

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.06.011

PA6 冷压变形行为研究

牛克忠¹, 曹宏深², 陈金周², 韩榜³, 程培元⁴

(1. 广东工贸职业技术学院, 广州 510510; 2. 郑州大学, 郑州 450001; 3. 郑州精益达汽车零部件有限公司, 郑州 450001;
4. 武汉理工大学, 武汉 430070)

摘要:采用镦粗变形对结晶型聚合物尼龙(PA)6进行3种变形速度和4种变形程度的冷压镦粗变形实验,实验结果表明,镦粗变形的几何变形模式及其极限伸长率的几何性质与单向拉伸完全不同,但PA6的屈服应力随变形速度增大而提高的现象与许多材料单向拉伸屈服现象相似。与此同时,冷压镦粗PA6的延性大变形属于“类塑性”,其性质和数值与聚合物及其“相-态”结构和变形回弹相关。虽然PA6冷压镦粗后的回弹率很大,但回弹随变形速度提高而减小,因此为了研发聚合物锻造技术,需要提高变形速度或采用加热措施及改用闭式锻造变形模式。

关键词: 尼龙6; 冷压变形; 镦粗; 变形回弹; 类塑性

中图分类号: TQ320.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2012)06-0043-06

Study on Deformation Behavior of PA6 Under Cold Compression

Niu Kezhong¹, Cao Hongshen², Chen Jinzhou², Han Bang³, Cheng Peiyuan⁴

(1. Guangdong College of Industry and Commerce, Guangzhou 510510, China; 2. Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China;
3. Zhengzhou Jingyida Autoparts Co. Ltd., Zhengzhou 450000, China; 4. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Cold compression experiments for crystalline polyamide (PA) 6 were done with upsetting deformation by using three kinds of deformation rates and four kinds of deformation degree. The results showed that geometric deformation pattern and the geometric characters of limit elongation ratio of upsetting were different from tensile test, but it was similar with yielding behavior of many materials that the yielding stress would become higher with increase of deformation rate. And the large ductile deformation of upsetting PA6 was of “plasticity-like behavior” whose characters and value were related to deformation recovery, polymer and its “phase structure-condensed state”. Although the deformation recovery of PA6 was very large after cold upsetting, but it decreased with increase of deformation rate. Therefore in order to develop forging technique for polymer it was necessary to increase deformation rate, or apply hot compression, and change open forging to close forging.

Keywords: polyamide 6; cold compression; upsetting; deformation recovery; plasticity-like behavior

聚合物固态成形是类比金属压力加工发展起来的一种特种制造技术^[1],其中的锻造技术方法可以用来加工生产粘流注射成型无法应对的高粘度聚合物,或很难注射成型的大壁厚、大尺寸实心截面的环、盘、轴、杆、块状聚合物类机械产品零件。但因聚合物大分子长链及其无规线团缠绕等结构性原因,锻后大分子松弛将会使变形发生回弹,因此能否将其用于实际生产,关键在于锻后的聚合物能否以较小的回弹量保持其几何稳定性亦即聚合物锻后的定形性优劣。笔者针对用途极其广泛的尼龙(PA)6进行固态冷压镦粗变形实验,以探讨这种聚合物最基本的固态锻造成形性能。

1 实验部分

1.1 原材料

PA6棒材:采用市购挤压成型的PA6棒材进

行冷压变形实验,图1是采用直径12 mm、标距50 mm圆棒试样对其进行拉伸试验后获取的应力应变曲线。图2是对其进行差示扫描量热(DSC)检测后获取的谱峰曲线(DSC曲线),谱峰显示其玻璃化转变温度(T_g)=58℃,熔点 T_m =221℃,X射线衍射检测结晶度为38.4%,已经接近诸多文献所约定的半结晶。聚合物结晶度(大于40%),但DSC曲线显示出 T_g 转变峰,说明其结晶度不高,晶构可能在体系中呈分散相,而不是能够贯穿整个材料体系的连续相。

1.2 主要设备及仪器

电子万能试验机:WSM-100kN型,长春智能试

联系人:牛克忠,副教授,主要从事材料成型及加工方法的研究工作

收稿日期:2012-03-12

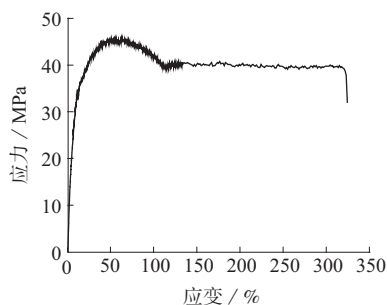


图1 PA6的单向拉伸应力-应变曲线

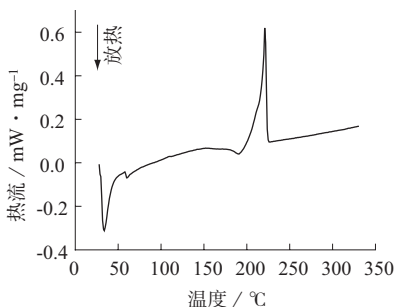


图2 PA6的DSC曲线(加热速度 10 °C/min)

验机研究所;

X射线衍射仪: X'Pert PRO 型, 荷兰帕纳科公司;

DSC 仪: Netzsch DSC204 型, 德国 Netzsch 公司。

1.3 PA6 固态冷压变形实验的技术物理性质

从加工制造技术的通俗性和一般性概念来讲, 金属加工方法及其力学变形的“冷”、“热”性质, 主要用常温条件及是否采用加热措施进行区分。但因聚合物材料的“相(结构)-(凝聚)态”较金属复杂, 故其“冷”、“热”变形的物理性质在热力学上具有不同定义, 因此聚合物加工方法的“冷”、“热”技术性质与聚合物变形的“冷”、“热”物理性质不一定相互对应。

聚合物的“冷”、“热”变形划分以聚合物热力学性质为依据, 将高于聚合物粘流温度(T_f)或 T_m 的液态粘流成型技术称为“热加工”, 而对非结晶聚合物在 T_g 以下、结晶聚合物在 T_m 以下的变形称为“冷变形”^[2-4], 但是这种定义并不十分严格。一是当非结晶聚合物或结晶聚合物中的非晶相 T_g 低于常温(如聚丙烯^[5], PA6 不存在这种现象)时, 人们从习惯上不容易接受无定形大分子在常温以下的“热变形”概念。二是当结晶聚合物的 $T_f < T_m$, 并将聚合物置于其非晶相 $T_g \sim T_f$ 温度之间进行固态或半固态加工成形时, 可能需要加热, 习惯上也不容易接受加热条件下晶构组织的“冷变形”概念。

鉴于这种情况, 文献^[5]为了在结晶聚合物较为复杂的“相-态”情况下, 从技术和物理两个方面比较明确地区分其加工方法与力学变形之间的“冷”、“热”性质差异, 约定常温温度范围为 $-15 \sim 40^\circ\text{C}$, 并将制造技术中“冷”、“热”加工概念仅针对与金属结构类似的大分子晶构组织, 将热力学定义的“冷”、“热”变形概念仅针对结晶聚合物的非晶相, 于是定义结晶型聚合物聚丙烯在常温下锻粗实验的技术物理性质为“冷加工热变形”。笔者因循这种思想用图3表述了PA6在常温下进行冷压锻粗实验的“冷加工冷变形”之技术物理性质。图中的 T_β 是非结晶聚合物或结晶聚合物非晶相在 T_g 以下的次级转变温度, 具有 T_β 转变且温度高于其数值时, 意味着它们可发生延性大变形。

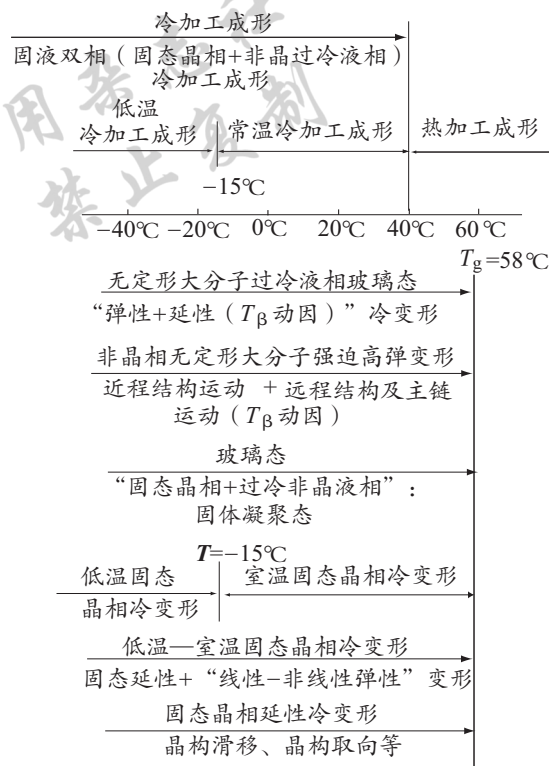


图3 半结晶PA6“冷加工-冷变形”的技术物理性质

1.4 PA6 固态冷变形模式、变形程度及实验方案

(1) 冷压变形模式

在锻造技术中, 锻粗是最基本的变形工序, 具有变形分区的复杂应力应变, 如图4所示。笔者拟在实验室条件下采用材料试验机对PA6进行冷压锻粗变形实验, 但试验机工作速度与锻锤和压力机锻造的锻粗变形速度相差很大数量级, 因而只能将此实验视为一种以低速“压缩”材料实验, 类比实际锻造“锻粗”工艺的冷压固态变形。

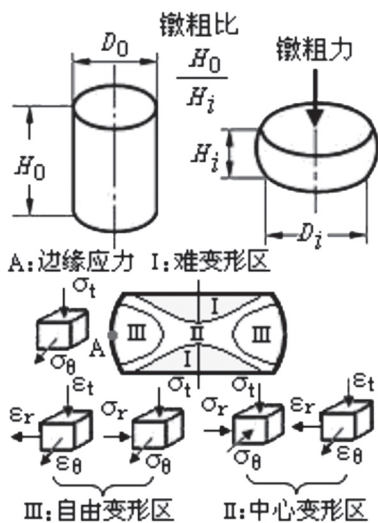


图4 “镦粗”变形模式

(2) 冷压变形程度

压缩(镦粗)试验经验及笔者对试验材料所做预试验均已表明, PA6在其变形过程中将会出现如图5所示的三类变形失效形式。其中,开裂由变形程度过大引起,弯曲类似材料力学的“压杆失稳”,是试样高径比(长径比)过大的原因,而扭曲则包含高径比和试样上下平面的平行度等几何因素的影响。此外,试样中心能否与试验机的压力中心一致也有影响。针对三类失稳形式,预试验采用直径20 mm、高度24 mm试样,既可以保证试样达到较大的变形程度不开裂,又可以保证试样不因高径比过大而发生弯曲或扭曲。若将试验前后的试样高度比值 ξ 作为“压缩比(镦粗比)”表示变形程度,即:

$$\xi = H_0 / H_i \quad (1)$$

式中: H_0 ——试样压缩前高度;

H_i ——试样压缩后高度。

则在上述试样尺寸条件下,冷压PA6的临界极限变形程度 ξ 可达3.0。

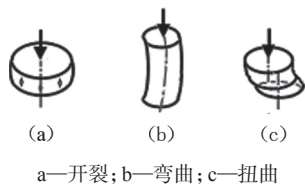


图5 冷压(镦粗)变形失效形式

(3) 冷压变形试验方案

根据试验机条件及预试验情况,制订冷压试验方案:试样直径20 mm、高度24 mm;变形程度(加载压缩比)1.2,1.5,2.0,3.0;变形速度(试验机压头位移速度)2,20,50 mm/min。每次试验达到预定变形程度时保压5 min;图6是实施这种方案获取

的PA6冷压试样。

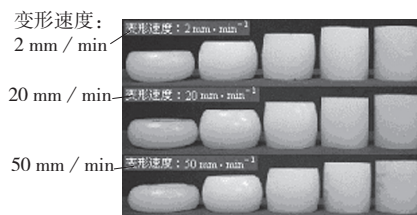
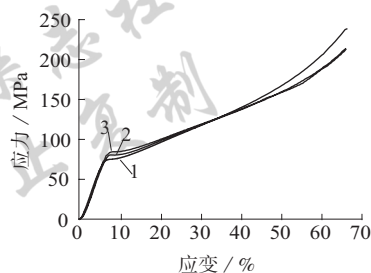


图6 不同变形速度下的PA6冷压变形试样

2 结果与讨论

2.1 试验结果

图7是采用加载压缩比3.0,变形速度分别为2, 20, 50 mm/min时试验机自动绘制的冷压应力应变曲线(其它变形程度和变形速度下的曲线形状与之相似),各种变形程度和变形速度下的冷压变形力学数据如表1所示。



变形速度: 1—2 mm/min; 2—20 mm/min;
3—50 mm/min

图7 PA6冷压应力-应变曲线(加载压缩比3.0)

试样保压卸载后即刻出现回弹,显著的回弹现象发生在卸载后的10 min内,表2示出卸载后10 min时测量的试样“准即时”回弹数值,图8是试样自然时效过程中回弹与时间的关系。

2.2 应力应变曲线特点

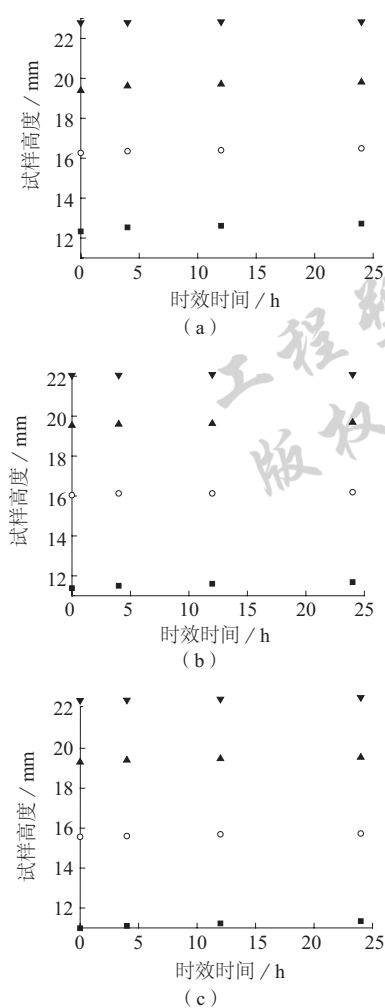
对比图7和图1可知,冷压镦粗和单向拉伸的应力应变曲线不同。单向拉伸时PA6经过普弹变形和屈服之后发生颈缩(或称细颈),应力水平较屈服应力下降,且应变在先后产生的颈缩部位顺序发生,应力数值基本保持不变,这种现象与力学研究中的Swift分散性失稳理论相似^[6],即材料即将进入变形失稳时的应变,总是通过交替转移方式集中发生在变形抗力最小的颈缩部位。基于这种相似性,笔者将聚合物单向拉伸时最早发生应变集中的颈缩部位称为“一次颈缩”,而后随着应变转移而发生的颈缩称为“二次颈缩”、“三次颈缩”、……,依次可类推出“高次颈缩”,或将二次及二次以后的颈缩统称为高次颈缩,故亦可将聚合物单向拉伸变形视为一种宏观的“分散性颈缩”过程(Swift分散性颈缩

表1 PA6 冷压镦粗力学性能

项 目	加载压缩比											
	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2
加载速度 / $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	2	20	50	2	20	50	2	20	50	2	20	50
压缩弹性模量 / MPa	340.30	252.60	256.40	473.90	348.50	114.50	417.90	378.60	174.50	406.40	55.00	93.80
屈服应力 / MPa	75.10	82.42	84.45	74.72	81.50	85.55	73.58	81.48	85.15	74.72	79.73	82.48
最大负荷 / kN	84.65	75.52	75.40	59.20	55.32	55.60	43.05	43.52	45.40	31.62	32.72	32.67

表2 卸载后的 PA6 回弹数据

项 目	加载速度 / $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$											
	2	2	2	2	20	20	20	20	50	50	50	50
加载压缩比	3.0	2.0	1.5	1.2	3.0	2.0	1.5	1.2	3.0	2.0	1.5	1.2
加载压缩高度 / mm	8.05	12.05	15.85	20.02	7.94	12.34	15.91	19.48	8.08	12.12	15.85	19.97
卸载后 10 min 时高度 / mm	12.33	16.26	19.39	22.57	11.38	15.62	19.37	21.91	10.98	15.29	19.04	22.15
回弹率 / %	53.17	34.94	22.33	12.74	43.32	26.58	21.75	12.47	35.89	26.16	20.13	10.92



加载压缩比: ■—3.0; ○—2.0; ▲—1.5; ▼—1.2

变形速度: a—2 mm/min; b—20 mm/min; c—50 mm/min

图8 PA6 冷压试样卸载后的时效回弹

宏观不可见),大变形拉伸试验测定的断裂伸长率(总伸长率)由这些宏观分散性颈缩转移的变形效果积累而成。冷压镦粗的几何变形与单向拉伸不同。拉伸的主变形方向与拉伸载荷一致,既不受试样自

身几何形状约束,又没有空间对整体形状伸长的限制。镦粗时的大尺度延性伸长变形发生在试样周向(图4),不仅与承载受力方向不一致,同时还受试样圆周几何约束不可能发生宏观“分散性”颈缩,因而最大拉应力发生在试样圆周方向的腰鼓部位,且最大拉应力不能像单向拉伸时随着高次“分散性”颈缩出现而转移。因此PA6的冷压镦粗应力应变曲线具有非常显著的应变强化趋势,至试样圆周发生局部开裂都未出现应力下降的现象,如图7所示。

很显然,冷压镦粗PA6发生局部开裂的几何性质,与对其进行单向拉伸发生断裂的几何性质完全不同。镦粗开裂时试样腰鼓部位所能达到的极限伸长变形,属于PA6的局部极限伸长率,是PA6大分子连续变形的结果,也是大分子链结构抵抗断裂的极限应变。而拉伸断裂是试样不同部位大分子的间断变形后逐渐积累的变形结果,属于PA6在一定变形范围内的几何总伸长率,不能代表PA6大分子链结构的延性变形能力。因此镦粗应力应变曲线的延性长度远远不及拉伸试验,例如图1和图7示出两种伸长率的显著差异。这种差异对于聚合物类机械零件非常重要,原因在于聚合物的宏观“分散性”颈缩对于生产聚合物薄膜、纤维和单丝等自增强高模量制品有益,但聚合物类机械零件应用及聚合物固态成形过程中不允许也不可能出现这种现象。因此为了保证聚合物机械零件承载的可靠性,今后还需考虑和研究如何采用压缩试验方法测定聚合物发生一次颈缩时的真实强度和极限伸长率。

2.3 冷压镦粗变形的屈服现象

由图7可知,冷压镦粗PA6经由普弹变形进入延性大变形时出现明显的屈服拐点,且屈服应力随变形速度提高而增大(表1),这与笔者冷压镦粗PP

和聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)的情况^[5-6],以及与其它许多材料的拉伸试验屈服应力性质相像。除此之外,分析表1还可看出,变形程度对于屈服应力影响很小,这与冷压镦粗PP和PMMA的情况也相似。但表1所示压缩弹性模量在试验过程中具有很大变化,目前还无法解释这种现象,经笔者对全部试验曲线分析后初步认为,这可能是由试验机检测计算机软件功能不完善所致,对此还需要试验机生产商审查其软件予以认定后,重新实验研究压缩弹性模量的变化问题。

冷压镦粗PA6出现非常显著应变强化现象,这与冷压镦粗PP没有明显应变硬化及冷压镦粗PMMA出现一定程度的应变软化现象不同,这似乎与聚合物的大分子结构、大分子的柔顺性以及大分子的热力学性质相关。PA6与PP冷压镦粗过程中非晶相分别呈现强迫高弹变形与类橡胶高弹变形,很有可能就会影响到两者的应变强化现象,但对此需要进行更加深入的结构研究才能获得结论。

2.4 冷压镦粗变形回弹及定形性

(1) PA6冷压镦粗卸载后保留下来的“残余变形”,不是永久性质的塑性变形,而是一种被室温条件“冻结”在聚合物几何表象上的“类塑性”表现,它们具有被温度“解冻”或被时效松弛,以及解冻或松弛后即有可能消失的热力学性质。例如笔者将冷压镦粗后的PA6试样置于接近其熔点温度的烘箱中强制时效30 min,试样相对时效前的高度可获得接近54%的回弹率。

(2) 聚合物能够保证其“类塑性”变形效果稳定不变,亦即保证其获得成形形状和尺寸及精度的能力称为聚合物固态成形的“定形性”。聚合物锻造成形技术,能否具有实用价值,关键在于其定形性优劣。定形性的优劣主要表现为聚合物固态成形后的回弹机理、回弹大小及控制回弹的难易程度。

(3) 试样保压卸载后即刻出现显著的回弹并持续10 min左右才会逐渐停止,然后在观测的24 h内基本稳定不变或变化很小(图8),最大和最小回弹率(相对回弹量)为53.17%和10.92%(见表2),分别发生在加载压缩比3.0、变形速度2 mm/min以及加载压缩比1.2、变形速度50 mm/min情况下。

(4) 分析表2可知,冷压变形回弹率随变形程度增大而提高,这种现象既说明PA6大分子的延性大变形是一种难以稳定的能量状态,也意味变形程

度越大峰值越高,线性和非线性弹性应变松弛引发的回弹量越大。但当弹性应变松弛到一定程度之后,常温温度将会把大分子的变形回复过程“冻结”起来,使得PA6具有保留一定程度残余变形即“类塑性”变形的能力。但从表2数据又可明显看到,PA6冷压变形回弹量均达毫米级,由此意味着对PA6采用冷压变形很难控制其固态成形后的形状和尺寸精度,即PA6冷固态成形的定形性很差。若要改善其定形性,一方面需要改变其变形模式(如把镦粗变形所属的开式锻造工艺改换为闭式锻造工艺),另一方面还要从提高变形温度、赋予聚合物大分子更多的解缠伸直变形能量入手,并同时引发大分子之间自由体积获得膨胀,然后以“热压变形”活化固态聚合物大分子远程结构运动动能来降低固态成形回弹和改善其定形性。

(5) 无论变形程度如何,当其数值确定时,除个别数据,PA6的回弹率基本上随变形速度提高而减小(表2),出现这种现象可能有3种原因。一是变形速度提高了屈服应力,应力增大降低了大分子整链运动位垒,并缩短了应力作用与应变效果之间的平衡松弛时间^[4];二是变形速度达到一定程度时,将使聚合物的小结构单元来不及振动或近程扩散,便直接进入远程链段运动甚至推动局部大分子链间相互滑移或“蛇行”运动^[8];三是非晶相在较快的变形速度作用下直接进入远程链段运动的同时,镦粗压力(或变形区各点的应力球量)还快速压缩了大分子之间的自由体积,使得这个相区或该相区局部的无定形大分子被力能快速折叠产生了一种“假规整趋势”或“假结晶趋势”。基于此可以认为,笔者囿于材料试验机变形速度限制所进行的冷压变形实验,是一种缺乏高速锻造冲击能量作用的低速“类镦粗”工艺,若能类比金属高速锻造,对聚合物进行高速固态成形,则很有可能使高速的锻造冲击能量在聚合物中产生瞬时高压及压力等效温度效应,促使聚合物固态变形通过高压热效应提高大分子运动动能,并增大“假结晶趋势”,从而以高速锻造技术减小聚合物固态成形后的回弹,改善聚合物固态成形的定形性。

(6) 比较笔者研究与文献^[7],对PMMA($T_g=112.5^\circ\text{C}$, $T_f=160^\circ\text{C}$)进行冷压镦粗,属于对单相无定形大分子玻璃态进行热力学“冷”状态的“强迫高弹变形”,卸载后由于体系内本构粘性阻尼,部分或大部分变形构象将会因室温对其运动动能的冻结呈

现出一种“温度冻结型类塑性”。这种“类塑性”在热力学上属于不稳定的亚稳态,一旦变形后升温、尤其进入大分子“热”状态(温度高于 T_g)后,热能激活的大分子运动动能将会把这种亚稳态重新松弛为原始的未变形状态。再由图3可知,对PA6冷压镦粗,与文献^[5]对PP冷压镦粗相似,即两者都处于无加热措施的“冷”加工技术状态下,均由无定形大分子与规整晶构共同组成的双相混合变形,但它们非晶相的热力学变形性质不同。PA6非晶相无定形大分子属于温度低于 T_g 的热力学“冷”变形,亦即强迫高弹变形,其变形效果及“类塑性”的稳定性与卸载后的环境温度相关,或可将其“类塑性”视为“温度冻结型”。而PP在常温下呈“双相皮革态”,非晶相无定形大分子为温度高于 T_g 的热力学“热”变形,亦即类橡胶高弹变形,其变形效果及“类塑性”的稳定性,除与卸载环境温度有关外,还受卸载后的自然时效影响。对此差异,笔者仅仅观察了24 h内的变形时效情况,时间过短,今后还有待专门深入研究探寻两种不同的混合型变形模式及其“类塑性”的差异。

3 结论

(1)包括PA6在内的聚合物,镦粗变形条件下的几何变形模式及其极限伸长率的几何性质与单向拉伸完全不同,但屈服应力随变形速度增大而提高的现象,与许多材料单向拉伸屈服应力性质相似。

(2)PA6在冷压镦粗过程中发生的延性大变形不完全属于真“塑性”性质,是一种可以被温度松弛而回复的“类塑性”表现。类塑性的性质与聚合物的“相-态”结构密切相关,其数值和稳定性是保证聚合物锻造定形性的重要因素。

(3)聚合物的定形性优劣取决于变形回弹及其

稳定性。PA6经开式锻造性质的冷压镦粗后回弹率很大,定形性差,需进一步研究其在热压镦粗或改用闭式锻造成形时的变形行为和回弹问题。

(4)PA6冷压镦粗后的变形回弹随变形速度增大而减小,显示高速锻造技术有可能改善其定形性,并使聚合物锻造技术具有实用价值。

(5)结晶型与非结晶型聚合物固态成形或锻造成形,具有双相和单相变形差异。结晶型聚合物非晶相大分子的热力学变形性质会导致其产生两种不同的“类塑性”性质,一种为低于 T_g 的热力学“冷”变形,属于“温度冻结型类塑性”,一种为高于 T_g 的热力学“热”变形,其“类塑性”除受温度冻结影响外,还可能与变形卸载后的自然时效相关。

参考文献

- [1] 黄锐. 塑料工业手册——塑料热成型和二次加工[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] Wissbrun K F. Force requirements in forging of crystalline polymers [J]. Polymer Engineering and Science, 1971, 11 (1): 28-34.
- [3] Kulkarni K M. Review of forging, stamping, and other solid-phase forming processes [J]. Polymer Engineering and Science, 1979, 19 (7): 474-481.
- [4] 何曼君, 张红东, 陈维孝, 等. 高分子物理[M]. 3版. 上海: 复旦大学出版社, 2006.
- [5] 曹宏深, 韩榜, 陈金周, 等. 聚丙烯(PP)冷压变形行为研究[J]. 中国制造业信息化, 2011, 40 (21): 64-68, 70.
- [6] Swift H W. Plastic instability under plane stress [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 1952 (1): 1-18.
- [7] 韩榜, 曹宏深, 陈金周, 等. PMMA的冷压变形行为[J]. 锻压技术, 2010, 35 (5): 132-136.
- [8] 钱人元, 于燕生. 高聚物从高弹态到流体态的转变[J]. 化学通报, 2008 (3): 164-171.

巴斯夫首款水辅注射成型汽车部件问世

巴斯夫和德国 PM Efluidtec 股份有限公司联合浙江世纪华通汽车零部件有限公司, 共同在我国推广水辅注塑成型技术(WIT), 促进中空塑料零件制造业的发展。

华通公司采用了巴斯夫专为水辅注塑成型技术开发玻纤增强聚酰胺 66——Ultramid® WIT 解决方案, 实现了良好的表面质量和耐化学性能。最近华通获得了上海大众(SVW)汽车公司和上海汽车工业集团(SAIC)发动机冷却液管项目。

WIT 技术通过注塑的方法实现复杂的热塑性中空部件的高效生产。它是原有气辅注塑成型技术(GIT)的改进和提升。此前, 气辅注塑成型技术作为一种流体辅助注塑成型

技术, 已被广泛应用于汽车市场。而 WIT 最显著的优势是部件内部可以被直接冷却。水的导热系数是气体的 40 倍, 热容量是气体的 4 倍。

水辅注塑成型技术去除了部件内部的实体材料, 减少了部件质量, 减少了外部凹痕和翘曲, 降低了锁模力, 带来更高的设计自由度。

在管类零部件方面, WIT 带来了更好的内部表面质量和自然流体动力学优化横断面。在研发汽车冷却系统管类零部件方面, 这些特征尤为重要。

自 2005 年起巴斯夫致力于在 WIT 技术上开展广泛的研究, 以更精确地剖析这一工艺, 并有针对性地完善和优化塑料材料。至今, 巴斯夫的产品种类已包含几项适合 WIT 技术的特种产品。

(PUWORLD)