

降低 Q235 热轧钢板带状组织的工艺参数优化

季业益¹, 陆宝山¹, 关集俱¹, 李强伟²

(1. 苏州工业职业技术学院 精密制造工程系, 江苏 苏州 215104; 2 苏州大学 工程训练中心, 江苏 苏州 215123)

摘要: 为降低 Q235 热轧钢板的带状组织、提升其弯曲成形性, 利用 Taguchi 正交试验法选定了精轧轧制速度、精轧完成温度、盘卷速度及盘卷温度这 4 项工艺参数, 探讨了 Q235 热轧钢板热轧后上述工艺参数对带状组织最大厚度与最大长度的影响, 确定了 Q235 热轧钢板的最佳热轧工艺参数组合, 并进行了弯曲试验验证。结果显示: 各工艺参数对带状组织最大厚度的影响程度顺序为精轧完成温度>精轧轧制速度>盘卷温度>盘卷速度; 而对带状组织最大长度的影响程度顺序为精轧完成温度>盘卷温度>盘卷速度>精轧轧制速度; 降低 Q235 热轧钢板中带状组织的最佳工艺参数组合为精轧轧制速度为 $0.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、精轧完成温度为 $870 \text{ }^\circ\text{C}$ 、盘卷速度为 $2.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、盘卷温度为 $650 \text{ }^\circ\text{C}$, 在此热轧条件下带状组织的最大厚度减少了 65%、最大长度减少了 74%。

关键词: Q235 热轧钢板; 带状组织; 弯曲成形性; Taguchi 法; 精轧; 盘卷

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.06.020

中图分类号: TG335 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2022) 06-0141-07

Optimization on process parameters for reducing banded structure of Q235 hot rolled steel plate

Ji Yeyi¹, Lu Baoshan¹, Guan Jiju¹, Li Qiangwei²

(1. Department of Precision Manufacturing Engineering, Suzhou Vocational Institute of Industrial Technology, Suzhou 215104, China;
2. Engineering Training Center, Soochow University, Suzhou 215123, China)

Abstract: To reduce banded structure in Q235 hot rolled steel plate and improve its bending formability, four process parameters such as finishing rolling speed, finishing rolling temperature, coiling speed and coiling temperature were selected by Taguchi orthogonal experiment method, and the influences of process parameters on maximum thickness and maximum length of banded structure were discussed after Q235 steel plate was hot rolled. Then, the best hot rolling process parameters combination for Q235 hot rolled steel plate was confirmed, and the bending test was carried out. The results show that the influence degree of process parameters on the maximum thickness of banded structure is in the order of finishing rolling temperature > finishing rolling speed > coiling temperature > coiling speed, and the influence degree on the maximum length of banded structure is in the order of finishing rolling temperature > coiling temperature > coiling speed > finishing rolling speed. The optimal combination of hot rolling process parameters to reduce the banded structure of Q235 hot rolled steel plate is the finishing rolling speed of $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, the finishing rolling temperature of $870 \text{ }^\circ\text{C}$, the colling speed of $2.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, and the colling temperature of $650 \text{ }^\circ\text{C}$. Under this hot rolling condition, the maximum thickness of banded structure is reduced by 64%, and the maximum length is reduced by 74%.

Key words: Q235 hot rolled steel plate; banded structure; bending formability; Taguchi method; finishing rolling; coiling

热轧钢板中经常出现铁素体-珠光体带状组织, 从而引起层状撕裂, 并引起板材厚度方向 (Z 向) 和横向力学性能的降低。因此, 除某些少数用途的

热轧钢板外, 绝大多数热轧钢板均要求限制其带状组织的发展^[1-3]。为了减轻或消除带状组织的危害, 国内外专家、学者在带状组织的形成原因和控制方面开展了较多研究工作并取得了一定的研究成果。

Thompson S W 等^[4]采用光镜和电子探针相结合的测量方法, 测定了带状组织中铁素体、珠光体晶粒与元素偏析的对应关系, 发现了试验钢中带状组织的形成与锰元素的偏析有关。Solidification K G^[5]通过试验模拟了钢的奥氏体转变过程, 发现了锰含量为 1.75%、碳含量为 0.25%且在较

收稿日期: 2021-04-29; 修订日期: 2021-08-15

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目 (51805345); 江苏省自然科学基金青年基金资助项目 (BK20170373); 江苏高校“青蓝工程”资助项目 (2019); 苏州市重点实验室资助项目 (SZS201815); 江苏省高职院校教师专业带头人高端研修 (2022GRGDYX053)

作者简介: 季业益 (1980-), 男, 硕士, 副教授

E-mail: 00314@siit.edu.cn

低的冷却速率冷却时均出现了带状组织,但当冷却速率升高至 $1500 \sim 3000 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{h}^{-1}$ 时却未形成带状组织。Grossterlinden R 等^[6]在研究热轧碳钢的组织时,把铁素体-珠光体带状组织的形成归因于合金元素的微偏析,而相变动力学促进微结构能带的实际形成是微偏析化学能带形成的先决条件。Offerman S E 等^[7]经进一步研究后明确指出,奥氏体向铁素体/珠光体转变过程中较低的冷却速率明显导致了带状组织的形成,而足够高的冷却速率则未曾产生带状组织;当奥氏体晶粒尺寸大于化学元素偏析带间距的 2~3 倍时,也未曾出现带状组织。现有研究普遍认为^[8-10],合金元素的微观偏析、奥氏体转变过程的冷却速率和奥氏体的晶粒尺寸为影响带状组织形成的主要因素。李文卿等^[11]对 16Mn 钢进行了控制轧制和控制冷却试验,评定了铁素体-珠光体带状组织级别,并测定了其带间距,结果发现将终轧温度控制在 $780 \sim 820 \text{ }^\circ\text{C}$ 时可减轻轧钢中的带状组织,而当冷却速度控制在 $4.3 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 时带状组织可减小至 0.5 级,此时该冷却速度即为带状组织消失的临界冷却速度。林大为等^[12]分析了终轧温度对 16Mn 钢板带状组织的影响途径,提出了相对晶粒尺寸参数的概念,指出终轧温度对带状组织的影响是由于改变了相对晶粒尺寸 δd 而引起的:当 $\delta d < -0.4$ 时,终轧温度低,带状组织减轻;当 $\delta d > -0.4$ 时,终轧温度高,带状组织较为严重。龙明建等^[13]对低碳高锰热轧带钢内带状组织的产生原因及其影响因素进行了分析,并根据带钢的实际生产研究了动态轻压下、低温终轧、低温卷取对改善热轧带钢带状组织的效果,结果表明:动态轻压下可改善铸坯的成分偏析;低温终轧可细化晶粒,分散珠光体的集中分布程度,降低轧材的带状级别;低温卷取可以降低带状组织中的带条数,改善热轧材的带状组织。

从以上研究内容与所取得的成果来看,目前对热轧钢带状组织的研究并不充分,在试验钢种和研究内容的选择上也十分有限且不具有代表性,与典型性。鉴于此,本文选择 Q235 热轧钢板作为试验材料,利用 Takuchi 正交试验设计方法选定精轧轧制速度、精轧完成温度、盘卷速度及盘卷温度这 4 项工艺参数,探讨 Q235 钢板在热轧后上述工艺参数对带状组织最大厚度与最大长度的影响,确定 Q235 热轧钢板的最佳热轧工艺参数组合,并进行弯曲加工试验验证。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验材料选用厚度为 8 mm 的 Q235 普通碳素结构钢板,其化学成分如表 1 所示。

表 1 Q235 普通碳素结构钢板的化学成分 (% , 质量分数)
Table 1 Chemical compositions of Q235 ordinary carbon structural steel plate (% , mass fraction)

C	Mn	Si	S	P	Fe
0.14~0.22	0.30~0.65	≤0.30	≤0.050	≤0.045	余量

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

针对 Q235 钢板在热轧后钢板中会形成较多的铁素体-珠光体带状组织,在完成 90° 角折弯加工后钢板拐角处易产生裂纹的现象,为降低钢中的带状组织、提升其弯曲成形性能,利用 Takuchi 正交试验法选定铁素体-珠光体带状组织的最大厚度与最大长度这 2 个关键性能指标来设计目标函数^[14-16],根据 Q235 热轧钢板在折弯时拐角处产生裂纹的轧制工艺条件(精轧轧制速度为 $0.75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、精轧完成温度为 $835 \text{ }^\circ\text{C}$ 、盘卷速度为 $2.40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和盘卷温度为 $730 \text{ }^\circ\text{C}$),选择精轧轧制速度、精轧完成温度、盘卷速度和盘卷温度作为试验因子。以上述结果作为基础,合理设定热轧工艺参数的水平值,试验按照 $L_9(3^4)$ 正交试验矩阵设计,相应的试验因子和水平值见表 2。每组试验重复进行 3 次,所得结果作为参数优化组合分析的参考数据。

表 2 正交试验的因子和水平设置

Table 2 Setting of factors and levels for orthogonal experiment

因子	水平 1	水平 2	水平 3
精轧轧制速度 $A/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	0.60	0.70	0.80
精轧完成温度 $B/^\circ\text{C}$	810	840	870
盘卷速度 $C/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	2.20	2.50	2.80
盘卷温度 $D/^\circ\text{C}$	650	700	750

1.2.2 试验设备

试验所用设备主要包括型号为 OLYMPUS PMG3 的光学显微镜,用以观察试片的金相组织;型号为 Metals Analyzer ARL3460 OES 的光谱仪,用于分析材料的化学成分;型号为 160T-3200 的数控折弯机及其配套模具,用以弯曲成形加工。

2 试验结果与分析

2.1 单一目标参数优化组合

2.1.1 带状组织最大厚度的工艺参数优化组合

依据 Taguchi 正交试验法所设计的 9 组热轧工艺参数组合 (表 3) 进行试验, 每组试验重复进行 3 次, 试验后测得 Q235 热轧钢板中带状组织的最大厚度, 并计算不同水平下带状组织最大厚度的平均信噪比 S/N , 计算结果如表 4 所示。

表 3 热轧工艺参数组合

Table 3 Hot rolling process parameters combination

试验序号	$A/(m \cdot s^{-1})$	$B/^{\circ}C$	$C/(m \cdot s^{-1})$	$D/^{\circ}C$
1	0.60	810	2.20	650
2	0.60	840	2.50	700
3	0.60	870	2.80	750
4	0.70	810	2.50	750
5	0.70	840	2.80	650
6	0.70	870	2.20	700
7	0.80	810	2.80	700
8	0.80	840	2.20	750
9	0.80	870	2.50	650

表 4 不同水平下带状组织最大厚度平均信噪比响应表

Table 4 Average signal-to-noise-ratios response table for maximum thickness of banded structure under different levels

水平	A	B	C	D
1	-26.70	-28.00	-25.88	-24.70
2	-25.93	-25.81	-26.50	-27.08
3	-24.30	-23.12	-24.55	-25.15
影响值	2.40	4.89	1.94	2.37
影响级别	2	1	4	3
最佳工艺参数	A3B3C3D1			

由表 4 可知, 单一目标中参数对带状组织最大厚度的影响程度的顺序为: 精轧完成温度 > 精轧轧制速 > 盘卷温度 > 盘卷速度, 最佳的热轧工艺参数组合为 A3B3C3D1。

2.1.2 带状组织最大长度的工艺参数优化组合

同样, 根据表 3 的试验设计原理与测量方法, 测量 Q235 热轧钢板中带状组织的最大长度, 并计算不同水平下带状组织最大长度的平均信噪比 S/N , 计算结果如表 5 所示。

表 5 不同水平下带状组织最大长度平均信噪比响应表

Table 5 Average signal-to-noise-ratios response table for maximum length of banded structure under different levels

水平	A	B	C	D
1	-48.57	-51.27	-48.12	-45.09
2	-47.54	-46.44	-48.42	-49.70
3	-45.04	-43.44	-44.61	-46.36
影响值	3.53	7.83	3.81	4.61
影响级别	4	1	3	2
最佳工艺参数	A3B3C3D1			

比较表 5 中各热轧工艺参数的平均信噪比计算结果可知, 工艺参数对带状组织最大长度的影响程度的顺序为: 精轧完成温度 > 盘卷温度 > 盘卷速度 > 精轧轧制速度, 最佳的热轧工艺参数组合仍然为 A3B3C3D1。

2.2 轧制工艺参数对带状组织的影响分析

2.2.1 单一目标为带状组织最大厚度的变量分析

从表 6 所示带状组织最大厚度的 S/N 的初步方差分析结果来看, 以精轧完成温度 B 的方差值最大, 盘卷速度 C 的方差值最小。方差值越大, 代表精轧完成温度 B 对带状组织最大厚度的影响越显著。对方差值较大的热轧工艺参数 (精轧轧制速度 A 、精轧完成温度 B 、盘卷温度 D) 进行 3 次误差统计, 其统计结果如表 7 所示。综合对比分析可知, 对带状组织最大厚度影响较大的参数为精轧完成温度 B , 其平均置信水平高达 90%。

表 6 带状组织最大厚度的 S/N 的初步方差分析结果

Table 6 Initial variance analysis result of S/N for maximum thickness of banded structure

因子	离均差平方和 SS	自由度 DF	方差值 Var	影响值 F
A	8.98	2	4.49	2.12
B	35.93	2	17.97	4.24
C	5.91	2	2.96	1.72
D	9.54	2	4.77	2.18
合计	60.36	8	—	—

2.2.2 单一目标为带状组织最大长度的变量分析

表 8 为带状组织最大长度的 S/N 的方差分析结果, 同样为精轧完成温度 B 的方差值最大, 方差值最小的为精轧轧制速度 A 。下面以精轧完轧温度 B 、盘卷速度 C 、盘卷温度 D 进行 3 次误差统计, 其统计结果如表 9 所示。

表 7 带状组织最大厚度 S/N 的 3 次误差统计Table 7 Three times error statistics of S/N for maximum thickness of banded structure

因子	第 1 次统计误差					第 2 次统计误差					第 3 次统计误差				
	SS	DF	Var	F	置信水平/%	SS	DF	Var	F	置信水平/%	SS	DF	Var	F	置信水平/%
A	8.98	2	4.49	1.52	60	—	—	—	—	—	8.98	2	—	—	—
B	35.93	2	17.97	6.08	86	35.93	2	17.97	4.83	91	35.93	2	17.97	4.41	93
D	9.54	2	4.77	1.61	62	9.54	2	4.77	1.28	63	9.54	2	—	—	—

表 8 带状组织最大长度 S/N 的方差分析Table 8 Variance analysis of S/N for maximum length of banded structure

因子	SS	DF	Var	F
A	17.76	2	9.88	3.14
B	93.60	2	46.80	6.84
C	26.95	2	13.48	3.67
D	34.05	2	17.03	4.13
合计	174.37	8	—	—

由表 9 可知, 精轧完成温度 B 对带状组织最大长度的影响最为显著, 其平均置信水平为 87.33%。可见, 在选定的众多工艺参数中, 精轧完轧温度对带状组织最大厚度和最大长度的影响十分明显。进而开展弯曲成形试验, 验证优化后的工艺参数组合能否有助于降低 Q235 热轧钢板带状组织与提升钢的成形加工性能, 并重点考察精轧完成温度 B 这一重要参数对带状组织最大厚度与最大长度的实际影响。

表 9 带状组织最大长度 S/N 的 3 次误差统计Table 9 Three times error statistics of S/N for maximum length of banded structure

因子	第 1 次统计误差					第 2 次统计误差					第 3 次统计误差				
	SS	DF	Var	F	置信水平/%	SS	DF	Var	F	置信水平/%	SS	DF	Var	F	置信水平/%
B	93.60	2	46.80	4.74	83	93.60	2	46.80	4.01	89	93.60	2	46.80	3.48	90
C	26.95	2	13.48	1.36	58	26.95	2	—	—	—	26.95	2	—	—	—
D	34.05	2	17.03	1.72	63	34.05	2	17.03	1.46	67	34.05	2	—	—	—

2.3 弯曲成形试验验证

2.3.1 优化后的工艺参数组合对 Q235 热轧钢带状组织与成形性能的影响

上文已证实, 降低带状组织最大厚度与最大长度的最佳热轧工艺参数组合为 $A3B3C3D1$, 在此热轧工艺条件下, 将 Q235 热轧钢板在 160T-3200 型数

控折弯机上进行折弯成形试验。试验结束后, 在折弯拐角位置易断裂处截取尺寸为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的正方形试片, 经浓度为 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀后, 重复测量 3 次, 如图 1 所示。确认带状组织的最大厚度平均值约为 $10.18\text{ }\mu\text{m}$, 较未优化前带状组织最大厚度为 $28.89\text{ }\mu\text{m}$ 的测量结果减少了约 65% (图 2)。

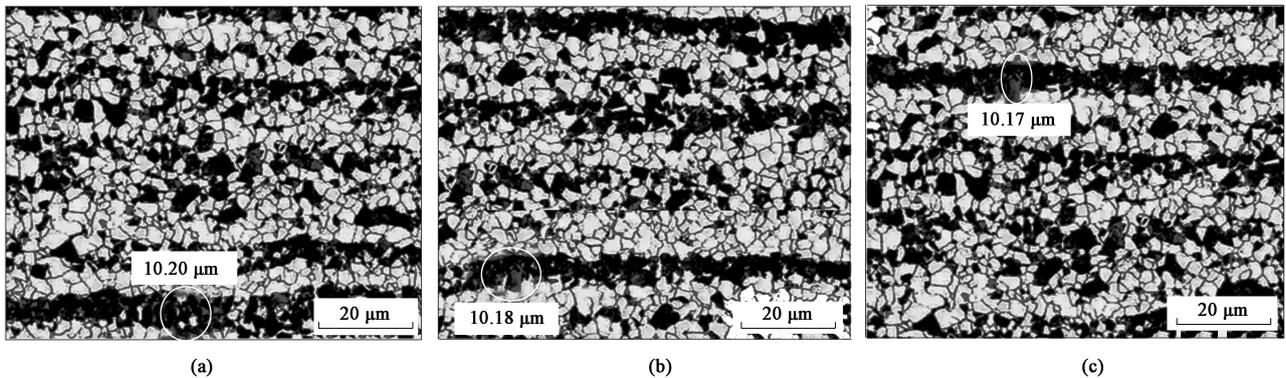


图 1 优化工艺参数后的带状组织最大厚度测量结果

(a) 第 1 次测量结果 (b) 第 2 次测量结果 (c) 第 3 次测量结果

Fig. 1 Measurement results for maximum thickness of banded structure after process parameters optimization

(a) The first measurement result (b) The second measurement result (c) The third measurement result

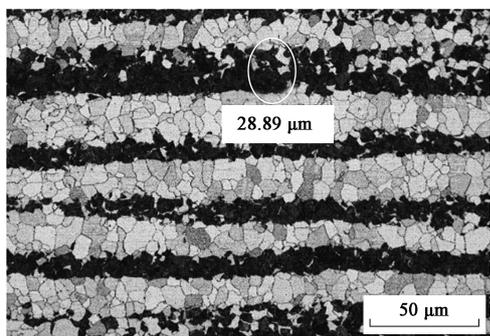


图2 未优化前带状组织最大厚度测量结果

Fig. 2 Measurement result for maximum thickness of banded structure before optimization

同样，该试样经3次重复测量，确认带状组织

最大长度的平均值约为 $108.61 \mu\text{m}$ (图3)，相较于未优化前带状组织最大长度为 $419.58 \mu\text{m}$ 的测量结果减少了74% (图4)。

从图1~图4的对比分析中发现，Q235钢板在工艺参数优化后进行热轧，热轧钢中的带状组织明显减少，带状组织的最大厚度和最大长度均较参数优化前大幅下降，说明优化后的工艺组合参数对于缓解钢中的带状组织发挥了重要作用。另外，在对该Q235热轧钢板进行数十次折弯加工后发现，折弯件在拐角处连接光滑，目视检测折弯件拐角处的内侧与外侧表面均无明显裂纹，成形件的外观质量也较参数优化前得到大幅提高，说明钢板的弯曲成形性能在工艺参数优化后得到了显著提升，如图5所示。

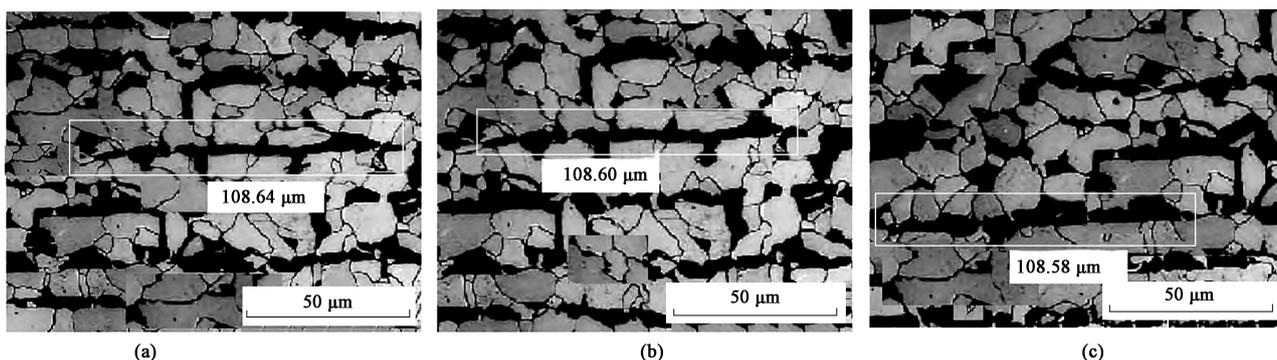


图3 优化工艺参数后的带状组织最大长度测量结果

(a) 第1次测量结果 (b) 第2次测量结果 (c) 第3次测量结果

Fig. 3 Measurement results for maximum length of banded structure after process parameters optimization

(a) The first measurement result (b) The second measurement result (c) The third measurement result

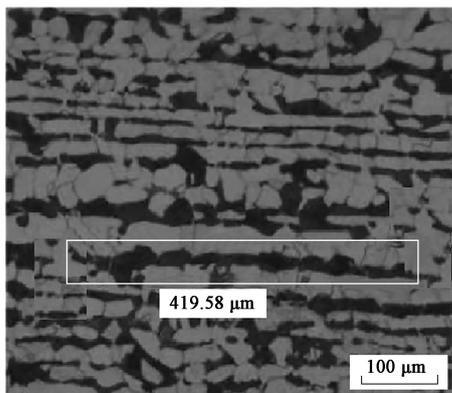


图4 未优化前带状组织最大长度测量结果

Fig. 4 Measurement result for maximum length of banded structure before optimization

2.3.2 精轧完成温度对带状组织最大厚度与最大长度的影响

固定工艺参数A3 (精轧轧制速度为 $0.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、C3 (盘卷速度为 $2.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) 及D1 (盘卷温度为

$650 \text{ }^\circ\text{C}$)，改变精轧完成温度B (试验温度在 $780 \sim 880 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间)，以每 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 的温度间隔变换参数B进行轧制试验。试验后测得带状组织的最大厚度与最大长度如图6所示。

图6表明，随精轧完成温度升高，带状组织最大厚度与最大长度均呈减小趋势。其中，当精轧完成温度大于 $820 \text{ }^\circ\text{C}$ 时，带状组织最大长度的下降幅度更明显。精轧完成温度升高使带状组织减少的主要原因为：(1) Q235钢在奥氏体未再结晶区热轧时，奥氏体晶粒随变形量的累积而逐渐被拉长及压扁，晶粒内出现大量的高错位密度变形带，畸变能增加，而未再结晶奥氏体中的畸变能，促进或诱发了奥氏体向铁素体转变，提高了 A_{r3} 温度 (奥氏体向铁素体转变的开始温度)，缩短了铁素体的析出时间，从而使带状组织减轻；(2) 热轧后快速冷却，使碳原子来不及扩散，完成了奥氏体向铁素体的直接转变，使带状组织不易形成。

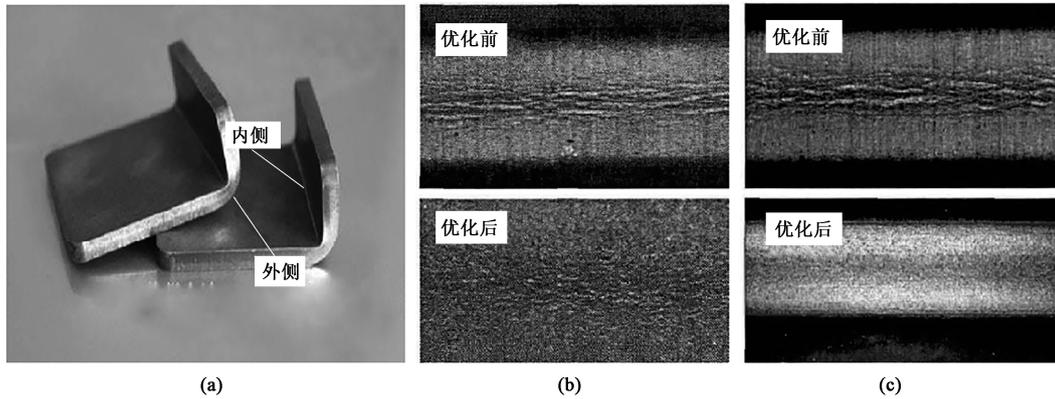


图 5 参数优化前后折弯件外观表面对比

(a) 折弯件 (b) 折弯件外侧表面 (c) 折弯件内侧表面

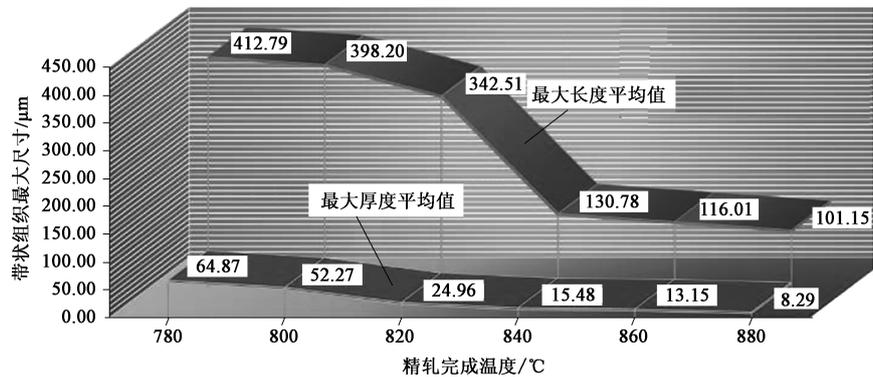
Fig. 5 Comparison of appearance and surface of bending parts before and after parameter optimization
(a) Bending parts (b) Outside surface of bending parts (c) Inside surface of bending parts

图 6 精轧完成温度对带状组织最大厚度与最大长度的影响

Fig. 6 Effect of finishing rolling temperature on maximum thickness and maximum length of banded structure

3 结论

(1) 热轧工艺参数对带状组织最大厚度的影响程度的顺序为：精轧完成温度>精轧轧制速度>盘卷温度>盘卷速度；而对带状组织最大长度的影响程度的顺序为：精轧完成温度>盘卷温度>盘卷速度>精轧轧制速度。

(2) 降低钢中带状组织效果最佳的热轧工艺参数组合为精轧轧制速度为 $0.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、精轧完成温度为 $870 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、盘卷速度为 $2.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、盘卷温度为 $650 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在此热轧条件下带状组织的最大厚度减少了 65%，最大长度减少了 74%。其中，精轧完成温度对带状组织的影响最显著，其平均置信水平分别为 90% 和 87.33%。

(3) 在保持精轧轧制速度为 $0.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、盘卷速度为 $2.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、盘卷温度为 $650 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 不变的条件

下，精轧完成温度升高，带状组织的最大厚度与最大长度均呈减小趋势。当精轧完成温度大于 $820 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，带状组织最大长度的下降幅度更明显。

参考文献：

- [1] 张爱民, 陈晔, 苗钊. 16MnR 容器钢板带状组织的研究 [J]. 山东冶金, 2002, 24 (6): 38-40.
Zhang A M, Chen Y, Miao Z. Study on banded structure in 16MnR vessel plate [J]. Shandong Metallurgy, 2002, 24 (6): 38-40.
- [2] 刘宗昌, 王玉峰, 杨慧, 等. 42CrMo 钢锻轧材的带状组织 [J]. 包头钢铁学院学报, 2003, 22 (4): 323-326.
Liu Z C, Wang Y F, Yang H, et al. The banding structure of forging-rolling bar of 42CrMo steel [J]. Journal of Baotou University of Iron and Steel Technology, 2003, 22 (4): 323-326.
- [3] 张迎晖, 赖泓州, 赵鸿金. 钢中带状组织的研究现状 [J]. 轧钢, 2014, 31 (3): 45-47.
Zhang Y H, Lai H Z, Zhao H J. Research status of banded structure in steel [J]. Steel Rolling, 2014, 31 (3): 45-47.
- [4] Thompson S W, Howell P R. Factors influencing ferrite/pearlite

- banding and origin of large pearlite nodules in a hypoeutectoid plate steel [J]. *Materials Science and Technology*, 1992, 8 (9): 777.
- [5] Solidification K G. Segregation and banding in carbon and alloy steels [J]. *Metallurgical and Materials Transactions: B*, 2003, 6 (3): 781-792.
- [6] Grossterlinden R, Kawalla R, Lotter U, et al. Formation of pearlite banded structures in ferrite-pearlite steels [J]. *Steel Research*, 1992, 63 (8): 331-339.
- [7] Offerman S E, Van Dijk N H, Rekvelde M T, et al. Ferrite/pearlite band formation in hot rolled medium carbon steel [J]. *Materials Science and Technology*, 2002, 18 (3): 297-306.
- [8] 纪元, 闵云峰, 李鹏善, 等. 钢中带状组织及其研究现状 [J]. *中国冶金*, 2016, 26 (4): 1-9.
Ji Y, Min Y F, Li P S, et al. Research status of banding phenomena in steels [J]. *China Metallurgy*, 2016, 26 (4): 1-9.
- [9] 陈彤, 李永亮, 邝霜, 等. 热轧带钢均匀化冷却问题分析与控制措施 [J]. *锻压技术*, 2021, 46 (7): 83-89.
Chen T, Li Y L, Kuang S, et al. Analysis and control measures on uniform cooling for hot rolling strip steel [J]. *Forging & Stamping Technology*, 2021, 46 (7): 83-89.
- [10] 杨建, 覃显峰, 李钊文, 等. 热成形门环的制造工艺 [J]. *锻压技术*, 2021, 46 (7): 71-78.
Yang J, Qin X F, Li Z W, et al. Manufacturing process on thermoforming door ring [J]. *Forging & Stamping Technology*, 2021, 46 (7): 71-78.
- [11] 李文卿, 王连伟. 控制轧制和控制冷却对 16Mn 钢板带状组织的影响 [J]. *物理测试*, 1990, 3 (4): 25-28.
Li W Q, Wang L W. Influence of controlled rolling and controlled cooling on banded structure of 16Mn steel plate [J]. *Physical Testing*, 1990, 3 (4): 25-28.
- [12] 林大为, 沈黎晨, 戴一一, 等. 终轧温度对 16Mn 钢板带状组织的影响 [J]. *轧钢*, 1999, 8 (4): 21-24.
Lin D W, Shen L C, Dai Y Y, et al. The effect of finishing rolling temperature on banded structure of 16Mn steel plate [J]. *Steel Rolling*, 1999, 8 (4): 21-24.
- [13] 龙明建, 王自荣, 张丽琴, 等. 低碳高锰热轧带钢带状组织控制实践 [J]. *轧钢*, 2015, 32 (4): 84-87.
Long M J, Wang Z R, Zhang L Q, et al. Practice of banded structure control for hot rolled low carbon and high manganese steel strip [J]. *Steel Rolling*, 2015, 32 (4): 84-87.
- [14] 刘俊英. 基于正交试验的车用螺母成形分析及模具磨损优化 [J]. *锻压技术*, 2020, 45 (2): 182-187.
Liu J Y. Forming analysis and mould wear optimization on nuts for vehicle based on orthogonal test [J]. *Forging & Stamping Technology*, 2020, 45 (2): 182-187.
- [15] 靳阳. 基于正交试验的内凹形零件成形工艺参数优化 [J]. *锻压技术*, 2020, 45 (5): 105-109.
Jin Y. Optimization on forming process parameters for concave part based on orthogonal test [J]. *Forging & Stamping Technology*, 2020, 45 (5): 105-109.
- [16] 汪永明, 李偃, 谈莉斌, 等. 基于正交实验的弯链板 U 弯冲压成形数值仿真 [J]. *锻压技术*, 2021, 46 (12): 46-53.
Wang Y M, Li W, Tan L B, et al. Numerical simulation on U-bending for curved chain plate based on orthogonal experiment [J]. *Forging & Stamping Technology*, 2021, 46 (12): 46-53.

《锻压技术》杂志敬告新老广告客户

2022 年广告征集工作已经开始。本刊主要承接锻造、冲压、旋压、辊锻、摆辗、斜轧、横轧和楔横轧设备及锻压辅助设备, 仪器、仪表、模具工业、工业加热设备、热处理设备、加热技术、摩擦与润滑、工艺材料和锻件、冲压件、管件及其特种成形件(旋压、辊锻、摆辗、斜轧、横轧和楔横轧)等广告; 各科研院所科技成果转让、企业介绍等与本行业相关的广告。您选择《锻压技术》进行广告宣传的理由:

(1) 平台大, 宣传效果好:

- 全国中文核心期刊, 全国锻压行业会刊, 是锻压领域知名、精品期刊;
- 与北京机电研究所有限公司、中国机械工程学会塑性工程分会、全国锻压标准化技术委员会密切合作;
- 报道内容全, 发行量大。

(2) 服务全, 广告费用低:

立体式全方位宣传, 杂志、网站和微信等纸媒和数字媒体宣传渠道。

请登录本刊网站, 点击“广告合作”查询具体广告价目。

为了使您的产品能够保持畅销的势头, 不断占领国内外市场, 请您抓紧时间安排贵公司在本刊刊登的广告计划。欢迎广大新老客户踊跃咨询、积极预定。需刊登广告者, 敬请与本刊联系。

愿我们真诚的服务能为您创造良好的效益。

地址: 北京市海淀区学清路 18 号《锻压技术》编辑部 广告部 邮编: 100083

联系人: 林玉彤 手机: 18811346037 E-mail: fst_linyutong@163.com

电话: 010-62920652 Http: //www.fstjournal.net

