

# 轿车保险杠顺序注射成型 CAE 分析<sup>\*</sup>

章柱衡 肖小亭 朱海燕

(广东工业大学材料与能源学院, 广州 510006)

**摘要** 采用 Moldflow 软件对轿车后保险杠三点进浇顺序注射成型的过程进行模拟。为了分析阀浇口不同的延迟开启时间对熔接痕形成的影响,进行了两组仿真实验。结果表明,阀浇口不同的延迟开启时间可以对熔接痕的形成施行动态控制,从而影响熔接痕形成的时间、压力及熔体前沿温度的变化,这样有利于降低注塑压力、消除熔接痕或把熔接痕控制在不影响其外观质量的位置,获得最佳制品质量。

**关键词** 保险杠 CAE 顺序注塑 阀浇口

轿车保险杠属于大型塑料制品,具有壁厚较薄、加强肋较多、相对注塑面积大等特点,在注塑过程中需采取多浇口注塑。而在多浇口注塑过程中,由于浇注系统的流程长,熔体的温度、压力下降比较明显,往往会遇到如熔体充模困难、制品极易产生气穴、熔接痕及翘曲等缺陷<sup>[1]</sup>。为了控制和减少这些缺陷,20 世纪 90 年代初美国海汀格公司提出了多浇口顺序注塑的工艺,并应用该技术成型福特汽车保险杠。近年来,国内少数学者也对顺序注射成型工艺进行了一些有意义的研究,如何加快这一技术在我国推广应用,提高我国大型注塑模具和大型注塑品的制造水平是一项具有现实意义的工作。为此,笔者借助 Moldflow 软件对轿车后保险杠采用三点进浇,按照不同的顺序注射成型工艺进行了模拟。结果表明,阀浇口的不同延迟开启时间可以对形成的熔接痕施行动态控制,从而影响熔接痕形成的时间、压力及熔体前沿温度的变化,有利于降低注塑压力、消除熔接痕或把熔接痕控制在不影响其外观质量的位置,是一种既可提高制品质量又可节省能源的先进注射成型工艺。

## 1 顺序注塑的原理和特点

顺序注塑是在每个普通热流道浇口处加一个可以控制的阀门,利用时序控制程序控制阀浇口的开启、关闭,实行对浇注系统的定时、定量、顺序注射,使模具内的熔体按顺序进入型腔的不同位置,使制品的强度和表观质量等得到提高<sup>[2]</sup>。顺序注塑的特点为<sup>[3-4]</sup>:

(1) 可控制不同流道熔体汇合时前锋面的温度、压力等参数,从而避免熔体在型腔中流动时因前锋面的温度梯度大而易形成熔接痕;

(2) 可控制进浇点的开启数量和时间,可减少制品内应力,防止高温对制品带来的降解影响;

(3) 可有效控制熔体的流动方向及流量,改变熔接痕的质量、调整熔接痕的形成位置;

(4) 可降低注塑压力和锁模力。

## 2 轿车保险杠三点进浇顺序注塑方案

现在的大型汽车塑料制品普遍采用热流道技术,可以提高材料的利用率,但不能有效调整控制熔接痕的位置及质量<sup>[5]</sup>。采用热流道针阀式浇口和时序控制器相结合的顺序注塑,通过时序程序控制不同浇口的开闭时间来控制熔体在制品不同位置的注塑压力、温度和充填时间,实现注射成型<sup>[6]</sup>。图 1 所示为保险杠采用针阀式热流道技术进行顺序注塑模拟分析的模型,在成型条件许可的情况下,针阀式热流道的浇口数量不宜过多,合适的浇口数量一方面可以降低模具的成本,另一方面可以降低时序控制程序的复杂程度。为了保证熔体的流动平衡,根据保险杠的对称结构,采用三浇口进行模拟分析,三浇口的开闭顺序可按照如下方法:①按顺序开启各浇口,即:浇口 1o 浇口 2o 浇口 3,或相反顺序;②先开中间浇口再开两端浇口,即:浇口 1p 浇口 2o 浇口 3;③先开两端浇口再开中间浇口,即:浇口 1o 浇口 2p 浇口 3。

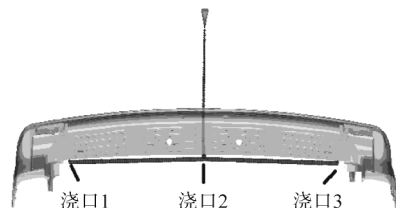


图 1 保险杠的顺序注塑系统

显然,上述方法中,方法①只有一个浇口工作,各部分熔体温度不平衡,熔体流程长,注塑压力大且

<sup>\*</sup> 粤港关键领域招标项目(2008 Z51)

收稿日期:2010-07-26

分布不平衡, 注塑时间不足, 所以大型的薄壁注塑件(而且呈长型)一般不采用该方案; 方法②和方法③在注塑时两股塑料熔体最后汇合时的情形类似, 但是熔体汇合的位置不同(实际包含了注塑温度和压力等参数的综合影响)对熔接痕的影响不同, 为此仅对方法③进行模拟。

为了分析不同阀浇口延迟开启时间对形成熔接痕的影响, 在方法③的浇口顺序开启时间上建立 2 套方案: 方案 I 为中间阀浇口处于常开状态, 阀浇口 1 和阀浇口 3 同时延迟开启, 每次实验延迟开启的时间间隔 0.4 s; 方案 II 为阀浇口 2 处于常开状态, 在同一次实验中, 阀浇口 3 比阀浇口 1 延迟 2 s 开启, 每次实验延迟开启的时间间隔 0.4 s。

3 顺序注塑工艺参数对熔接痕的影响

3.1 填充时间的影响

为获取注塑时间的初步信息, 先利用 Moldflow 中的 MPI 进行最佳成型窗口分析, 如图 2 所示。当注塑时间为 7 s 时, 成型窗口显示浅灰色, 代表成型条件可行。因此, 设注塑时间为 7 s, 进行模拟的工艺参数如表 1 所示, 浇口 1 和浇口 3 同时开启的时间和熔接痕形成的平均时间如表 2、表 3 所示。

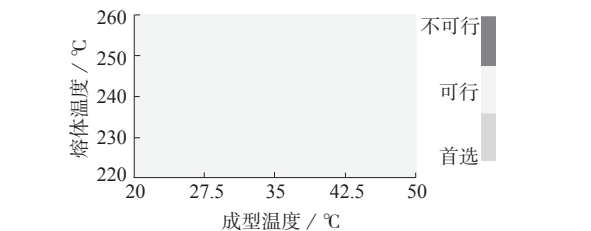


图 2 注塑时间成型工艺

表 1 顺序注塑的工艺参数

| 项目 | 熔体温度 / °C | 模具温度 / °C | 保压时间 / s | 冷却时间 / s |
|----|-----------|-----------|----------|----------|
| 数值 | 240       | 30        | 20       | 20       |

表 2 方案 I 阀浇口开启时间与形成熔接痕平均时间的关系

| 序号 | 浇口 1 和浇口 3 延迟开启的时间 / s | 浇口 1、3 与浇口 2 之间熔接痕形成的平均时间 / s |
|----|------------------------|-------------------------------|
| 1  | 0.4                    | 4.30                          |
| 2  | 0.8                    | 4.21                          |
| 3  | 1.2                    | 4.17                          |
| 4  | 1.6                    | 4.20                          |
| 5  | 2.0                    | 4.07                          |
| 6  | 2.4                    | 3.96                          |
| 7  | 2.8                    | 3.90                          |
| 8  | 3.2                    | 3.83                          |
| 9  | 3.6                    | 3.87                          |

由表 2 可看出, 对于同一阀浇口(纵向比较)不论是阀浇口 1 还是阀浇口 3, 阀浇口开启越早, 熔接痕形成的平均时间越长, 随着阀浇口 1 和浇口 3 延

表 3 方案 II 阀浇口开启时间与熔接痕平均时间的关系

| 项 目                         | 序 号  |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|
|                             | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 浇口 1 开启时间 / s               | 0.4  | 0.8  | 1.2  | 1.6  | 2.0  |
| 浇口 1 与浇口 2 之间熔接痕形成的平均时间 / s | 3.63 | 3.49 | 3.39 | 3.37 | 3.36 |
| 浇口 3 开启时间 / s               | 2.4  | 2.8  | 3.2  | 3.6  | 4.0  |
| 浇口 3 与浇口 2 之间熔接痕形成的平均时间 / s | 4.36 | 4.49 | 4.50 | 4.61 | 4.66 |

迟开启的时间越长, 在两阀浇口之间形成的熔接痕的位置分别向左右两边移动, 利于控制熔接痕的位置。且熔接痕形成的平均时间并不是浇口开启时间差的完全等同对应关系。由表 3 可看出, 由于阀浇口 1 和阀浇口 3 延时开启的时间不同, 阀浇口 1 在延迟时间区间 0.4 ~ 2.0 s 开启越早, 熔接痕形成的平均时间越长, 而阀浇口 3 在延迟时间区间 2.4 ~ 4.0 s 的情况刚好相反, 这是由于阀浇口延迟一定时间后, 两股流动熔体前锋面温度梯度差异及不同开启时间导致注塑压力不同引起的, 从而使制品存在较大残余应力, 易于引起翘曲变形。

3.2 注塑压力的影响

为了测定熔接痕处的压力, 选择了两个关键的特征点(填充末端压力和 V/P 转换点压力), 这两个时间点是评定压力是否平衡的重要节点, 在这两个时间上熔接痕位置的壓力如表 4、表 5 所示。

表 4 方案 I 阀浇口开启时间与压力的关系

| 时间 / s | 填充末端压力 / MPa | V/P 转换点压力 / MPa |
|--------|--------------|-----------------|
| 0.4    | 17.46        | 16.76           |
| 0.8    | 17.38        | 16.75           |
| 1.2    | 16.92        | 16.24           |
| 1.6    | 16.72        | 16.22           |
| 2.0    | 16.29        | 15.78           |
| 2.4    | 16.51        | 15.95           |
| 2.8    | 16.85        | 16.16           |
| 3.2    | 16.78        | 16.44           |
| 3.6    | 17.52        | 17.01           |

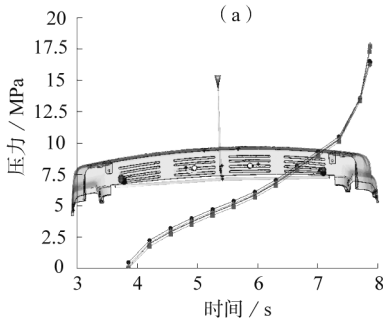
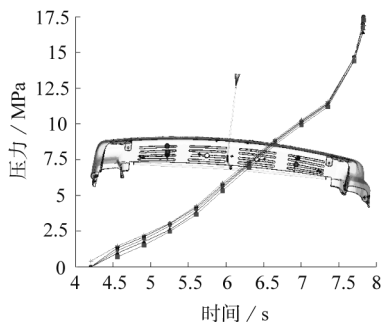
表 5 方案 II 阀浇口开启时间与压力的关系

| 时间 / s | 填充末端压力 / MPa | V/P 转换点压力 / MPa |
|--------|--------------|-----------------|
| 0.4    | 19.58        | 20.11           |
| 0.8    | 21.15        | 21.55           |
| 1.2    | 22.20        | 22.53           |
| 1.6    | 23.13        | 23.39           |
| 2.0    | 23.77        | 23.96           |
| 2.4    | 16.66        | 17.03           |
| 2.8    | 17.38        | 17.74           |
| 3.2    | 17.72        | 17.99           |
| 3.6    | 18.01        | 18.24           |
| 4.0    | 18.31        | 18.54           |

由表 4 可看出, 在 0.4 ~ 2.0 s 开启时间段, 所

形成的熔接痕处的压力随开启时间的延长而减小,而在 2.4 ~ 3.6 s 开启时间段,所形成的熔接痕处的压力随开启时间的延长而增大,但所形成熔接痕处的压力变化幅度并不明显,有利于熔体流动平衡。而表 5 中的数据表明,阀浇口 1 在 0.4 ~ 2.0 s 开启时间段,阀浇口 3 在 2.4 ~ 4.0 s 开启时间段,所形成的熔接痕处的压力都随开启时间的延长而增大,而且在同一次实验中阀浇口两边形成的熔接痕处的压力是不同的。另外,在给定的形成熔接痕的平均时间的情况下,注塑压力是和阀浇口的开启情况紧密相关的,方案 I 中的平均最大注塑压力为 50 MPa 左右,方案 II 中的平均最大注塑压力为 53 MPa 左右,都比普通注塑的最大注塑压力 57 MPa 小。

图 3 示出方案 I 中阀浇口 1 和阀浇口 3 在 0.4 s 和 3.6 s 开启时熔接痕处的压力分布规律。从图 3 可以看出,方案 I 的阀浇口 1 和阀浇口 3 是同时开启的,其两边形成熔接痕处的压力曲线基本重叠在一起。

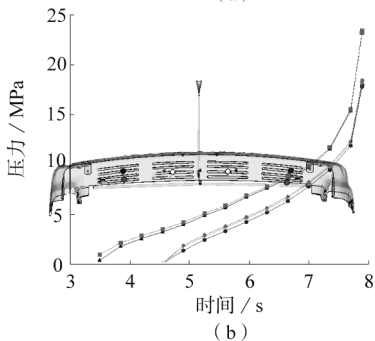
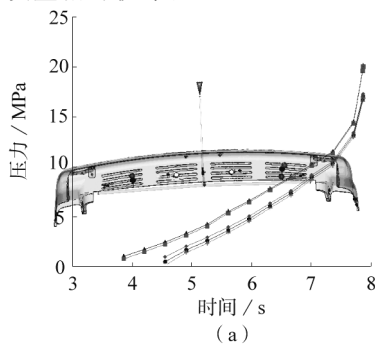


a—浇口在 0.4 s 开启时的熔接痕处压力;  
b—浇口在 3.6 s 开启时的熔接痕处压力

图 3 方案 I 中浇口开启时间与熔接痕处的压力分布

图 4 示出方案 II 中阀浇口 1 和阀浇口 3 在 [0.4 s, 2.4 s] 和 [1.6 s, 3.6 s] 开启时的熔接痕处的压力分布规律。由图 4 可以看出,先开启的阀浇口产生的熔接痕处的压力比后开启浇口的熔接痕处的压力高,这表明先开启的阀浇口产生的熔接痕的质量理论上应该比由后开启的阀浇口产生的熔接痕要高。

从熔接痕的形成机理来看,两股熔体汇合后,分子链之间的缠结和取向只是一个很短的过程,所以说对熔接痕质量产生影响的只是一个很小的时间段的压力,而影响熔接痕质量的因素主要为熔接痕形成时的压力梯度和温度。因而方案 II 中浇口开启越早,熔接痕的质量相对较好。



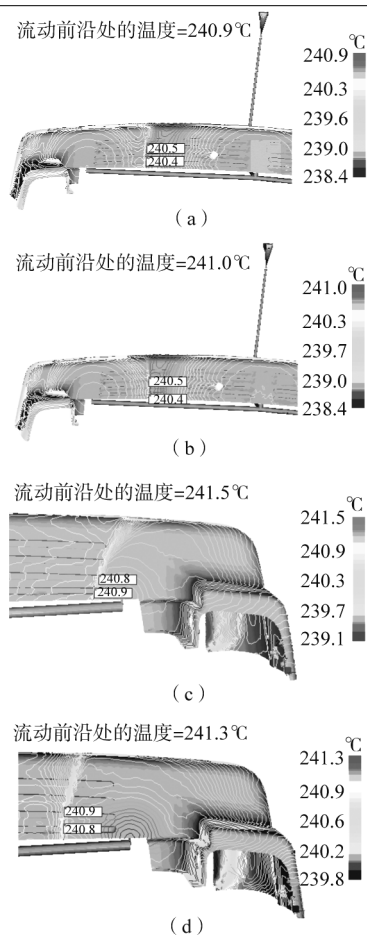
a—浇口在 [0.4 s, 2.4 s] 开启时的熔接痕处压力;  
b—浇口在 [1.6 s, 3.6 s] 开启时的熔接痕处压力

图 4 方案 II 浇口开启时间与熔接痕处的压力分布

### 3.3 注射温度的影响

众所周知,影响熔接痕质量的主要因素是熔接痕形成时的熔体流动前沿温度。一般来讲,前沿温度越高,则生成的熔接痕的质量也越好。从熔体在型腔内的流动机理和 Moldflow 的分析结果看,由于熔体流动过程中的剪切生热和流动时熔体受到的阻力,熔体的流动速度在一定的流程范围内与熔体流动的距离是呈反比关系的,而熔体的温度在一定的流程范围内与熔体流动的距离是呈正比关系的。图 5 示出两种方案在熔接痕处的熔体前沿前温度及等高线。由图 5a 和图 5b 可以看出,阀浇口开启时间 0.4 s 时熔接痕处的最高温度相同,即  $t = 240.5^{\circ}\text{C}$ 。而由图 5c 和图 5d 可以看出,阀浇口开启时间为 3.6 s 时,  $t = 240.9^{\circ}\text{C}$ , 温度相差不多,但就熔接痕两侧熔体的温度差而言,开启时间为 3.6 s 时的温差远大于开启时间为 0.4 s 时的温差。

综合以上分析可以看出,虽然阀浇口开启时间越早形成熔接痕时的熔体温度越低(相差很小),但



a—方案 I 中浇口 1 在 0.4 s 开启时的熔接痕处温度;  
b—方案 II 中浇口 1 在 0.4 s 开启时的熔接痕处温度;  
c—方案 I 中浇口 3 在 3.6 s 开启时的熔接痕处温度;  
d—方案 II 中浇口 3 在 3.6 s 开启时的熔接痕处温度

图 5 两种方案在熔接痕处的流动前沿处温度及等高线

形成熔接痕时两股熔体的温度差和速度差都要显著降低,有助于生成高质量的熔接痕,这在方案 II 中体现比较明显;而方案 I 由于阀浇口 1 和阀浇口 3 是同时延迟开启的,在不同的开启时间影响熔接痕质量的温度和压力的影响并不明显,在熔接痕强度满足实际需要的时候,可以通过调整阀浇口的开启时间,将熔接痕控制在不影响外观的地方。

#### 4 保险杠的成型质量

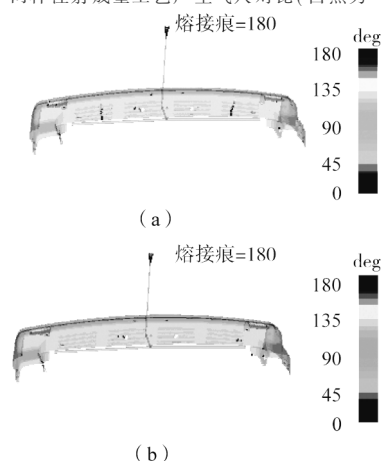
图 6 和图 7 分别示出普通注射成型和顺序注射成型所产生的气穴及熔接痕对比。从图 6 和图 7 可以看出,通过合理的调整阀浇口的延迟开启时间,顺序注射成型比普通注射成型的气泡明显少很多,保险杠表面质量光滑,没有产生明显的熔接痕。这是由于当中间浇口(浇口 2)的熔体刚好流过两侧浇口时,同时开启两侧浇口(浇口 1、3),使新的较热的料流进入原熔体的内部,保持原有流动前锋,使两股

熔体向同一方向流动填充,有利于将腔中的空气排出,所以在普通注射成型中由两股熔体汇合时所产生的气泡和熔接痕在合理的顺序注射成型中没有出现。



a—普通注射成型; b—顺序注射成型

图 6 两种注射成型工艺产生气穴对比(白点为气穴)



a—普通注射成型; b—顺序注射成型

图 7 两种注射成型工艺产生熔接痕对比

#### 5 结论

(1) 通过采取延迟不同浇口开启时间的方法,可控制各浇口注塑熔体前锋面的温度、粘度、流动速度和此时的注塑压力等,对熔接痕的形成位置实施动态控制,提高熔体汇合时的熔合质量或使熔接痕处于外观不明显的位置,达到提高注塑制品质量的目的。

(2) 两组实验数据显示,如果两侧浇口是同时延迟开启,浇口注塑压力变化比较平稳,有利于熔体的流动状态,保持流动平衡,减少制品的残余应力。

(3) 利用 CAE 软件对顺序注塑阀浇口开启时间的仿真分析,可以直观观察到制品熔接痕移动、消失和气泡减少,对制品的实际生产设计具有一定的参考意义和工程价值。

#### 参考文献

- [1] 冯良为,岑运福,杨军.塑件熔接缝形成的理论研究[J].模具工业,2001(1):34-36.
- [2] 巫修海.热流道时序阀浇口消除熔接痕研究[J].工程塑料应

用,2009,37(12):65-67.

[3] 谭文胜,周建忠.基于阀式浇注技术的注塑件熔接痕控制[J].工程塑料应用,2006,34(7):37-39.

[4] 钱宇强,孙友松,肖小亭,等.大型注塑制品熔接痕分析及解决对策[J].塑料工业,2006,34(12):35-39.

[5] 杨风霞,姜小莹,汤波.工艺参数对注塑件熔接痕性能的影响[J].塑料工业,2006,34(9):33-35.

[6] Fang M L. Study of eliminating weld line by sequential valvagate in hot runner system[D]. Kaohsiung: National Kaohsiung University of Applied Science, 2006.

CAE ANALYSIS OF PLASTIC SEQUENCE INJECTION PROCESS OF CAR BUMPER

Zhang Zhuheng, Xiao Xiaoting, Zhu Haiyan

(Faculty of Material and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**ABSTRACT** The plastic injection process of car hinder bumpers was analyzed based on Moldflow. The numeral simulations of the injecting with 3 points were carried out. In order to analyze the delay of different valvagate opening time effects on the formation of weld lines, two groups of simulation experiment were carried out. The results showed the delay of different valve gate opening time could dramatically control weld line formation, affect the weld line formation time, pressure and flow front temperature, reduce the injection stress, eliminate weld lines or control the weld lines do not affect the quality of those exterior location, and optimize the product quality.

**KEYWORDS** bumper, CAE, sequence injection, valvagate

用于海上油井的热塑性复合材料管

在石油和天然气工业,油(气)井修护作业(诊断、检查、维修或改善)至关重要。海底油井的维护历来要求使用一种很昂贵的立管来冲洗井口舱和加压注射乙二醇。然而,现在一些海上钻井公司正在改用无立管的替代方法,用成本更低的复合材料管来输送流体。

这方面的一种选择是荷兰 Airborne 公司供应的纤维增强热塑性复合材料管(简称 TCP)系统。这种 TCP 管重量轻,可卷绕,耐疲劳,无腐蚀,强度高,耐压扁。它用一种自动化的连续缠绕工艺制造。管结构中有一塑料内衬,在内衬上用玻璃纤维或碳纤维预浸带熔合增强。浸渍用的塑料与内衬材料相同,所用塑料从聚乙烯到聚醚醚酮,范围很广。这些预浸带可由荷兰滕卡特先进复合材料公司、美国泰科纳公司、瑞士 Suprem 公司等供应。

在管中熔合纤维带可提供纵向增强,提高管的拉伸强度,使管能经受卷绕而不致疲劳。然后在管上再加上同样的塑料涂层,形成整体粘合的管子而无需任何胶粘剂。

据报 TCP 管的寿命比挠性钢管更长(钢管不耐腐蚀),而且比热固性复合材料管还长(热固性复合材料管脆得多)。TCP 管的高拉伸强度、耐压扁性能和耐内压等级使其用于多种用途,不仅可用于海底油井修护,而且可用于立管和钻井用途。Airborne 人士称,这种热塑性复合材料管代表了一种新技术,具有填补井下作业和海底市场空白的巨大潜能。

Airborne 公司总部和主要工程、制造部门位于荷兰海牙,目前雇员约 120 人。该公司在过去 10 年中致力研发这种制造高端热塑性复合材料管的工艺技术。现有的中试厂即将扩大到规模化生产。最近,该公司获得 900 万欧元的投资,以加速自身的发展。这笔资金将用来建立一个专门制造石油和天然气工业用热塑性复合材料管的工厂。此厂可能

位于鹿特丹。据称这是世界上第一个生产此产品的工厂。  
(中聚网)

舷外发动机增压管道首用热塑性塑料

杜邦高性能聚合物部门供应的杜邦 ZytelHTNPPA,获 MercuryMarine 公司应用于新型增压出口弯管/通风管道,被视为替代金属极成功的案例。新部件将工程塑料的众多优点集于一身,包括零部件功能集成、耐高温性、减重、降低成本,同时可以满足产品功能需求。这种舷外发动机的高性能增压管道系统首次采用热塑性塑料制造。

ZytelHTN 热塑性管道将压缩空气从增压器传送到增压空气冷却器,工作环境的温度高达 175℃。ZytelHTN51 系列树脂是一种耐高温聚邻苯二甲酰胺(PPA)材料,可以应对苛刻的热环境,代替较薄的 1080 型钢制成的管道。这种型钢制成的管道需要热套筒才能进行热防护,而热塑性管道却不需要热防护,并有较凉快的手感。新管道的长度约为 17.78 cm,直径约为 6.1 cm。

采用 ZytelHTNPPA 替代金属,减少了零部件数量,由 6 个变成 5 个,也减少了相关成本。塑料设计可以节省钢零部件必须使用的腐蚀防护层及相关涂装工序,并有更好的表面处理,提升外观美感。此外,还避免了由于金属反复切割管道端部的橡胶封套所造成的失效。

ZytelHTN 具有众所周知的卓越耐高温性能和抗负载性能,相对于同类 PPA 材料,其成型周期可以加快 15%。材料的玻璃化转变温度为 145℃,所以具有较好的流动性,挤出时间也更快。

注塑工艺生产的部件相比型钢具有较好的尺寸稳定性。塑料增压出口管道应用于 MercuryMarine 所有 4 缸和 6 缸 Verado 舷外机。该公司的舷外发动机其它部分部件较早就开始使用杜邦的热塑性工程塑料,由于杜邦材料的性能比金属等传统材料优异,使用量正不断增加。  
(中聚网)