d) Multipass-224HC; (a, c) 400 °C; (b, d) 550 °C

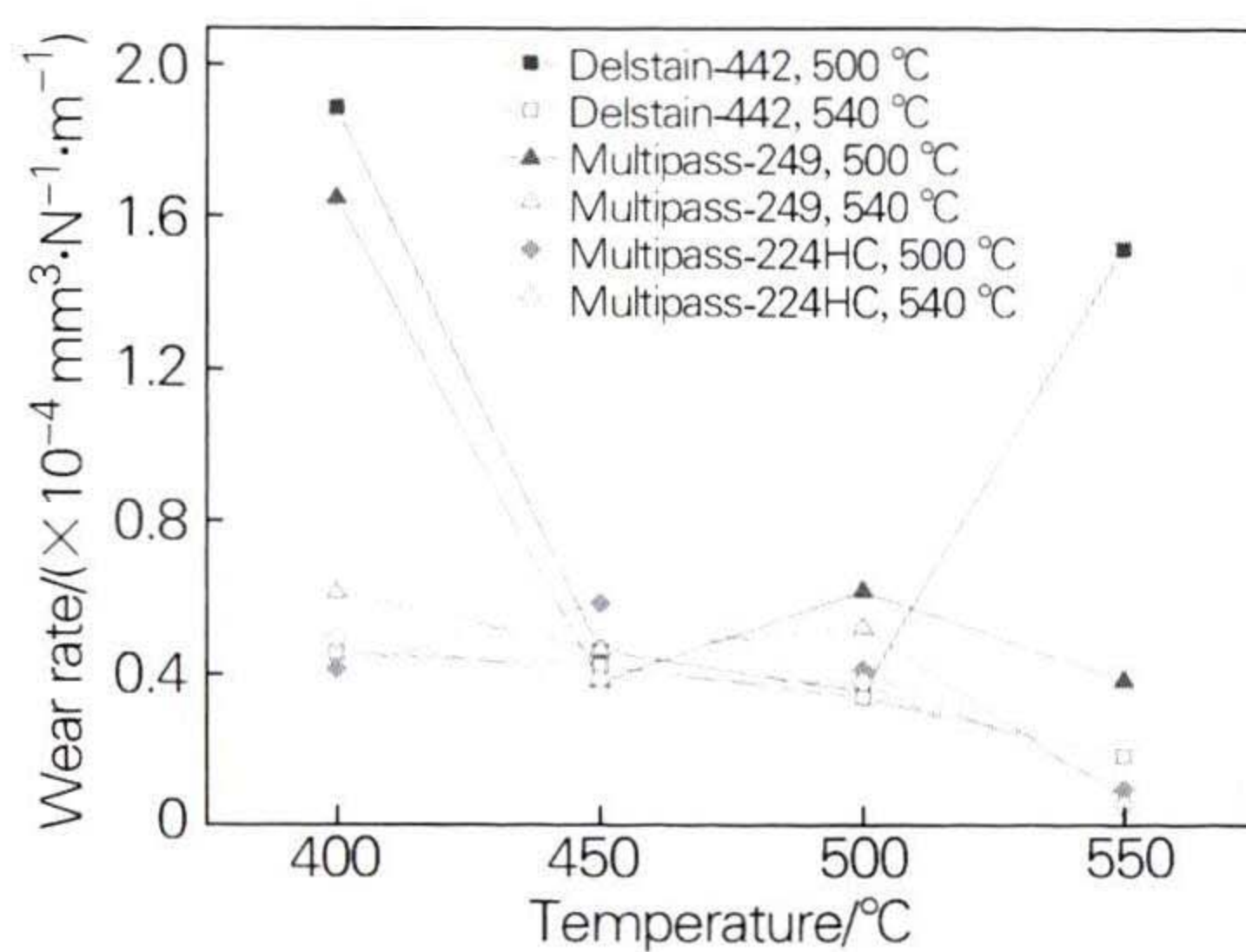


图 10 堆焊层退火态高温磨损试验结果
Fig. 10 High temperature wear test results of the annealed surfacing layers

针对退火温度而言, Delstain-442 堆焊层经 500 °C 退火后的耐磨性要低于经 540 °C 退火后的, 这与 Delstain-442 堆焊层经 540 °C 热处理后表面硬度更高是相吻合的。Delstain-442 堆焊层与 Multipass-249 堆焊层经 500 °C 退火处理后耐磨性出现了较大的波动, 表明其组织中强化相可能存在不均匀性, 导致磨损速率出现较大差异, 而经 540 °C 退火处理后, 磨损速率较为平稳且处于较低水平; Multipass-224HC 在两种热处理温度下磨损速率均处于较低水平, 组织较为稳定, 表面硬度及磨损速率均处于较低水平, 热处理温度对其性能影响不大。

3 结论

1) 焊态时 Delstain-442、Multipass-249 和 Multipass-224HC 堆焊层的组织主要为残留奥氏体和马氏体,经过退火处理后,3种堆焊层中的残留奥氏体均向马氏体转化,Delstain-442 堆焊层较 Multipass-249、Multipass-224HC 堆焊层组织转化更为充分。Multipass-249 堆焊层经 540 °C 退火后组织更为稳定。

2) 室温下 Multipass-249、Multipass-224HC 堆焊层表面硬度均优于 Delstain-442 堆焊层, Multipass-224HC 堆焊层硬度大部分超过 60 HRC。Multipass-224HC 在高温下抗磨损性能明显优于 Delstain-442,磨损率相对 Delstain-442 降低了一个量级。500 °C 退火处理可以使 Multipass-249 获得更好的高温硬度。540 °C 退火处理使得 Multipass-249 组织更稳定,有更好的高温耐磨性能,Delstain-442 堆焊层经 540 °C 退火处理也能获得更好的高温硬度和高温耐磨性。

3) Multipass-249、Multipass-224HC 堆焊层有较高的脆性,测试温度下伸长率均未超过 5%。Delstain-442 堆焊层具有更好的塑性,测试温度在 550 °C 时断后伸长率也可保持在 5% 以上,两种退火温度处理后伸长率差距不明显。540 °C 退火处理 Multipass-249 的韧性更好,两种退火温度下 Multipass-224HC 均未达到屈服断裂。

4) 540 °C 退火处理 Multipass-249 堆焊层的韧性优于 Multipass-224HC 堆焊层,高温耐磨性优于 Delstain-442 堆焊层,但由于冲击韧性不足,耐冲击性能存疑,是否可替换 Delstain-442 还需进一步展开研究。

参考文献:

[1] Feng Xinglong, Gao Xianwen, Luo Ling. X-SDD: A new benchmark for hot rolled steel strip surface defects detection[J]. Symmetry, 2021, 13(4): 706.

[2] Servin-Castaeda R, Garcia-Lara A M, Mercado-Solis R D, et al. Development of mathematical model for control wear in backup roll for hot strip mill[J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2014, 21(1): 46-51.

[3] 锅 渺, 李 莎, 赵利平, 等. 波纹辊轧制温度对镁/铝复合板界面组织及力学性能的影响[J]. 材料导报, 2020, 34(22): 22087-220926.

Guo Miao, Li Sha, Zhao Liping, et al. Effect of rolling temperature of corrugated roll on the interface structure and mechanical properties of Mg/Al composite plate [J]. Materials Reports, 2020, 34(22): 22087-22092.

[4] 李 瑞, 张亮亮, 魏建波, 等. 卷取温度和随后的冷却方式对 65Mn 钢板表面质量的影响[J]. 上海金属, 2023, 45(5): 45-49.

Li Rui, Zhang Liangliang, Wei Jianbo, et al. Effect of coiling temperatures and subsequent cooling way on surface quality of 65Mn

steel sheet[J]. Shanghai Metals, 2023, 45(5): 45-49.

[5] Yuan Q, Wang Z, Zhang Y, et al. Effect of warm rolling temperature on the microstructure and texture of microcarbon dual-phase(DP) steel [J]. Metals, 2020, 10(5): 566.

[6] Zhang X, Chen S Z, Zhang H Y, et al. Modeling and analysis of interstand tension control in 6-high tandem cold rolling mill[J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2014, 21(9): 830-836.

[7] 张鹏杰, 刘志恒, 关淑巧. DP 钢退火快冷段常见缺陷原因分析及解决措施[J]. 轧钢, 2020, 37(3): 90-92.

Zhang Pengjie, Liu Zhiheng, Guan Shuqiao. Causes analysis of common defects in rapid cooling section of annealing furnace for DP steel and its countermeasures[J]. Steel Rolling, 2020, 37(3): 90-92.

[8] Liu X, Xiao H. Theoretical and experimental study on the producible rolling thickness in ultra-thin strip rolling [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2020, 278: 116537.

[9] 吕艳春. 热轧卷取机夹送辊表面堆焊修复技术[J]. 中国设备工程, 2016(4): 60-62.

[10] 官旭东. 重轨表面轧辊粘钢压痕缺陷研究[J]. 轧钢, 2023, 40(4): 129-133.

Guan Xudong. Research on indentation defects on the surface of heavy rail caused by rolls sticking steel[J]. Steel Rolling, 2023, 40(4): 129-133.

[11] Das S, Palit P, Mukhopadhyaya S, et al. Pinch roller failure analysis and resulting enhancement of rebar mechanical properties[J]. Journal of Failure Analysis and Prevention, 2013, 13(4): 396-402.

[12] 李 文, 赵 磊, 刘 宁, 等. 夹送辊在热轧带钢卷取中的应用及改进[J]. 四川冶金, 2014, 36(5): 19-22.

Li Wen, Zhao Lei, Liu Ning, et al. Application and optimization of pinch roll in coiling[J]. Sichuan Metallurgy, 2014, 36(5): 19-22.

[13] 汪 磊. 热镀锌线沉没辊系统磨损失效分析[D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2016.

Wang Lei. Analysis of abrasion failure of sink roll system in hot dip galvanizing line[D]. Maanshan: Anhui University of Technology, 2016.

[14] 白鹏飞, 任凤章, 殷立涛, 等. 中锰钢热轧与冷轧退火工艺下组织与性能差异综述[J]. 材料热处理学报, 2024, 45(1): 22-33.

Bai Pengfei, Ren Fengzhang, Yin Litao, et al. Summary of differences in microstructure and properties between hot-rolled and cold-rolled annealing processes of medium manganese steel [J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2024, 45(1): 22-33.

[15] Gao F, Zhou J, Zhou J F, et al. Microstructure and properties of surfacing layers of dies manufactured by bimetal-gradient-layer surfacing technology before and after service[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 88(5): 1289-1297.

[16] Kamimiyada K, Ishikawa S, Miyahara H, et al. Effect of MC type carbides on wear resistance of high wear resistant cast iron rolls developed for work rolls of hot strip mills [J]. ISIJ International, 2021, 61(10): 2597-2604.

[17] 张 杰, 许焕宾, 李洪波, 等. 热轧带钢平整机工作辊的不均匀磨损及其降低措施[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2011, 42(6): 1611-1616.

Zhang Jie, Xu Huanbin, Li Hongbo, et al. Uneven wear of work roll and its reduction measurement on hot strip temper mill[J]. Journal of Central South University(Science and Technology), 2011, 42(6): 1611-1616.

退火温度对铝/钛/钢爆炸复合板耐腐蚀性能的影响

孙昊^{1,2}, 李南南^{1,2}, 朱磊^{1,2}

- (1. 西安天力金属复合材料股份有限公司, 陕西 西安 710201;
2. 层状金属复合材料国地联合工程研究中心, 陕西 西安 710201)

摘要:利用人工海水自然浸泡试验、电化学测试和微区电化学试验等研究了退火温度对1060Al/TA2/CCSB钢爆炸复合板在人工海水中的耐腐蚀性的影响。结果表明,复合板在人工海水溶液中主要发生点蚀。随着退火温度的升高,复合板的耐腐蚀性发生变化,在350℃时,交流阻抗谱半径最大,在极化曲线中出现了钝化区,电流密度最低,1060Al/TA2与TA2/CCSB钢两个结合界面电位差值最小,复合板的耐蚀性最好。微区电化学测试结果表明,TA2/CCSB钢界面的耐腐蚀性能更好。因此,在经过退火处理后,复合板的耐腐蚀性提高。

关键词:爆炸复合板;退火温度;点蚀;微区电化学;耐腐蚀性能

中图分类号: TG456.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 0254-6051(2025)01-0162-07

DOI: 10.13251/j.issn.0254-6051.2025.01.025

Effect of annealing temperature on corrosion resistance of aluminum/titanium/steel explosive clad plate

Sun Hao^{1,2}, Li Nannan^{1,2}, Zhu Lei^{1,2}

- (1. Xi'an Tianli Metal Composite Materials Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710201, China;
2. Layer-Shaped Metal Composite Material State and Local Joint Engineering Research Center, Xi'an Shaanxi 710201, China)

Abstract: Effect of annealing temperature on the corrosion resistance of 1060Al/TA2/CCSB steel explosive clad plate in artificial seawater was studied by natural immersion method, corrosion electrochemical method and micro-electrochemical test. The results show that pitting corrosion mainly occurs in the explosive clad plate in the artificial seawater solution. With the increase of annealing temperature, the corrosion resistance of the explosive clad plate changes. When annealing at 350℃, the radius of the AC impedance spectrum is the largest, the passivation zone appears in the polarization curve, the current density is the lowest, the potential difference between the two bonding interfaces of 1060Al/TA2 and TA2/CCSB steel is the smallest, and the explosive clad plate has the best corrosion resistance. The micro-electrochemical test results show that the TA2/CCSB steel interface has better corrosion resistance. Therefore, the corrosion resistance of the composite plate is improved after annealing treatment.

Keywords: explosive clad plate; annealing temperature; pitting corrosion; microelectron-chemistry; corrosion resistance

收稿日期:2023-06-07 修订日期:2024-09-24

基金项目:层状金属复合材料创新中试平台(2024CX-GXPT-20)

作者简介:孙昊(1985—),男,工程师,硕士,主要研究方向为铝钢、钛钢等层状金属复合材料开发制备及应用,E-mail:hsun@c-tlc.com。通信作者:李南南,工程师,硕士,E-mail:820190779@qq.com

引文格式:孙昊,李南南,朱磊.退火温度对铝/钛/钢爆炸复合板耐腐蚀性能的影响[J].金属热处理,2025,50(1):162-168.

Sun Hao, Li Nannan, Zhu Lei. Effect of annealing temperature on corrosion properties of aluminum/titanium/steel explosive clad plate[J]. Heat Treatment of Metals, 2025, 50(1): 162-168.

[18] Zhao J, Wang X, Yang Q, et al. Mechanism of lateral metal flow on residual stress distribution during hot strip rolling [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2021, 288: 116838.

[19] 宋光义, 杨荃, 王晓晨, 等. 热轧带钢平整机工作辊磨损规律 [J]. 钢铁, 2017, 52(9): 54-59.

Song Guangyi, Yang Quan, Wang Xiaochen, et al. Work roll wear law for hot strip temper mill [J]. Iron and Steel, 2017, 52(9): 54-59.

[20] 李俊, 李绍宏, 熊茹, 等. 超临界水冷堆用候选奥氏体耐热不锈钢热时效组织研究 [J]. 核动力工程, 2023, 44(6):

148-154.

Li Jun, Li Shaohong, Xiong Ru, et al. Study on the thermal aged microstructure of candidate austenitic heat-resistant stainless steel for supercritical water cooled reactor [J]. Nuclear Power Engineering, 2023, 44(6): 148-154.

[21] Tu S, Ren X, He J, et al. Stress-strain curves of metallic materials and post-necking strain hardening characterization: A review [J]. Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, 2020, 43(1): 13134.