

doi : 10.3969/j.issn.1001-3539.2012.12.014

尼龙6热压变形行为研究

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 450052; 3. 郑州精益达汽车零部件有限公司, 郑州 450000; 4. 武汉理工大学, 武汉 430070)

摘要: 根据传统制造技术观念, 分析结晶型 PA6 在 $T_g \sim T_m$ (T_f) 温度区间变形“相(结构)–(凝聚)态”的意义, 使用黄金分割法在其 $T_g \sim T_m$ (T_f) 温度区间划分低温和高温双相热固态变形温度区域, 同时设计 3 种热压实验温度。沿用冷压变形研究的镦粗变形模式和试样对 PA6 进行 4 种变形速度和 3 种变形程度的热压变形实验。结果表明, 提高 PA6 热压变形温度和变形速度可以缩减其变形后的回弹效果, 且提高变形速度比提高变形温度的作用显著, 从而改善热压 PA6 变形后的定形性, 并有可能使 PA6 高速热镦技术实现实用目标。

关键词: PA6; 热压变形; 镦粗; 变形回弹

中图分类号: TQ320.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2012)12-0059-06

Study on Deformation Behavior of PA6 under Hot 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: Based on traditional manufacturing concept, the significance of ‘phase structure-condensed’ state about crystalline PA6 deforming in $T_g \sim T_m$ (T_f) temperature range was discussed. To this polymer, low and high temperature zones for hot deforming of double-phase solid state were plot out between T_g and T_m (T_f) using golden section, and meantime three experimental temperatures under solid state were designed for hot compressing PA6. As soon as upsetting deformation model and specimens in cold compression study recently published, hot compression experiments for solid state PA6 was done by using four kinds of deformation rate and three kinds of deformation degree. The results showed that springback after upsetting PA6 was minished by increasing deformation temperature and rate, and the influence of deformation rate on springback was more significant than that of deformation temperature, so the settability of PA6 was improved by hot compression, which resulted in that high-speed hot forging for PA6 would be possible to realize practical use.

Keywords: PA6; hot compression; upsetting; deformation springback

为了研发聚合物固态锻造技术, 笔者^[1]对尼龙 (PA) 6 的冷压变形行为进行了实验研究。研究表明, 由于冷压镦粗 PA6 变形发生在有限尺度范围以及相应的复杂应力状态, 改变了单向拉伸试验的应力–应变曲线形状和性质, 使之变形过程不再具有高次“分散性颈缩”的积累效应, 且使试样开裂破坏取决于材料局部延伸率, 同时当变形达到一定程度 (试样高度被压缩到一定数值) 时, 载荷将积聚在试样很小的高度, 并由此引起应力–应变曲线陡峭升高。

与这些力学现象对应, PA6 冷压镦粗发生延性大变形, 但其属于“类塑性”性质, 且源自多种物理原因导致卸载后的 PA6 回弹过大、定形性差, 因而需要进一步研究其热压变形行为, 以探讨温度对于 PA6 锻造变形回弹及定形性的影响。

1 实验部分

1.1 原材料

采用与冷压镦粗实验^[1]相同的 PA6 挤出成型棒材, 玻璃化转变温度 (T_g) 为 58℃, 熔点 (T_m) 为 221℃, X 射线衍射检测结晶度为 38.4%, 接近诸多文献对半结晶聚合物所约定的结晶度 (大于 40%), 拉伸性能见文献 [1]。

1.2 主要仪器及设备

X 射线衍射仪: X’Pert PRO 型, 荷兰帕纳科公司;

动态扫描量热 (DSC) 仪: Netzsch DSC204 型,

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: 2012-09-21

德国 Netzsch 公司;

电子万能试验机:WSM 型,100 kN,长春智能试验机研究所;

平板硫化机:XLB-D 型,上海第一橡胶机械厂。

1.3 温度对 PA6 固态热变形的影响及其设计

相对于非结晶型聚合物,PA6 等结晶型聚合物因其大分子的结晶不完整性,最大的特点是其体系内共存晶相和非晶相两种组织结构,因此对它们进行固态热成型时,需要同时考虑温度对于这 2 种组织结构变形的影响。

根据聚合物的热力学性质和“相(结构)–(凝聚)态”定义,通常将高于聚合物粘流温度(T_f)或(T_m)的加工过程称为液态粘流成型技术(如注射和挤出等)^[2],同时把低于 T_m 的结晶聚合物或低于 T_g 的非结晶聚合物的加工过程视为固态成型^[3-4]。进一步考虑是否采用加热措施,聚合物固态成型过程不仅具有“冷”、“热”两种不同技术性质,而且不同的加工温度还将使大分子变形具有不同的“相–态”物理意义。

例如在液态粘流成型温度以下,对于包括 PA6 在内的结晶聚合物进行加热成型,大分子变形将具有 3 种不同温度情况。第 1 种情况指加热温度较之非晶相 T_g 高出不多,属于“低温”热加工热变形性质(加工的冷热技术概念针对晶构组织类似金属冷热成型定义,变形的冷热物理性质根据非晶相热力学温度定义,参见文献[5]),聚合物体系内积累的热能及其熵值不太大,大分子的运动形式虽然已有可能从小结构单元振动或近程扩散模式转向链段运动,但发生显著链段运动的概率还不太大,因此无定形大分子的弹性性质与冷加工相比变化不大,结晶大分子的晶构可以发生变形、滑移和取向,然而不发生再结晶和晶区相变。第 2 种情况指加热温度接近非晶相粘流温度 T_f 或晶相熔点 T_m 的“高温”热加工热变形,此时聚合物体系内积累的热能及其熵值可使大分子发生比较明显的链段运动,甚至局部链段或局部大分子之间还有可能发生类似粘性变形的链段滑移或整链滑移,因此固态聚合物的弹性性质可以大幅度减弱而其粘性性质将会增强,变形后虽然固态弹性性质还会存在,但也有可能因局部粘性变形后的冷却过程发生收缩。聚合物固态热变形的第 3 种情况介于前面 2 种之间。

目前在上述 3 种不同温度下,对聚合物及其大分子变形所做研究和认知不多,也不充分,如我国著

名高分子科学家钱人元院士去世前曾非常关注与这类研究密切相关的“高聚物从高弹态到流体态的转变”问题,并在病榻瞩其夫人于燕生博士将其工作整理发表^[6]。鉴此现状,从实验设计考虑,笔者拟用数学方法暂代物理实验,即尝试应用黄金分割法(0.618 法)在 $T_g \sim T_m$ (T_f) 范围对半结晶 PA6 的低、高温热变形进行区域划分和热压变形温度设计,如图 1 所示。

在图 1 中,与文献[1],[5]相同,约定常温温度范围为 $-15 \sim 40^\circ\text{C}$; T_H 和 T_{ac} 均为聚合物凝聚态的次级转变温度, T_H 为非结晶聚合物或非晶相在 $T_g \sim T_f$ 之间从“固定流体”向“真正液态”转变的临界温度, T_{ac} 为结晶聚合物或晶构组织的预熔温度^[7]; T_c 和 T_v 分别是利用黄金分割法,将 $T_g \sim T_m$ (T_f) 温度范围分为高温双相热固态成型和低温双相热固态成型的计算特征温度, T_c 和 T_v 之间为中温双相热固态成型区间;实验温度 T_1 , T_2 和 T_3 分别是利用黄金分割法,在上述 3 个变形温度区间为笔者实验设计的热压锻造温度。此外,上述所谓“双相热固态”,指对结晶聚合物加热后,能够继续保持大分子规整排列的晶构组织与加热温度下逐渐趋于软化和粘化的无定形大分子相区共同构成的凝聚态状况,特别是在加热温度比较高、结晶度比较低、晶构呈分散相的情况下,这种凝聚态状况很有可能会类似半固态金属呈现“糊状”性质,如文献[8]对非均质嵌段聚合物所做的研究,因此也可将这种凝聚态状况视为“半固态”或“固体–半固体”凝聚态。另外也有文献将加热温度稍高于非晶相 T_g 时的“双相热固态”称为“皮革态”,即此时的拉伸曲线与皮革拉伸曲线相似,同时包含非晶相高弹态的柔韧性和晶构组织的强度及硬度。

1.4 PA6 热压变形实验方案

(1) 变形模式与试样

笔者类比冷压变形实验研究^[1]采用圆柱镦粗变形模式,分别在试验机上采用 2, 20, 50 mm/min 三种压缩变形速度(试验机压头位移速度),以及平板硫化机的 850 mm/min 下压变形速度(近似值),同时采用与冷压变形研究相同的直径 20 mm,高度为 (24 ± 0.1) mm 的试样。

(2) 变形程度

与冷压变形研究相同,采用压缩比 ξ 表示变形程度,即:

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

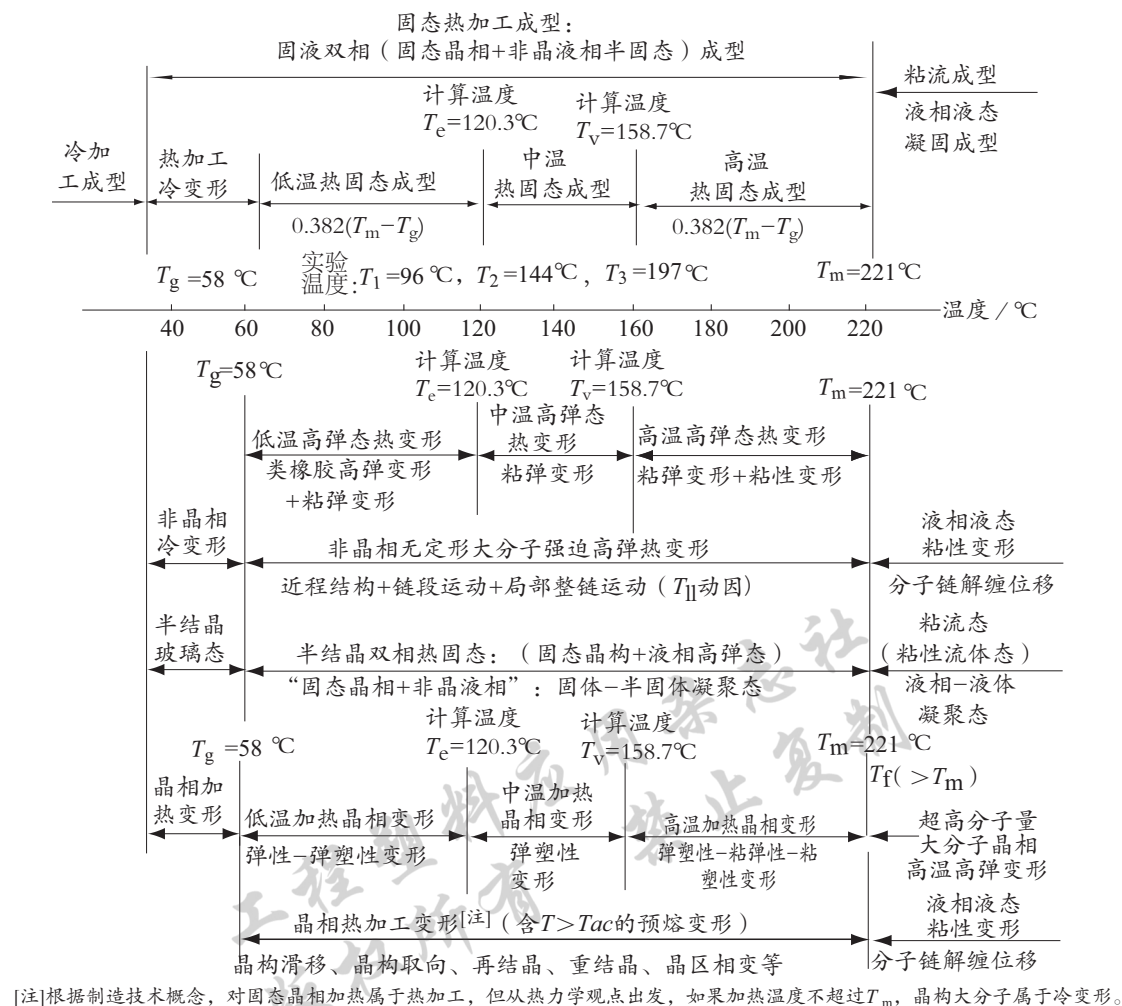


图1 PA6变形温度分区及其技术物理意义

式中: H_0 ——试样压缩前高度;

H_i ——试样压缩后高度。

(3) 实验操作

在鼓风烘箱中对试样分段预热—加热到实验温度后,将其转移到环境温度与实验温度保持一致的热压温度箱中,使用2.0,3.0,4.0等3种加载压缩比对试样进行热压变形,压头温度约为90℃,保压5 min 卸载后即时测量试样高度,然后将试样自然冷却并分不同时段测量其高度。采用以上3种加载压缩比在平板硫化机上进行热压实验时,上、下压板温度与试验机压头相似取90℃。

2 结果与讨论

2.1 实验结果

(1) 热压应力-应变曲线

图2是加载压缩比等于4.0、变形速度分别为2,20,50 mm/min 时试验机自动绘制的热压应力-应变曲线,因平板硫化机无检测装置,故缺少

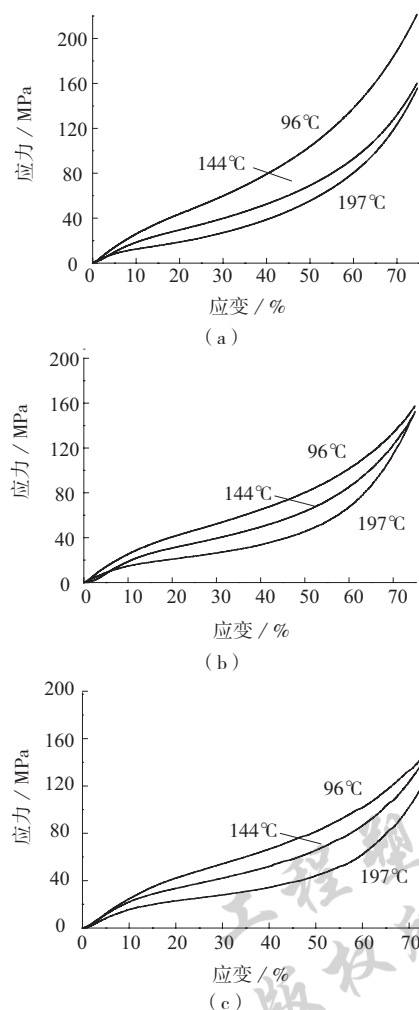
850 mm/min 变形速度下与3种加载压缩比对应的应力-应变曲线。在加载压缩比2.0和3.0,变形速度2,20,50 mm/min 等条件下获取的热压应力-应变曲线特征与图2情况相似,只是因为压缩比减小,应力-应变曲线在试验最后阶段急剧上升的幅度不如图2甚至没有出现。表1是各种实验条件下由试验机软件自动检测计算的当量屈服应力。

(2) 极限变形程度

在不同实验温度下分别采用试验机提供的2,20,50 mm/min 变形速度,PA6试样热压变形的临界极限加载压缩比可较冷压变形时3.0^[1]提高到4.0,使用平板硫化机的850 mm/min 变形速度,则可提高到4.6。

(3) 试样回弹

试样保压卸载后即刻出现回弹,表2示出卸载后即时测量的绝对回弹数值和计算出的回弹率(相对回弹),表3~表5是不同变形温度下卸载后24 h



a—50 mm/min; b—20 mm/min; c—2 mm/min

图2 PA6的热压“应力-应变”曲线(加载压缩比4.0)

内对试样高度检测的时效变化。

2.2 应力应变特点

PA6热压镦粗应力-应变曲线与冷压镦粗^[1]

情况完全不同。在低温(96℃)和中温(144℃)变形条件下对PA6进行热压镦粗实验时,不计变形最后阶段、因试样高度大幅缩减导致载荷积聚所引发的应力陡增现象,导致PA6的应力-应变曲线图形呈现“软而强韧”性质(“软”指弹性模量和屈服应力低,“强”指屈服后应变强化,“韧”指延性好、伸长率大),并且没有明显的屈服阶段,试验机自动检测计算的当量屈服应力(表1)仅是常温数值的1/4~1/3。进一步提高变形温度(提高到197℃),屈服应力进一步下降,应变强化趋于减弱。

对此温度软化效应已有大量文献研究,笔者也曾基于文献[6-7],在文献[9-10]中简述了软化过程的“相-态”意义。但是,同为结晶型聚合物,PA6的热压镦粗应力应变曲线与聚丙烯(PP)曲线^[9]的几何形状完全不同,相反与非结晶型有机玻璃聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)的情况^[10]有些相似。这明显地意味固态聚合物热变形行为,不仅与温度和“相-态”结构有关,而且还可能受其大分子的性质性能影响,这是一个有待深入研究的问题。

此外,对PA6冷压镦粗时,屈服应力基本上不受变形程度影响^[10],但由表1可以看出,热压镦粗的屈服应力总体上随变形程度增大而提高,笔者目前无法解释这种现象,并且可能是试验机检测系统计算当量屈服应力的方法所致,但需要与试验机厂商协商研究解决。

2.3 变形回弹

(1)分析表2可知,除了个别奇异数据,热压镦粗PA6卸载后的变形回弹率均随温度升高而降低。这显然是大分子吸收的热能导致其自由体积膨胀

表1 热压镦粗的屈服应力

加载 压缩比	加载速度 / mm·min ⁻¹	变形温 度 / °C	屈服应 力 / MPa	加载 压缩比	加载速度 / mm·min ⁻¹	变形温 度 / °C	屈服应 力 / MPa	加载 压缩比	加载速度 / mm·min ⁻¹	变形温 度 / °C	屈服应 力 / MPa
2.0	2	常温	74.72	2	2	常温	75.10	2	2	常温	
		96	25.46			96	29.52			96	30.00
		144	20.03			144	20.29			144	22.20
		197	14.61			197	14.28			197	11.62
	20	常温	81.50	3.0	20	常温	82.42	4.0	20	常温	
		96	27.70			96	32.53			96	33.90
		144	20.16			144	23.20			144	26.26
		197	14.72			197	14.32			197	16.15
	50	常温	85.55	50	50	常温	84.45	50	50	常温	
		96	33.96			96	32.79			96	39.63
		144	24.13			144	24.27			144	31.90
		197	15.52			197	14.40			197	16.9

注: 常温屈服应力为笔者在文献[1]研究中检测。

表 2 热压卸载后的即时回弹量和回弹率

变形温度 / ℃	变形速度 / mm · min ⁻¹	加载压缩比					
		4.0 (4.6) ¹⁾		3.0		2.0	
		回弹量 /mm	回弹率 /%	回弹量 /mm	回弹率 /%	回弹量 /mm	回弹率 /%
96	850	1.09	20.76	0.26	3.48	0.75	6.57
	50	2.19	28.29	1.56	17.77	2.79	22.57
	20	2.17	27.19	1.92	21.57	3.05	24.13
	2	3.57	46.48	3.61	39.32	4.48	35.56
144	850	0.53	10.10	0.24	3.21	0.41	3.59
	50	1.63	23.76	1.76	20.42	1.50	11.31
	20	1.60	21.86	1.98	22.65	1.78	13.51
	2	3.71	50.82	3.32	36.48	3.81	29.72
197	850	0.27	5.14	0.10	1.34	0.21	1.84
	50	1.05	15.44	0.80	9.41	1.24	10.30
	20	1.49	21.85	0.73	8.35	1.01	8.08
	2	1.81	22.51	3.07	32.05	2.58	19.46

注: 1) 变形速度为 850 mm · min⁻¹ 时, 压缩比为 4.6。

表 3 96℃热压卸载后 PA6 试样高度的时效变化度

热压速度 / mm · min ⁻¹		850			50			20			2		
加载压缩比		4.6	3.0	2.0	4.0	3.0	2.0	4.0	3.0	2.0	4.0	3.0	2.0
时间 / min	0	6.34	7.74	12.16	9.93	10.34	15.15	10.15	10.82	15.69	11.25	12.79	17.08
	5	6.34	7.74	12.20	9.83	10.33	15.16	10.21	10.90	15.73	11.33	12.78	17.09
	10	6.34	7.75	12.20	9.85	10.31	15.15	10.19	10.87	15.70	11.31	12.75	17.05
	20	6.35	7.75	12.20	9.86	10.31	15.11	10.11	10.87	15.67	11.31	12.74	17.04
	30	6.33	7.76	12.22	9.44	10.30	15.10	10.14	10.88	15.66	11.51	12.75	17.04
	60	6.34	7.74	12.20	9.78	10.31	15.11	10.16	10.85	15.65	11.31	12.74	17.01
	120	6.36	7.76	12.20	9.82	10.30	15.12	10.11	10.87	15.66	11.23	12.73	17.02
	720	6.34	7.78	12.26	9.80	10.31	15.10	10.14	10.86	15.65	11.25	12.74	17.02
	1440	6.34	7.76	12.26	9.76	10.29	15.09	10.11	10.87	15.65	11.25	12.73	17.00
2880	6.35	7.75	12.26	9.78	10.30	15.10	10.12	10.88	15.66	11.24	12.74	17.02	

表 4 144℃热压卸载后 PA6 试样高度的时效变化

热压速度 /mm · min ⁻¹		850			50			20			2		
加载压缩比		4.6	3.0	2.0	4.0	3.0	2.0	4.0	3.0	2.0	4.0	3.0	2.0
时间 / min	0	5.78	7.72	11.82	8.49	10.38	14.76	8.92	10.72	14.96	11.01	12.42	16.63
	5	5.78	7.70	11.86	8.45	10.34	14.66	8.92	10.72	14.92	11.01	12.31	16.47
	10	5.78	7.66	11.86	8.44	10.30	14.59	8.90	10.68	14.86	10.93	12.25	16.40
	20	5.80	7.70	11.87	8.40	10.26	14.58	8.86	10.66	14.82	10.85	12.33	16.37
	30	5.82	7.70	11.84	8.40	10.27	14.56	8.90	10.65	14.82	10.85	12.21	16.35
	60	5.82	7.70	11.83	8.41	10.26	14.54	8.90	10.65	14.76	10.85	12.24	16.35
	120	5.86	7.70	11.82	8.40	10.28	14.56	8.88	10.66	14.78	10.86	12.23	16.36
	720	5.90	7.70	11.84	8.41	10.26	14.54	8.89	10.65	14.76	10.87	12.22	16.35
	1440	5.90	7.70	11.83	8.40	10.28	14.56	8.88	10.64	14.67	10.86	12.24	16.36
2880	5.88	7.68	11.84	8.40	10.27	14.57	8.89	10.65	14.69	10.87	12.23	16.35	

表 5 197℃热压卸载后 PA6 试样高度的时效变化

热压速度 /mm · min ⁻¹		850			50			20			2		
加载压缩比		4.6	3.0	2.0	4.0	3.0	2.0	4.0	3.0	2.0	4.0	3.0	2.0
时间 / min	0	5.52	7.58	11.62	7.85	9.30	13.28	8.31	9.47	13.51	9.85	12.65	15.84
	5	5.48	7.60	11.60	7.79	9.25	13.21	8.36	9.45	13.44	9.71	12.48	15.74
	10	5.46	7.56	11.58	7.75	9.21	13.14	8.31	9.43	13.41	9.71	12.47	15.69
	20	5.50	7.58	11.58	7.75	9.19	13.12	8.23	9.43	13.36	9.69	12.38	15.58
	30	5.50	7.58	11.58	7.73	9.20	13.11	8.19	9.43	13.36	9.62	12.37	15.58
	60	5.50	7.58	11.58	7.75	9.19	13.12	8.21	9.45	13.35	9.62	12.39	15.55
	120	5.48	7.54	11.58	7.75	9.18	13.12	8.22	9.41	13.35	9.64	12.38	15.56
	720	5.50	7.56	11.60	7.74	9.19	13.11	8.21	9.42	13.35	9.63	12.37	15.58
	1440	5.48	7.58	11.58	7.73	9.18	13.09	8.19	9.42	13.31	9.64	12.36	15.56
2880	5.50	7.58	11.58	7.73	9.17	13.07	8.21	9.39	13.30	9.66	12.38	15.58	

活化了大分子的运动动能,缩短了加载条件下应力作用与其应变效果之间的平衡松弛时间,故而减少了变形大分子力求回复其原始长链状态的自然松弛程度。就 PA6 双相结构而言,这种现象也与其非晶相凝聚态转变过程中分子链缠结网络的解离和凝聚趋势有关,亦即聚合物的热力学性质超过临界特征温度 T_{H1} , 分子链缠结网络的解离趋势强化,非晶相将从液相“固定流体”向液相“真正液态”转变,相体系的热力学运动将会带有局部粘性性质的大分子相对滑移或局部链段发生交替移动的“蛇行”^[5-6]运动,并因此降低了卸载之后的回弹。再从晶相角度考虑,因晶相可能存在的预熔温度 $T_{\alpha c}$, 晶相通过预熔可能呈现半固态“准糊状”性质,相体系的热力学运动将会强化晶相中的片晶滑移等大变形趋势,并因此降低了卸载之后的回弹。

(2) 分析表 2 可知,热压与冷压锻粗相同,提高变形速度可以减小回弹率,其原因已在文献[1]中阐述,但在使用平板硫化机的 850 mm/min 下压速度进行热压锻粗试验时,回弹率的缩减比提高试验机速度要明显得多,却没有出现类似文献[9-10]热压 PP 和 PMMA 时出现的“负回弹(固态成型收缩)”,因此对文献[9]所提出的“速度粘化效应”的普遍性尚待进一步证实。

(3) 分析表 2 可知,热压锻粗 PA6 回弹率与变形程度之间的规律性不明显,这与冷压锻粗 PA6 回弹率随变形程度提高而增大的现象^[1],以及与热压锻粗 PP 和 PMMA 的回弹率情况^[9-10]都不太一样,因此还有待深入研究解决不同聚合物热压锻粗变形回弹受变形程度影响的问题。

(4) 分析表 3~表 5,热压锻粗变形卸载后的时效回弹大约在 5 min 左右稳定下来,较之冷压需要 10 min 的情况不同,对此现象目前仅能以热压环境温度在试样保压期间可能促进了应力作用与应变效果之间的平衡松弛为由给予简单解释。

(5) 对 PA6 热压锻粗加之高速变形(平板硫化机 850 mm/min 下压速度),虽然对其回弹率的缩减程度不及文献[9]情况(回弹率未能低于 1%),但在 850 mm/min 变形速度下,回弹量基本上可以下降到 0.10 mm 级,如果考虑将开式锻造性质的锻粗

变形改变为闭式锻造,其回弹率和回弹量还有可能进一步减小,因此基于 GB/T 14486-2008,对 PA6 的回弹尺寸设计补偿,便有可能达到 PA6 锻造技术的实用目标。

3 结论

综合分析实验数据,与热压锻粗 PP 和 PMMA 的情况^[9-10]相似,提高变形温度和变形速度,可以缩减 PA6 的变形回弹量及其回弹率,并改善 PA6 的锻造定形性。同时也揭示了由规整晶构与无定形大分子构成双相变形结构的结晶型聚合物(比如 PA6 与 PP),热压变形行为具有不同表现。此外,提高变形温度对于缩减 PA6 回弹量和回弹率的作用不及提高变形速度,在较高变形速度下(如 850 mm/min)热压锻粗 PA6 的回弹量可以小至 0.10 mm 级,进一步改用闭式锻造模式及更高的变形速度,将有可能基于 GB/T 14486-2008《塑料模塑件尺寸公差》,通过对回弹尺寸进行设计补偿,实现 PA6 高速热锻技术的实用目标。

参考文献

- [1] 牛克忠,曹宏深,陈金周,等. PA6 的冷压变形行为研究[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(6): 43-48.
- [2] 王贵恒. 高分子材料成型加工原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991.
- [3] Wissbrun K F. Force Requirements in forging of crystalline polymers [J]. Polymer Engineering and Science, 1971, 11(1): 28-34.
- [4] Kulkarni K M. Review of forging, stamping, and other solid-phase forming processes [J]. Polymer Engineering and Science, 1979, 19(7): 474-481.
- [5] 曹宏深,韩榜,陈金周,等. 聚丙烯冷压变形行为研究[J]. 中国制造业信息化, 2011, 40(21): 64-68, 70.
- [6] 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.
- [7] 钱保功,许观藩,余赋生,等. 高聚物的转变和松弛[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [8] Gonzalez-Leon J A, Acar M H, Ryu S W, et al. Low-temperature processing of 'baroplastics' by pressure-induced flow [J]. Nature, 2003, 426(27): 424-427.
- [9] 曹宏深,陈金周,韩榜,等. 聚丙烯的热压变形行为研究[J]. 中国制造业信息化, 2011, 40(23): 99-103, 106.
- [10] 曹宏深,陈金周,韩榜,等. PMMA 高弹态热压变形行为[J]. 锻压技术, 2010, 35(6): 104-108.

全球聚酯市场面临产能过剩困境

欧洲某 PX 及 PTA 生产商称,全球聚酯市场将要面临过剩产能及原料供应限制的挑战。

从全球市场的角度来看, PX 供应量有呈现逐渐偏紧的

趋势,当前平均开工率约为 85%~90%。

亚洲地区越来越多的下游生产设备即将于明年投产。PTA 商家们寻求可靠的 PX 进货源,希望能在紧张的原材料供应和萎靡的下游利润中保持竞争力。(PUWORLD)