

# 工艺润滑对铝板带冷轧表面粗糙度的影响

孙建林<sup>1</sup>, 孙艳伟<sup>1</sup>, 张英智<sup>2</sup>, 王刚<sup>2</sup>, 李戡<sup>2</sup>

(1. 北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083; 2. 青海大学, 青海 西宁 810016)

**摘要:** 铝薄板冷轧工艺润滑中, 为获得高质量铝板表面, 可选择不同粘度的轧制油, 进而控制变形区油膜厚度。轧制实验中选用粘度在  $1.68 \sim 2.13 \text{ mm}^2/\text{s}$  之间的三种轧制油, 轧制厚度小于  $0.3 \text{ mm}$  的铝薄板, 与无润滑轧制相比, 可使轧后铝板表面质量得到明显改善, 尤其是能使表面粗糙度降低  $40\%$  左右。同时进一步分析了表面粗糙度降低的微观原因。

**关键词:** 铝材; 轧制油; 润滑; 表面粗糙度

**中图分类号:** TC335 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8996(2006)01-0001-03

## An influence of lubrication on surface roughness in cold rolling aluminum process

SUN Jian-lin<sup>1</sup>, SUN Yan-wei<sup>1</sup>, ZHANG Ying-zhi<sup>2</sup>, WANG Gang<sup>2</sup>, LI Jian<sup>2</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, USTB Beijing, Beijing 100083, China;

2. Qinghai University, Xining 810016, China)

**Abstract:** In cold rolling aluminum plate process, in order to achieve high surface quality of sheet, different viscosities of rolling oil can be selected to control the thickness of oil sheet in deformation zone. The rolling experiment adopts three kinds of viscosity of oil varying from  $1.68 \text{ mm}^2/\text{s}$  to  $2.13 \text{ mm}^2/\text{s}$  to mill thin aluminum plates and the thickness is less than  $0.3 \text{ mm}$ . Compared with rolling aluminum plate without oil, the surface quality of oil-rolled aluminum sheet can be improved obviously. In addition, the surface roughness is reduced to more than  $40\%$ . At the same time, the reason of reducing surface roughness is analysed.

**Key words:** aluminum; rolling oil; lubrication; surface roughness

在铝薄板冷轧过程中, 工艺润滑起着至关重要的作用。采用工艺润滑可以有效的降低轧制压力, 减小摩擦系数, 改善轧件的表面质量<sup>[1]</sup>。但是, 若由于润滑油膜具有“隔蔽”效应<sup>[2]</sup>, 若润滑条件不当, 可能对轧后表面质量产生不利影响。为此, 开展工艺润滑对铝板带表面粗糙度关系的研究, 找出轧制油对轧后铝材表面质量的影响规律, 对于确保工艺润滑效果, 改善轧后产品表面质量都具有重要的理论和实践意义。本文结合多年的研究成果<sup>[3~5]</sup>, 分析了轧制工艺润滑中, 变形区油膜与轧制油粘度的关系, 以及轧制铝薄板时, 不同粘度轧制油对轧后铝板表面粗糙度的影响, 最终确定了铝薄板轧制中轧制油选择的粘度范围。同时还从微观上解释了工艺润滑轧制铝板使轧后板材表面粗糙度降低的原因。

## 1 轧制变形区油膜分析与轧制油

铝板轧制变形区如图1所示, 由于轧制变形区入口处特殊的几何条件(润滑楔角), 使流体动力学形成膜成为轧制变形区最基础和最重要的油膜形成机制。Wilson 在比较了弹性流体动力学和塑性流体动力学在轧制入口区的区别后, 导出了变形区入口油膜厚度  $h_a$  的计算公式<sup>[6]</sup>:

收稿日期: 2005-11-05

基金项目: 青海省科技攻关项目(2004-G-161)。

作者简介: 孙建林(1963—), 男, 山东龙口人, 教授, 博士。研究方向: 金属材料与加工, 摩擦与润滑。

$$h_a = \frac{3 \eta_0 R (V_a + V_r)}{X_a [1 - e^{-(K - x_a)}]} \quad (1)$$

式中:  $\eta_0$ —润滑油动力粘度;  $\eta$ —压粘系数;  $R$ —轧辊半径;  $V_r$ —轧辊表面线速度;  $V_a$ —轧件入口速度;  $X_a$ —变形区长度;  $K$ 、 $x_a$ —轧件平面就形抗力系数与后应力。该公式一直被用于求解油膜厚度。由公式(1)可以看出油膜随着轧制油粘度和轧制速度增加而变厚。特别是在高速轧制铝板带时,油膜厚度增加会使轧制压力和摩擦系数减小,但是过厚的油膜导致“隔蔽”效应增加<sup>[2]</sup>。图 2 是油膜厚度为 5.0  $\mu\text{m}$  时 SEM 照片。从图 2 可以看到由于油膜较厚,轧后铝板表面粗糙化非常严重。

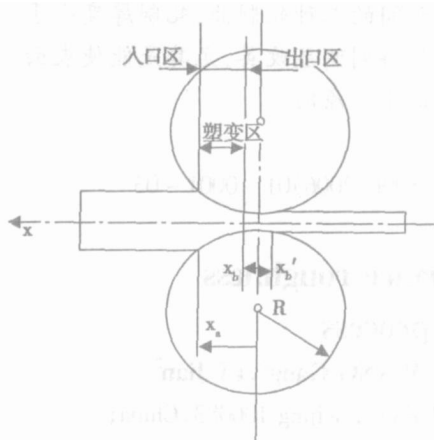


图 1 轧制变形区示意



图 2 过厚油膜轧制铝板表面形貌

为了避免铝板轧后表面粗糙化现象,通常铝薄板带轧制时要使用低粘度轧制油。表 1 对国内外铝板带冷轧基础油粘度指标进行了比较。

表 1 国内外铝板带冷轧基础油粘度

油 品	国内		ESSO		EXXON	MOBIL
	S0 - 1	S0 - 3	S34	S35	D100	Genrex56
粘度(40 ) (mm <sup>2</sup> /s)	1.79	2.03	2.40	2.70	2.29	1.74

由表 1 可看出,高档铝板带冷轧基础油多为低粘度、轻质的矿物油,其 40 运动粘度范围通常在 1.8 ~ 2.7 mm<sup>2</sup>/s 之间。

## 2 实验结果分析

轧制试件为 400 mm × 40 mm × 0.245 mm 厚的纯铝,在 127 mm × 200 mm 实验轧机在 20 % 的压下率进行轧制;轧制油基本理化性能见表 2。

轧后试样清洗后,在电子显微镜下观察其表面形貌并拍照;使用型号为 FTS - S3c 表面轮廓仪测量轧后铝板试样的表面粗糙度等相关参数,测试时沿纵向(平行轧制方向)取点,测试长度 8 mm。图 3 为轧制试件原始表面轮廓图形。经测量无润滑轧制后,轧后铝板表面粗糙度中线平均值  $R_a = 0.189 \mu\text{m}$ ;轮廓最大峰值  $R_p = 0.48 \mu\text{m}$ ;轮廓最大谷深  $R_v = 0.398 \mu\text{m}$ 。

图 4 为使用不同粘度轧制油对轧后铝板表面粗糙度中线平均值  $R_a$  的影响。由图 4 可知,使用三种低粘度轧制油轧后的轧件表面粗糙度明显比无润滑状态下的轧件表面粗糙度要低,最低可使  $R_a$  降低 47.23 %。这是由于在无润滑状态下轧制铝薄板时,轧辊与铝材表面直接接触,发生轧辊粘铝,铝材表面由于被轧辊粘附而被撕裂,从而造成表面凹凸不平,表面质量恶化。相反,铝薄板在使用轧制油轧制时,

表 2 实验用基础油的基本理化性能

性 能	Ro1 921	Ro2 9613 - 1	Ro3 924
粘度(40 ) (mm <sup>2</sup> /s)	1.68	1.79	2.13
闪点( )	83	92	108
馏程( )	207 ~ 242	221 ~ 243	241 ~ 258
硫含量(ppm)	<2	<2	<2
芳烃含量( %)	<1	<0.5	<1

接触表面被完全或部分的油膜隔开,有效地防止了轧辊粘铝,改善轧件表面质量。

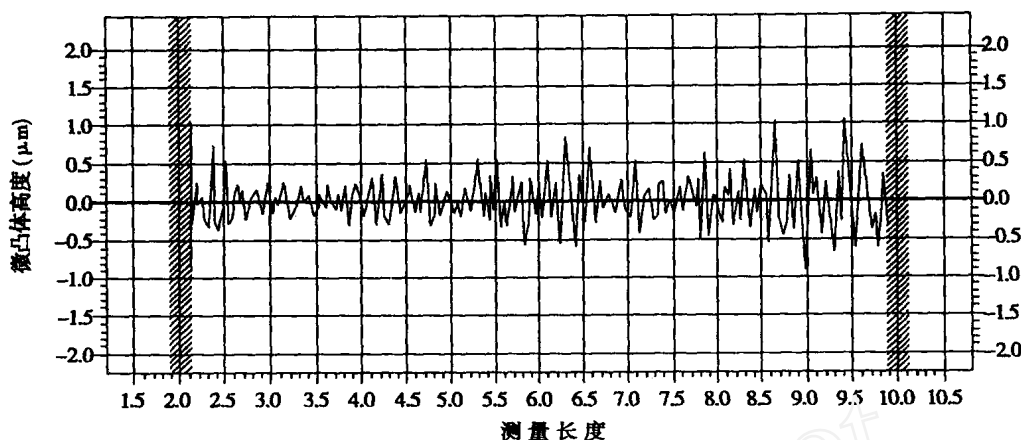


图 3 无润滑轧制试件原始表面轮廓图形

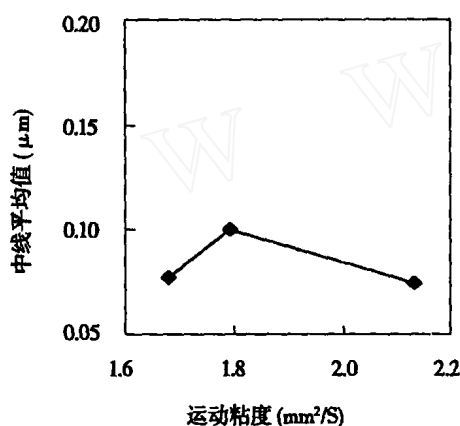


图 4 轧制油粘度对轧后铝板表面粗糙度的影响

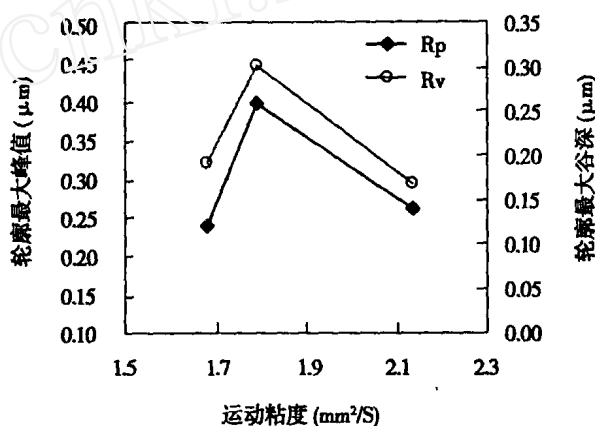


图 5 轧制油粘度对轧后铝板轮廓谷峰高度的影响

进一步对轧后铝板表面轮廓凸峰及凹谷分析发现,加入轧制油后,轮廓最大凸峰值最低下降 17.6%,最大谷深值下降 24.7% 以上(图 5 所示)。这样进一步从微观上解释了使用工艺润滑轧制铝薄板时,使轧后铝板表面粗糙度降低的原因,即在变形区形成的一层极薄油膜,一方面防止了轧辊粘铝,另一方面可以使铝板表面微凸体的凸峰得到不同程度的压平,同时,凹谷也得到了提升,从而降低了凹凸不平度,提高了表面质量。

### 3 结论

通过对轧制变形区内油膜厚度与轧制油粘度关系的理论分析,以及对铝薄板在不同粘度轧制油润滑轧制的实验研究,可以得出以下结论:

- (1) 冷轧铝薄板带工艺润滑中要综合考虑轧制速度与轧制油粘度的影响。轧制铝板越薄,需要的轧制速度越高,形成的油膜越厚,然而过厚油膜可能会导致“隔蔽”效应发生,故应该选用低粘度轧制油。
- (2) 选用粘度在 1.68 ~ 2.13 mm²/s 的轧制油轧制厚度小于 0.3 mm 的铝薄板实验表明,轧后铝板表面粗糙度可以得到有效降低,表面轮廓微观凹凸度被压碾,轮廓最大凹谷数值降低了 24.7% 以上。另外,轧制铝板越薄,应选用粘度越低的轧制油。
- (3) 采用工艺润滑能够降低轧件表面粗糙度的微观原因是变形区的薄层油膜将轧件(下转第 9 页)

面形态为套叠式。

(2) 复杂的地质构造背景是太平山滑坡形成的内在原因,水文地质条件和人类工程活动是诱发该滑坡的直接因素。

(3) 该滑坡由两期极深层的滑动作用完成,滑坡依次经历了褶皱变形中滑坡酝酿阶段、蠕变变形阶段、滑动阶段、再次蠕变阶段、滑动破坏阶段、调整恢复阶段。

(4) 预防滑坡灾害的关键是树立以人为本的思想,普及灾害的预防知识教育,依法加强管理,采取科学的防治对策。

致谢 青海大学水电系 2002 级、2003 级同学一起收集了野外资料,周口店镇山口村提供了相关材料,沈照理教授审阅初稿时提出了宝贵的修改意见,在此一并致谢!

#### 参考文献:

- [1] 贾建称,王根厚. 周口店野外地质教学实习中环境地质教学之我见[J]. 中国地质教育, 2005, (1): 74 - 76.
- [2] 宋鸿林. 北京房山变质核杂岩的基本特征及其成因探讨[J]. 现代地质, 1996, 10(2): 149 - 158.
- [3] 张晓青. 碳酸盐糜棱岩的变形特征与变形 - 变质机制[J]. 烟台师范学院学报(自然科学版), 1998, 14(1): 73 - 77.
- [4] 宋鸿林,朱 宁. 北京西山南部中生代早期的构造变形相和古地热异常[J]. 现代地质, 1998, 12(3): 302 - 310.

(责任编辑 王宝通)

(上接第 3 页)

与轧辊隔开,防止轧辊粘铝,使表面微凸体的凸峰被有效压平,同时,凹谷也得到了提升。

#### 参考文献:

- [1] 白 玲,任绥远. 工艺润滑油的主要指标及其作用[J]. 轻合金加工技术, 1996, 27(5): 21.
- [2] Lin J F, Huang T K, Has C T. Evaluation of Lubrication for Cold Strip Rolling[J]. Wear, 1991, 147(1): 79 - 91.
- [3] 孙建林,刘 杰,康永林. 不锈钢轧制成形板面粗糙度与轧制油粘度关系研究[J]. 摩擦学学报, 2002, 22(4): 111 - 113.
- [4] Sun Jianlin, Zhang Xinming. The Evaluation of Lubricating Performances of Lubricants for Cold Rolling Aluminum Strips[J]. J of Central South University of Tech, 1997, (1): 65 - 68.
- [5] 孙建林. 轧制工艺润滑原理技术与应用[M]. 北京:冶金工业出版社, 2004.
- [6] 李积彬,伍小玲. 铝型材生产工艺润滑技术及润滑剂[J]. 轻合金加工技术, 1999, 27(6): 28 - 31.

(责任编辑 王宝通)