冲压材料清洗后的油膜厚度与零件成型关系浅析

文 | 陈培成，陈晓枫，陈建波，周强 · 广州汽车集团乘用车有限公司整车制造一部

伴随着国家工业化的飞速发展，目前汽车行业显然已经成为了我国的支柱产业，且汽车也走进千家万户，成为了我们生活中不可或缺的交通工具。而随着汽车更新换代的加速，客户对于车的外观表面要求越来越挑剔，这也导致汽车市场竞争加大，主机厂利润空间被压缩。为满足顾客的需求，各车企在外观零件生产过程中，需更严格管控零件的表面质量。而板料上的微小颗粒物可能会给冲压零件表面造成凹凸点，影响产品质量并造成生产线停线损失。因此，待冲压的材料在生产前会通过清洗机清洗，以保证材料的清洁度，但清洗后的板料表面油膜厚度如果控制不好，也会对汽车产品造成很大的影响。如油膜厚度过小，零件成型时走料不流畅，容易产生开暗裂异常；油膜厚度过大，零件成型时容易出现油膜凹问题。而目前各主机厂针对油膜厚度对零件成型影响的研究较少，故探讨油膜厚度如何影响零件成型与如何最大程度的减少油膜厚度对于材料成型的影响是一个值得探讨的课题。

清洗机结构与工作原理

本次研究对象为 JIER 湿式清洗机，清洗机实物及内部结构如图 1 所示。清洗机由 1 对夹送辊（引入辊）、1 对刷

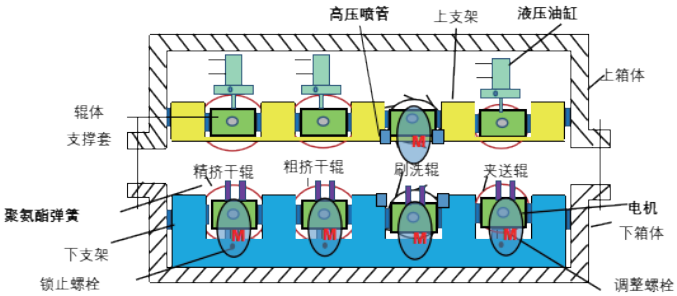


图 1 清洗机实物与内部简要构造图

表 1 JIER 清洗机技术参数表

描述	规格
最小 / 最大板料厚度	0.5 ~ 2.5mm
物流方向最小板料尺寸	500mm
垂直于物流方向最大板料尺寸	4000mm
送料高度	1500mm
板料形状	矩形和异形
送进辊材料和数量	2 个 3M 无纺布辊
清洗辊材料和数量	2 个刷辊
挤干辊材料和数量	4 个 3M 无纺布辊
工作速度	刷辊 180m/min，挤干辊和夹送辊 60m/min-120m/min，变频调节。
清洗泵能力	约 300l/min
油箱容积	最大约 3500 升
油箱无加热装置	
上箱体电动提升功能	
电动离线开出	
过滤精度	过滤器具有绝对 3μ 过滤精度
残留油膜厚度	0 ~ 3g/m^2
具有油雾收集	
清洗机的四对辊轮分别独立驱动	
独立 PLC 控制，与主控制系统联网。	

图 2 板料表面油液过多造成涂装缩孔

辊（清洗辊）及 2 对挤干辊组成，正常生产时，引入辊将对中台上的板料引入清洗机并将其传递至刷辊进行表面清洗，刷辊前后分别配备上下 2 排清洗喷油管，分别在板料通过清洗辊前后对其上、下表面进行喷洗。前后两排喷管上的喷嘴开闭控制，要求能与不同尺寸板料的喷洗面宽度相适应，即设备可根据板料尺寸大小，仅打开板料通过区域的喷嘴，而

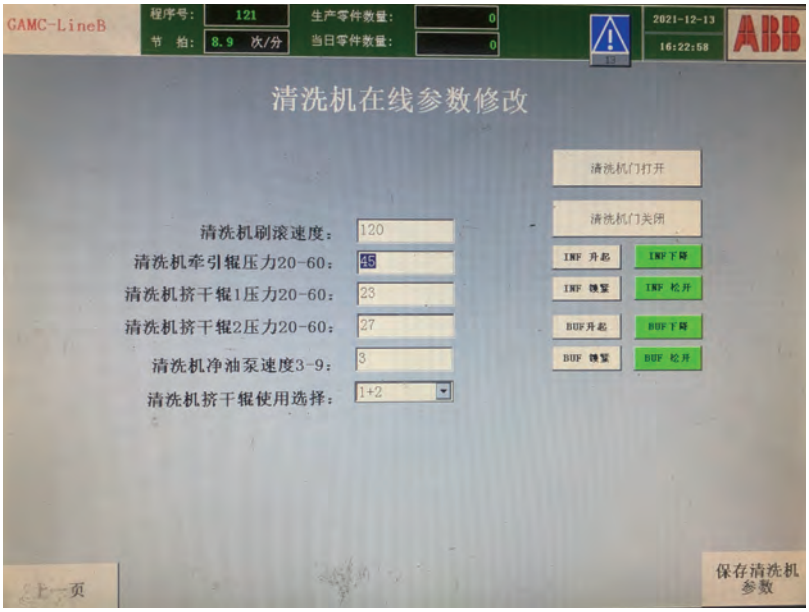


图 3 清洗机参数控制界面

表 2 某 GD56D+ZF 材质的钢板参数

材质	长度 mm	宽度 mm	厚度 mm	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	伸长率 %	N 值	R 值
GD56D+ZF	3310	1645	0.70	152	290	43	0.22	2.17

没有板料通过的喷嘴则关闭。经清洗后的板料表层附着较厚的油膜，需要在清洗机后端的挤干辊作用下将这层厚油膜挤压成一层厚度适中且均匀的油膜，使其满足冲压成形需求。

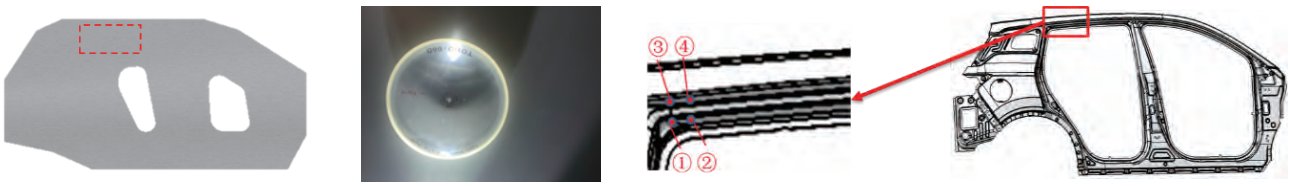
引入辊和挤干辊的升降分别由独立的液压驱动装置驱动，以提供辊子表面压紧板料所需要的工作压力，调试后的工作压力参数可作为对应零件板料的配方参数，即挤干辊压力可根据板料的厚度等要求进行动态调整，操作员可在设备的人机界面上通过简单的设定实现辊工作压力的调整，并设定为对应零件板料的清洗配方参数。清洗机技术标准如表 1 所示，板料表面油膜厚度的技术标准为 0.5 ~ 1.0 g/ ㎡。

清洗机工艺参数对油膜厚度的影响

清洗机工艺参数控制界面如图 3 所示。由清洗机的工作原理与结构可知，影响板料油膜厚度有清洗喷油泵压力与流量、清洗机刷辊速度、挤干辊压力等因素。结合工程实践，以板料表面油膜厚度为评价质量，以清洗机中各工艺参数为自变量，验证清洗机工艺参数对板料油膜厚度的影响。

挤干辊 1/2 压力对油膜厚度的影响

侧围外板是汽车覆盖件中较典型的深拉延且尺寸较大的零件【2】，研究其生产过程中板料表面清洗效果具有针对同类问题的概括性与普遍性。为验证清洗机喷油泵压力对板料油膜厚度的影响，以某车型右侧围外板为载体进行相关研究，该材料规格如表 2 所示，跟踪在不同喷油泵设定压力下板料的油膜厚度。检测设备采用 TOHO-66D 凸镜（检测范围 0.3 ~ 3.0 g/m^2，涉及板料油膜厚度检测均采用该设备），根据设备属性与以往经验，清洗机挤干辊 1/2 设定压力调整



（a）板料形状　（b）油膜测量　（c）测量点分布　（d）零件位置

图 4　某车型侧围板料油膜厚度测量

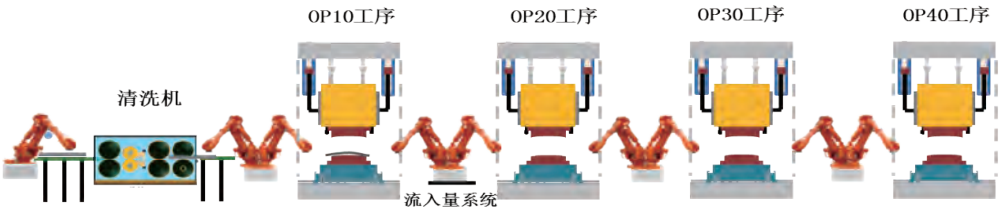


图 5　冲压线示意图与板料流入量测量位置

表 3 调整挤干辊压力对应的油膜厚度 g/ ㎡

序号	环境温度 ℃	清洗油温 ℃	1 号挤干辊压力 Bar	2 号挤干辊压力 Bar	某车型右侧围油膜厚度数据记录 g/ ㎡				
					点①	点②	点③	点④	平均值
1	30	37	25	27	0.3	0.3	0.4	0.4	0.35
2	30	37	25	27	0.4	0.5	0.5	0.4	0.45
3	30	37	25	27	0.3	0.5	0.4	0.5	0.43
4	30	37	23	24	0.9	0.8	1.0	0.9	0.90
5	30	37	23	24	1.0	1.0	0.8	1.0	0.95
6	30	37	23	24	1.0	1.0	0.8	1.0	0.95
7	30	38	20	16	2.5	2.8	2.8	3.0	2.78
8	30	38	20	16	3.0	2.5	2.8	3.0	2.83
9	30	38	20	16	2.8	3.0	2.5	2.7	2.75

范围为 16 ~ 27 Bar 1Bar=0.1 MPa），试验时其余工艺参数不变，分别测量并记录在（23,27；23,24；20,16）Bar 设定压力下 15 组板料的油膜厚度，并以平均值作为评价结果。侧围外板的结构与测点如图 4（a）所示，凸镜检测过程如图 6（b）所示，试验结果见表 3 中的 9 组数据。

观察上述测量结果可知，降低清洗机挤干辊 1/2 的设定压力，板料油膜厚度呈上升趋势，且当设定挤干辊 1/2 压力由（25,27）降至（23,24）Bar 时，油膜平均厚度由 0.38 g/ ㎡上升至 0.93 g/ ㎡，符合标准要求。而当挤干辊 1/2 压力降至（20,16）Bar 时，板料油膜厚度变化量较大且均值为 2.81 g/ ㎡，远超出 0.5 ~ 1.0 g/ ㎡的技术标准，表明此时的挤干辊压力对板料油膜厚度影响效果明显。

油膜厚度对材料 OP10 成型流入量的影响

如图 5 所示为冲压线示意图，为验证油膜厚度对材料

表 4 不同油膜厚度对应的板料 OP10 成型工序流入量 mm

序号	平均油膜厚度 g/m^2		某车型右侧围不同油膜厚度对应的板料流入量数据记录 mm			
			点①	点②	点③	点④
1	0.35		37.591	38.937	42.925	42.733
2	0.45		37.65	38.918	42.913	42.719
3	0.43		37.465	38.501	42.865	42.683
4	0.90		37.369	38.058	42.534	42.512
5	0.95		37.239	38.214	43.574	43.494
6	0.95		37.216	38.302	42.631	42.519
7	2.78		37.173	38.136	42.325	42.315
8	2.83		37.183	38.016	42.316	42.324
9	2.75		37.037	37.112	42.312	42.225
整体情况分析	少油	0.390	37.569	38.785	42.901	42.712
	标准	0.933	37.275	38.191	42.913	42.842
	多油	2.807	37.131	37.755	42.318	42.288

（a）奥林巴斯单晶超声波测厚仪

（b）实际测量效果图

图 6 超声波测厚仪与实际测量示意图

拉延成型的影响，我们将上述油膜厚度测试的板料全部以该零件正常生产时的压力 530KN 生产，然后测量每件材料 OP10 成型工序件的流入量进行对比，如表 4。

由表 4 可知，随着板料油膜厚度的增加，板料边部到拉延筋的距离数据变小，即相应的材料成型过程中流入量增多，表明油膜厚度的增加在一定程度上有利于改善材料的走料。

油膜厚度对零件减薄的影响

上述油膜厚度测试的板料全部以该零件正常生产时的压

表 5 不同油膜厚度对应的板料 OP10 工序件减薄 mm

序号	平均油膜厚度 g/m²		原板厚 mm	不同油膜厚度对应的板料 OP10 工序件减薄数据记录 mm							
				点①		点②		点③		点④	
1	0.35		0.67	0.53		0.56		0.56		0.55	
2	0.45		0.67	0.54		0.55		0.56		0.55	
3	0.43		0.67	0.53		0.56		0.57		0.56	
4	0.90		0.66	0.55		0.57		0.57		0.57	
5	0.95		0.67	0.55		0.57		0.57		0.56	
6	0.95		0.67	0.55		0.57		0.57		0.56	
7	2.78		0.66	0.56		0.58		0.57		0.57	
8	2.83		0.66	0.55		0.56		0.58		0.56	
9	2.75		0.67	0.56		0.57		0.57		0.57	
整体情况分析	少油	0.39	0.67	0.537	19.9%	0.557	16.9%	0.563	16.0%	0.553	17.5%
	标准	0.933	0.667	0.553	17.1%	0.57	14.5%	0.57	14.5%	0.563	15.6%
	多油	2.807	0.663	0.557	16.0%	0.57	14.0%	0.573	13.6%	0.567	14.5%

表 6 不同油膜厚度对应的成品件减薄 mm

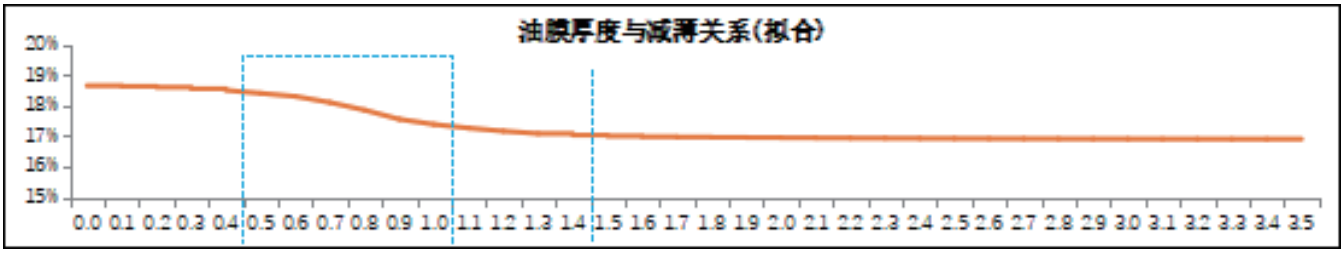
序号	平均油膜厚度 g/m²		原板厚 mm	不同油膜厚度对应的板料 OP10 工序件减薄数据记录 mm							
				点①		点②		点③		点④	
1	0.35		0.67	0.53		0.55		0.56		0.55	
2	0.45		0.67	0.53		0.55		0.55		0.54	
3	0.43		0.67	0.53		0.56		0.56		0.55	
4	0.90		0.66	0.54		0.56		0.57		0.57	
5	0.95		0.67	0.55		0.57		0.56		0.56	
6	0.95		0.67	0.55		0.56		0.57		0.56	
7	2.78		0.66	0.55		0.57		0.57		0.56	
8	2.83		0.66	0.55		0.56		0.57		0.56	
9	2.75		0.67	0.56		0.57		0.57		0.57	
整体情况分析	少油	0.39	0.67	0.530	20.9%	0.553	17.5%	0.557	16.9%	0.547	18.4%
	标准	0.933	0.667	0.547	18.0%	0.563	15.6%	0.567	15.0%	0.563	15.6%
	多油	2.807	0.663	0.553	16.6%	0.567	14.5%	0.57	14.0%	0.563	15.1%

力 530KN 生产，生产出来的 OP10 工序件与成品零件如图 6，用超声波测厚仪进行板厚测量，超声波测厚仪是根据超声波脉冲反射原理来进行厚度测量的，当探头发射的超声波脉冲通过被测物体到达材料分界面时，脉冲被反射回探头通过

表 7 测量点①油膜厚度与材料流入量、OP10 工序件减薄、成品件减薄关系

序号	平均油膜厚度 g/m²		原始厚 mm	材料流入量 mm	OP10 工序件板厚变化		成品件板厚变化		
					板厚	减薄率	板厚	减薄率	与 OP10 差异
1	0.35		0.67	37.591	0.54	19.40%	0.53	20.90%	1.49%
2	0.45		0.67	37.65	0.54	19.40%	0.54	19.40%	0.00%
3	0.43		0.67	37.465	0.53	20.90%	0.53	20.90%	0.00%
4	0.90		0.66	37.369	0.56	15.15%	0.55	16.67%	1.52%
5	0.95		0.67	37.239	0.55	17.91%	0.55	17.91%	0.00%
6	0.95		0.67	37.216	0.55	17.91%	0.55	17.91%	0.00%
7	2.78		0.66	37.173	0.56	15.15%	0.56	15.15%	0.00%
8	2.83		0.66	37.183	0.56	15.15%	0.55	16.67%	1.52%
9	2.75		0.67	37.037	0.56	16.42%	0.56	16.42%	0.00%
整体情况分析	少油	0.390	0.670	37.569	0.537	19.90%	0.530	20.90%	1.00%
	标准	0.933	0.667	37.275	0.557	16.50%	0.55	17.50%	1.00%
	多油	2.807	0.663	37.131	0.560	15.58%	0.553	16.58%	1.01%

利用散布图统计落点的规律



对散点位置进行拟合得出的关系曲线

图 7 油膜厚度与板件减薄关系拟合曲线

精确测量超声波在材料中传播的时间来确定被测材料的厚度。

由上表 5/6 可知，随着板料油膜厚度的增加，OP10 工序件的减薄率逐渐减少，成品零件也遵循类似规律，而油膜厚度对于成型的影响主要在 OP10 拉延工序。因此，油膜厚度的增加在一定程度上利于材料的流入，尤其在 OP10 拉延工序。

表 8 冲压科在线清洗机清洗参数表

管理号	版本号	修改状态	批准	审核	编制
xxx-xxx-x-A554	A	1			

车型	材料名称	修改过程记录													
		1							2						
		参考设备参数			标准油膜	其他			参考设备参数			标准油膜	其他		
		刷洗速度 m/min	送料速度 m/min	挤干压力 Mpa	参考油膜厚度 g/m²	修改时间	修改人	修改原因 / 备注	刷洗速度 m/min	送料速度 m/min	挤干压力 Mpa	参考油膜厚度 g/m²	修改时间	修改人	修改原因 / 备注
某车型	左侧围	100	80	2	0.5—1.0	2015/1/22	陈XX	新规作成	100	80	2	0.5—1.0	2021/11/11	陈xx	沿用，根据清洗能力修正标准油膜厚度
	右侧围	80	80	2	0.5—1.0				80	80	2	0.5—1.0			
	发盖外板	100	90	2	0.5—1.0				100	90	2	0.5—1.0			
某车型	左侧围	100	80	2	0.5—1.0	2015/2/22	陈XX	新规作成	100	80	2	0.5—1.0	2021/11/11	陈xx	沿用，根据清洗能力修正标准油膜厚度
	右侧围	140	70	2	0.5—1.0				140	70	2	0.5—1.0			
	左 / 右翼子板	140	80	2	1.0—1.5				140	80	2	1.0—1.5			
	后门外板	100	90	2	0.5—1.0				100	90	2	0.5—1.0			
	顶蓬	100	100	2	0.5—1.0				100	100	2	0.5—1.0			
某车型	左侧围	100	75	2	0.5—1.0	2015/3/24	陈XX	新规作成	100	75	2	0.5—1.0	2021/11/11	陈xx	沿用，根据清洗能力修正标准油膜厚度
	右侧围	140	80	2	0.5—1.0				140	80	2	0.5—1.0			
	左 / 右翼子板	100	80	2	0.5—1.0				100	80	2	0.5—1.0			
	行李箱外板	150	80	2	0.5—1.0				150	80	2	0.5—1.0			

油膜厚度对零件成型的影响

抽取上述的测量点①，将油膜厚度与材料流入量、OP10 工序件减薄、成品件减薄等结合起来分析油膜厚度对于零件成型的影响，如表 7。

综合表 7 可知，随着板料油膜厚度的逐渐增加，材料流入量会更多更利于成型，因此冲压时 OP10 工序件与成品件减薄率会更小。故适当的增加材料清洗后的油膜厚度，有助于改善材料成型过程中的开 / 暗裂、起皱等品质异常问题。

油膜厚度管理的标准化

清洗机参数的设定与油膜厚度息息相关，作为解决材料流入不顺畅导致的开暗裂与起皱、材料洁净度不足导致的凹凸点等问题的方法之一。对于上述数据，我们随机抽取 9 组数据（0.3 ~ 1.0g/ ㎡油膜厚度对应的减薄数据为推测），利用散布图统计落点，寻找规律，对散点位置进行拟合，得出关系曲线，曲线特征：整体呈现下降趋势，两边平缓中间陡峭，最佳油膜厚度标准在 0.3 ~ 1.0 g/ ㎡，如图 7。因此，建立一套关于不同零件的油膜厚度与清洗机参数管控标准尤其重要，如表 8。

结束语

冲压自动化产线离不开清洗机这一关键设备，对车身覆盖件的品质具有不可忽视的影响，建立一套关于不同零件的油膜厚度与清洗机参数管控标准，对于提升主机厂零件品质与降低报废成本非常重要。以上简单介绍 JIER 清洗机的结构及工作原理，并基于实际测试研究了油膜厚度对于材料流入量、OP10 工序件减薄、成品件减薄等成型方面的影响，得出以下结论。MFC