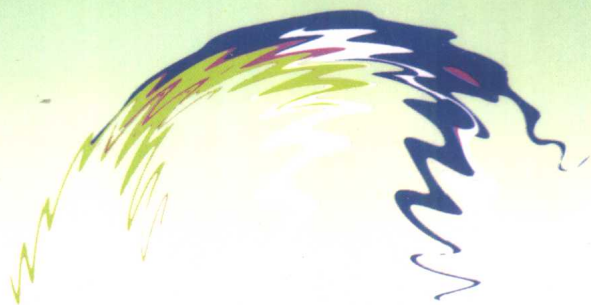


塑料收缩性

张治华 编



中国石化出版社



塑料收缩性

张治华 编

中国石化出版社

内 容 提 要

塑料,特别是热塑性塑料收缩率波动范围较大,给模具设计和塑料制品精度的控制带来困难。生产中迫切需要对于各种具体塑料的收缩率变化范围和规律有一个正确了解,为正确选取收缩率和控制产品尺寸提供依据和参考。本书详细介绍了影响塑料收缩的主要因素,成型后收缩的稳定化处理,塑料收缩率的计算及其控制。本书文字叙述浅显易懂,以较多的插图实例弥补叙述之不足,实用性强。

本书可供塑料制品行业的工人和技术人员,制品设计和模具设计人员,大中专院校有关专业的教师和学生参考,也可作为应用部门了解稳定塑料制品的后收缩的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

塑料收缩性/张治华编. —北京:中国石化出版社, 1998

ISBN 7-80043-740-X

I. 塑… II. 张… III. 塑料—收缩性 IV. TQ320

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 14131 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010) 64241850

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 32 开本 4.5 印张 101 千字 印 1—2000

1999 年 1 月第 1 版 1999 年 1 月第 1 次印刷

定价:10.00 元

前 言

塑料收缩直接关系到制品的形状和尺寸精度。塑料制品特性、模具设计、工艺条件控制等影响成型收缩和后收缩的各因素，对精密塑料制品及其稳定化影响极大。而这些众多的影响因素又是错综复杂的，需要认真研究。以往在塑料成型模具设计时，取收缩率数值的方法一般是凹模取收缩率的下限值，凸模取收缩率的上限值，待试模后，根据试制品尺寸修正模具。然而，高硬度、高光洁度的模具表面尺寸修正很困难，费工时较多，有时甚至无法再修正模具，造成模具报废。严重的后收缩也往往使合格的新制品不久即变为废品。因此，了解并控制塑料制品收缩就显得非常重要。

鉴于目前国内外尚无这方面的专著出版发行，所以编写此书对实际生产、设计和科研有很大实用价值。为了满足我国塑料成型加工技术不断发展的需要，编者参考有关资料编写成此书。

本书在编写过程中，先后得到阎继周高级工程师、徐定宇教授、郭炳钧副教授等专家热情指教，在此谨表衷心感谢。

本书文字叙述浅显易懂，并且以较多的插图弥补叙述之不足。书稿虽然经过多年不断修订补充，但由于塑料收缩率问题比较复杂，编者水平有限，不足与谬误之处在所难免，请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 成型收缩的产生	1
1.1 产生成型收缩的主要因素	1
1.2 塑料制品热收缩的特点	6
1.3 塑料成型收缩率	9
第二章 影响成型收缩的主要因素	19
2.1 塑料品种及制品特性的影响.....	20
2.2 成型压力的影响.....	22
2.3 熔体温度的影响.....	27
2.4 成型时间的影响.....	30
2.5 模具温度的影响.....	32
2.6 模内冷却时间的影响.....	37
2.7 制品壁厚度的影响.....	39
2.8 浇口设计的影响.....	46
2.9 模具形状的影响.....	54
2.10 玻璃纤维的影响	60
2.11 料流取向作用的影响	64
2.12 颜料的影响	71
2.13 其它影响因素	74
第三章 影响成型后收缩的主要因素	83
3.1 内部应力松弛与继续结晶的影响.....	83
3.2 模具温度与环境温度的影响.....	85
3.3 湿度的影响.....	91

第四章	成型后收缩的稳定化	97
4.1	调湿处理	97
4.2	退火处理	99
4.3	高温模具成型	102
第五章	成型收缩率的计算	104
5.1	成型收缩率的计算公式	105
5.2	成型收缩的推定计算图	108
5.3	计算实例	114
第六章	塑料收缩的控制	116
6.1	借助 $P - V - T$ 曲线图定量分析收缩	116
6.2	减少收缩的主要措施	122
6.3	降低热固性树脂成型收缩的措施	128
6.4	模具设计与成型收缩率的调整	131
附录	塑料及树脂缩写代号	
	(国家标准 GB1844 - 80)	136

第一章 成型收缩的产生

1.1 产生成型收缩的主要因素

从模腔脱出的塑料制品，其温度一般比室温高，往往要经过数小时或更长时间之后才能降到室温。这时，制品的收缩一般比模腔的收缩大。从模腔脱出尚有余热的制品尺寸与其冷却至室温时的尺寸之差，称为成型收缩。其收缩量视树脂的种类、成型条件、模具设计变量等不同而异。成型收缩率可用下式表示。

$$\text{成型收缩率} = \frac{\text{模具尺寸} - \text{制品尺寸}}{\text{模具尺寸}} \times 100\%$$

制品成型后 2~4h 测定的收缩率称为初期收缩率，制品成型后 16~24h 或 24~48h 所测定的收缩率称为成型收缩率。标准成型收缩率是采用 $\phi 100 \times 4\text{mm}$ 的圆片测定的。

1.1.1 热塑性塑料成型收缩的主要因素

(1) 热胀冷缩

物体都因加热和冷却按它固有的热膨胀系数而产生膨胀和收缩，塑料也不例外。塑料制品的热胀冷缩是与模具温度相对应产生的，热收缩是塑料成型收缩中最基本的收缩，它是各种成型材料因其固有的热膨胀率而发生的体积变化。

(2) 可压缩性及弹性回复

如图 1-1⁽¹⁾ 所示，熔融树脂因成型压力而受压缩，成型后自模腔脱出制品时，制品温度还相当高。解除作用于制

品的压力时，恢复到原来的状态而产生弹性回复，制品的体积受弹性恢复而膨胀，这一现象降低了收缩率。

熔融状态的热塑性塑料
具有较明显的可压缩性。而其压缩性因树脂的种类、树脂温度、成型压力、填料的种类、配料比例等不同而异。例如图 1-2 分别表示 PS 和 LDPE 的温度与压缩性的关系^[1]。压缩性愈大的树脂对弹性恢复的影响愈大。利用这种可压缩性，成型时对熔体施加压力，在一般情

况下可以预防制品的凹痕与缩孔的形成，也可以提高其制品的尺寸精度，变动温度和压力来调节比体积可使收缩率降低。

热塑性塑料的膨胀与压缩能表征注塑时可能收缩率的大小，表 1-1 列出部分塑料成型材料的线膨胀系数和成型收缩率^[2]。

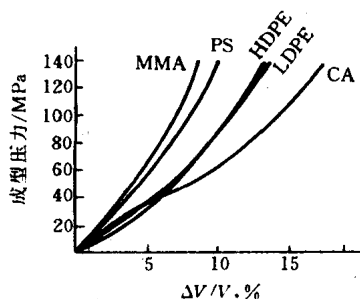
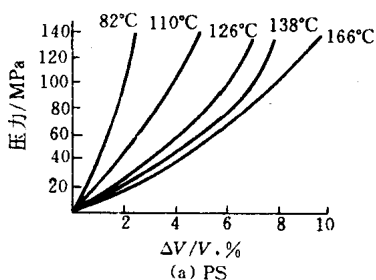
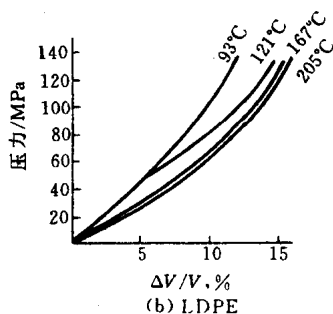


图 1-1 几种高分子材料的压缩性



(a) PS



(b) LDPE

图 1-2 PS 和 LDPE 的温度与压缩性的关系

表 1-1 部分塑料材料的线膨胀系数和成型收缩率

塑料类别		成 型 材 料		线膨胀系数/ $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	成型收缩率/%	
		树脂名称	填充、增强材料			
热固性塑料		酚醛树脂	木粉、棉屑	3.0~4.5	0.4~0.9	
		酚醛树脂	玻璃纤维	0.8~1.6	0.01~0.4	
		脲醛树脂	α -纤维素	2.2~3.6	0.6~1.4	
		三聚氰胺树脂	α -纤维素	4.0	0.5~1.5	
		二烯丙基邻苯树脂	玻璃纤维	1.0~3.6	0.1~0.5	
		环氧树脂	玻璃纤维	1.1~3.5	0.1~0.5	
		聚酯(预混料)	玻璃纤维	2.0~3.3	0.1~1.2	
热塑性塑料	结 晶 型	低密度聚乙烯	玻璃纤维	10.0~20.0	1.5~5.0	
		中密度聚乙烯		14.0~15.0	1.5~5.0	
		高密度聚乙烯		11.0~13.0	2.0~5.0	
		聚丙烯		5.8~10.0	1.0~2.5	
		聚丙烯		2.9~5.2	0.4~0.8	
		尼龙 6		8.3	0.6~1.4	
		尼龙 610		9.0	1.0	
		尼龙 610		20%~40% 玻璃纤维	1.2~3.2	0.3~1.4
		聚甲醛		8.1	2.0~2.5	
聚甲醛	20%~40% 玻璃纤维	3.6~8.1	1.3~2.8			
	非 结 晶 型	聚苯乙烯(通用)	20%~30% 玻璃纤维	6.0~8.0	0.2~0.6	
		聚苯乙烯(抗冲击型)		3.4~21.0	0.2~0.6	
		聚苯乙烯(抗冲击型)		1.8~4.5	0.1~0.2	
		AS 树脂		3.6~3.8	0.2~0.7	
		AS 树脂		20%~33% 玻璃纤维	2.7~3.8	0.1~0.2
		ABS 树脂(耐冲击)		0.5~13.0	0.3~0.8	
		ABS 树脂(耐冲击)		20%~40% 玻璃纤维	2.9~3.8	0.1~0.2
		甲基丙烯酸酯系树脂		5.0~9.0	0.2~0.8	
		聚碳酸酯		8.6	0.5~0.7	
		聚碳酸酯		10%~40% 玻璃纤维	1.7~4.0	0.1~0.3
		硬质聚氯乙烯		5.0~18.5	0.1~0.5	
		醋酸纤维素		8.0~18.0	0.3~0.8	

由于塑料熔体具有可压缩性，所以注塑时的实际收缩率和压缩成型的实际收缩率往往小于理论收缩率。线膨胀系数低而压缩率高的聚合物在注塑时的收缩率较小。

在较高温度下加工的塑料，例如聚芳砜、聚砜、聚苯醚等，可以预料其收缩率会很大。可是，这些塑料的实际收缩率并不大，介于 0.7%~0.8% 范围内，这与这些塑料的线膨胀系数较低和由于熔体粘度高而需要采用高压注射成型有关。而对于尼龙 66，由于加工温度较高，再加上线膨胀系数相当大，因此引起其制品的收缩率较大。即使在较低温度下对尼龙 66 熔体施加约 150MPa 的压力，其比体积也不能达到 20℃ 时的值。

(3) 结晶

在热塑性树脂中，有结晶型树脂和非结晶型树脂。结晶型树脂在成型时的冷却工艺过程中结晶，随此结晶产生体积收缩，这就表现为成型收缩。塑料与金属不同，结晶型树脂的结晶度达不到 100%，并且其结晶度还因冷却速度不同而异。

结晶度愈高，体积收缩愈大，但与此同时，热膨胀系数变小。然而体积收缩对决定收缩的影响要比热膨胀系数的影响大得多，所以，可以不考虑结晶减小对膨胀系数的作用。

(4) 分子取向

物料经加热熔融，热塑性树脂因熔融状态的流动，树脂分子在流动方向上拉长，在冷却工艺过程中，被拉长的分子恢复到原来的状态而产生收缩。这一般称为因分子取向的收缩。

在流路截面内，物料流速是不相等的，壁面流速最小。纤维填料和聚合物分子在很大程度上都会顺着料流方向作平

行的排列，这种排列常称为取向作用。其次，由于同样原因，热塑性塑料在其玻璃化温度（或软化点）进行拉伸，这必然也会产生取向作用。取向作用使一般成型制品料流方向的收缩率大于垂直方向的值。

由于挤出型坯在定型模中的整个定型过程中出现牵伸，造成定型后的制品外型尺寸缩小，而小于定型模模腔尺寸。异型材在定型过程中由于物料特性造成收缩变化，开式和半开式异型材牵伸变化大，而封闭形状的中空和半中空牵伸变化小，一般是根据经验确定。

关于二次加工方面的取向收缩也应特别注意。例如，对于压延塑料片材的吸塑成型，由于所用压延片材的单向取向性，分子产生压延取向效应，片材加热成型后，纵向收缩较横向显著得多，而横向略有膨胀。

因这种分子取向而形成的收缩是随取向的内应力增大而增大。对于分子取向性强的材料，其成型收缩率的值一般在料流方向较大，垂直方向较小。

由此可见，在塑料制品成型时，由弹性恢复引起的膨胀，被其余三种因素引起的收缩抵消，而结果表现为成型收缩。

1.1.2 热固性塑料成型收缩的主要因素

以上叙述的主要是热塑性塑料产生成型收缩的原因。同热塑性塑料一样，热固性塑料也有因成型加工而引起的尺寸减小。但因其成型过程与热塑性塑料不同，所以产生收缩的原因也不一样。其标准收缩率也是用直径 100mm，厚 4mm 的圆片试样来测定的。在热固性塑料成型中，产生收缩的主要原因如下：

(1) 热胀冷缩

这是指因热胀冷缩而引起的尺寸变化。热固性塑料的线膨胀系数虽然比热塑性塑料小，但是仍然比钢材大数倍，制品从成型加工温度冷却到室温时，仍会产生远大于模具尺寸收缩量的收缩。这种热收缩所引起的尺寸减小是可逆的。收缩量大小可以用塑料线膨胀系数的大小来判断。

(2) 结构变化

热固性塑料的成型加工过程是该树脂在模腔中进行化学反应的过程，即产生交联结构，分子链间距离缩小，结构紧密，引起体积收缩。这种收缩所引起的体积减小是不可逆的。这种化学反应所引起的结构变化而产生的收缩只有一定程度。

(3) 塑性变形

在热固性塑料制品脱模时，成型压力迅速降低，但模壁仍紧压着制品的周围，产生塑性变形。产生变形部分的收缩率比没有产生变形部分的收缩率大。因此，制品往往在平行加压方向收缩较小，而垂直加压方向收缩较大。为防止这两个方向的收缩率相差过大，可采用迅速脱模的办法补救。

影响热固性塑料收缩的因素和原因^[3]见表 1-2。

1.2 塑料制品热收缩的特点

塑料制品热收缩的特点主要表现在热收缩大、收缩不均匀、热收缩存在滞后现象。

1.2.1 热收缩大

钢材的线膨胀系数为 11×10^{-6} ，而塑料的线膨胀系数一般为 $25 \sim 120 \times 10^{-6}$ ，比钢材的大几倍至十几倍。

1.2.2 收缩不均匀

由于制品壁厚度或增强材料分布不均匀，产生热传导差

表 1-2 影响热固性塑料收缩率的因素和原因

影响收缩率的因素	影响因素 变量增加 时对收缩 率的影响	影响收缩率的主要因素				影响收缩率 的次要原因	备 注
		热收缩		弹性回变 对制品 的压缩	塑性变形 机械 扭曲		
		制品 温度	膨胀 系数				
模塑条件类 成型温度 预硬化时间 成型压力 脱膜时间 模内冷却时间 模具与制品设计类 模具形状	增加 降低 降低 降低 增加 增加 增加或降低	① ①	① ①	① ②	① ②	水分降低硬化增加 硬化增加	原因不明 与模具型腔流动道的形状和上料情况有关 铸件口大时,模内料流受压高 由模具结构造成的,例如用不适式模能形成高压 模内塑料上部受压低,下部高
铸口尺寸 塑料模内受压	降低 降低					填料定向	流动性大的塑料易于在模内形成低压,因溢流所致 与填料定向和填料的热膨胀系数有关
模腔深度 制品厚度 制压塑料性质类 模流动性	增加或降低 增加 增加 增加或降低	① ① ① ①				固化程度	
水分 填料类型	增加 增加或降低	① ①					

①有影响。

②影响情况未知。

异，从而表现出不均匀地收缩。由于厚度小的部位冷却得快，密度增加也快，引起制品内部出现压力差，厚处熔体流向薄处。此外，大分子结构形态的变化、制品不同部位的结晶、取向程度有差异，也是导致不均匀收缩的主要原因。

当浇口封固后，模腔内物料的温度、压力和体积的变化关系可用经过修正的范德华状态方程式表示

$$(p + \pi)(V - b) = \frac{RT}{M} \quad (1-1)$$

式中 p ——模腔内物料的压力，Pa；

V ——物料的比体积， cm^3/g ；

M ——结构单元的分子量，此值由实验测定；

π 和 b ——由实验确定的常数；

R ——气体常数；

T ——绝对温度，K。

由上式可求得比体积 V

$$V = \frac{RT}{M(p + \pi)} + b \quad (1-2)$$

某些树脂的状态方程式常数列于表 1-3。

表 1-3 树脂的状态方程式常数

树脂名称	M	π/MPa	$b/\text{cm}^3/\text{g}$
聚苯乙烯	104	184	0.822
聚甲基丙烯酸酯	100	213	0.734
乙基纤维素	60.5	237	0.720
醋酸丁酸纤维素	54.4	281	0.688
聚乙烯	28.1	324	0.875
聚丙烯	41	160	0.620
尼龙 66	113	150	0.722

1.2.3 热收缩存在滞后现象

图 1-3 为无定型高聚物在加热与冷却时的体积和温度

的关系曲线^[6]。曲线 AB 表示高聚物在平衡状态由低于软化温度的某一点等速升温时比体积的变化情况，曲线 BC 则为其逆过程。但当高聚物冷却到起始位置 A 所对应的温度时，比体积却没有恢复到原始值。经过相当长时间恒温后，试样才逐渐沿 CA 直线恢复到原来的平衡状态。直线 CA 所经历的时间即为热收缩的滞后时间。

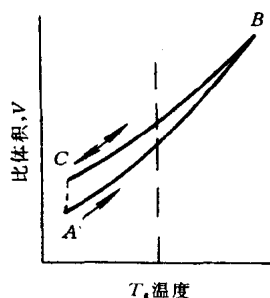


图 1-3 无定形高聚物加热与冷却时比体积-温度曲线

1.3 塑料成型收缩率

一些塑料成型收缩率的数值如表 1-4 (a) 所示^[8]，表 1-4(b)表示线性收缩量^[3,9]。

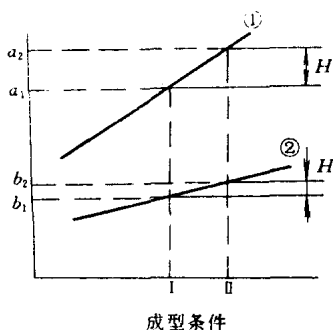


图 1-4 成型条件误差与成型收缩率误差的关系
H—由于成型条件变动收缩率的波动值；
①—收缩率大的材料 A；
②—收缩率小的材料 B

在热塑性塑料中，一般结晶性塑料比非结晶性塑料的收缩大。对于加填料或增强材料等的塑料，由于其配合比例不同，收缩有相当大的差异。玻璃纤维对塑料成型收缩的影响较小，这对于热固性塑料也是如此。成型收缩由于成型品的结构、壁厚或成型条件等不同而有很大变化。此外，从图 1-4 所示的成型条件误差与成型收缩率误差的关系可以看

出,成型收缩与成型材料有很大关系^[7]。各种成型材料的标准收缩率的波动值各有不同,其值大者,当成型条件稍有变化时,成型收缩率即有较大的波动。因此,标准成型收缩率的波动值越小,尺寸误差就越小。

表 1-4 (a) 各种塑料注射模塑的收缩率

树脂种类	收缩率/%	树脂种类	收缩率/%
ABC		聚 4-甲基-1-戊烯	1.5~3.0
耐高冲击	0.5~0.7	聚丁烯	2.0
耐热型	0.4~0.5	聚碳酸酯	0.5~0.7
耐中等冲击	0.5	聚三氟氯乙烯	1.0~2.0
聚甲醛	2.0~3.5	聚乙烯	
丙烯酸酯		低密度	1.5~3.5
易流动	0.2~0.7	高密度	1.5~3.0
一般用	0.2~0.9	聚苯醚	0.7~0.8
耐热	0.3~1.0	改性	0.5~0.7
耐高冲击	0.4~0.8	聚丙烯	1.0~3.0
醋酸纤维素		聚苯乙烯	
硬质	0.2~0.5	通用级	0.2~0.8
中等硬度	0.2~0.5	耐热级	0.2~0.8
软质	0.2~0.5	韧性级	0.3~0.6
高乙酰基	0.2~0.5	聚砜	0.8
醋酸丁酯纤维素	0.2~0.5	聚四氟乙烯共聚物	5.0~10.0
丙酸纤维素	0.2~0.5	(PFA)	
氯化聚醚	0.4~0.8	聚氨酯弹性体	1.0
乙基纤维素	0.5~1.0	聚氯乙烯	
乙烯-醋酸乙烯共聚物	1.0~3.0	非增塑	0.2~0.4
(EVA)		硬质	0.2~0.4
氯化乙-丙共聚物	3.0~6.0	半硬质	0.5~2.5
离子型聚合物	0.3~2.0	软质	1.5~3.0
尼龙		聚二氯乙烯	0.3~0.7
尼龙 66	1.0~2.5	聚氟乙烯	3.0
尼龙 6	0.7~1.5	苯乙烯-丙烯腈共聚物	0.2~0.6
尼龙 610	1.0~2.5	苯乙烯-丁二烯弹性体	0.1~0.5
尼龙 11	1.0~2.5	苯乙烯-甲基丙烯酸甲	0.2~0.6
尼龙 12	0.8~2.0	酯共聚物	
透明级	0.4~0.6	聚偏氯乙烯	0.5~2.5
玻璃纤维填充	0.5~1.0		

表 1-4 (b) 成型线性收缩量

树脂的种类	线性收缩量/ mm/mm	树脂的种类	线性收缩量/ mm/mm
AAS	0.004~0.008	PP	
ABS		未改性	0.010~0.025
模塑用高抗冲级	0.004~0.009	共聚	0.010~0.025
高耐热级	0.004~0.009	加惰性填料	0.005~0.015
阻燃级	0.004~0.008	加玻璃纤维	0.002~0.008
加20%~40%玻璃纤维	0.001~0.002	抗冲(橡胶改性)级	0.010~0.025
透明级	0.006~0.008	PS	
AS		耐热耐化学级	0.002~0.008
无填料	0.002~0.007	抗冲阻燃级	0.002~0.006
加20%~30%玻璃纤维	0.001~0.002	一般阻燃级	0.002~0.006
CPVC	0.003~0.007	加20%~30%玻璃纤维	0.001~0.002
EEA	0.015~0.035	PVC	
EVA	0.007~0.012	硬质	0.001~0.005
氟塑料		软质	0.010~0.050
F46	0.030~0.060	加填料	0.008~0.035
F2	0.030	TPx	0.015~0.030
F3	0.010~0.015	聚丁烯	
F4C(纯料)	0.030~0.040	模塑	0.003~0.026
(加玻璃纤维)	0.002~0.030	经长时间放置后	0.040
F3C	0.020~0.025	离子聚合物	0.003~0.020
PFA	0.040	聚偏氯乙烯	0.005~0.025
LAP(加玻璃纤维)	0.003~0.005	氯乙烯丙烯共聚物	0.0025~0.0035
(加填料)	0.001~0.007	聚乙烯醇缩甲醛	0.0015~0.003
PE		纤维素塑料	
低密度	0.015~0.050	乙基	0.005~0.009
中密度	0.015~0.050	型材	0.003~0.010
高密度	0.020~0.050	丙酸	0.003~0.009
交联级, 旋转	0.015~0.030	醋酸-丁酸	0.003~0.009
模型	0.015~0.030	聚丙烯酸酯	
电缆	0.020~0.050	高耐冲击级	0.004~0.008