

# 注射成型 CAE 分析结果的评价尺度

李宏生 郭志英 李德群

(上海交通大学塑性成形工程系, 上海 200030)

**摘要** 针对 CAE 分析结果缺少评价尺度的现状, 阐述了建立注射成型 CAE 分析结果评价尺度的目的和意义, 分析了 CAE 分析结果评价与制品质量检验的差别。提出了建立评价尺度应考虑的因素和评价指标的选取原则, 建立了外观缺陷、尺度精度、件重范围和过程变量的评价尺度。

**关键词** 注射成型 CAE 分析 评价尺度

CAE 分析是辅助注塑工艺参数设置、模具设计的重要工具。CAE 分析会产生大量的结果, 对这些结果需要科学地进行评价才能得出有效可行的设计方案。CAE 分析结果包括缺陷和过程变量, 这些结果直接决定着最终制品的质量或预示着最终制品的质量问题。所以, 对这些分析结果进行评价是 CAE 分析过程中的重要一环。传统的 CAE 分析以经验确定分析结果的评价尺度, 或由用户提供质量要求, 由于用户对质量的要求大多是描述性的, 甚至还有许多用户对 CAE 分析结果评价的质量要求不明确, 与定量要求差异很大。分析员评价 CAE 分析结果时, 往往针对单个实例进行评价。由于注塑制品多种多样, 个性要求差异很大, 所以确定统一的评价尺度比较困难。国内外并不存在 CAE 分析结果的评价标准, CAE 分析结果的评价尺度缺少统一性和规范性。这使得分析员在评价过程中缺少依据。由此看来, 建立注射成型 CAE 分析结果的评价尺度, 对于避免评价过程的盲目性具有重要意义。CAE 分析结果评价尺度的建立, 也将使分析员有章可循, 提高分析的效率和准确性。

笔者结合 CAE 分析评价与实际制品质量检验的差别, 建立了外观缺陷、尺度精度、件重范围和过程变量的评价尺度。

## 1 CAE 分析结果评价和实际制品质量检验的差别

CAE 分析模拟注射成型的过程, 实际上是在电脑上进行工艺实验或试模。CAE 分析得出的制品是真实制品的虚拟, 大致表现了实际制品的质量特性。但 CAE 分析得出的虚拟制品和实际制品存在一些差别, 这些差别是 CAE 分析和实际注塑生产的差异造成的。CAE 分析评价和实际制品质量检验的相似性和差异性表现为:

### (1) 对象和范围

CAE 分析评价和实际制品质量检验都包含熔

接痕、气泡、缩痕、收缩、翘曲、充填不足等缺陷及件重和尺寸情况。CAE 分析可以表现诸如滞流、喷射、流动不平衡、剪切过热、冷却不均匀等在成型过程中出现的问题, 实际制品质量检验只能展示最终制品的质量特性。由于 CAE 软件功能的局限性, CAE 分析对制品的力学性能(强度等)、热性能、电性能、化学性能、耐候性等还不能评价, 对毛边、毛刺、流痕、缺损、表面杂质、平滑性和色泽等质量特性也不能评价。而对于实际制品, 这些性能和缺陷都可以进行检验。

### (2) 缺陷表现形式

由于 CAE 分析在电脑上以图形表现, 且描述是近似性的, 所以其缺陷表现在形态上与真实的制品有很大差别。如熔接痕和气泡, CAE 分析结果是以线段连接表现的, 这与实际制品中缺陷的三维特征有很大差别, 实际制品的质量检验更具有真实性。

### (3) 测量工具和方法

CAE 分析得出的数值结果一般不用测量。但为了分析员评估的方便, 程序上也提供一些如长度测量等工具。而实际质量检验主要利用量具如卡尺和塞尺进行测量。对于熔接痕、气泡和缩痕等缺陷, 质量检验中一般进行目测评价, 而进行 CAE 分析时, 由于这些缺陷表现形式上的差异, 一般要提出适用于 CAE 分析的方法来进行评价。

### (4) 误差来源

CAE 分析过程存在的多种简化和近似, 以及算法误差是误差的主要来源。而在实际制品质量检验中, 测量误差是误差的主要来源, 评价过程同时受人为误差的影响, 如熔接痕评价受观察距离、观察角度、光线条件和观测者视力等影响。

### (5) 批次性

实际注塑生产都是批量生产,质量检验一般用统计方法进行抽样检验,最终得出合格率和不合格率。而 CAE 分析是对单个成型方案的模拟,不具有批次性,模拟得出的制品是单一的,所以不能利用统计方法计算合格率。

#### (6) 功能和作用

CAE 分析评价方案的可行性,验证工艺条件、模具设计、选材等是否合理。质量检验用于验证制品是否合格。

鉴于这些差异,利用 CAE 分析时要考虑其本身的特性,且评价方法和尺度与实际制品质量评价也有很大不同。由于 CAE 分析只能模拟注塑过程的一些环节,而诸如塑料在注塑机内的塑化、过程参数的控制等方面并不能表现,所以影响最终制品质量的这些因素并没有被考虑。因此,CAE 分析结果的评价尺度要比实际制品质量的评价尺度严格,这样才能保证最终制品的质量。

### 2 建立评价尺度应考虑的因素和评价指标选取的原则

CAE 分析结果的评价是一个复杂过程,评价过程中的许多不确定性导致了评价的困难。建立评价尺度应考虑以下因素:

#### (1) 评价对象的特性

各种评价对象都具有本身的特性,评价尺度的确立要结合这些对象本身的特性,提取适当的评价指标,然后在这些指标上建立尺度量级。

#### (2) 不同制品的质量要求

各种制品都具有本身的结构特点,不同类的制品功能差别很大,使用环境也不一致,因此对质量的要求差别很大,评价尺度的建立要对制品分类分级进行。

#### (3) 适度原则

评价尺度既要保证制品的性能要求,又要降低耗材和能耗,使得加工性良好。

在此基础上,评价过程中还要对各评价对象抽取评价指标。这些指标的选择要考虑以下原则:①要以注射成型的理论为基础;②要具有可比性;③要具有可操作性;④要具有代表性;⑤要容易获取并易于量化。

### 3 评价尺度的建立

评价尺度的建立主要根据不同类制品的质量要求,结合 CAE 分析评价的经验,并参照国家相关的塑料制品标准<sup>[1]</sup>进行。

#### 3.1 外观缺陷的评价尺度

##### (1) 熔接痕

对熔接痕的评价主要考虑熔接痕对制品外观质量和力学性能的影响。实际制品检验对熔接痕的外观评价利用目测法,在一定的观测条件下判断熔接痕的可见程度是否可以接受。CAE 分析可以得出熔接痕结果,给出熔接痕的位置、形状、长度、压力、温度和冻结历史等信息。由于熔接痕的可见性不仅与熔接痕在制品上所处的位置有关,还与熔体的熔合情况有关,而熔体的熔合情况在 CAE 分析中只能通过熔合历史近似地估计,所以熔接痕外观的评价尺度主要利用熔接痕的出现位置。评价熔接痕外观的尺度为:①外观要求高的表面不允许出现熔接痕,出现在制品内表面、放置面和边界等不明显位置的熔接痕一般可以接受。②处于表面装饰位置的熔接痕一般可以接受,如欲进行喷漆、喷油、电镀、添加表面纹理等,熔接痕可以通过这些表面装饰来掩饰。③对于颜色深的制品,因熔接痕的熔合界面明显,这种熔接痕一般不可接受,而对于颜色浅的制品,熔接痕一般可以接受。④光学制品如透镜、车灯中出现的熔接痕不可接受;而对于一般用途的透明制品,熔接痕可以接受。

实际制品检验中熔接痕强度一般通过试验测得,分别对有熔接痕试样和无熔接痕试样进行拉伸、冲击等试验,然后将两者的强度比作为熔接痕的接缝系数<sup>[2]</sup>,接缝系数越高,熔接痕的强度就越高。现有的 CAE 分析软件还不能直接得出熔接痕的强度。有文献报道可根据熔接痕的熔合历史参数,利用神经网络方法预测熔接痕强度。但这种方法比较复杂,很多过程参数难以获取。

结合 CAE 分析的经验,评价熔接痕强度的尺度为:①对于一般受载荷很小的制品,熔接痕的熔合强度足以满足制品的承载要求,所以不进行熔接痕强度的评价分析;②对于脆性聚合物,如聚苯乙烯、(苯乙烯/丙烯腈)共聚物、聚甲基丙烯酸甲酯等,接缝系数应为 0.4 ~0.7 或 0.7 以上;对于韧性聚合物,如聚甲醛、聚丙烯、聚碳酸酯、(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)共聚物等,其接缝系数为 0.7 ~0.8 或 0.8 以上;③对于受力部位的熔接痕,应设定较大的接缝系数;④填充改性聚合物的熔接痕比未填充聚合物的熔接痕难以熔合,应选取较低的接缝系数;⑤具有加强筋、角撑等特征位置的熔接痕,可以选取较低的接缝系数。

(2) 气泡

气泡主要影响制品的外观质量。实际制品检验对气泡的评价利用目测法。CAE 软件可以模拟气泡出现的位置、大小和形状。气泡的评价与制品的总体尺寸、壁厚、材料透明性、气泡位置和分布有关。总体尺寸是指制品在各向上最大的尺寸。在确定气泡评价尺度的同时要考虑制品的品级、种类和功能。气泡的评价尺度为: ①壁厚小于 2 mm 的制品不允许有气泡; ②不同总体尺寸的制品中气泡的泡径、数目和分布情况如表 1 所示; ③要求表面光滑透明的制品不允许有气泡, 常见不准许有气泡的制品如表 2 所示。

表 1 不同总体尺寸的制品中气泡的评价尺度

| 项 目        | 总体尺寸 /mm |      |        |         |
|------------|----------|------|--------|---------|
|            | 1.0 ~2.5 | 3 ~5 | 10 ~50 | 60 ~200 |
| 气泡直径 /mm ≤ | 0(1)     | 0(2) | 2(3)   | 2(4)    |
| 气泡个数 ≤     | 0(2)     | 0(2) | 2(3)   | 3(5)    |

注: 表中所列数字为一等品指标, 括号内为合格品指标; 总体尺寸大于 30 mm 的制品, 外表面气泡间距不得小于 30 mm。

表 2 不允许有气泡的制品类别

| 种 类 | 举 例        |
|-----|------------|
| 薄膜  | 各种覆盖膜、包装膜  |
| 管道  | 三通、流体输运管路  |
| 容器  | 罐、瓶、箱、桶等   |
| 电器  | 各种电器外壳     |
| 建材  | 塑料门窗、板材、型材 |
| 家用  | 塑料餐具       |
| 光学  | 透镜         |

(3) 缩痕

缩痕是指制品成型时局部收缩比附近区域大造成的凹陷。缩痕不影响制品的强度, 但影响制品的外观。实际制品检验中评价缩痕主要靠目测, 而 CAE 分析可以得出缩痕深度。评价时要设定制品允许的最大缩痕深度。

缩痕评价遵照以下尺度: ①如果缩痕深度小于 0.01 mm, 用肉眼是观察不到的, 所以只要缩痕深度小于 0.01 mm 就可以接受; ②对于总体尺寸小于 100 mm 的制品, 缩痕深度小于 0.1 mm, 并且每 10 mm ×10 mm 面积以内的缩痕不得超过 5 个, 且呈分散状; ③对于总体尺寸大于 100 mm 的制品, 缩痕深度小于 0.3 mm, 并且每 100 mm ×100 mm 面积以内的缩痕不得超过 5 个, 且呈分散状; ④缩痕深度一般小于制品厚度的 5%。

3.2 尺寸精度的评价尺度

翘曲和收缩是影响制品尺寸精度的主要因素, 一般制品对翘曲和收缩都有要求。

(1) 翘曲

CAE 软件具有翘曲分析模块, 可分析得出翘曲的程度。评价翘曲的主要指标是翘曲度。翘曲量为制品翘曲表面与水平台面的最大距离  $h$ , 翘曲度可定义为翘曲量  $h$  与翘曲所在水平面沿翘曲方向的直线长度  $L$  的比值, 如图 1 所示。制品质量检验时对翘曲是利用塞尺测量的。

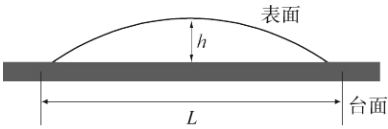


图 1 翘曲度的定义

翘曲的评价尺度为: ①放置面的翘曲, 要不影响制品的放置; ②配合面的翘曲, 要符合制品的尺寸公差标准(GB/T 14486-1993<sup>[2]</sup>); ③根据翘曲面的长度, 确定翘曲度如表 3 所示。

表 3 翘曲的评价尺度

| 项 目       | 评价尺度 |         |           |        |
|-----------|------|---------|-----------|--------|
| 翘曲面长度 /mm | ≤ 50 | 50 ~200 | 200 ~1000 | ≥ 1000 |
| 翘曲度 /%    | 不规定  | ≤ 1.0   | ≤ 0.5     | ≤ 0.2  |

(2) 收缩

制品尺寸精度的评价要考虑不同类制品的尺寸精度要求, 一般分为精密级、中级和自由尺寸三个等级。收缩是影响制品尺寸精度的一个主要因素。CAE 分析具有收缩模拟的模块, 可以计算出一定工艺条件下的收缩率。收缩的评价公式为:

$$Sh \leq Sh_{max} \tag{1}$$

式中:  $Sh$ ——制品的收缩量;

$Sh_{max}$ ——允许的最大收缩量。

具体的收缩评价尺度可参照 GB/T 14486-1993 模塑件的尺寸精度公差标准。由于最终制品的尺寸公差还受模具加工、模具装配、工艺参数波动、材料批次等因素的影响, 所以确定收缩的公差时, 一般要比模塑件的公差小 1 ~2 个等级。

3.3 件重范围的评价尺度

一般制品不做件重范围的要求。对于有件重要求的制品, 要规定件重的最大和最小值。件重范围评价公式为:

$$W_{min} \leq W \leq W_{max} \tag{2}$$

式中:  $W$ ——件重;

$W_{min}$ ——件重允许的最小值;

$W_{max}$ ——件重允许的最大值。

制品的件重评价尺度与制品的总体尺寸有关, 总体尺寸越小, 允许的偏差越大。一般制品的件重

偏差如表 4 所示。

| 表 4 制品的件重偏差 |         |         |      |
|-------------|---------|---------|------|
| 项 目         | 总体尺寸/mm |         |      |
|             | 1 ~50   | 50 ~120 | ≥120 |
| 件重偏差 /%     | ±8      | ±6      | ±5   |

3.4 过程变量的评价尺度

注射成型的过程变量对最终制品的质量影响很大。过程变量的数值过大或过小往往预示着制品的质量缺陷。CAE 模拟可以得出这些过程变量如熔体的剪切应力、剪切速率、温度等的结果,这些量与材料的性能关系十分密切,一般在材料数据库中可以得到它们的允许范围。这些量的数值范围可表示为:

$S_s < S_{s\max}$  (3)

$S_r < S_{r\max}$  (4)

$T_g < T < T_d$  (5)

$T_m < T < T_d$  (6)

式中:  $S_s$ ——熔体的剪切应力;  
 $S_{s\max}$ ——材料允许的最大剪切应力;  
 $S_r$ ——熔体的剪切速率;  
 $S_{r\max}$ ——材料允许的最大剪切速率;  
 $T$ ——熔体温度;  
 $T_g$ ——无定形材料的玻璃化转变温度;  
 $T_d$ ——材料的降解温度;  
 $T_m$ ——结晶材料的结晶温度。

4 结语

分析了 CAE 分析结果评价与实际制品检验的差别,结合经验和国家标准,提出了 CAE 分析时的各种外观缺陷、尺寸精度、件重范围和过程变量等的评价尺度,为 CAE 分析提供了标尺,使分析和评价有章可循。

参 考 文 献

1 曾家华.塑料标准汇编.北京:中国轻工业出版社,1995.  
2 徐佩弦.塑料件的失效.北京:国防工业出版社,1998.

EVALUATION CRITERIA OF CAE ANALYTICAL RESULTS OF INJECTION MOLDING

Li Hongsheng, Guo Zhiying, Li Dequn

( Department of Plasticity Technology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

**ABSTRACT** Aiming at the status of lacking of criteria to evaluate CAE analytical results, the purpose and significance of setting up evaluation criteria are narrated. The difference between evaluation of CAE analytical results and inspection of product quality is analyzed. The factors and principles to establish evaluation criteria are put forward. The criteria of appearance defects, dimensional precision, weight range and process parameters are set up.

**KEYWORDS** injection molding, CAE analysis, evaluation criteria

罗门哈斯重点将建材和工程塑料用塑料  
添加剂推向中国市场

美国罗门哈斯公司是世界上最大的特殊材料制造商之一,2004 年销售总额 73 亿美元。目前罗门哈斯在全球拥有雇员约 17000 人,在全球 27 个国家设有 100 多个工厂和研究机构。罗门哈斯公司的技术被广泛应用于建筑涂料和工业涂料、粘合剂和密封胶、建筑材料、医药、个人护理品、家用产品和工业特殊化学品、计算机和电子部件、纺织和印染、皮革、纸品、塑料、工业水处理及盐类中。

罗门哈斯在 2005 年中国国际塑料橡胶工业展览会上重点推荐了建材和工程塑料用塑料添加剂。

**建材用塑料添加剂提高塑料门窗产品附加值** 当前,塑钢门窗具有能帮助建筑物节省能耗和减少噪音等优点,在经济实力雄厚的大中城市已经获得广泛应用。但是,由于一些生产企业只顾眼前利益,目前塑料门窗问题仍然很多。罗门哈斯作为添加剂行业的领军企业,在市场中推出高质量的 PARALOID™ 抗冲改性剂,这是一种性价比非常高的丙烯酸抗冲改性剂。据罗门哈斯塑料添加剂业务亚太地区市场经理郭凯介绍,与目前市场上流行的氯化聚乙烯相比,它具有

更高的抗冲击效率和促进 PVC 塑化的特性;同时它能赋予 PVC 型材更好的耐候性、较小的热收缩率、较高的刚性和更宽的加工范围,所以极大地帮助门窗生产厂家提高了产品的档次和保证了产品的质量。

针对中国塑钢门窗 80% 还只是以单一的白色为主,罗门哈斯也于最近推出全新的彩丽家™ 耐候性门窗表层聚合物,这种产品可以共挤在塑料型材表面,因此使门窗和外墙挂板表面彩色化。

**工程塑料用塑料添加剂为汽车提高安全系数** 工程塑料目前在汽车上已得到广泛应用,大多数汽车当中的塑料零配件,如仪表盘、保险杠、手柄、座椅、门板等都采用 ABS、PC 等工程塑料。据郭凯介绍,罗门哈斯的 PARALOID EXL™ 系列添加剂可以明显改善工程塑料的抗冲性能和其它一些特殊性能,例如添加了 EXL2691A 的塑料汽车仪表板的表面更加光洁,而且能极大地改善注塑加工时的熔接痕;采用 EXL2330 改性的汽车前后保险杠具有更为优异的耐老化性能,同时在意外情况发生时可以抵受更高的冲撞压力,从而保障乘车人的安全;采用 EXL5136 改性的汽车灯罩能够有效减少直射光线对车辆和行人的干扰。(工塑)