

1060 铝合金铸轧板坯料裂边控制

杨俊宝 李振来

滨州宏展铝业科技有限公司, 山东 滨州 256600

[摘要] 铝合金以其轻质、卓越的力学性能以及良好的耐腐蚀性, 广泛应用于航空航天、交通运输、建筑、电子等多个领域。随着对铝合金性能要求的不断提高, 其生产工艺逐渐向高效、低能耗的方向发展。在铝合金的深加工过程中, 铸轧技术因其高效、节能的优势, 成为重要的生产方式。然而, 在铝合金铸轧过程中, 裂边缺陷依然是影响产品质量的关键问题, 尤其在1060铝合金的生产中, 该问题尤为突出。文中在分析铝合金铸轧卷产生工艺裂边原因的基础上, 从减少铸轧区长度、改进铸咀布流方式, 调整合金化学成分。经过改进工艺并采取相应的控制措施, 使铸轧板坯料裂边减小。

[关键词] 1060 合金; 裂边; 铸轧区; 合金成分

DOI: 10.33142/aem.v7i1.15243

中图分类号: TG146.21

文献标识码: A

Edge Cracking Control of 1060 Aluminum Alloy Cast-rolling Plate Billet

YANG Junbao, LI Zhenlai

Binzhou Hongzhan Aluminum Technology Co., Ltd., Binzhou, Shandong, 256600, China

Abstract: Aluminum alloy is widely used in various fields such as aerospace, transportation, construction, electronics, etc. due to its lightweight, excellent mechanical properties, and good corrosion resistance. With the continuous improvement of performance requirements for aluminum alloys, their production processes are gradually developing towards high efficiency and low energy consumption. In the deep processing of aluminum alloys, cast-rolling technology has become an important production method due to its high efficiency and energy-saving advantages. However, in the process of aluminum alloy cast-rolling, edge cracking defects are still a key issue affecting product quality, especially in the production of 1060 aluminum alloy, where this problem is particularly prominent. Based on the analysis of the causes of process cracking in aluminum alloy cast-rolling coils, the article proposes reducing the length of the cast-rolling zone, improving the flow distribution of the casting nozzle, and adjusting the chemical composition of the alloy. After improving the process and taking corresponding control measures, the cracking edge of the cast rolled plate blank has been reduced.

Keywords: 1060 alloy; cracked edge; cast-rolling area; alloy composition

铸轧生产由于工艺流程短、能耗低、枝晶间距小、金属间化合物细小等特点, 广泛应用于铝合金深加工生产中。但在实际生产过程中, 铸轧板坯存在着各种各样的缺陷, 其中裂边是生产过程中常见的一种缺陷。这种缺陷的存在使铸轧带材在后续工序生产中, 边部不断受到拉、压应力的作用, 裂边不断扩展, 特别是原有较大的裂边在冷轧中扩展迅速, 达到一定程度会导致断带, 使生产中断, 并且为轧机起火埋下隐患。另外, 对于过大的裂边, 在切边道次不能全部切掉, 这不仅影响后续加工和用户使用, 而且使成本上升。滨州宏展铝业科技有限公司铸轧车间产品主要以1060合金铸轧坯料为主, 前期也接到过客户反馈裂边大, 无法正常切除的问题。因此在铸轧生产过程中要解决裂边过大、避免裂边产生是生产技术人员亟待解决的问题。

1 铝合金铸轧技术概述

1.1 铸轧工艺特点

铸轧工艺以其高效、低能耗的特点, 在铝合金板材的初步加工中得到了广泛应用。在该工艺中, 铝熔体通过铸咀进入轧辊之间, 在这个过程中, 熔体迅速凝固, 最终形成板坯。与传统的锭轧工艺相比, 铸轧技术能够大大缩短

生产周期, 使得金属的凝固与成形过程得以加速, 从而提高了生产效率。通过铸轧工艺所生产的金属通常具有较小且均匀的晶粒, 显著改善了铝合金的力学性能^[1]。然而, 由于铝熔体在快速冷却过程中会经历较大的温差, 金属在变形时容易产生应力集中, 进而可能引发裂边等缺陷。如果在后续工艺中没有及时解决这些缺陷, 它们会对冷轧过程产生负面影响, 甚至可能导致断带等更严重的问题。

1.2 铸轧设备与参数

铸轧设备在整个铝合金板坯生产过程中发挥着重要作用, 其中, 铸咀、轧辊以及冷却系统是最为关键的组成部分。铸咀的主要功能是将铝熔体均匀地分配到轧辊之间, 而其设计精度在金属流动性和温度均匀性方面具有决定性影响。通过施加适当的压力与温度, 轧辊使得铝熔体在凝固的过程中迅速变形, 形成板坯。此时, 轧辊表面温度的控制至关重要, 若温度过高或过低, 都可能导致金属塑性不足, 从而影响其形状的稳定性的^[2]。与此同时, 冷却系统则通过调节轧辊的温度, 避免过度的热应力集中, 确保铝熔体在变形过程中能够顺利凝固。为确保铸轧工艺的成功实施, 需要对多个工艺参数进行精准控制, 如铸轧速度、

铸轧区长度及液态金属的温度。铸轧速度应根据金属的凝固特性来合理选择,若速度与金属凝固的需求不匹配,可能导致金属流动性不足,进而产生裂纹或其他缺陷^[3]。铸轧区的长度也会直接影响液穴的深度以及凝固壳的厚度,过长的铸轧区会降低金属的抗剪切能力,增加裂边的风险;液态金属温度的控制同样重要,过高的温度会使金属流动性过强,而温度过低则可能导致冷却速度过快,进而影响金属的成形效果。

2 裂边情况及原因分析

2.1 铸轧卷坯料裂边产生的过程

在铸轧生产过程中,铸轧区由铝熔体液相区、固液区、轧制变形区组成。铸轧法生产是无锭轧制过程,咬入时后部分无阻力,与轧辊接触的带坯表层和里层温差较大,在轧制变形时,表面温度低不易变形,带坯中心温度高易变形,金属表面与轧辊表面无相对滑动,金属受轧制变薄使中心部分金属产生较大的后滑,两者之间产生剪应力,产生变形,并且传递到液穴的凝固壳,使凝固壳的内部产生同样变形和剪切力。当变形产生的剪切力超过凝固壳金属的剪切强度时,在板坯的薄弱处,即边部首先开裂,而带坯的边部不仅受剪应力作用,同时受边部耳子施加于板坯侧部的后摩力和横向轧制分力的作用,从而在边部产生裂纹。

2.2 裂边情况

在铝合金铸轧过程中,裂边是常见的缺陷之一,通常表现为铸轧板坯的边缘部位出现裂纹。图 1 展示了在 $\Phi 1023\text{mm} \times 1900\text{mm}$ 倾斜式铸轧机上,生产的两种铝合金坯料在裂边方面的不同表现。对于 1060 铝合金,裂边较为显著,长度大约为 7mm,而 3003 铝合金则没有裂边现象。在 1060 铝合金中,裂边问题较为严重,裂纹的长度大约为 7mm。这一缺陷的产生受到多种因素的影响,包括铝合金的成分、铸轧工艺参数以及温度控制等方面。1060 铝合金主要由铝、铁和少量硅构成,合金成分使得它在铸轧过程中表现出较差的延展性和塑性。尤其在铸轧过程中,铸轧区的温度差异较大,金属表面与内层的温度分布不均,导致表面较快冷却,而内部温度较高,温差会引发应力集中,在边缘部位形成裂纹。相比之下,3003 铝合金在铸轧过程中表现出较强的抗裂性,边缘没有出现裂纹,说明其在避免裂边方面的表现较为理想。3003 铝合金的成分较为复杂,含有较高的锰成分,这改善了合金的塑性和延展性。铸轧过程中,合金的良好塑性帮助分散冷却不均所产生的应力,从而避免了裂边的生成。冷却过程中,由于合金的优良流动性和延展性,裂纹扩展得到了有效控制,使得最终生产出的铝合金板坯质量更加稳定。通过对 1060 铝合金与 3003 铝合金在铸轧过程中裂边现象的对比分析,可以看出,裂边的产生不仅与合金的化学成分密切相关,还与铸轧工艺的各个参数以及冷却过程的控制有着直接的关系。在生产过程中,合理调整合金成分,优化铸

轧工艺参数,精确控制冷却过程,对于减少裂边缺陷的发生,提升铝合金板坯的质量具有至关重要的作用。



a. 1060 铝合金 b. 3003 铝合金
图 1 不同铝合金坯料裂边情况照片

2.3 影响铸轧板坯料裂边的因素

2.3.1 铸轧区的影响

铸轧区的大小直接决定了铝合金板坯的裂边程度。表 1 显示,在其他工艺参数保持不变的情况下,铸轧区越大,液穴区的深度会相应增大,凝固壳变薄,抗剪切强度降低。这些因素综合作用下,微观裂纹的生成几率也显著增加。此外,变形区扩大,金属与耳子之间的作用力增强,宏观裂纹的扩展愈加明显。对于 3003 铝合金来说,铸轧区较小,液态金属的冷却更为均匀,耳子施加于板坯侧部的后作用力较小,因此裂边现象不明显。相比之下,1060 铝合金铸轧区较大,铝合金的流动性较差,使得耳子对板坯的后作用力更大,裂边更加显著。可见,铸轧区的长度是影响裂边的重要因素,较小的铸轧区可有效减少裂边的发生。

表 1 不同铸轧区裂边对比情况

合金	铸轧区长度/mm	铸轧速度 (m/min)	裂边情况
3003	50~57	0.9~1.0	无
1060	60~67	0.9~1.0	明显

2.3.2 合金成分的影响

如表 2 所示,3003 铝合金主要合金元素是 Mn、Fe、Si 和 Cu。Fe 含量高,铸轧卷坯料中 Fe/Si 实际比值是 5.0 左右,减小了游离硅的影响,有利于提高塑性。同时 Mn 能显著细化晶粒,改善合金的流动性,所以 3003 铝合金铸轧板坯裂边较小。而 1060 铝合金主要合金元素是 Fe 和 Si,铸轧卷坯料中 Fe/Si 实际比值是 2.4 左右,合金的流动性和塑性稍差,铸轧板坯裂边较大。

表 2 铸轧铝合金化学成分 (质量分数)

单位: %

合金	Fe	Si	Mn	Cu	Ti	Al
3003	0.4582	0.0876	1.1282	0.10	0.0215	余量
1060	0.1830	0.0767	0.0016	0.0009	0.0223	余量

2.3.3 铸咀边部通道的影响

铸咀设计对铝合金的铸轧过程具有重要作用,特别是在温度均匀性方面。若铸咀边部通道设计不合理,特别是

在金属流动过程中，边部温度较中部明显偏低，会导致边部的铸轧区温度较高，进而加剧裂边的发生。在 3003 铝合金中，铸咀边部通道的宽度为 65mm，这一设计有助于金属流动的均匀性，从而减少了裂边的形成。相比之下，1060 铝合金的铸咀边部通道宽度为 55mm，通道较窄的设计导致金属流动受限，边部温度较低，裂边现象更加严重。铸咀设计优化能够显著改善铝合金铸轧过程中金属的温度分布，进而降低裂边的出现几率。

3 改进措施及效果

3.1 适当减小铸轧区长度

铸轧区长度对铝合金坯料的裂边程度有显著影响。本研究通过设定两种不同的铸轧区长度（55mm 和 65mm），在铸轧速度 1.05m/min 的条件下，生产 1060 合金，规格为 6.7×1280mm 的铸轧卷坯料。实验结果表明，当铸轧区长度为 55mm 时，裂边的尺寸约为 3mm，而在铸轧区长度为 65mm 时，裂边增大至 7mm。这一现象表明，较长的铸轧区使液穴区加深，凝固壳变薄，从而降低了抗剪切强度，并加剧了裂边的形成。由此可见，适当缩短铸轧区长度有助于减小裂边的出现。进一步的实验分析表明，铸轧区长度控制在 55~60mm 之间，能有效减少裂边的形成，同时保持较高的生产稳定性。图 2 展示了不同铸轧区长度下的裂边情况，清晰地体现了铸轧区长度的变化对裂边大小的影响。较长的铸轧区导致了更显著的裂边，进一步验证了铸轧区长度与裂边之间的直接关联。因此，合理控制铸轧区长度，对于提高铝合金坯料质量至关重要。



a. 铸轧区长度 65mm b. 铸轧区长度 55mm
图 2 不同铸轧区边部裂边情况照片对比

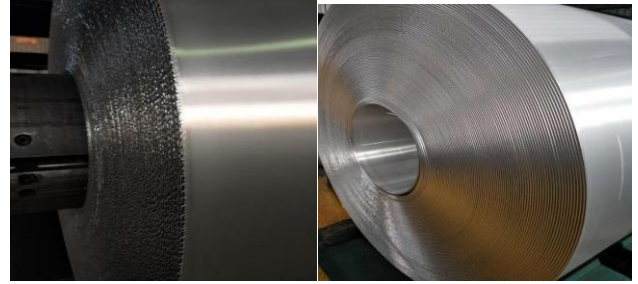
3.2 适当提高合金中铁硅含量

为探讨铁（Fe）与硅（Si）元素的比例对裂边控制的作用，本研究调整了 1060 合金中的 Fe/Si 比值。在相同铸轧工艺条件下，Fe/Si 比值为 2.5 时，裂边约为 7mm；而调整成 Fe/Si 比值为 5.0 时，裂边的情况明显改善，裂边仅限于坯料的中部，并未延伸至边缘。根据这一结果，增加 Fe 含量并适当减少 Si 含量有助于改善合金的流动性和塑性，进而有效控制裂边。表 3 详细列出了调整前后的化学成分差异。通过提高 Fe 含量并适量减少 Si 含量，铝合金的流动性得到了显著提升，裂边现象得到了有效的抑

制。图 3 显示了化学成分调整前后裂边情况的对比，进一步证明了成分优化在控制裂边方面的积极效果。

表 3 调整后的化学成分对比

化学成分	Fe	Si	Cu	Ti	Al
调整前	0.1862	0.0709	0.0010	0.0224	余量
调整后	0.2554	0.0501	0.0151	0.0211	余量



a. 成分调整之前 b. 成分调整之后
图 3 化学成分调整之后裂边对比情况

3.3 适当增大铸咀边部通道

铸咀的结构优化对于铝合金坯料裂边的控制至关重要。本研究通过增大铸咀边部通道的宽度至 70~80mm，改进了铸咀的垫片尺寸及分布结构。此举有效减小了铸咀边部液态金属的温降，使铸咀出口横截面的温度更加均匀一致。这一改进增强了液态金属的流动性，有助于提高铝合金的铸轧过程稳定性，同时减少了由温差导致的裂边发生。增大铸咀边部通道后，液态金属在铸轧过程中的流动得到了优化，裂边现象显著减轻，坯料质量得到了显著提高。

4 未来研究方向与技术创新

4.1 新型合金材料的研发

随着铝合金铸轧技术的进步，通过优化合金成分及微观结构，铝合金的综合性能得到了进一步提升。合金元素的选择在此过程中起着关键作用，例如钛、锆等元素的加入，显著改善了铝合金的塑性，从而有效减少了裂边的发生。细化晶粒技术的应用，不仅提高了铝合金的塑性，还增强了其应对铸轧过程中不同应力环境的能力^[4]。微观结构的精细设计逐渐成为研究的重点。通过对合金微观组织的精确控制，可以提高铝合金的强度、延展性与铸轧稳定性，从而减少裂边等缺陷。未来研究将专注于新型合金材料性能的提升，为铝合金铸轧生产提供更优质的基础材料。

4.2 精细化工艺控制

铝合金铸轧过程中，为进一步提高铝合金铸轧产品的稳定性与一致性，精细化工艺控制技术的优化成为未来研究的关键方向，特别是智能化控制技术的应用。借助先进的智能传感器和反馈控制系统，铸轧过程中的温度、应力等参数能够实时监控并反馈至控制系统，确保工艺参数的精确调整。通过持续采集实时数据，传感器能确保每个工

艺参数在生产过程中得到准确调整。例如,温度传感器帮助实时监控温度场变化,避免温差过大引发裂纹或裂边;应力传感器有效识别金属在铸轧过程中所受的应力,防止因过度变形导致的应力集中。结合人工智能技术,实时数据使得各项工艺参数能够自动调整,从而确保铸轧过程的精确性与稳定性。

4.3 铸轧设备优化升级

为了适应日益提升的高效与精密化生产需求,铸轧设备的优化升级显得尤为重要。随着铸轧工艺的不断发展,设备结构的优化已成为提升生产效率与产品质量的重要因素。未来的设备研发将重点优化铸咀与轧辊之间的协同作用,改进后的铸咀有助于熔融金属的均匀流动,减少流动不均导致的裂边等缺陷。同时,轧辊的升级将提升其耐磨性与机械强度,确保能够在高温条件下稳定工作,减少磨损并延长使用寿命,降低停机维护时间。随着智能化技术的不断发展,铸轧设备的自动化水平逐渐提高。集成的先进传感器与数据采集系统能够实时监控关键工艺参数,并根据数据自动调节,确保设备高效稳定运行。智能化改进不仅减少人工干预,还提高了生产线的自动化水平,提升了生产效率并降低了设备故障率。

5 结束语

1060 铝合金铸轧板坯料裂边与铸轧区长度、合金元

素、铸咀边部通道结构等因素有关,将铸轧区长度控制在55~60mm之间,Fe/Si比例控制在5.0左右,合理布置铸咀边部通道等措施,裂边可以控制在3mm以内,裂边未延伸至坯料表面,中间纵向开裂。由于铸轧坯料裂边显著减小,使冷轧过程中不发生断带,提高了生产效率,另外,还可减少冷轧板的切边量,提高成品率。

【参考文献】

- [1] 官照亮. 1060 铝合金薄板可调环形光斑激光搭接焊工艺优化与监测方法研究[D]. 湖北: 华中科技大学, 2023.
 - [2] 王绎潭, 章国华, 胡辉龙, 等. 1060 铝合金板表面条纹产生原因及控制措施[J]. 轻合金加工技术, 2023, 51(12): 12-16.
 - [3] 周树德, 贺耀文, 刘鹏飞, 等. 铸轧坯料生产 8079 铝合金双零箔工艺控制要点[J]. 轻合金加工技术, 2023, 51(10): 22-26.
- 作者简介: 杨俊宝(1988—), 男, 汉族, 山东省滨州市, 大专, 滨州职业学院, 研究方向: 铝加工铸轧板工艺管控。
李振来(1984—), 男, 毕业院校烟台南山学院, 机电一体化专业。函授本科毕业院校滨州学院, 机械设计制造及自动化专业, 就职滨州宏展铝业科技有限公司, 现任滨州宏展生产厂长职位。