

DOI:10.13979/j.1007-7235.2026.03.003

皮材和芯材的匹配参数对 4004/3003/4004 铝合金 复合材料焊合质量的影响

张 晶,刘玉龙,万 旭,刘 杰,白晓霞,赵 扬,李德贵
(东北轻合金有限责任公司,哈尔滨 150060)

摘要:研究了芯材铸锭侧面形状、皮材覆盖宽度以及轧制工艺典型控制参数等对 4004/3003/4004 铝合金复合材料热塑性及包覆层均匀性的影响。结果表明,430 ~ 460 °C 时,4004、3003 两种金属强度、塑性相近,两种合金在轧制力作用下变形基本一致,皮材相对芯材铸锭的串动最小;芯材铸锭侧面形状为直边时,热轧后的复合材料包覆层厚度更均匀。

关键词:层状复合;铸锭形状;热塑性;轧制工艺;包覆率

中图分类号:TG339 **文献标志码:**A **文章编号:**1007 - 7235(2026)03 - 0016 - 04

The influence of the parameters between cladding material and core material on welding quality of layered aluminum alloy composite

ZHANG Jing,LIU Yulong,WAN Xu,LIU Jie,BAI Xiaoxia,ZHAO Yang,LI Degui
(Northeast Light Alloy Co., Ltd., Harbin 150060, China)

Abstract: The effects of the side shape of the core material ingot, the coverage width of the cladding material, and typical rolling process control parameter on the thermoplasticity and cladding uniformity of 4004/3003/4004 composite materials were investigated. The results indicate that at 430 - 460 °C, the strength and plasticity of 4004 and 3003 alloys are similar, and the deformation of the two alloys tends to be consistent under the rolling force, which minimizes the cladding material's movement relative to the core ingot. Additionally, when the side shape of the core ingot is straight, the thickness of the cladding layer after hot rolling is more uniform.

Key words: layered composite; ingot shape; thermoplasticity; rolling process; coverage rate

铝合金层状复合材料广泛应用在汽车、电力、工程机械、家用电器的热交换系统中。其中汽车热交换采用的铝合金层状复合材料厚度一般在 0.06 ~ 3.0 mm 之间,范围较宽。散热器用的多层复合铝带采用热轧复合工艺生产,皮材包覆的铸锭经过加热后进行热轧复合。热轧复合工艺对复合板带材的质量尤其是包覆层均匀性至关重要^[1]。复合铝材在使

用过程中的熔蚀、穿漏、焊料堆积等都与包覆层均匀性有关。因此有必要探索能使包覆层厚度均匀的制备工艺。

本研究通过工业化条件试验验证,探讨了芯材铸锭侧面形状、合金的热轧温度以及热轧焊合工艺对铝合金层状复合材料包覆层厚度分布的影响,为工业化生产包覆层均匀的板带材提供参考。

收稿日期:2025 - 05 - 08

第一作者简介:张晶(1978 -),女,辽宁营口人,高级工程师

1 试验材料与试验方法

1.1 芯材铸锭侧面形状

试验所用芯材为 3003 铝合金铸锭,皮材为 4004 铝合金板。为研究芯材铸锭侧边形状对复合铝材包覆率及包覆层均匀性的影响,结合工业化生产常用铸锭的截面形状,分别选取侧面形状为梯形、圆弧和直边的芯材铸锭进行热轧复合,皮材与芯材叠放后

的形貌如图 1 所示。

1.2 热塑性试验

利用热塑性试验寻找高温下皮材与芯材合金的塑性最佳温度区间。在实验室采用高温拉伸试验机进行高温瞬时试验,取 3003 铸态合金和 4004 铝合金热轧板材试片,加工成带螺纹的条棒型试样,结合 3xxx 系和 4xxx 系铝合金常规轧制温度,确定 3003 和 4004 铝合金在 400 ~ 500 °C 范围内塑性变化趋势。

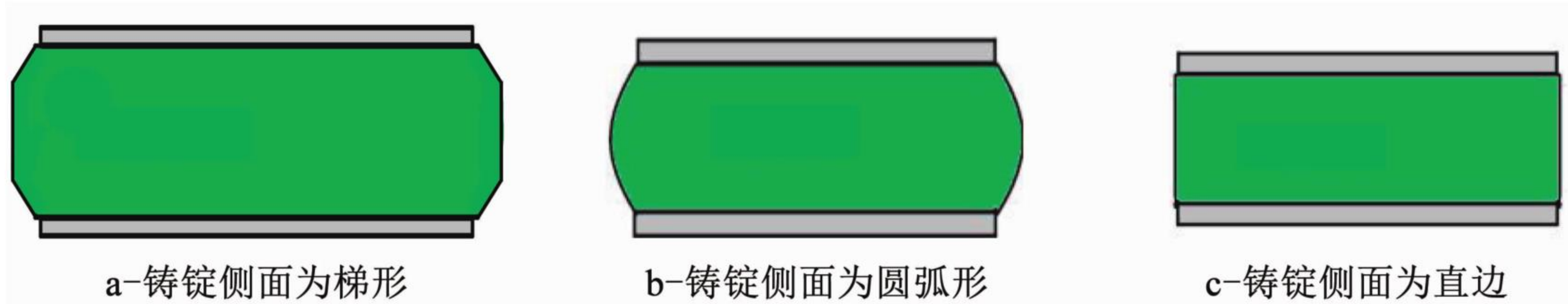


图 1 热轧复合前芯材铸锭侧面的形状

Fig. 1 Side profile of the core ingot before hot-rolled composite processing

1.3 热轧焊合工艺

为了提高两种合金的焊合质量,芯材和皮材在复合轧制前,接触面的表面需经过钢丝刷打磨处理^[2]。此外,皮材和芯材两种合金的金属温度应该处于使两种合金的强度、塑性接近的区间,更好地保证变形趋于同步。铸锭加热时表面会很快在空气中形成氧化膜,降低两种金属压合能力,所以热轧在前几道次采用小变形量轧制,此时氧化膜在轧制压力作用下破裂使裸露金属裸露出来促进界面结合,在持续小道次轧制过程中,金属界面通过接触扩散及再结晶晶格原子重新排列,形成同属于芯材和皮材的共同晶粒,使之复合在一起。但轧制初期两种合金粘接尚不牢固,容易相对滑动,该阶段持续采用小压下量,可降低对界面的剪切应力,防止焊合过程的结合面被撕裂;慢速轧制降低应变速率,金属有更多时间通过蠕变和扩散来适应变形,增加界面在高温高压下的接触时间,促进扩散结合。因此通过减小道次加工率及速度,更有利增加界面结合时间和改善扩散条件,直至结合牢固,确保皮材与芯材变形达

到同步,此过程道次加工率一般为 3% ~ 10%^[3]。

第二阶段皮材和芯材不再发生相对滑动,但由于两种合金的变形抗力不同,它们虽相互粘结却又彼此约束,故称为半约束阶段,此时可以适当增加道次加工率,一般最大可以控制在 10% ~ 25%^[3]。

第三阶段可视为整体轧制,两种合金完全结合,变形已趋于一致,道次加工率可以按芯材合金常规的加工量轧制铸锭^[4]。

铸锭热轧初期,表层金属变形大于铸锭心部的变形。对于侧面形状为圆弧形和梯形的芯材铸锭,轧制时立辊主要作用在芯材侧边,造成芯材横向最边部金属堆积。同时皮材边部在轧制力作用下不仅前后延伸,还会向侧边延展,导致两侧边部包覆层厚度较中心部位薄。对于侧面为直边的芯材铸锭,在轧制过程中,铸锭边部由直边变为双鼓型,立辊力主要作用在上下表皮附近,通过立辊力的控制,给宽展的皮材压应力约束其向边部延展,从而降低边部包覆层厚度减薄的趋势。具体受力示意图见图 2。

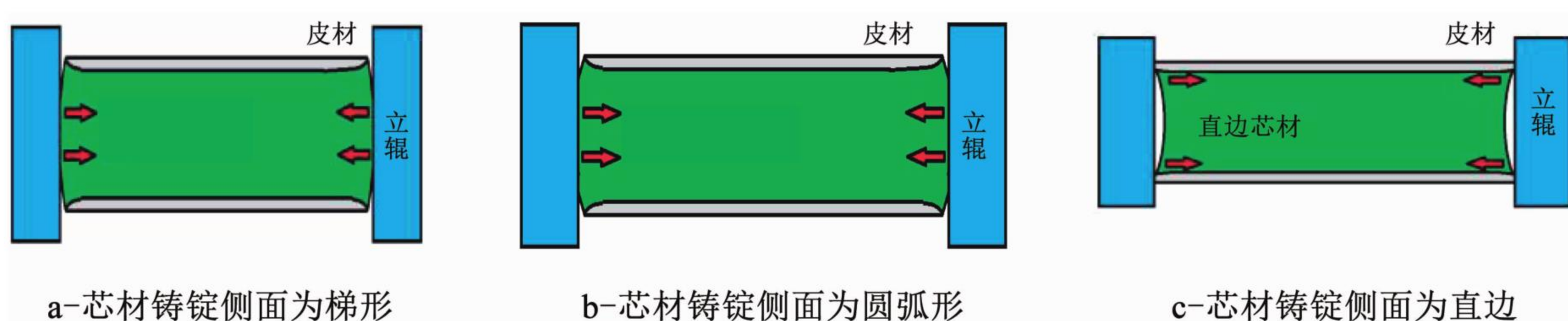


图 2 铸锭热轧时侧面金属的流动趋势

Fig. 2 Flow pattern of the side metal during hot rolling of the ingot

1.4 热轧立辊工艺

在热轧的前几个道次,由于焊合过程中变形量小,变形只能发生在轧件表层附近,不能深入到轧件心部,皮材受轧制力影响,边部减薄趋势严重,导致边部包覆层不合格区域的宽度增加,几何废料增加,成材率降低^[5]。

另外 4004 铝合金容易产生裂边,增加后续轧制难度。合适的立辊压力能够有效约束表层金属横向延展,降低皮材金属边部减薄趋势,保证边部包覆层厚度均匀性最大化的同时减少裂边产生。对于直边铸锭立辊压力主要作用在轧件边部的上下两侧,在宽向给宽展的皮材压应力,降低边部包覆层厚度减薄趋势。

立辊压力偏大,会影响整个横向的包覆层厚度,立辊压力偏小,边部裂边加重,边部包覆层厚度波动大,因此合适的立辊压力给定非常重要,需要结合轧件厚度、轧制温度、皮材和芯材厚度比等多种参数匹配。

2 试验结果与分析

2.1 芯材合金与皮材合金最佳的热轧温度

高温瞬时拉伸试验结果如图 3 所示。可以看出,铸锭加热到 430 ~ 460 °C 时,两种合金的屈服强度、抗拉强度最接近,塑性也相对较好,证明在此温度下合金的变形抗力接近,金属流动趋于同步。

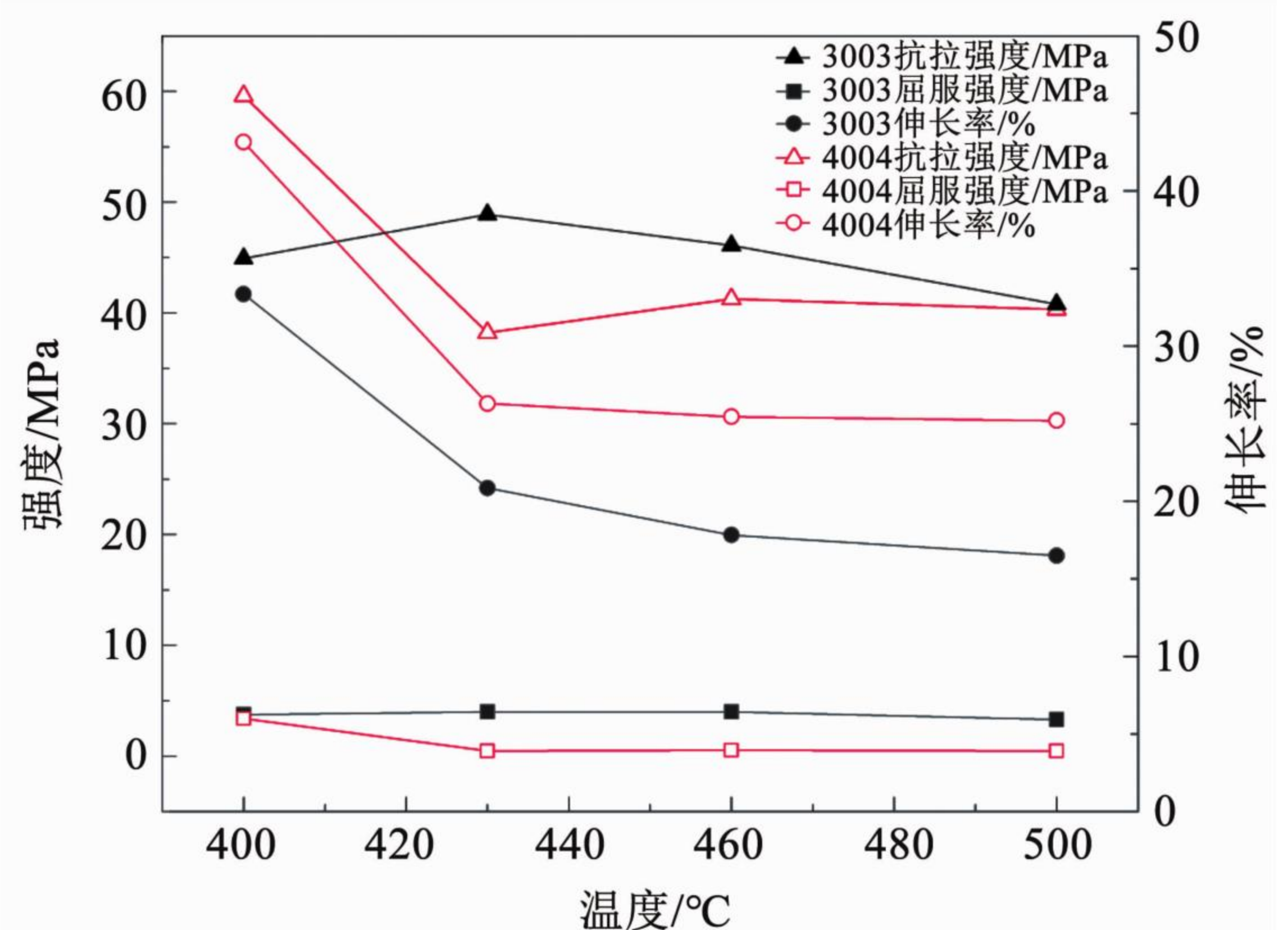


图 3 3003 和 4004 铝合金试样高温下的力学性能
Fig. 3 Properties of 3003 and 4004 aluminum alloy samples at high temperatures

2.2 成品包覆层厚度变化趋势

为探究芯材(铸锭)侧面形状对成品板材横向包覆层厚度分布的影响,对 1 500 mm 宽成品板材横向包覆层厚度做比较。将侧面形状不同的芯材铸锭复合轧制完成后,在卷材长度中间取 30 mm × 1 500 mm 样片(30 mm 短边平行于轧制方向),然后在该样片上按图 4 所示共取 15 块尺寸均为 30 mm × 30 mm 的试样,检测每块试样横向包覆层厚度,每侧边部的 5 块试样取样时无间隙,剩下的 5 块试样取样间距相同,取自剩下的 1 200 mm 长的样片上。

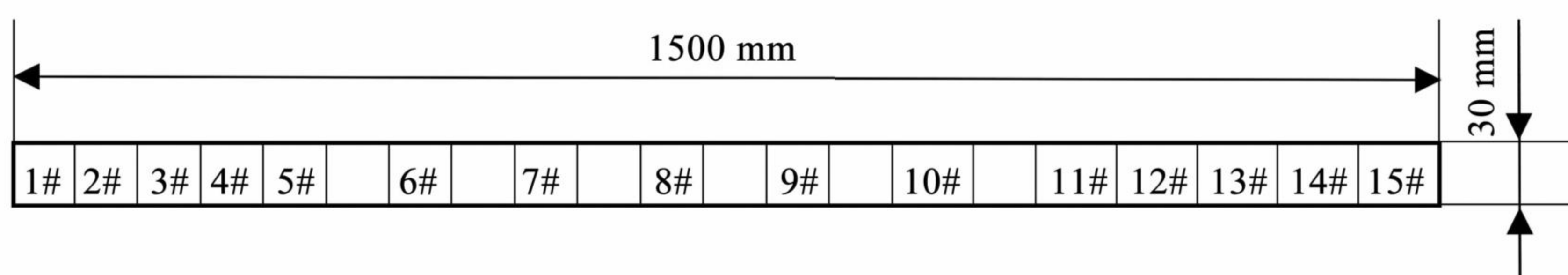


图 4 取样示意图

Fig. 4 Schematic diagram of sampling

板材横向上下两面(分别称之为 A 面、B 面)包覆层厚度检测结果如图 5、图 6、图 7 所示。芯材铸锭侧面为圆弧形时,单侧距边部 100 mm 以内包覆层厚度不均;芯材铸锭侧面为梯形时,单侧距边部 90 mm 以内包覆层厚度不均;芯材铸锭侧面为直边时,单侧距边部 70 mm 以内包覆层厚度不均。边部包覆层不均匀的部分必须切除,为减少废料选用边部形状为直边的铸锭。

2.3 包覆层厚度改善成效

选取侧面形状为直边的芯材铸锭,热轧温度控制在 430 ~ 460 °C,皮材与芯材可以有效焊合,得到铝合金复合材的包覆层厚度更为均匀,成功地减少了成品的切边量,成品包覆层厚度合格率由原来的 87% 提升到 98% 以上,并且保持稳定。

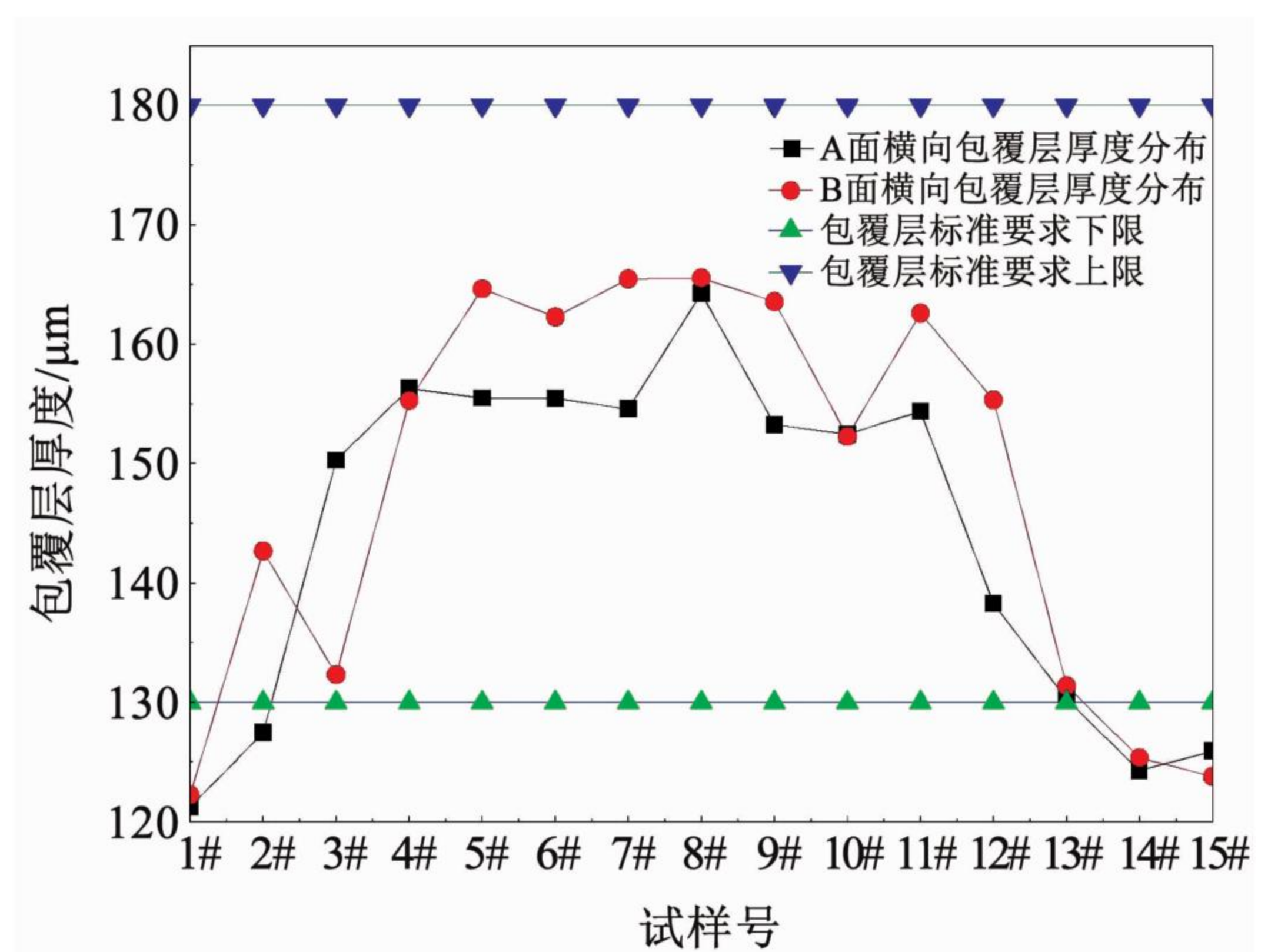


图 5 侧面为梯形芯材铸锭焊合后横向包覆层厚度的变化趋势
Fig. 5 Variation trend of the transverse cladding layer thickness on the trapezoidal core ingot side after welding

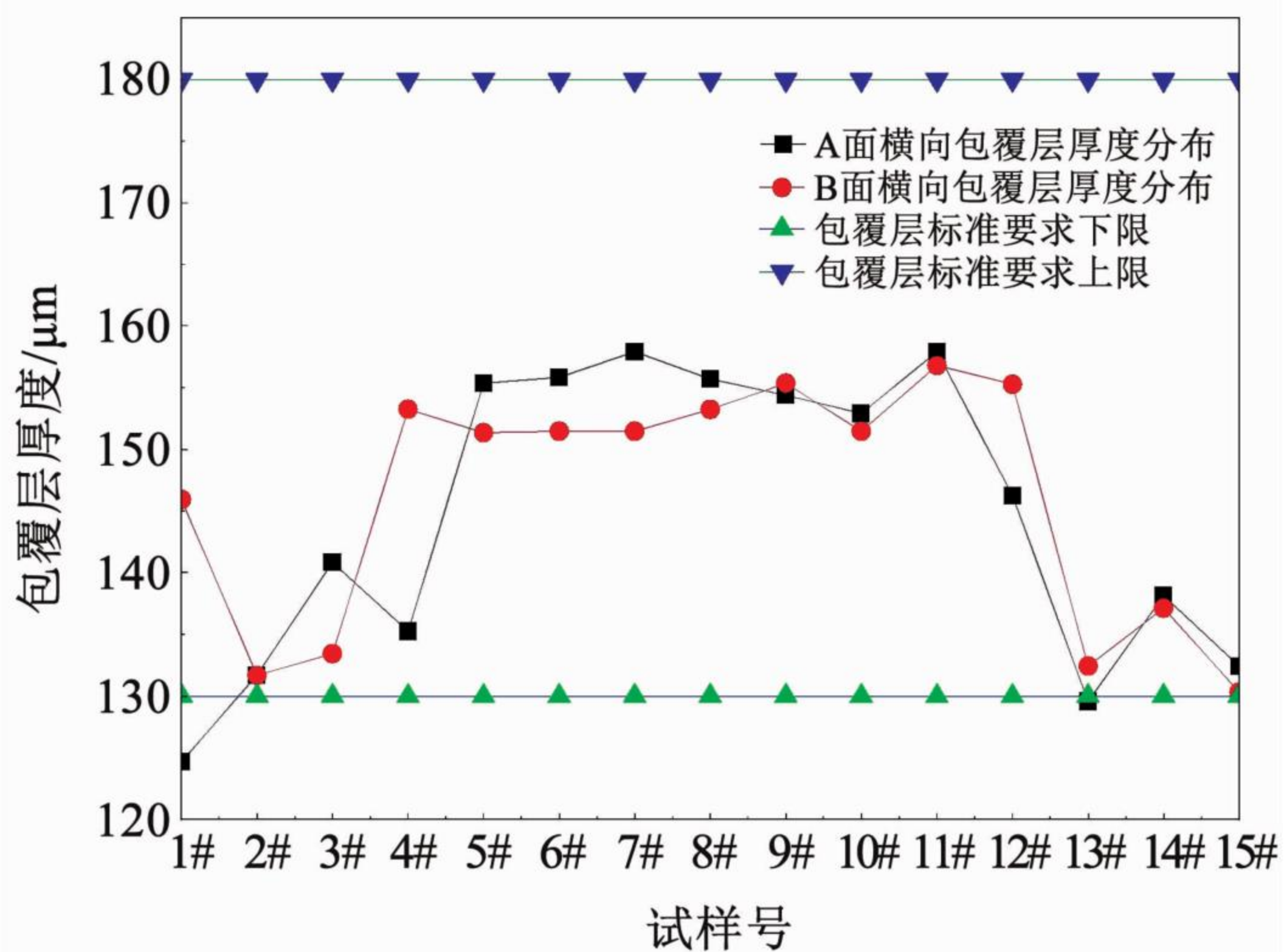


图6 侧面为圆弧形芯材铸锭焊合后横向包覆层厚度的变化趋势

Fig. 6 Variation trend of the transverse cladding layer thickness on the arc-shaped core ingot side after welding

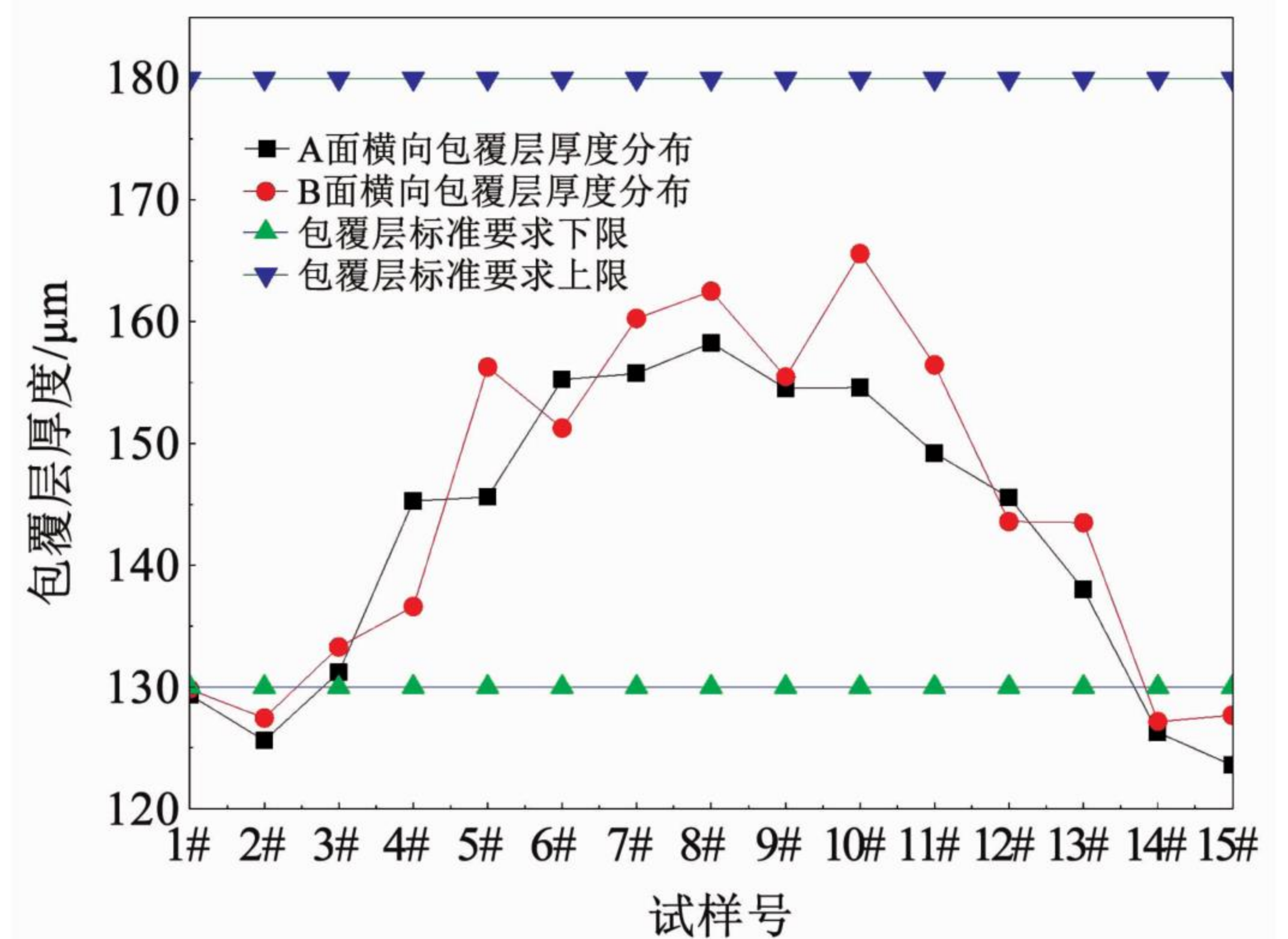


图7 侧面为直边的芯材铸锭焊合后横向包覆层厚度的变化趋势

Fig. 7 Variation trend of the transverse cladding layer thickness on the straight-edged core ingot side after welding

3 结 论

1) 4004/3003/4004 铝合金复合材在热轧时采用侧面形状为直边的芯材铸锭能够改善边部包覆层均匀性,降低切边量。

2) 在 430 ~ 460 °C 温度下, 4004 和 3003 两种金

属强度接近,在轧制力作用下变形基本一致,能够最大程度上减少皮材串动,提高热轧焊合质量。

3) 分阶段调控热轧焊合工艺,有效控制轧制速度和压下量,施加适当的立辊压力有利于包覆层厚度均匀。

参考文献:

- [1] 刘静安, 盛春磊, 朱 英. 汽车热传输铝合金复合带(箔)生产技术与工艺装备的开发[J]. 轻合金加工技术, 2012, 40(9): 17-26.
- [2] 卢永红. 热轧铝基钎焊板包覆率变化规律研究[J]. 铝加工, 2009(4): 30-34.
- [3] 宁金华, 薛云涛. 铝合金钎焊板气泡产生原因及改善措施[J]. 轻合金加工技术, 2020, 48(8): 29-31.
- [4] 尹晓辉, 陈新民. 铝合金钎焊板(箔)热轧复合工艺研究[J]. 铝加工, 2005(3): 22-26, 29.
- [5] 魏云华. 立辊轧机在铝热轧中的作用及配置特点[J]. 有色金属加工, 2003, 32(3): 30-32.

(上接第 15 页)

- [23] SONG F X, ZHANG X M, LIU S D, et al. Anisotropy of localized corrosion in 7050-T7451 Al alloy thick plate[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2013, 23(9): 2483-2490.
- [24] PORTER D A, EASTERLING K E. Phase transformations in metals and alloys[M]. Boston, MA: Springer US, 1992.
- [25] FANG H C, CHEN K H, CHEN X, et al. Effect of Cr, Yb and Zr additions on localized corrosion of Al-Zn-Mg-Cu alloy[J]. Corrosion Science, 2009, 51(12): 2872-2877.