

微孔发泡注射成型设备及技术研究进展

李从威 周南桥

王全新

(华南理工大学聚合物成型加工工程教育部重点实验室, 广州 510640) (山东北方现代化学工业有限公司, 济南 250033)

摘要 简要介绍微孔发泡注射成型技术的机理, 重点介绍微孔发泡注射成型设备的发展历程和微孔发泡注射成型技术的研究现状, 展望了微孔发泡注射成型技术的发展前景。

关键词 微孔注塑 成型设备 发泡塑料 发展历程

目前, 国内外微孔发泡塑料的成型技术主要有间歇成型、连续挤出成型和注射成型等。相对于传统的注射成型技术, 微孔发泡注射成型的主要优点为^[1-3]: ①可以减轻制品的质量, 节约材料, 可消除制品凹陷、减小尺寸收缩、降低内应力、减轻变形, 且微孔发泡塑料的冲击强度高、比刚度高、疲劳寿命长; ②可以降低注塑压力、降低锁模力、节能; ③微孔发泡塑料具有较高的热稳定性、较低的介电常数和热传导性。因此, 微孔发泡注射成型成为微孔塑料制品成型的研究热点。

1 微孔发泡注射成型机理

微孔发泡注射成型的原理是利用快速改变温度来使聚合物熔体/气体均相体系进行微孔发泡。其工艺过程为: N_2 或 CO_2 等低分子气体通过计量阀的控制以一定的流率注入机筒内的聚合物熔体中, 与聚合物熔体混合均匀, 形成聚合物熔体/气体均相体系; 之后, 聚合物熔体/气体均相体系由静态混合器进入扩散室, 通过分子扩散使体系进一步均化, 在扩散室通过加热器快速加热(例如在 1 s 内使熔体温度由 190°C 上升至 245°C), 从而使气体在聚合物熔体中的溶解度急剧下降, 过饱和气体在熔体中析出, 形成大量的微细气泡核(扩散室必须保持高压防止已形成的气泡核膨胀长大); 注射操作之前, 需向模具型腔中注入高压惰性气体, 当螺杆前移使含有大量微细气泡核的聚合物熔体注入型腔时, 由高压惰性气体提供的压力防止气泡在充模过程中膨胀; 充模过程结束后, 使型腔内压力降低, 气体膨胀; 同时, 模具的冷却作用使泡体固化定型。另外, 微孔发泡注射成型还可以利用快速降压法来引发气泡成核, 与快速升温法相比, 快速降压法比较容易控制。由于聚合物的导热系数很小, 快速升温法只适用于薄壁零件; 而且快速升温的幅度有限, 限制了其应用范围。图 1 为微孔发泡塑料注射成型系统的结构示意图^[4]。

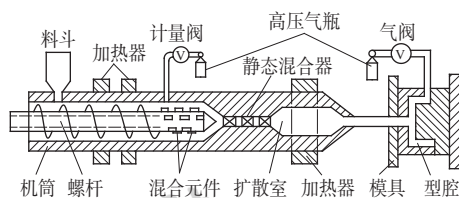


图 1 微孔发泡塑料注射成型系统的结构示意图

2 微孔发泡注射成型设备的发展

2.1 早期的微孔发泡注射成型设备

早在 20 世纪 80 年代, J. E. Martini 等^[5]就提出了微孔塑料注射成型技术并申请了专利。图 2 为他们提出的微孔注射成型设备的示意图。含有发泡剂的塑料熔体由注塑机注入型腔, 移动板控制型腔的容积, 移动板由液压系统控制。当熔体进入型腔时, 液压系统施加的压力大于熔体的临界发泡压力, 熔体不会发泡; 当熔体冷却到适合发泡的温度时, 通过液压系统对型腔内的熔体进行突然降压, 产生大量气泡, 然后冷却定型, 获得制品。

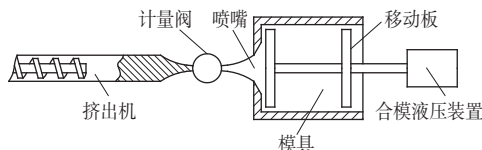


图 2 早期的微孔发泡注射成型设备示意图

采用该设备成型微孔塑料时, 发泡过程由施加于移动柱塞上的液压系统来控制。压力降速率与注射速率无关, 仅受液压系统控制, 因此该设备可以较容易地控制气泡的成核过程。该设备的缺点是只能用于简单制品的成型。

2.2 双阶螺杆微孔注塑设备

把塑化系统和注塑系统分开, 分别提供较高的分散混合能力和较高的注射速率, 就得到双阶螺杆微孔注塑设备^[6]。图 3 示出较早流行的双阶螺杆微孔注塑设备, 发泡剂被注入正在运转的挤出机中, 与聚合物熔体混合形成均相体系, 然后均相体系被输

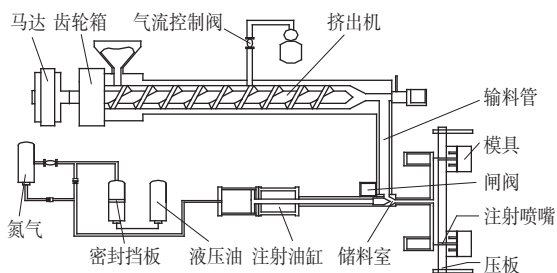
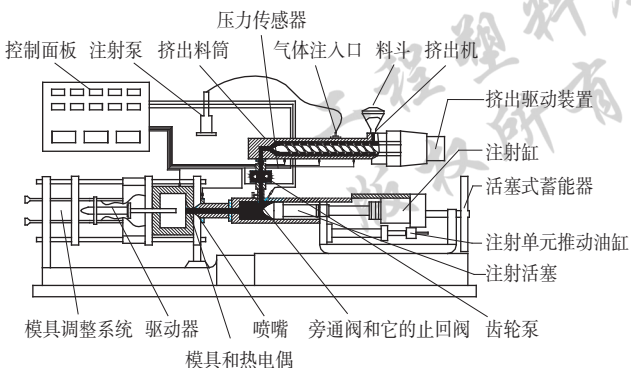
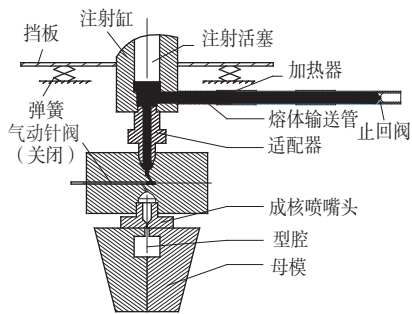


图3 双阶螺杆微孔注塑设备示意图

送到注射杆前部的储料室。注射油缸借助气体储能装置高速将熔体定量注入型腔。由于挤出机中的压力大致稳定,所以发泡剂可在恒定压力下注入。该系统的主要缺点是辅助装置较多,整体设备较复杂。Xu Xiang^[7]在塑化挤出机和注射机机筒之间增加了齿轮泵来输送熔体,使传输过程更加稳定,更好地保证了聚合物/超临界流体均相体系的稳定。而且利用带有节流阀的注射喷嘴来控制注射过程的压力降及压力降速率。该系统较易控制发泡过程,但系统仍然比较复杂。图4a、4b分别为带齿轮泵的微孔发泡注射成型设备和特殊设计的喷嘴示意图。



(a)



(b)

a—新型微孔发泡注射成型设备; b—特殊设计的喷嘴

图4 新型微孔发泡注射成型设备及特殊设计的喷嘴示意图

2.3 MuCell 微孔发泡注射成型设备

2001年美国Trexel/Woburn公司研发出一种适合于市场推广的MuCell微孔发泡注塑技术^[8]。图5为该公司研制的典型设备示意图。该装置是在普

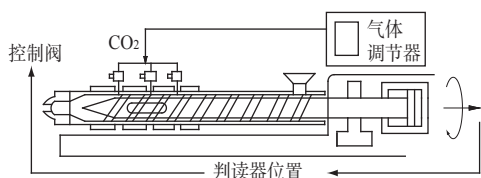


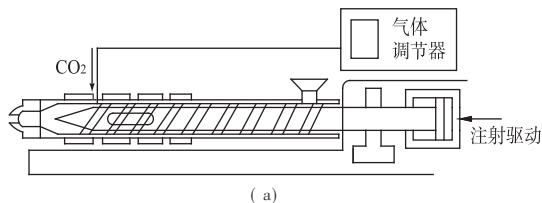
图5 MuCell微孔注射成型设备示意图

通注塑机的基础上,改进了液压系统、控制系统,增加了混炼元件,同时延长了注塑机的基座。发泡剂注入的位置随着往复式螺杆前后位置的不同而相应移动。该装置的优点是能够保证聚合物/超临界流体的混合均化;其缺点是装置相对复杂,尤其是在超临界流体注入控制方面。

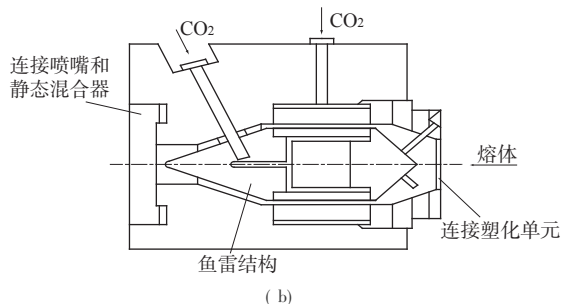
MuCell微孔发泡注塑技术的另一种实现方法是把发泡剂提前加入塑料颗粒中然后再注射成型。该方法不需要对传统注塑机做任何改变,只需增设一个加入发泡剂的高压容器,在高压容器中对聚合物颗粒进行超临界流体的预饱和处理,使聚合物颗粒中溶解有一定量的超临界流体。然后把溶解有超临界流体的聚合物颗粒放入普通注塑机中加工。该设计的不足是不能在注塑机上改变发泡剂的浓度。

2.4 IKV 微孔注射成型设备

德国Aachen大学^[9]设计了带有特殊喷嘴的IKV微孔注射成型设备,见图6。该系统的特殊喷嘴采用鱼雷体结构,在鱼雷体内部镶有多孔金属材料,超临界流体通过这些多孔金属材料被注入熔体。经过静态混合器使超临界流体和聚合物熔体在进入模具前混合并得到均相体系。该系统的优点是不需要对普通注塑机进行螺杆或机筒方面的改造,只需要改造喷嘴部分,从而降低了设计成本。



(a)



(b)

a—IKV微孔注射成型设备; b—特殊注气喷嘴

图6 IKV微孔注射成型设备示意图

2.5 ErgoCell 微孔塑料注射成型设备

ErgoCell 是由德国 Demag Ergotech 公司在 K2001 展览会上展示的一种直接将物理发泡剂注入熔体的微孔注射成型设备^[10]。这种设备在塑化装置和注射喷嘴之间安装了一个附加装置, 如图 7 所示。该附加装置包括超临界流体注入段、混合段和储料段。该设备的工作原理是聚合物熔体经过注塑机的熔融塑化, 在被注入模具前先被注入一个附加的储料装置。在进入储料装置之前, 与高压柱塞泵注入的超临界流体融合, 并经过一个混炼装置, 形成聚合物/超临界流体均相体系。聚合物/超临界流体均相体系进入储料段后, 由柱塞施加一定的压力以防止熔体提前发泡, 直至注射开始为止。使用该装置时, 超临界流体由高压柱塞泵注入, 由于柱塞的移动速度可以调节, 所以超临界流体的浓度可以得到控制, 进而控制发泡程度。

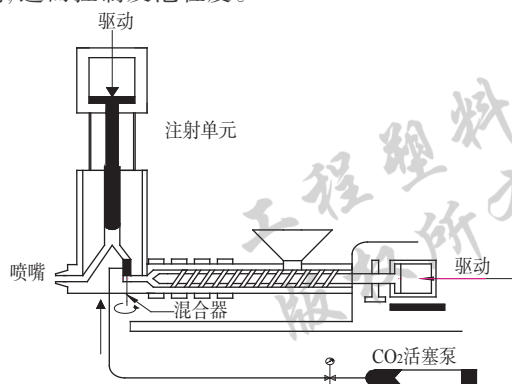


图 7 ErgoCell 微孔塑料注射成型设备示意图

这种设计的优点是发泡剂加入区段与注射计量区段是分开的, 因此聚合物可以在合适的参数(压力、温度、速度)下塑化计量, 之后在有利于溶解气体的条件下(如高压、慢速)注入储料筒。聚合物与超临界流体在进入储料筒时经过动态混合器混合并在储料筒内形成均相体系。最后在适合于发泡的温度、压力等条件下把聚合物/超临界流体注入模具。这种设计的缺点是需要增加一个特殊装置, 对设备的要求较高。

2.6 实心-微孔材料共注射成型设备

L. S. Turng 等^[11]在双色共注射成型设备的基础上, 开发了实心-微孔材料共注射成型设备, 如图 8 所示, 由两个注射装置组成整个注射系统。制品的芯部由微孔塑料构成, 表层由实心塑料构成。加工时, 先注射一定量的实心塑料, 然后注射作为制品芯部的泡沫塑料, 最后再以实心材料封口。在泡沫塑料的注射装置中注入 CO₂, CO₂ 计量和输送装置采

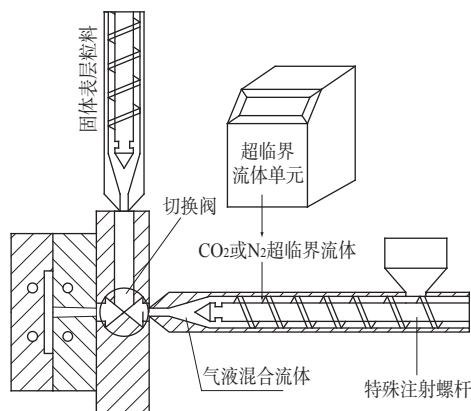


图 8 实心-微孔共注射成型设备示意图

用 Trexel 公司的超临界系统, 该设备可以有效地避免由于发泡而使表面产生的缺陷, 但该设备结构比较复杂、成本较高。

2.7 其它设备

H. Kawashima 等^[12]构建了两阶式微孔注塑装置, 利用该设备加工的微孔注塑制品泡孔形态较均匀。该设备需要在普通注塑机之外另加一个混炼挤出装置, 结构较为复杂。A. H. Behraves 等^[13]在传统注塑机上增加了注气装置、混炼元件及可以封闭的注射喷嘴。他们进行了初步的微孔注塑实验研究, 但在控制泡孔结构方面还不理想, 不过他们的构想在进一步简化微孔注塑装置及提高其普适性方面给了人们很大的启发。

3 微孔塑料注射成型技术的研究现状

微孔塑料成型技术经历了间歇式发泡到连续发泡的历程, 先后发展了连续挤出微孔发泡和微孔注塑发泡方法。现在, 国外的一些研究机构不仅仅研究某一种塑料的微孔注射成型, 而且开始研究复合材料的微孔注射成型技术。

S. S. Hwang 等^[14-16]利用 MuCell 技术注射成型(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)共聚物(ABS)微孔塑料, 发现加入超临界流体后制品的收缩率和翘曲现象明显得到了改善, 但制品的强度却有一定程度的降低。结果表明, 微孔注塑可以使材料的加工温度降低 20~30℃, 成型周期缩短 5~15 s, 制品的泡孔平均直径随着注射速率的增加而减小。另外, 他们还用玻纤质量分数为 33% 的尼龙 66/玻纤复合材料进行微孔注塑, 结果表明, 试样的拉伸强度降低了 17%, 而冲击强度则明显提高。

美国威斯康辛大学 Turng 研究组的 M. J. Yuan 等^[17]利用正交实验设计, 在 MuCell 设备上对尼龙 6 及其纳米蒙脱土复合材料进行微孔注塑和普通注塑

实验。蒙脱土含量较高的尼龙6/蒙脱土纳米复合材料有利于泡孔密度的增加和泡孔直径的减小。微孔结构对试样的拉伸强度和冲击性能均有影响;对不发泡的试样,尼龙6/蒙脱土纳米复合材料的拉伸性能随着蒙脱土含量的增加而显著提高,冲击性能则明显下降;而蒙脱土含量对微孔发泡试样拉伸性能的影响不明显,但对冲击性能的影响依然很大。

A. Kramschuster 等^[18]定量地研究了微孔注塑与普通注塑制品的翘曲和收缩。研究发现,在普通注塑中影响制品翘曲和收缩率的两个重要的加工参数是保压压力和保压时间,而在微孔注塑中影响翘曲和收缩率的两个重要的加工参数是超临界流体的含量和注射速率。在相同的加工参数设定下,微孔注塑制品的翘曲和收缩要比普通注塑制品的小。

A. K. Bledzki 等^[19-20]研究了吸热型、放热型及吸/放热型发泡剂和加工参数对木塑微孔注塑样品泡孔形态的影响。结果表明,放热型化学发泡剂更有利于改善泡孔的结构,获得更小直径的泡孔和更高的泡孔密度,熔体流动速率较高的聚丙烯(PP)更有利于得到好的泡孔结构,泡孔之间的距离分布受发泡剂类型和PP熔体流动速率的共同影响,且影响的趋势大致相同。

Moldflow 公司的 S. Han 等^[21]用数值分析的方法利用模型来模拟微孔发泡过程,泡孔内的压力和最终的泡孔分布可以通过生成的模型来预测。S. A. Edwards 等^[22]利用 MuCell 技术研究了PP和聚甲醛微孔注塑中加工参数对制品形态性能的影响,利用正交实验进行优化,发现利用优化的工艺参数成型微孔注塑制品时,可以一定程度地提高制品的力学性能和热性能。

国内研究微孔注射成型的机构相对较少。华南理工大学王建康^[23]在自行构建的微孔注塑设备上做了一些初步研究。发现由于微孔注塑制品不同部位在充模过程中承受的压力不同致使泡孔形态存在差异。中国科学院化学所和湖北大学等科研单位也在进行微孔注射成型技术的理论和实验研究。

4 结语

微孔注射成型技术在提高制品的物理性能、节约材料、缩短生产周期和提高尺寸稳定性等方面都比普通注塑有显著的优势。微孔注塑发泡复合材料成型的研究也取得了一些进展,它正成为微孔发泡注射成型领域的研究重点。为了生产出形状多样、结构复杂、表面质量优良的微孔发泡注射成型制品,

微孔注射成型设备需要进一步的发展和完善,特别是在喷嘴压力与压力降速率的精确控制方面需要做出更多的努力。我国对微孔注射成型的研究起步较晚,国内已有一些研究机构在进行微孔注射成型技术相关理论与实验研究,但工业化生产仍未见报道。相信微孔注射成型技术在我国将会有突破性进展和广阔的应用。

参考文献

- [1] Shibao M, Baldwin D F. The viscoelastic behavior of microcellular plastics with varying cell size[J]. *Polymer Engineering Sci*, 1995, 35: 1387-1388.
- [2] Tung L S, Hrishikesh K. Effect of process conditions on the weld line strength and microcellular injection molded parts[J]. *Polym Eng Sci*, 2003, 43(1): 157-158.
- [3] Aubert I H, Clough R L. Low-density microcellular polystyrene foams[J]. *Polymer*, 1985, 26: 2046-2058.
- [4] 蔡金平, 黄兴元, 柳和生. 微孔塑料成型加工的研究[J]. *塑料工业*, 2007, 35(9): 8-10.
- [5] Martini J E, Suh N P, Waldman F A. Microcellular closed cell foams and method of manufacture: US, 4473665[P]. 1984-09-25.
- [6] Institute of Plastics Processing(IKT). 21st IKT international plastics technology colloquium a commented review[J]. *Macromolecular Materials and Engineering*, 2003, 287(12): 947-952.
- [7] Xu Xiang. Design of an injection-molding system for manufacture of microcellular foams[D]. Canada: University of Toronto, 2002.
- [8] 杨桂英. 微孔泡沫注射成型[J]. *国外塑料*, 2003, 21(3): 20-21.
- [9] Michaeli W, Habibi-Naini S. Blowing agents and foaming processes [C]. Frankfurt: Rapra Technology, 2001.
- [10] 彭响方, 刘婷, 兰庆贵, 等. 微孔发泡塑料注射成型技术及其新进展[J]. *材料导报*, 2005, 19(1): 77-78.
- [11] Tung L S, Kharbas H. Development of a hybrid solid-microcellular co-injection molding process[J]. *International Polymer Processing*, 2004, 19(1): 80-81.
- [12] Kawashima H, Shimbo M. Effects of key process variables on microstructure of injection molded microcellular polystyrene foams [J]. *Cell Polymer*, 2003, 22(3): 175-190.
- [13] Behraves A H, Rajabpour M. Experimental study on filling stage of microcellular injection molding process[J]. *Cell Polymer*, 2006, 25(2): 85-97.
- [14] Hwang S S, Chen S C, Chung M H. Study on the mechanical properties of microcellular injection molded parts[C] // Society of Plastics Engineers. Annual Technical Conference, 2005(2): 343-347.
- [15] Hwang S S, Ke Z S. The dimensional stability of a microcellular injection molded gear shaft[J]. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2008, 35(3): 270-272.
- [16] Chong T H, Ha Y W, Jeong D J. Effect of dissolved gas on the viscosity of HIPS in the manufacture of microcellular plastics[J].

- Polym Eng Sci, 2003, 43(6): 1337 - 1344.
- [17] Yuan M J, Turng L S. Microstructure and mechanical properties of microcellular injection molded polyamide-6 nanocomposites [J]. Polym, 2005, 46(18): 7273 - 7292.
- [18] Kramschuster A, Cavitt R, Ermer D, et al. Quantitative study of shrinkage and warpage behavior for microcellular and conventional injection molding [J]. Polym Eng Sci, 2005, 45(10): 1408 - 1418.
- [19] Bledzki A K, Faruk O. Effect of the chemical foaming agents, injection parameters, and melt-flow index on the microstructure and mechanical properties of microcellular injection molded wood fiber/polypropylene composites [J]. J Appl Polym Sci, 2005, 97(3): 1090 - 1096.
- [20] Andrzej K B, Omar F. Injection moulded microcellular wood fibre-polypropylene composites [J]. Composites (Part A): Applied Science and Manufacturing, 2006, 37(9): 1358 - 1367.
- [21] Han S, Kennedy P. Numerical analysis of microcellular injection molding [J]. Journal of Cellular Plastics, 2003, 39(6): 475 - 485.
- [22] Edwards S A, Kennedy J, Nicholson J, et al. An investigation of microcellular injection moulding on the structure-property relationships of engineering thermoplastics used in exterior automotive applications [C] // Society of Plastics Engineers. Chicago: Annual Technical Conference Proceedings, 2004: 2537 - 2541.
- [23] 王健康. 微孔注塑试验设备构建及泡孔形态影响因素研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2007.

DEVELOPMENT OF MICROCELLULAR INJECTION MOLDING TECHNOLOGY

Li Congwei, Zhou Nanqiao

(The Key Laboratory of Polymer Processing Engineering of Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Wang Quanxin

(Shandong North Modern Chemistry Industry Co. Ltd., Jinan 250033, China)

ABSTRACT The mechanism of microcellular foam injection molding technology is presented briefly. The development process of microcellular foam injection molding equipment and present research situation of microcellular foam injection molding technology are introduced in detail. The developing prospect of microcellular foam injection molding is forecasted.

KEYWORDS microcellular injection, molding equipment, foam plastics, development process

北方最大汽车模具研发生产基地落户山东

日前, 总投资 2500 万美元、注册资本 1000 万美元的台湾联成汽车模具研发中心落户青岛开发区。该项目计划年内开工建设, 2009 年投产, 投产后预计可实现年销售收入 12 亿元。据悉, 台湾联成金属制造厂股份有限公司在开拓北方市场的战略决策中, 决定将中国台湾的汽车模具研发中心迁至青岛开发区, 建设北方最大的汽车模具、配件研发生产基地, 主要为北京奔驰、沈阳华晨宝马和上汽青岛等 5 家公司服务。

(中聚网)

超厚塑料焊接难题告破

一直困扰塑料制品企业的超厚塑料焊接技术难题, 近日有了解决方案。河北衡水中成防腐设备工程有限公司研发的程控塑料焊接新技术, 实现了超厚塑料制品的高质量一次性焊接, 可以广泛应用于聚丙烯、聚乙烯等材料。

据介绍, 该技术采用预热与螺杆挤出机一体化设计, 焊接强度高、密封效果好。特别是对宽焊缝且厚度在 30 mm 以上的塑料制品, 能一次焊接成型, 焊缝机械强度接近被焊母体。经测试, 产品各项指标完全达到德国焊接规范 DVS2209-1 技术标准要求, 可与德国 MUNSCL 公司技术相媲美, 可以满足国内石化等行业对大型防腐设备的要求。

目前, 该技术已应用于河北、山东等地的消毒剂万吨项目、聚氯乙烯配管安装、大型污水池聚氯乙烯软塑衬里防腐、有机硅项目 300 m³ 储罐以及氯碱项目 500 m³ 次氯酸钠罐等工程项目。

(中化新网)

高刚度高韧性尼龙 12 替代金属

瑞士 Ems-Grivory 公司为了使尼龙 12 能替代金属材料, 开发了 Grilamid SST 新产品。Grilamid SST 具有高的连续吸收能量的能力, 缺口冲击强度和断裂伸长率都较高。Grilamid SST 可以代替金属用于制造高刚度、特别具有高耐冲击强度的精密制件。理想的用途包括试验室设备制件、特别是医疗和牙科仪器, 因为此类用途不仅要求力学性能特别优异, 还要求耐化学药品及反复消毒。

(中聚网)

海天注塑机利润萎缩

由于美国的经济困境、上涨的石油价格和生产成本的上漲使得需求大减, 中国最大的注塑机生产商海天国际控股有限公司在 2008 年上半年的利润下跌幅度超过 8%。

海天集团在 2008 年上半年的利润从 2007 年同期的 2.87 亿元人民币下跌至 2.63 亿元人民币, 虽然销售增长约 9% 达 20.6 亿元人民币。其较小吨位机器的销售——占总销售的 60% 以上——下降 2.1%, 而其部分大吨位机器市场如汽车和电器的需求则有所增长, 这些市场受经济衰退的影响较小。海天节能机型 Mars 系列的销售增长十分强劲, 增幅达到 85%, 现已占到海天总销售的近 25%。

海天称今年上半年约售出了 9000 台注塑机, 低于 2007 年同期的约 1 万台。但其销售均价已抬高至 22.4 万元人民币, 涨价幅度 21%。其它中国塑机生产商近日公布的结果也不如上年, 包括总部设于香港的震雄集团有限公司和力劲科技集团有限公司。

(工程塑料网)