

材料

发挥铝材的优越性

铝制模具最近开始应用于汽车零件以及家电大型塑料件的大批量生产，该材料所具有的一些独特优点包括：导热性高、可加工性好、重量轻且可回收率极高。

文 | Yong Seung Shin, 三星电子公司

Leighton Cooper 和 Jinsoo Kim, Alcoa 技术中心

Ron Smierciak, Alcoa Forgings & Extrusions 公司市场营销经理

在原型生产和吹塑成型应用领域，铝材一直被用作模具材料。经过在美国本田公司三年的研究以后，铝制模具最近开始应用于汽车零件以及家电大型塑料件（例如洗衣机桶）的大批量生产（图1）。该材料所具有的一些独特优点包括：导热性高、可加工性好、重量轻且可回收率极高。

铝合金模具的导热率（~160 W/mK）要比模具钢的导热率（~40 W/mK）高四倍，从而大幅缩短了注塑成型过程中的冷却时间，最大程度地减少了导致零件变形和外表面变质的局部热点。这也为较简单的冷却液通道设计提供了帮助。铝制模具还易于更快速地加工和迅速地抛光。由于铝材的密度只相当于钢材的 1/3，因此便于模具的搬运和安装，这是使用铝材的另一个优点。

另一方面，与铝模具合金相比，模具钢的硬度更硬，操作温度更高，因此模具钢的这些优点有利于提高产品的质量，使其具有精致的表面纹理，尤其是在使



图1 由高强度铝合金制成的洗衣机筒成型模具

用高熔点树脂材料成型时。

改善注塑成型性能

在注塑成型过程中，模压成型零件的生产率主要取决于周期时间，也就是说取决于聚合物熔体在模具型腔中成型和冷却所需的时间。在注塑成型过程中，为

了防止热量积聚，冷却液应始终不断地在模具内循环。同时，为了确保较高的注塑成型压力，模具的材料应具有很高的机械强度和耐腐蚀特性。

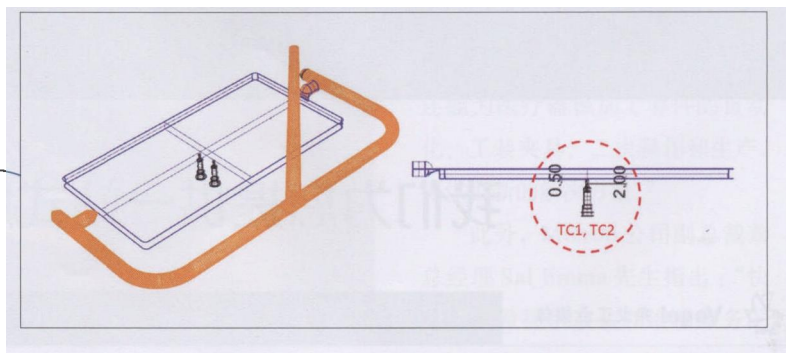
按照注塑成型后的热量吸收速度和产品变形程度，我们对一种高强度的铝模具合金 5 与一种 P-20 模具钢进行了比较分析。这两种不同的模具材料被用来生产由聚碳酸酯树脂制成的矩形塑胶板（120mm×60mm×4mm）（图2）。

两个热电偶被嵌入到模具的内部，它们离模具表面的距离分别为 0.5mm 和 2.0mm。在注塑成型期间，其温度历史被记录下来，并通过一种逆向导热问题分析法（Heat Conduction Problem, 简称“IHCP”），将这一数据应用于界面间的热通量计算。

图3所示为两种模具在8个注塑成型周期上的热循环历史记录。这两项试验的注塑成型周期时间固定为30s，模具内部循环的冷却液温度固定为100℃，聚碳酸酯的熔融温度约为290℃。

高强度铝合金的最高模具温度约为105℃，振幅8℃，而P-20模具钢的最高模具温度约为119℃，振幅14℃。较低的振幅温度表明其热疲劳强度较低，在注塑成型期间，该模具将经受这种热疲劳的过程。这也意味着高强度铝制模具内部的温度分布更为均匀，而P-20钢制模具内部的温度变化非常激烈。

图2 塑料模压件和热电偶位置示意图



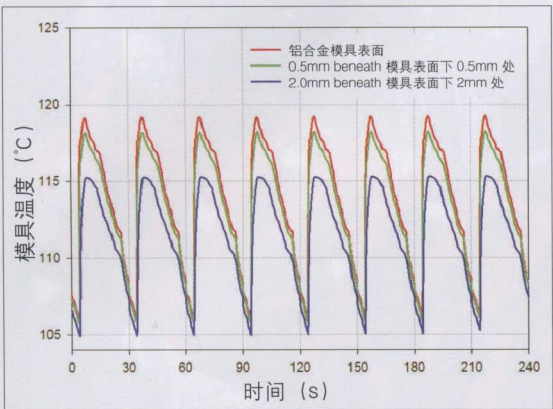
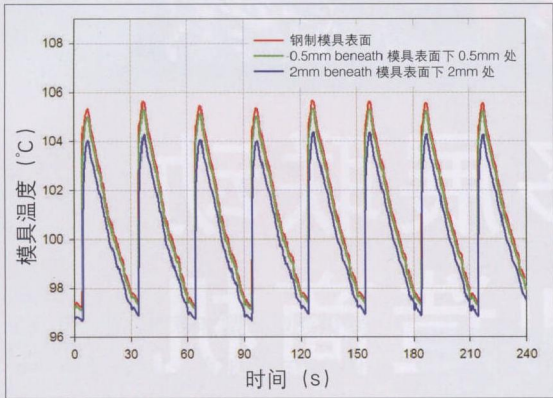


图3 模具温度的热循环

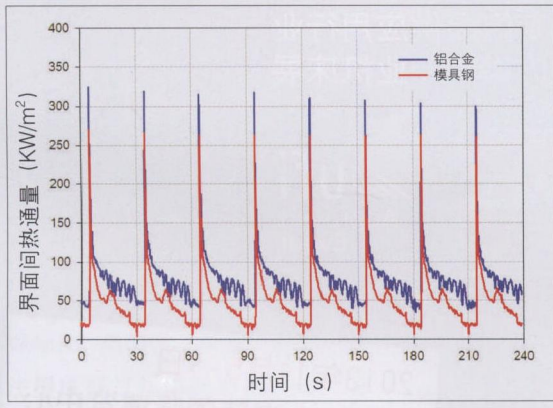


图4 界面间的热通量

从理论上来说，当两个热的物体（聚合物熔体和一套正在冷却的模具）在不同的温度下，以完美的方式相互接触时，意味着其热阻为零，在两者接触的一瞬间，其界面间的热通量是无限的。然而在实践中，界面处存在着许多难以量化的热阻，例如滞留的空气、界面壳体固化收缩时所产生的间隙、模具的热膨胀、意想不到的化学反应以及热电偶响应的不确定性等。

结合热能从固化的聚合物熔

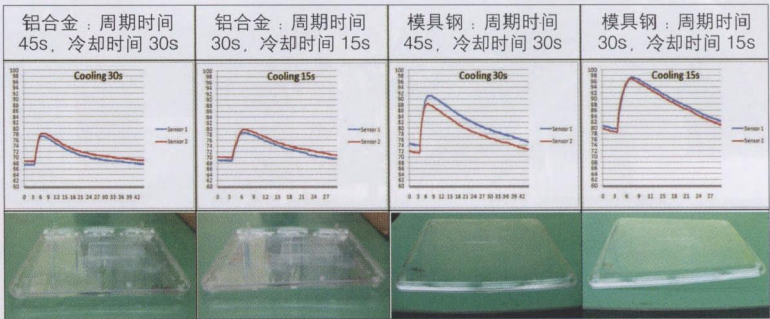


图5 周期时间的减少对笔记本电脑盖板翘曲度特性的影响

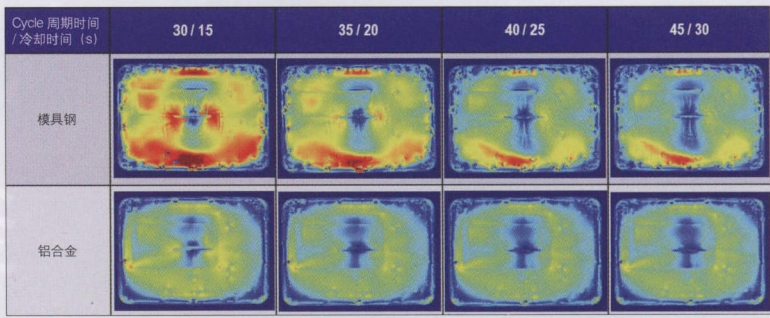


图6 从两种模具上测量所得的残余内应力双折射相位差

体向冷却模具的转换，这些热阻将会大大降低界面间热通量的数值。从图4可以看到从两种模具所获得的界面间热通量分布状况。

正如图中所看到的，在熔体和模具接触的瞬间可以观察到热通量的峰值，接着迅速衰减。该热通量表明，热能的转换将会影响到固化聚合物的结构，甚至影响模压件表面的质量。铝材的热通量高于钢材，这说明该模具吸收的热量较高，聚合物熔体的固化较快，这意味着注塑操作过程中的时间缩短。

这些热通量分布图中的时间积分计算，即热通量分布图曲线下的区域，揭示了高强度铝制模具所吸取的热能比P-20钢制模具高1.6倍。

为了以不同的模压成型条件来探讨产品的变形状况，我们采用了同样的高强铝模具合金和P-20模具钢，使用透明的聚碳酸酯材料，生产笔记本电脑盖板，为此，加工了两套相同的笔记本

模具。通过改变注塑成型周期与降低冷却时间，观察到冷却不足将会导致零件翘曲变形（图5）。

采用WPA-100型分析仪，通过双折射测量，也可对残余内应力的分布进行量化处理。图6中的双折射相位差变化幅度表明，注塑成型过程中冷却时间的减少将会增加残余内应力的强度，这将导致其在P-20钢制模具中产生更大的翘曲度。

应当指出的是：铝制模具应该在低于300℃的模具温度下操作，并且当产品的体积更大和形状更为复杂时，将能进一步突出其降低周期时间的优越性。

虽然这个实验证明了高强度铝模具合金在减少周期时间与降低产品变形方面具有很大的优越性，但其实际使用仍取决于不同的应用领域。因此，必须鼓励模具制造商与经验丰富的模具材料供应商合作，以确定哪些模具材料具有优化性能，可以最大程度地为他们节约生产成本。[1][2]