

# 无缝不锈钢管生产工艺及其轧制油的发展概述

文 | 郎需进, 石智, 汪霞, 张杰 · 涂木兰 中国石油兰州润滑油研究开发中心

根据国际不锈钢论坛 (ISSF) 预计, 2021 年全球不锈钢消费量将因新冠肺炎疫情缓解而出现 V 型恢复, 消费量预计增长 328 万 t, 达 4452 万 t。随着我国工业实力增强, 建筑、石油化工、电力等行业迅速发展, 极大地促进了我国钢管行业的发展, 因而近些年不锈钢管的消费增速和需求量也逐年上升, 发展前景良好。2020 年, 我国不锈钢管产量为 8954 万吨, 无缝钢管产量为 2787 万吨, 无缝钢管中的品种之一无缝不锈钢管由于耐腐蚀性好、韧性高以及较易成型性等优点备受青睐。在不锈钢管轧制加工时, 润滑条件对于钢管的表面质量、模具寿命以及加工的正常进行有重要的作用, 2020 年, 无缝不锈钢管总产量约为 126.1 万 t, 而不锈钢冷轧时轧制耗油量按 2kg/t 计算, 则就单一无缝不锈钢冷轧轧制用油的市场需求总量将达到 2500t 左右。

## 无缝不锈钢管的生产工艺

我国无缝不锈钢管的生产主要集中在内蒙古包钢、上海五钢 (集团) 有限公司、长城特钢有限公司、大连钢厂、抚顺钢厂、大冶特钢有限公司、成都无缝钢管厂等, 虽然每个生产设施的具体工艺设备不同, 但其生产过程主要分为热轧无缝不锈钢管生产工艺、冷加工无缝不锈钢管生产工艺以及热挤压无缝不锈钢管生产工艺。

## 热轧无缝不锈钢管生产工艺

热轧无缝不锈钢管生产工艺的原料为圆管坯, 经过切割机将其切割成长约 1m 的管料, 并送至熔炉加热至约 1250℃ 后进行穿孔后, 通过轧管机连轧再利用锥形钻头对钢坯打孔即可形成钢管。

热轧生产工艺流程为: 圆管坯→加热管坯→穿孔→三辊斜轧、连轧或挤压

→荒管加热→确定直径→热处理→矫直成品管→精整→检验→入库。

## 冷加工无缝不锈钢管生产工艺

我国不锈钢管的生产主要采用“斜轧穿孔+冷加工”的工艺, 而其中无缝不锈钢管产量的 65% 需要使用冷加工制作成成品, 无缝不锈钢管冷加工通常以“冷轧为主, 冷拔为辅”, 冷轧定壁或冷拔改变钢管规格和控制外径, 以满足不同规格和品种的生产要求。目前, 冷拔机、冷轧机的发展方向以“高速、高精度、长行程、多线”为主, 应用较多的机型有 YLB250t、YLB550t、LG60-H、LG110-H 等系列机组。

冷拔生产无缝不锈钢管工艺流程为: 外构管坯→加热管坯→穿孔→锤头→酸洗→润滑→拔制→退火→切头→水压→检查→成品。

冷轧生产无缝不锈钢管工艺流程为: 炼钢→圆钢轧制→穿孔→冷拔→冷



图 1 内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司无缝钢管生产线

轧→退火光亮→抛光内表面→抛光外表面→验收检测→入库包装。

### 热挤压无缝不锈钢管生产工艺

热挤压工艺进行无缝不锈钢管的生产是世界上主要生产工艺方式，采用热挤压法生产的产品质量稳定，直接使用连铸坯为原料，品种更换灵活、产量质量稳定、直接生产热挤压成品管，也能生产异型断面管等优点，目前挤压机组尚需从国外引进，如久立 3500t 挤压机、包钢 6000t 挤压机均从德国引进。

热挤压生产无缝不锈钢管工艺流程为：管坯剥皮→切断→钻孔→倒角→清

洗坯料→加热→扩孔→加热→挤压→矫直钢管→喷丸→切除头尾→酸洗→检验→包装入库。

### 无缝不锈钢管轧制过程中的摩擦与润滑

在无缝不锈钢管的轧制过程中，轧件与轧辊相互接触的过程，摩擦力是两个物体界面间的切向阻力。为了减少外摩擦引起的摩擦热和变形热等不良影响，必须在轧件和轧辊之间加上润滑剂进行润滑。工艺润滑最重要的功能是减少变形区接触弧表面上的摩擦系数和摩擦力，降低轧制总压力和能量消耗。在

轧制工艺过程中，轧辊处于高温高压摩擦工况下，表面极易磨损，导致轧辊表面产生凹坑和变形，而凹坑和变形又加剧磨损，形成恶性循环，轧辊因磨损而迅速报废。目前，主要采用耐磨性能好的高速钢轧辊和应用轧制润滑技术二种途径来降低能耗，提高生产率，降低轧辊成本和改善带钢表面质量。

钢管轧制时，采用适当的工艺润滑可以降低轧制力 20% ~ 30%，轧机主机电耗减少 8% ~ 20%。同时由于润滑剂具有防粘减磨的作用，使得变形金属与工模具之间的摩擦状况得到明显改善，进而使工模具磨损减少，使用寿命

表 1 市场主流产品数据分析

项目	进口某品牌 A	进口某品牌 B	国产某品牌 C	试验方法
外观	均匀浑浊	黄色透明	黄褐色透明	目测
密度 (20 °C)/(kg · m <sup>-3</sup> )	1351.5	1021.5	1087.3	SH/T 0604
运动黏度 (40 °C) / (mm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> )	1197	60.10	52.48	GB/T 256
闪点 (开口) /°C	187	158	223	GB/T 3536
倾点 /°C	-33	-25	-31	GB/T 3535
ω (硫) /%	5.9	4.8	0	SH/T 0303
ω (氯) /%	<10	28.8	0	SH/T 0161
最大无卡咬负荷 PB/N	784	510	2450	GB/T 3142
烧结负荷 PD/N	> 7840	7350	> 7840	GB/T 3142
摩擦系数	0.096	0.113	0.084	ASTM D6425

命延长。在轧制过程中，采用工艺润滑可提高轧辊使用寿命 40% 左右，减少换辊次数，提高生产作业率。

无缝不锈钢管轧制工艺对所用工艺油品的润滑极压性能要求非常苛刻，一般来说工艺油的最大无卡咬负荷 PB 和烧结负荷 PD 分别要求不小于 700N 和 5000 N。

### 无缝不锈钢管轧制油在其生产中的润滑作用

经过对无缝不锈钢管生产工艺中的摩擦磨损对轧制过程影响的研究，发

现轧制油产品在无缝不锈钢管生产工艺中的主要作用有以下几点：

减少摩擦系数和摩擦力。润滑剂在变形区内形成和保持一定厚度的润滑膜，可以有效降低摩擦系数和摩擦力、保证轧制过程的顺利进行；同时较低的摩擦力和摩擦系数也意味着较低的轧制总压力和能量消耗，从而可增大道次压下量。

减少轧辊磨损。在高压高速的轧制过程中，如果轧辊处于无润滑状态，将会造成轧辊的严重磨损，而使用润滑剂可使轧辊的磨损明显减少。

润湿作用。利用润滑剂的润滑作用可使轧件表面保持良好的润湿状态，防止金属间黏着，从而提高压延效率。

冷却作用。轧制过程中金属表面摩擦会产生大量的热，如不能及时排走这部分热，会极大影响金属的机械性能和表面性状，因此有要求轧制油具通过对流换热和汽化把热量从固体（轧件和轧辊）表面及时带走。

提升表面质量。在轧制过程中，采用工艺润滑可以显著改善产品的表面质量，减少表面缺陷。

## 无缝不锈钢管轧制油的组成

无缝不锈钢管轧制加工时的润滑条件对于钢管的表面质量、模具寿命以及加工的正常进行有重要的作用，早期无缝不锈钢管轧制使用动植物油、矿物油以及两者的混合物进行润滑。随着无缝不锈钢管加工工艺的提升，如轧制线速度以及轧制压力的提高，并且市场上对无缝不锈钢管的加工精度和表面质量的日益严苛，要求轧制油有更好的冷却性能、极压抗磨性能、防锈性能、氧化安定性能以及退火清净性能等，因而发展到以矿物油、合成油为基础油辅以高压、润滑性能的硫氯添加剂以及其他功能性添加剂的配方体系。对市面上常见的几款不锈钢管轧制油的分析如下：

由表可见，随着石油炼制、润滑油生产水平的提高以及环保政策的严苛，轧制油基础油的精制深度进一步提高，各类添加剂如不含硫氯体系添加剂的发展不断取得突破，使得轧制油各项性能指标进一步优化和提升，能满足适应更为复杂的不锈钢管加工条件，同时国产某品牌 C 中的不含硫氯添加剂的轧制油也更加环保。

## 无缝不锈钢管轧制油的发展趋势

随着近年来国民环保意识的不断增强以及相关政策法规的出台，从“绿水青山”的环保角度出发，传统硫氯高含量体系不锈钢管轧制油产品将逐步退出历史舞台，而开发环境友好型无缝不锈钢管轧制用油成为行业内的共识，无缝不锈钢管轧制油在轧制过程中对轧制油产品的要求在今后发展过程中将要求轧制油产品具有以下特点：

(1)优异的润滑及极压抗磨性。随着加工效率的提升，冷轧过程中的摩擦以及轧制压力的增大，轧制油产品必须具有优异的润滑性能以减少摩擦，同时还应具有良好的极压性能，降低轧制压力，机器加工和能量损耗的同时提高轧制的加工精度和效率。

(2)优异的抗氧化性。不锈钢管轧制油产品在循环冷轧使用过程长期处于周期性的高温与高压环境中，且直接暴露于空气中，因此油品极易因氧化而变质，影响轧制油产品的品质和使用寿命，所以要求轧制油具有较强的抗氧化性能。

(3)优异的冷却性能。为避免无缝不锈钢管受到冷轧过程中因接触摩擦产生的大量热量而导致变形摩擦温度过高，同时塔形配置的辊系散热不佳，因此要求轧制油产品具备良好的散热性能以使热量及时从带钢和轧辊表面转移，保证轧制过程平稳。

(4)优异的退火清净性。不锈钢冷轧板带的退火温度一般在 900 ~ 1080℃ 之间，要求在退火工艺后无缝不锈钢管表面色泽光亮，无油污残留，无碳化物污染等现象。

(5)环境友好型。轧制油产品在研究过程中，不仅需要满足以上生产性能，而且也需要从保护环境的角度出发，具有不含损害人体健康的组分以及刺激性味道的挥发性气体等，追求高生物降解率和无环境毒性等环境友好型绿色轧制油产品。

## 结束语

无缝不锈钢管广泛应用于家电、化肥、航天、汽车及石化等行业，而我国

当前无缝不锈钢管生产需求现状为部分高端产品仍需进口，低端产品产能却过剩。伴随着我国城镇建设发展的加快、天然气事业的提速以及油气通道战略的实施，这些举措将为拉动无缝不锈钢管需求形成巨大的动力，是钢管市场快速发展的重大利好。而在无缝不锈钢管生产过程中，无缝不锈钢管轧制油技术也将随着轧制工艺的进步、基础油和添加剂技术的发展而不断迭代，使得无缝不锈钢管轧制油不仅具备优异的润滑性、极压抗磨性、抗氧化性、冷却性和退火清净性等特性，更要从“绿水青山”的环保角度出发，开发环境友好型无缝不锈钢管轧制用油，为中国无缝不锈钢管行业的发展和环境保护作出贡献。MFC