

基于 Polyflow 模拟的塑木建筑墙板异型材机头流道设计

赵 峰 贾明印 薛 平* 蔡建臣

孙志强

(北京化工大学机电工程学院, 北京 100029) (北京恒通创新赛木科技股份有限公司, 北京 102401)

摘要 以典型的宽幅大厚度聚氯乙烯(PVC)塑木建筑墙板为研究对象,以实际配方、工艺参数和设备结构参数为模拟条件,借助 Polyflow 有限元模拟软件,分析了机头压缩比、分流支架、阻力元件等结构对机头挤出过程速度场和压力场的影响,以熔体流速均匀分布为优化目标来逐步指导新流道的设计,获得了较优的机头流道结构参数,实现了基于流场模拟的墙板机头流道设计,对实际工程用塑木墙板机头的结构设计具有较好的指导意义。

关键词 数值模拟 建筑墙板 机头 流道 塑木复合材料

塑木复合材料是以木粉和废旧塑料为主要原料加工而成的,兼有木材和塑料的双重特性,是一种可回收循环再利用的环保型新材料,它在减少环境污染、保护森林资源、促进经济发展方面都有良好的社会效益和生态效益。其可广泛应用于桌椅、包装箱板、汽车内饰件、园林景观配套制品、建筑结构件等。特别是近几年成功开发的新型聚氯乙烯(PVC)塑木建筑墙板,响应了国务院发布的关于推进墙体材料革新和推广节能建筑的号召,具备轻质、高强、保温、多功能、复合型等特点,是材料应用领域的新突破。

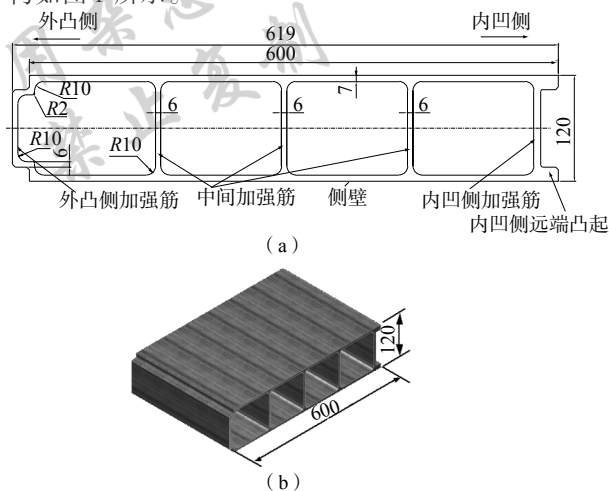
新型塑木建筑墙板是采用 PVC 塑料和农、林、牧废弃物混合,再与经过特殊工艺处理的阻燃材料复合挤出的轻质墙板,具有保温、隔音、抗震、防火等特点。产品可锯、可切、可回收再加工,其表面还可进行转印、印刷、贴面等美观及功能性处理。墙板先后在民用、工业等建筑工程中得到成功应用,市场潜力巨大。新型塑木制品的不断推出,特别是大规格、高产量、高质量要求增长,给塑木异型材挤出机头的结构设计带来了新的难度。随着计算科学及 CAD/CAE/CAM 技术的不断发展,形成了多种以数值模拟为手段的机头设计方法,其中包括数值计算方法、机头 CAD 设计系统及将机头内熔体的流动状态与机头流道参数相结合的设计方法,并取得了丰富的研究成果^[1-5]。

北京化工大学^[6]与北京恒通创新赛木科技股份有限公司进行技术合作,经过多年的技术开发,采用一步法成型工艺,创新性地实现了中空无机阻燃 PVC 塑木建筑轻质墙板以及整体塑木房屋产业化的生产,填补了国内外相关领域的空白。笔者在吸取前人研究成果的基础上,运用 Polyflow 软件对该塑木墙板大截面异型材挤出机头流道进行仿真设计,利用模拟结果指导机头关键参数的确定,以得到

优化的流道结构,从而减少修模次数,提高设计效率,降低生产成本。

1 新型 PVC 塑木建筑墙板

典型 PVC 塑木建筑墙板的截面尺寸及三维结构如图 1 所示。



a—墙板制品截面尺寸; b—墙板制品三维结构

图 1 塑木墙板截面尺寸与三维结构图

从图 1 可以看出, PVC 塑木建筑墙板在宽度和厚度上均大于常规塑木异型材制品,这对加工装备及工艺技术提出了更高的要求。新型 PVC 塑木建筑墙板为 600 mm × 120 mm 的宽幅大厚度异型材,挤出机头的结构设计要保证三维流向速度的均匀性,否则很容易出现径向截面熔体流速不均导致无法成型的后果。笔者运用 Polyflow 对新型 PVC 塑木建筑墙板异型材挤出机头流道进行仿真设计并优化,以便指导该制品挤出机头结构参数的确定。

2 机头设计思路

采用基于正交试验优化的塑木异型材挤出机头

* 通讯作者

收稿日期: 2011-03-14

CAE 设计方法对新型 PVC 塑木建筑墙板挤出机头流道进行优化设计,其设计流程如图 2 所示^[7]。通过 Polyflow 软件分析熔体在机头流道内的流动状况,获得速度分布、压力分布及剪切速率分布等流场数据,并结合正交试验进行优化,最终获得理想的流道结构。

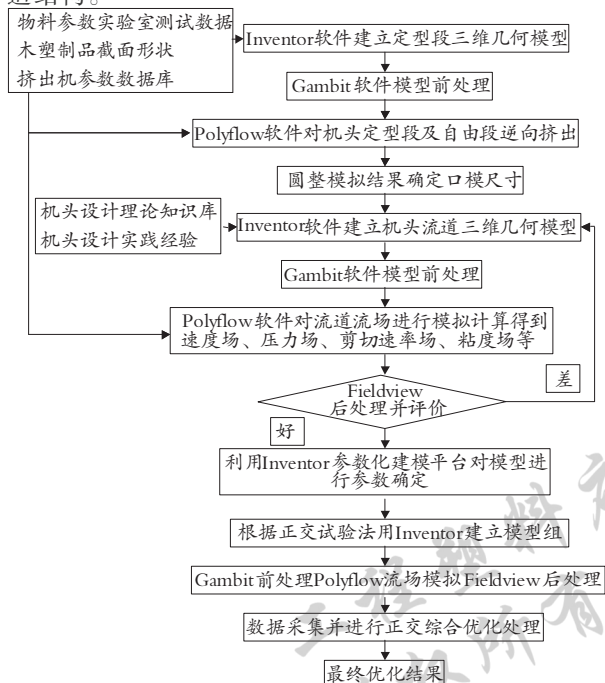


图2 塑木异型材挤出机头流道的数值模拟及正交优化流程图

3 仿真条件确定

3.1 材料流变特性

PVC 塑木建筑墙板属于多组分的复合材料,其加工存在塑木复合材料的共性难点,如木质纤维的亲水性和热塑性塑料的疏水性引起的两者间界面能弱、相容性差;高填充量、高体积的木粉在熔融的热塑性塑料中难以分散,造成熔体流动性差,导致挤出困难。为了准确体现该材料在机头内的流动特性,采用 Instron3211 毛细管流变仪对该制品原料进行了 170℃ 加工温度下的流变性能测试,其流变特性曲线如图 3 所示。

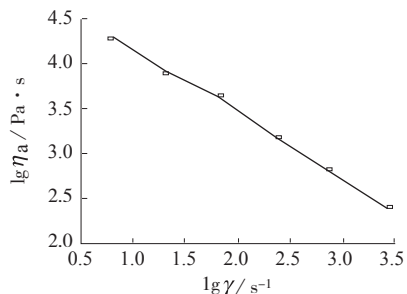


图3 制品原料的流变特性曲线

从图 3 可以看出,该材料的黏度随着剪切速率的增加而减小,出现剪切变稀现象,其流动曲线偏离起始阶段,呈现出明显的假塑性流动特性。除此之外,该材料黏度较低,弹性效益相对较弱,因此采用工程计算中广泛应用的 Power Law 模型作为本构方程进行模拟,其数学表达式为:

$$\eta = K(\lambda \dot{\gamma})^{n-1}$$

式中: η ——黏度, $Pa \cdot s$;

K ——黏度系数,通常为聚合物熔体的零切黏度(当 $\dot{\gamma} \rightarrow 0$ 时, η 的极限值), $Pa \cdot s$;

λ ——松弛时间, s ;

$\dot{\gamma}$ ——剪切速率, s^{-1} ;

n ——非牛顿指数。

根据测试结果,取熔体零切黏度 $\eta_0 = 20\ 355\ Pa \cdot s$,机头剪切速率在 $100\ s^{-1}$ 左右时的 n 可取为 0.3, λ 在这里不考虑,取默认值 1。

3.2 基本假设

为了便于计算,同时使所研究的流动过程能满足工程近似的要求,根据机头流道的特点和物料的特性,做出如下假设:

- (1) 熔体为非牛顿粘性流体,其流变特性满足 Power Law 模型方程;
- (2) 流场为等温稳定层流流场;
- (3) 惯性力和重力等体积力忽略不计;
- (4) 熔体为粘性不可压缩流体;
- (5) 物料在机筒内壁面无滑移。

3.3 边界条件

(1) 入口边界条件设定为体积流量,根据实际加工情况,生产 $600\ mm \times 120\ mm$ 型截面墙板制品的挤出机采用 SJSZ-92/188 型锥形双螺杆挤出机,其最大产量为 $800\ kg/h$,以挤出机产量的 80% 计算得到入口流量 q_v 为:

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} = \frac{800 \times 0.8 \times 1000 \times 10^{-6}}{1.3 \times 3600} = 1.37 \times 10^{-4}$$

式中: q_v ——体积流量, m^3/s ;

q_m ——质量流量, kg/h ;

ρ ——密度, g/cm^3 。

(2) 出口设为压力边界,设定出口压力为零;

(3) 根据壁面无滑移的假设,与壁面接触的熔体层速度为零。

4 流道设计及流场模拟

异型材挤出机头的基本结构如图 4 所示,其设计时需要遵守一定原则,采用合适的分流型芯结

构,设计合理的压缩角、扩张角等关键参数都非常重要。小截面的异型材机头仅需保持一维流向(沿流动方向)速度的均匀性,较大截面的异型材机头则需保持二维流向(沿流动方向和宽度方向)速度的均匀性,这已增加了模具设计的难度。需设计的是大截面异型材机头,其结构设计要保证三维流向(沿流动方向、宽度方向、厚度方向)速度的均匀性,否则很容易出现截面尺寸上熔体流速不均而导致无法成型的后果,因此,着重对速度场进行分析,以熔体流速的分布均匀性为优化目标进行机头流道设计。

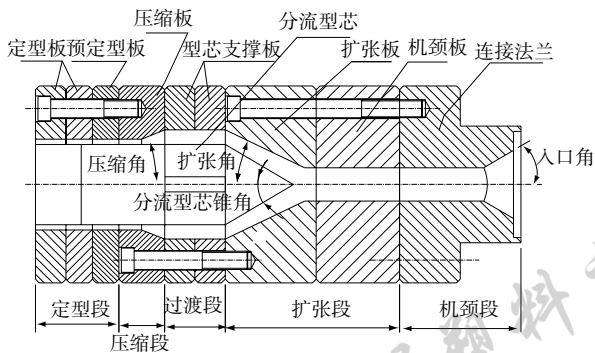
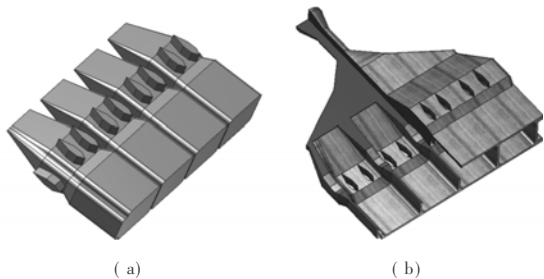


图4 墙板挤出机头的基本结构

4.1 模型1的流道结构及模拟分析

根据PVC塑木建筑墙板制品的截面尺寸,在遵守机头设计原则的基础上,初步建立模型1,其三维结构如图5所示。



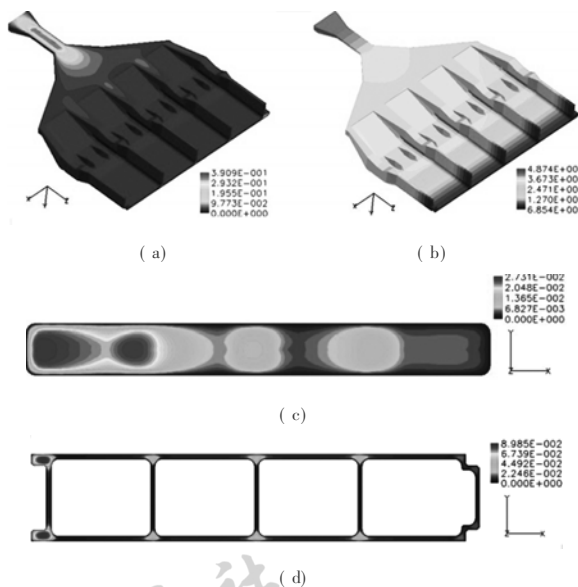
a—模型1分流型芯三维结构; b—模型1流道的3/4结构

图5 模型1流道的结构

从图5可以看出,该模型结构上的主要特点是机颈段较长、分流型芯上游段长度较短和分流型芯无阻流块。较长的机颈段可形成较大的背压以利于物料的塑化,较短的分流型芯上游段可减少下游形成熔接痕的危险。根据机头模拟思路,采用Polyflow软件对模型1的1/2进行模拟分析,其模拟结果如图6所示。

从图6的模拟结果可知。

(1) 速度场分析。由图6a看出,熔体流入机颈段出现了速度极大值,这很可能会造成湍流和物料



a—模型1速度场分布云图; b—模型1压力场分布云图;
c—模型1扩张段末端截面处熔体流速分布云图;
d—模型1出口截面处熔体流速分布云图

图6 模型1流道的模拟结果

降解。熔体流入扩张段后发生不均匀流动,导致熔体流过过渡段、压缩段及定型段后,流速分布一直不均匀;图6c进一步说明,流速分布在进入分流型芯前就已经不均匀了。这些模拟结果很可能是由于机头内凹侧流道截面大于外凸侧的造成的。

(2) 压力场分析。从图6b可以看出,熔体流经扩张段后,压力梯度在外凸侧变化较小,而在内凹侧较大,这主要是内凹侧熔体流动阻力比外凸侧大造成的。这种压力场分布也能用来解释熔体流速不均匀分布现象。

(3) 出口截面处熔体流速分析。从图6d可以看出,熔体流出机头的速度分布不均匀,出现了熔体流速在外凸侧明显小于内凹侧的现象,而且外凸侧加强筋流道内熔体流速相对内凹侧的小,特别是在内凹侧最远端的两个突出截面中心的熔体流速最大。

4.2 模型2的流道结构及模拟分析

通过对模型1模拟结果分析,在墙板机头流道设计中,相对增加机颈段截面尺寸,适当缩短机颈段长度,为避免熔体流速出现偏心的现象,增大机头外凸侧或减小内凹侧熔体的流通面积,设计了墙板机头模型2的流道结构,其三维结构如图7所示。

从图7可知,模型2的结构特点是减小了机颈段长度,增加了分流型芯上游段长度,并在内凹侧分流型芯上增加了两个凸出的阻力元件。对模型2的

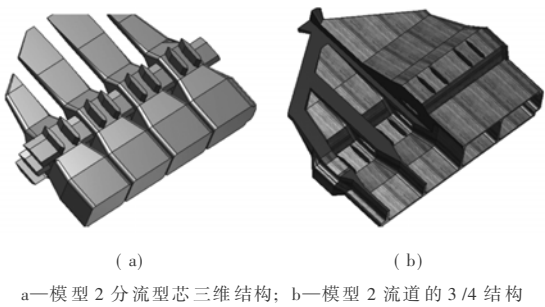


图 7 模型 2 流道的结构

1/2 进行模拟分析, 其模拟结果如图 8 所示。

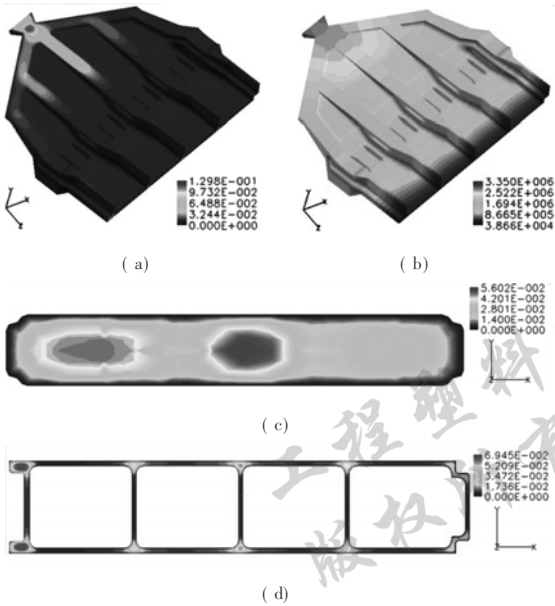


图 8 模型 2 流道的模拟结果

从图 8 的模拟结果可知。

(1) 速度场分析。由图 8a 看出, 虽然熔体流入扩张段后其流速分布沿 $y-z$ 平面对称, 但仍然出现了熔体流速在内凹侧略大于外凸侧的现象。从图 8 也可看出, 在分流型芯前熔体流速就已经不均匀了, 最大熔体流速主要集中在中心位置, 在内凹侧也形成了一个速度小高峰。

(2) 压力场分析。从图 8b 可得, 墙板机头模型 2 内压力分布的均匀性相对模型 1 有了很大的改善, 缺点是在不同径向截面中熔体压力分布出现了一定的波动, 且这种压力波动一直延续到定型段, 这可能是由于机头型芯上游段较长导致的。

(3) 出口截面处熔体流速分析。从图 8d 可知, 熔体流速在出口截面处的分布相对模型 1 已有部分改善, 中间加强筋和上下两侧流道的熔体流速得到

提高, 但依然存在外凸侧熔体流速小于内凹侧的、加强筋流道中熔体流速相对其它部分偏低等情况。

4.3 模型 3 的流道结构及模拟分析

从模型 2 的模拟分析可知, 在内凹侧增加阻力元件对降低该侧熔体流速有一定的帮助, 增加分流型芯上游段长度提高了加强筋流道中熔体的流动速度, 但也出现了压力波动的不良情况。因此, 在模型 3 的设计中, 保留了阻力元件的设计, 相对缩短了分流型芯上游段长度, 且在机颈段下游增加了一个中心阻流块, 以减少压力波动带来的速度波动, 同时降低中心熔体的流速, 其三维结构如图 9 所示。

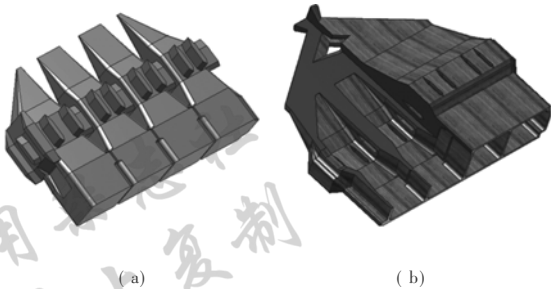


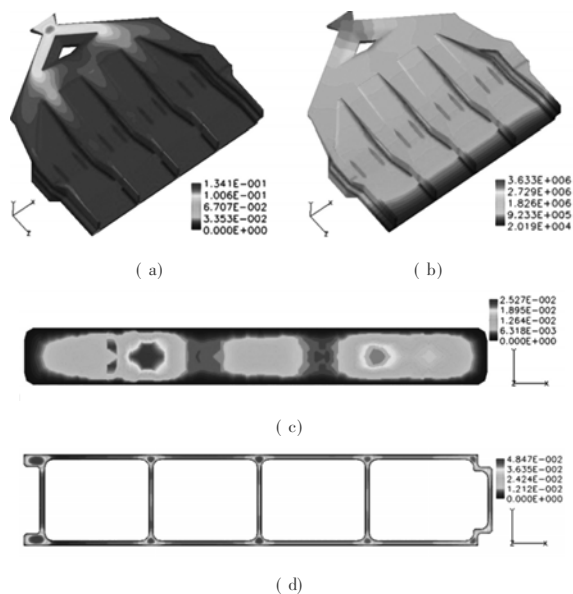
图 9 模型 3 流道的结构图

从图 9 可以看出, 模型 3 的结构特点是机颈段下游增加了一个菱形阻流块, 对内凹侧阻流块的结构及尺寸进行了适当修改, 缩短了制品加强筋定型段流道的长度以便增加该处熔体流速。采用 Poly-flow 软件对模型 3 的 1/2 进行模拟分析, 其模拟结果如图 10 所示。

从图 10 的模拟结果可得。

(1) 速度场分析。由图 10c 可知, 熔体在经扩张段流入分流型芯的过程中, 其流速分布相对中心面保持基本对称, 只是熔体在内凹侧和外凸侧分别形成了流速小高峰。模拟结果表明, 模型 3 的熔体流动均匀情况远优于模型 1 和模型 2, 这点也可从压力分布云图中得到证明。

(2) 出口截面处熔体流速分析。从图 10d 可以看出, 在流通面积较大和较小的相同区域熔体流速已基本相同, 说明机头口模出口处熔体流动速度达到了均匀分布的效果, 能够实现同步挤出。虽然已得到较优的墙板挤出机头流道模型, 但内凹侧加强筋区域的熔体流速相对外凸侧的还偏低, 上下侧面区域熔体流速有待提高, 因此, 还需要在模型 3 的基础上对模型进行参数化处理, 利用正交试验设计及优化方法找到最理想的模型, 从而完成塑木建筑墙板异型材挤出机头流道的模拟设计。



a—模型 3 速度场分布云图; b—模型 3 压力场分布云图;

c—模型 3 扩张段末端截面处熔体流速分布云图;

d—模型 3 出口截面处熔体流速分布云图

图 10 模型 3 流道的模拟结果

5 结论

(1) 借助 Polyflow 有限元数值模拟软件, 分析了塑木异型材挤出机头流道结构参数对熔体流动速度场和压力场的影响, 根据模拟结果指导新机头流道的设计, 实现了基于模拟的大型塑木异型材挤出机头流道设计;

(2) 通过模型 1 到模型 3 的开发过程可以看出, 在机颈段下游和内凹侧增加阻力元件能够较好地改善大规格机头内熔体流速分布的均匀性, 同时还可改善熔体最大流速偏心的现象, 适当缩短加强筋定型段长度还可减小该处熔体流动阻力, 从而提高了熔体在加强筋流道内的流速, 保证了熔体流出机头口模的同步性, 可实际指导机头流道结构的设计。

参考文献

- [1] Carneiro O S, Nobrega J M, Pinho F T, et al. Computer aided rheological design of extrusion dies for profiles[J]. Materials Processing Technology, 2001, 114(1) : 75 - 86.
- [2] 杨超君. 基于三维实体造型的塑料异型材挤出机头 CAD 系统[J]. 江苏理工大学学报, 1998, 19(5) : 28 - 33.
- [3] 宋满仓, 赵丹阳, 王敏杰, 等. 塑料异型材挤出模 CAD 系统研究[J]. 大连理工大学学报, 2003, 43(5) : 627 - 631.
- [4] Lebaal N, Schmidt F, Puissant S. Design and optimization of three-dimensional extrusion dies, using constraint optimization algorithm[J]. Analysis and Design, 2009, 45(5) : 333 - 340.
- [5] Chitkara N R, Celik K F. Extrusion of non-symmetric T-shaped sections, an analysis and some experiments[J]. Mechanical Sciences, 2001, 43(12) : 2961 - 2987.
- [6] 薛平, 丁筠, 贾明印. 塑木微发泡复合材料及其加工成型方法: 中国, ZL200510112726. 5[P]. 2009-02-25.
- [7] 赵峰, 薛平, 苗立荣, 等. 基于正交试验与数值模拟的塑木异型材挤出机头流道设计方法[J]. 中国塑料, 2010, 24(10) : 94 - 99.

DIE RUNNERS DESIGN OF WPC CONSTRUCTION WALLBOARD PROFILES BASED ON POLYFLOW SIMULATION

Zhao Feng, Jia Mingyin, Xue Ping, Cai Jianchen

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Sun Zhiqiang

(Beijing Heng Tong Chuang Xin LUX Wood Co. Ltd., Beijing 102401, China)

ABSTRACT A typical PVC/wood construction wallboard profiles with large width and thickness as an object of research, actual formulation, processing parameters and device structure parameters as the simulation conditions, and with Polyflow finite element simulation software, the effects of the structures such as die compression ratio, split frame and resistance unites on velocity field and pressure field of die extruding process were analyzed. Under the guidance of optimizing the uniform speed distribution to the new runner design, optimum structure parameters of die runner was obtained gradually, design of wallboard die runner based on flow field simulation was realized. It would be significant to guide the die structure design of the actual engineering WPC wallboard.

KEYWORDS numerical simulation, construction wallboard, die, runner, wood-plastic composite

首个通过 NSF 认证的矿物和玻璃纤维增强聚苯硫醚

泰科纳日前宣布, Fortron6165A6 成为首个通过 NSF(美国国家卫生基金会) 第 61 号标准认证的矿物和玻璃纤维(GF) 增强聚苯硫醚(PPS), 并获准用于与饮用水接触的应用领域。NSF 批准其用于 23 ~ 82 ℃ 的冷热饮用水。泰科纳的高流动性 Fortron PPS6165A6 分为自然色和黑色两种系

列, 可用于要求在较大温度范围内维持尺寸稳定性、耐热性和强度的饮用水应用领域。进入 NSF 第 61 号标准列表的 Fortron PPS 系列产品还包括 40% GF 增强 1140L4(标准) 和 1140L6(高流动性) PPS, 并已顺利通过 NSF 国际的测试。这两款产品可用于对强度和冲击性能要求高于矿物和 GF 增强 Fortron6165A6 的饮用水应用领域。

(工塑网)