



白车身直通式烘炉产能提升分析

□ 北京奔驰汽车有限公司/宋绍朋

提升烘炉输送速率及减小滑橇间节距均可提高烘炉的产能，但输送速率提升对产能提升的影响远大于节距缩小对产能提升的影响。经分析研究北京奔驰MRAII焊装白车身直通式烘炉，发现其输送速率每增加0.001m/s，产能提升0.645台/h，节距每减少0.01m，产能提升0.086台/h。该烘炉具备从45台/h提升至51台/h的潜能。

整车制造厂烘炉主要有三种类型，即直通式烘炉、 π 式烘炉和桥式烘炉。按照烘炉内的输送方式区分，又可分为连续式烘炉和间歇式烘炉。北京奔驰焊装车间所采用的烘炉为直通式连续输送烘炉。北京奔驰的白车身在焊装车间涂有结构胶、减振胶、密封胶等，白车身单车涂胶长度在140~180m不等。为了防止胶在涂装车间电泳工序被冲刷掉，北京奔驰焊装车间设有白车身整车烘烤工艺，焊装车间共设有76.00~164.00m长度不等的5条整车烘炉。

烘炉产能提升的方式有炉体延

长法、燃烧方式改进法、烘炉输送速率提速法、单位有效传输距离减少法等。本文采取烘炉输送速率提速法和单位有效传输距离减少法对北京奔驰MRAII焊装车间的164.00m直通式连续输送烘炉进行产能提升分析。

产能提升分析

滑橇携白车身通过烘炉内的连续输送滚床实现烘烤工艺。为保障输送过程安全，避免滑橇间碰撞，顺序通过烘炉的滑橇之间需要设置安全节距。图1所示为烘炉的平面示意图。

最为有效的烘炉提升产能方法是提高烘炉输送速率，同时增加烘炉的物理长度。例如，烘炉长度增加一倍，烘炉速率提高一倍，则可以在保障白车身烘烤窗口不变的前提下，实现烘炉产能提升一倍。此方法既能保证白车身的烘烤窗口保持不变，又可以大幅度提高烘炉产能。但该方案需要对烘炉进行大改造，需要厂房空间和改造时间，往往在系列化生产项目中难以实现。

从图1可以清晰地看出白车身、滑橇、滚床之间的配合关系及滑橇间节距示意。该烘炉为连续式烘烤工艺，每传递一个滑橇和节距

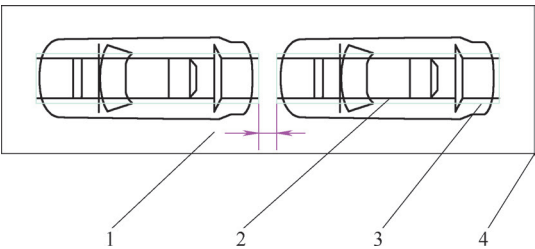


图1 烘炉平面示意

1.节距 2.滑撬 3.滚床 4.烘炉

之和的距离，被认为完成一个循环。即，每经过一个循环的时间间隔可以从烘炉输送出一台白车身。故，节拍时间的计算公式为：

$$T=(L+\Delta L)/V \tag{1}$$

式中 T ——节拍时间，单位为s；

L ——滑撬长度，单位为m；

ΔL ——安全节距，单位为m；

V ——输送速率，单位为m/s。

烘炉产能计算公式为：

$$C=3600 \times A/T \tag{2}$$

式中 C ——每小时烘烤白车身的台数，单位为台/h；

A ——烘炉的技术开动率，北京奔驰所有烘炉的技术开动率按照0.95计算；

T ——节拍时间，单位为s。

设法降低节拍时间是提升烘炉产能的有效途径。在保障滑撬长度不变的前提下，可以通过减少滑撬间节距和提高输送速率的方式降低节拍时间。但提高输送速率会缩短白车身在烘炉的烘烤时间，即改变了白车身的烘烤窗口。有导致胶烘烤时间不足，达不到预期烘烤效果的风险。

我公司焊装白车身烘炉对白车身烘烤的技术要求具体如下：

- 1) 目标温度 $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- 2) 120°C 以上的保温时间不低于10min（最低要求），最佳保温时间不低于12min。
- 3) 最高温度不得高于 130°C 。

测试和生产中，使用DATAPAQ 炉温跟踪仪XL2对进入烘炉的白车身进行炉温测量。烤箱提升输送速率，需保证个别保温时间相对较短的测量点仍能保持在 120°C 以上的保温时间 $\geq 10\text{min}$ 。

烘炉由进口气密封、加热段、保温段、出口气密封及冷却段组成，图2所示为MRAII焊装烘炉各组成段的物理长度分布。图3所示为MRAII焊装烘

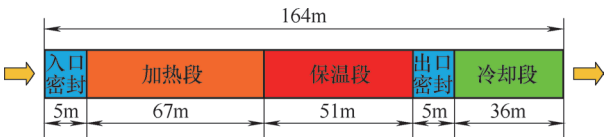


图2 MRAII焊装烘炉物理长度分布

炉正常运行时测得的炉温曲线，白车身温度在 120°C 以上的区域为1/4加热段、保温段及出口气密封段。

MRAII焊装车间，烘炉的初始设计产能为45台/h。烘炉使用的滑撬长度为5.20m，滑撬间安全节距为0.10m，输送速率为0.07m/s。下文将基于此数据展开产能提升分析。

1.节距不变，提升输送速率

提高输送速率可以缩短白车身在烘炉的烘烤时间，从而提高烘炉产能。本部分仅考虑烘炉输送速率提升对产能变化的影响，保持滑撬安全节距不变。烘炉输送速率提升前，分析历史炉温测量数据，找到历史保温时间最短的一个测量点，由此分析最短保温时间可以缩短多少。

表1是烘炉烘烤的3种车型白车身的测量点中，保温时间最短的一个点的历史数据统计。依照烤箱每段的实际长度（见图2）和白车身温度在 120°C 以上的区域分布（见图3），可以通过公式（3）计算出烘炉允许提高到的最大输送速率。

$$\Delta t = (L_1/4 + L_2 + L_3)/v_1 - (L_1/4 + L_2 + L_3)/v_2 \tag{3}$$

式中 L_1 ——烘炉加热段长度，单位为m；

L_2 ——烘炉保温段长度，单位为m；

L_3 ——烘炉出口气密封长度，单位为m；

v_1 ——提速前烘炉输送速率，单位为m/s；

v_2 ——提速后烘炉输送速率，单位为m/s。

由图2、图3和表1可知：

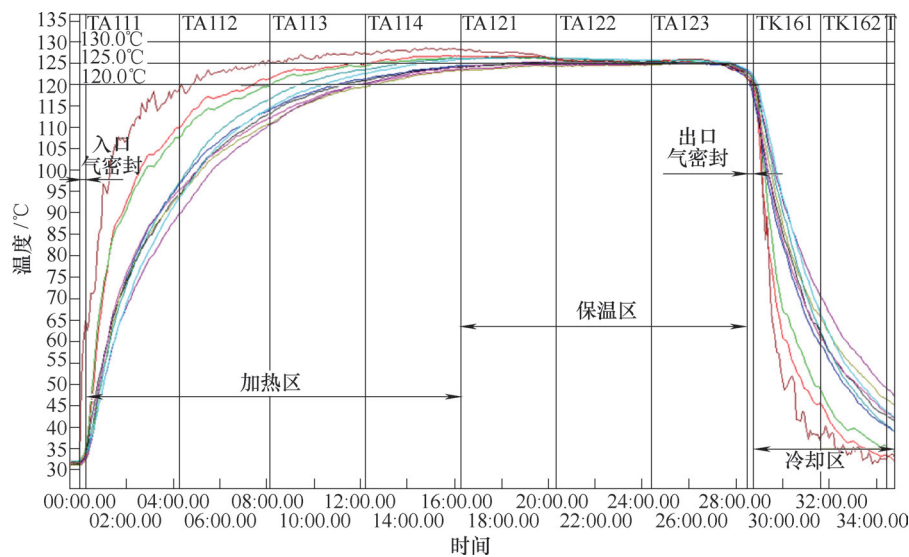


图3 MRAlI焊装烘炉正常运行时测得的炉温曲线

表1 保温时间最短的一个点的历史数据统计 (单位: min)

序号	测量日期	120℃以上最短保持时间	提速后可接受的120℃以上最短保持时间	可接受最大时间缩短量 Δt
1	2017-04-21	15.58	13.08	2.50
2	2017-05-11	13.33	10.83	
3	2017-06-19	13.33	10.83	
4	2017-07-08	15.83	13.33	
5	2017-08-05	13.92	11.42	
6	2017-09-07	15.83	13.33	
7	2017-10-13	15.42	12.92	
8	2017-11-07	13.08	10.58	
9	2017-12-07	14.50	12.00	
平均		14.53	12.03	

$\Delta t=2.5\text{min}=150\text{s}$, $L_1=67\text{m}$, $L_2=51\text{m}$, $L_3=5\text{m}$, $v_1=0.07\text{m/s}$ 。据此, 根据公式 (3) 可算出 $v_2=0.08\text{m/s}$ 。

烘炉输送速率由 0.07m/s 提升至 0.08m/s 时, 白车身在烘炉内的烘烤时间仍能满足标准的要求。即, 烘炉允许最大提速 $14\% [(v_2 - v_1) / v_1]$, 炉温曲线仍能满足标准要求。在速率提速 14% 的前提下, 分析电气设备变频器的提速频率以及输送滚床的机械负载, 发现变频器仍在未超频范围内, 机械滚床原设计允许的最高速率为 0.43m/s , 提速后的速率远低于滚床允许的最大极限速率。即, 烘炉输送速率由 0.07m/s 提升至 0.08m/s 的方案完

全可行。由公式 (1) 和 (2) 可以计算出, 提速后烘炉的产能为 51.62台/h 。

2. 输送速率不变, 减少节距

由公式 (1) 可知, 在输送速率不变的情况下, 减少滑橇之间的安全节距, 可以降低节拍时间, 提升烘炉产能。原设计滑橇间的安全节距为 0.1m , 为了保障安全, 滑橇间的安全节距最大允许缩短至 0.05m 。据此, 根据公式 (1) 和 (2) 可以算出, 节距减少至 0.05m 时, 烘炉的产能为 45.59台/h 。

3. 减少节距, 提升输送速率

减少滑橇间节距, 同时提升输送速率, 可在最大程度上提升烘炉产能。根据前文的分析可知, 滑橇节距可以调整至 0.05m , 烘炉输送速率最大可以提升至 0.08m/s 。由公式 (1) 和 (2) 可以算出, 节距减少至 0.05m 且输送速率提升至 0.08m/s 时, 烘炉的产能为 52.11台/h 。

4.节距和输送速率对产能的影响

按照公式（1）、（2）和（3）可以得出滑橇节距变化及烘炉输送速率变化分别对烘炉产能变化的影响。图4所示为滑橇节距及输送速率对烘炉产能的影响。

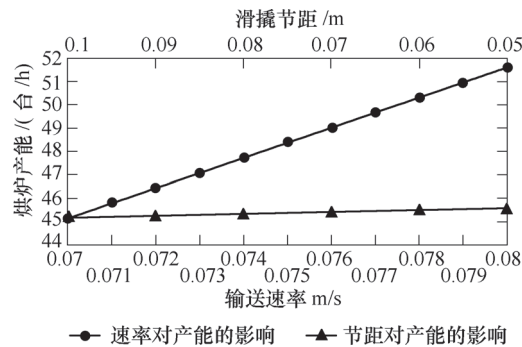


图4 滑橇节距及输送速率对烘炉产能的影响

由图4可知，输送速率和滑橇节距对产能的影响均为线性影响，输送速率每升高0.001m/s，则产能提升0.645台/h，节距每减少0.01m，则产能提升

0.086台/h。滑橇安全节距缩短对烘炉产能提升的贡献极小，而提升烘炉的输送速率则对产能提升效果显著。

结论

（1）提升烘炉输送速率及减小滑橇间安全节距均可提高烘炉的产能。

（2）输送速率提升对产能提升的影响远大于安全节距缩小对产能提升的影响。

（3）MRAII焊装烘炉输送速率每增加0.001m/s，产能提升0.645台/h，滑橇间安全节距每减少0.01m，产能提升0.086台/h。

AUTO1950

（上接第11页）

制齿工艺，一般热后不加工。基本工艺流程如图11所示，控制热后变形，提高成品合格率，刀具同步开发。

（7）焊合类零件功能多、结构复杂，零件材质和热处理要求不同。为了解决结构问题，零件精加工后采用电子束焊接、激光焊接工艺，焊接后一般不再进行加工。基本工艺流程如图12所示，焊接焊接后热变形小、满足精度要求、加工效率高。

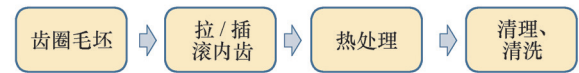


图11 内齿圈类零件基本工艺流程

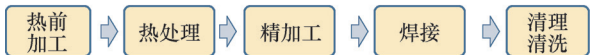


图12 焊合类零件基本工艺流程

结语

在汽车零部件制造成本中，刀具成本占总成本的3%~5%。模块式结构的复合刀具具有精度较高、刀柄可重复使用、库存量少等特点，被广泛采用，它可以大幅度缩短加工时间，提高劳动效率。因此，在精度要求不

高、标准刀具能够达到比较好的加工效果时尽量采用标准刀具，降低库存，提高互换性。同时，对于大批量生产的零件，精度要求又高的零件采用先进的非非标复合刀具更能提高加工精度和生产效率。

AUTO1950

