

不等厚塑件的设计其缺陷与应用

广州国光 陈智明

本课件分两部分：

第一部分

讲述不等厚设计的塑件外表面形成收缩痕的原因以及其可见性的计算。

摘要：

对于不等厚注塑件在注射成型时因收缩差所造成的收缩痕，其存在的必然性，本文是持肯定的观点的。正是因为收缩痕的不可以被消除性，所以把处理问题的方法导向收缩痕的可见性的极限条件的研究。尝试建立收缩模型的方法，利用几何光学的基本原理，根据人眼的分辨率，计算出参数厚薄比、两个不等厚度值之间的相互关系，并以此作为判别收缩痕可否被观测到的依据。

第二部分

介绍利用不等厚的设计改变熔接痕的位置，从而使熔接痕影响不到塑件外观，减少塑件的后处理成本，以期达到提高塑件表面质量的目的。

第一部分：收缩痕形成机理及其可见性的计算

1 前言

不等厚注塑件在段差处出现收缩痕的情况极为常见，被认为是解决问题的手段似乎有很多，但目前所行使的方法都还只是局限于使用一些变通的手段进行化解，效果只能说是有所改善，但最终都还是未能很好地根除的。十分恼人，已成为业界同仁们的心中永远的痛，以致被称之为“死症”。到底是什么原因造成的收缩痕？有没有破坏的极限？其可见性是否也有一定的规律及计算方法？到底能不能消除？

正如我们都知道的，塑料在注射成型时因收缩不均而产生应力，直接关系到制品的形状、尺寸精度以及外观等问题。有研究表明：塑料制品特性、产品设计以及工艺条件控制等都会影响成型收缩率。为此笔者尝试用建立收缩模型的研究方法，基于几何光学的基本原理，把人眼分辨率作为切入点，分析不等厚塑件注射成型时因收缩差所产生的应力导致的外观不良成因。计算出在收缩痕可见的情况下不等厚塑件段差处的厚度值及厚薄比的参数值，以之作为塑件收缩痕可见性的评判标准。借此为产品制订合理的设计参数、工艺条件以及进行正确的工艺控制等提供一些依据。

特别说明一下，本文的一切参数都是以ABS作为注塑材料来进行一系列的计算和分析的。

2 收缩痕的形成原因

请看下两个图，其中图1就是ABS塑料制品成型时模具温度与收缩率的关系，图2是ABS塑料制品成型时厚度与收缩率的关系。事实上对收缩率有影响的因素还有很多，在此不展开讨论，就略去不提了。

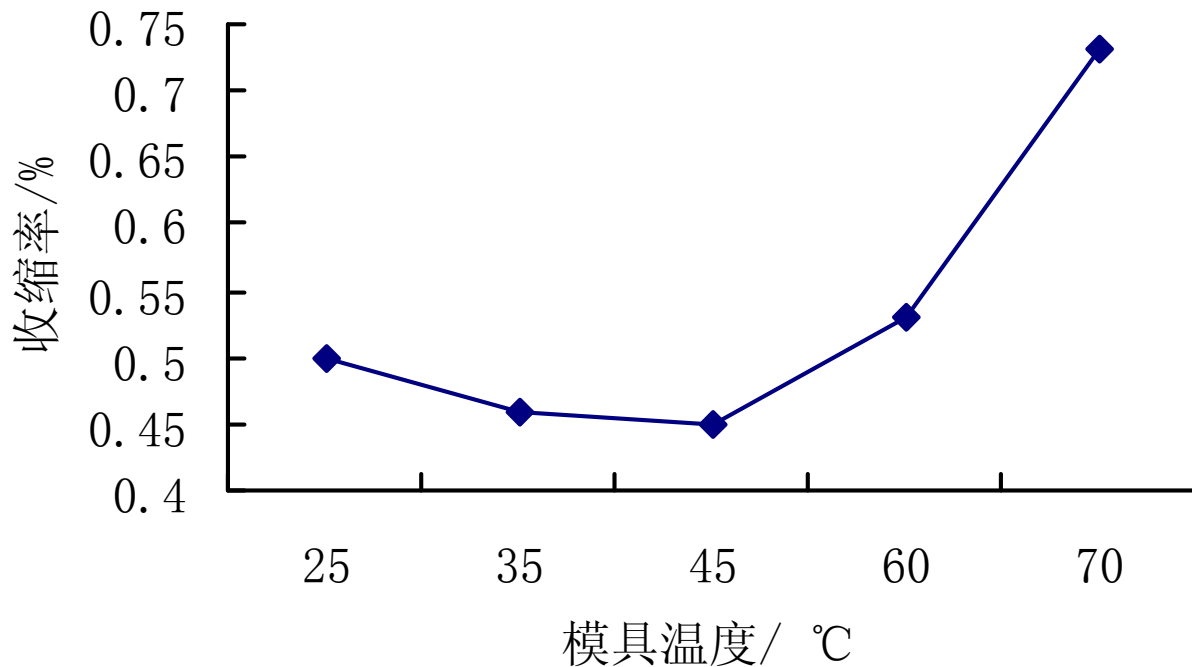


图 1

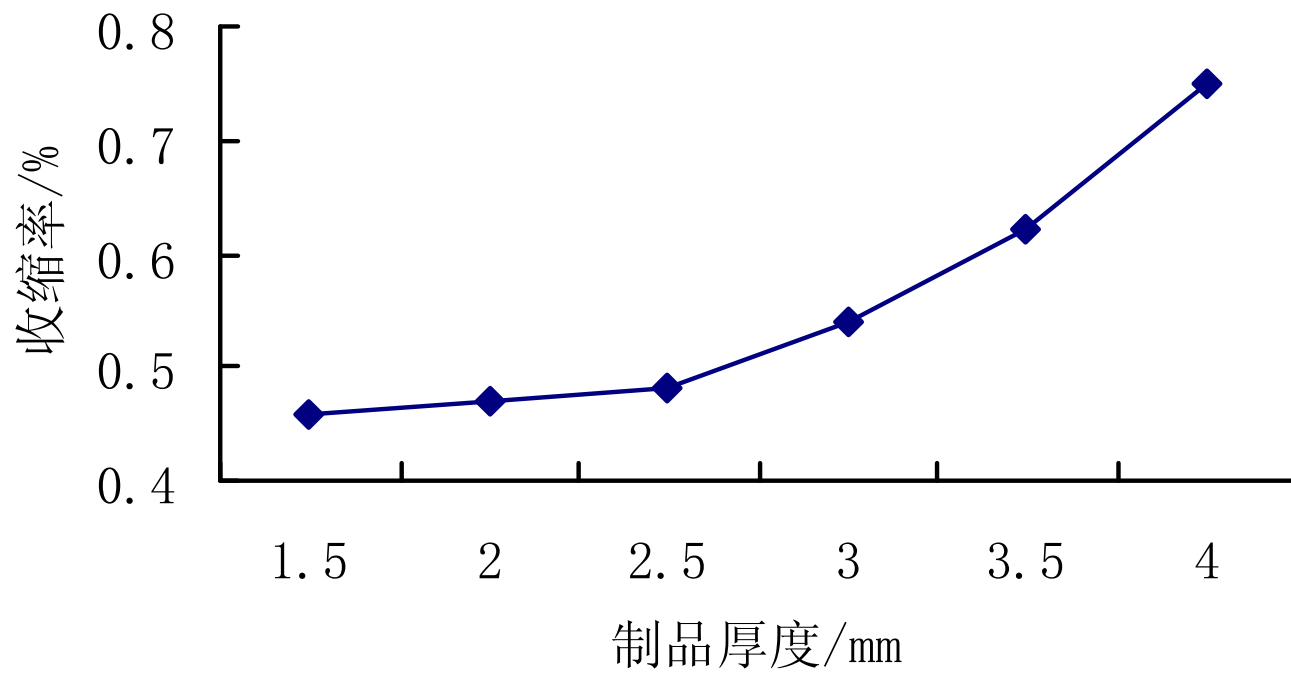


图2

图3就是我们将要研究的一个不等壁厚的圆柱形注塑件的剖面图，两段壁厚分别为 T_1 和 T_2 。 T_1 是薄壁厚度， T_2 是厚壁厚度， 它们的段差为 ΔT 。 亦即是：

$$\Delta T = T_2 - T_1 \tag{1}$$

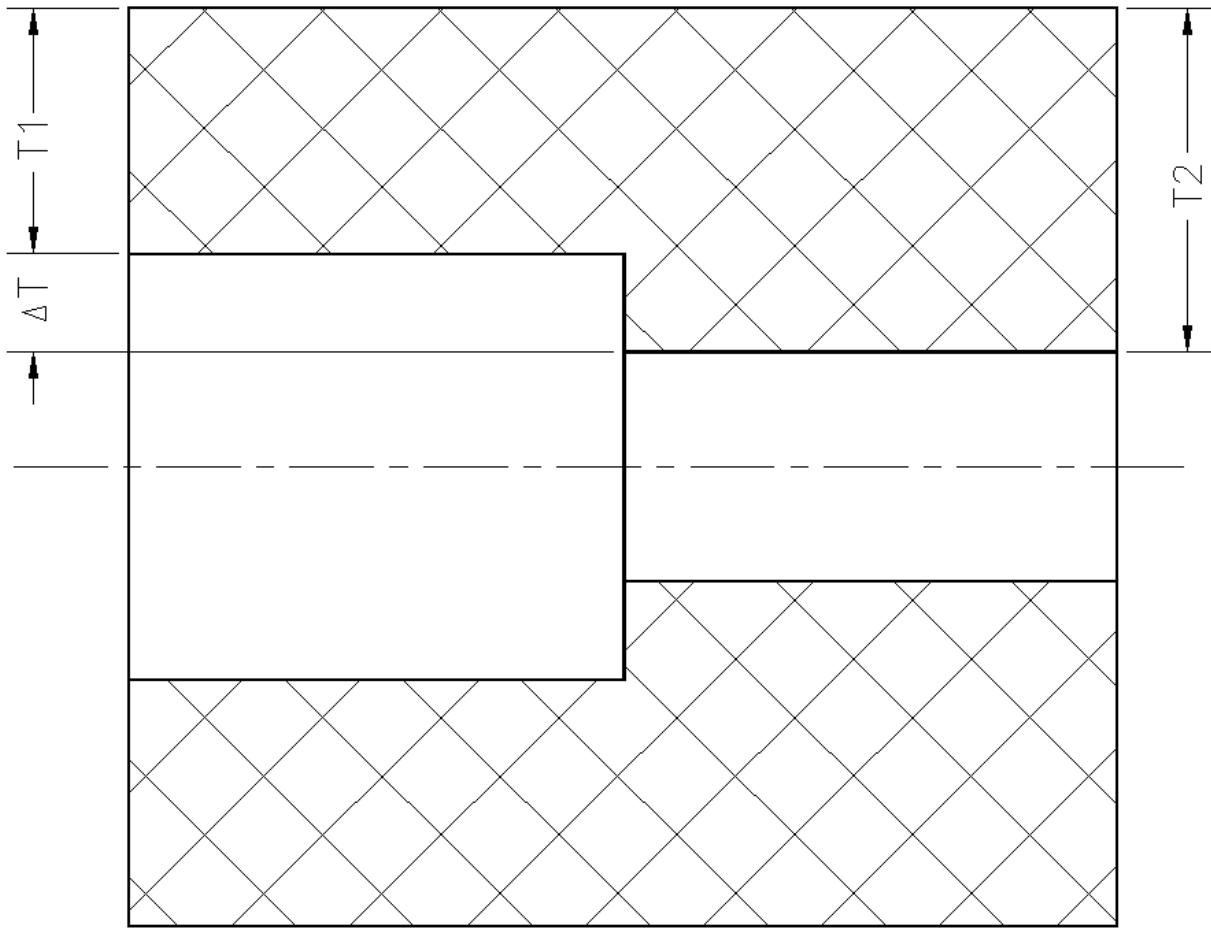


图3

图4是塑件在注射成型冷却后在模具内部的简易收缩模型分析图。细实线 $ABCD$ 就是直线 $A'B'C'D'$ 收缩后的外侧轮廓。图中： T_{1s} 是薄壁成型冷却后的厚度， T_{2s} 是厚壁成型冷却后的厚度。

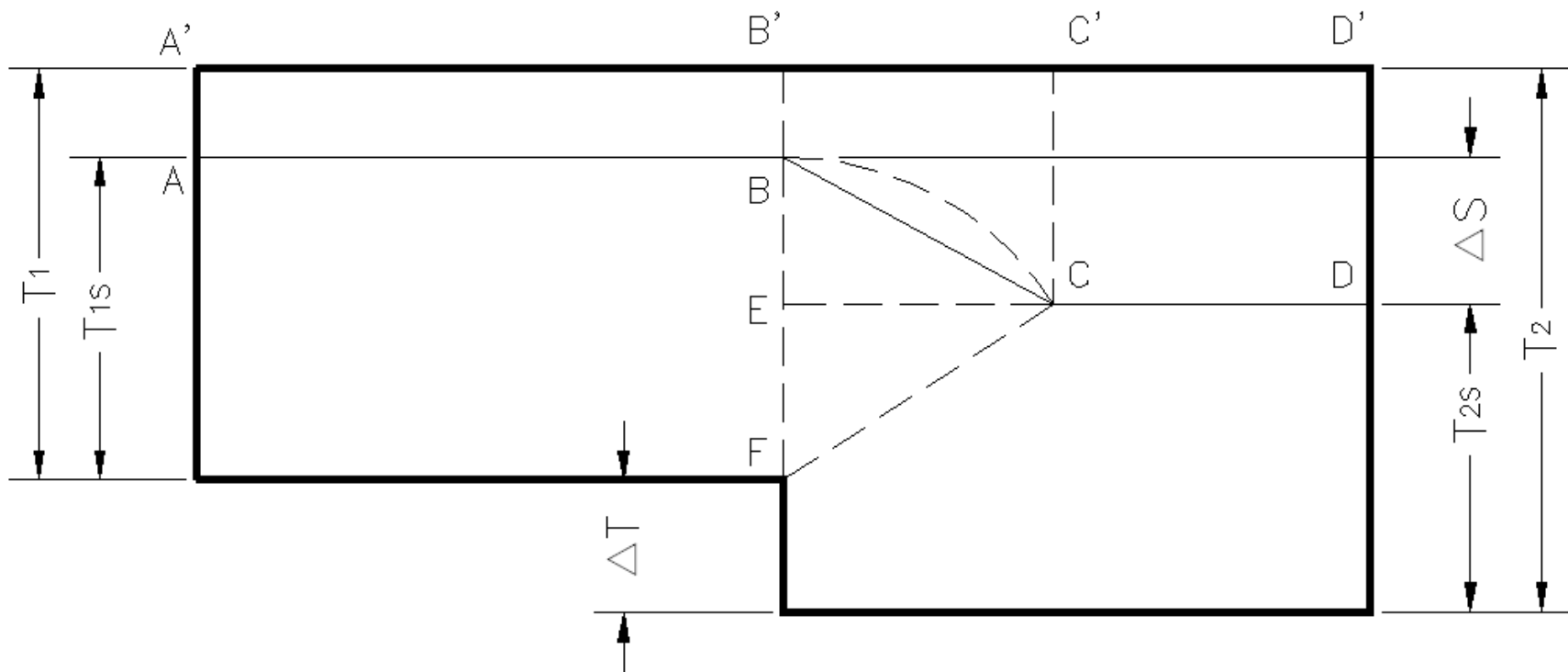


图4

资料显示ABS材的收缩率可以在0.29%~0.76%之间变化。一般情况下在模具内部料厚处会比料薄处冷却速度慢，其局部温度也会高于料薄处，正如图表1所示ABS的收缩率是随模具温度增高而增大，再就是如图表2，ABS的收缩率亦随厚度的增大也接近线性地增大。

由于型芯在F点处存在段差 ΔT ，且 T_1 和 T_2 数值不同，故其收缩量就出现差异。若设定 T_1 收缩率为 S_1 ， T_2 收缩率为 S_2 ，则 T_1 的收缩量为 $S_1 \cdot T_1$ ， T_2 的收缩量为 $S_2 \cdot T_2$ ，把 B' 、 C' 设定为取样点，塑件成型后造成外侧的过渡区BC段形成了一个收缩差 ΔS ，也就是：

$$\Delta S = T_2 \cdot S_2 - T_1 \cdot S_1 \quad (2)$$

式中的 S_2 和 S_1 就是材料在不同厚度的取样点处的收缩率。

因此，在总体的表现上，随着段差值的增大其收缩率的差值亦会变大，从而也起到加剧收缩差 ΔS 的增大作用。

在简易收缩模型图4中，收缩差 ΔS 在外形表现上应是近似呈弧线形状 $BC_{\text{弧}}$ ，此弧线的圆心就在 F 点，这样理解可以比较符合物体的自然弯曲所形成圆角的特性。再就是该弧线的曲率一般较小，通常把它当成直线 BC 来参与计算。所以就认为外侧的过渡区 $B' C'$ 段在成型收缩后变成 BC 段，因 $BC > B' C'$ ，于是 BC 段就被拉长了 $B' C' - BC$ ，故产生了一个伸长率为 ε 的拉伸变形，在此

$$\varepsilon = (B' C' - BC) / BC$$

应力就因此产生在塑件的外侧面，其结果就导致 BC 段不再保持与 AB 、 CD 段直线关系，而变成一段近似斜线的线段，致使原来是直线关系的 $A' B' C' D'$ 变成了在中段是斜线的折线 $ABCD$ 了。从此，外观上的视觉一致性就不复存在。 BC 区域的应力在注射成型冷却后塑件还没有脱模前就已经产生，并且脱模后仍然存在，虽然会有所减弱，但不会完全消除。该段斜线 BC 带状区就是我们常说的收缩痕，这就是收缩差引起收缩痕的根本原因。因此，我们就把由收缩差引起的应力变形所造成的视觉差异称为收缩痕，又叫做应力纹。图5就是有段差的实物照片，轻度时的外观如图6带状收缩痕 BC 区，严重时会产生如图7中的贝壳纹，俗称的“应力纹”。



图5



图6

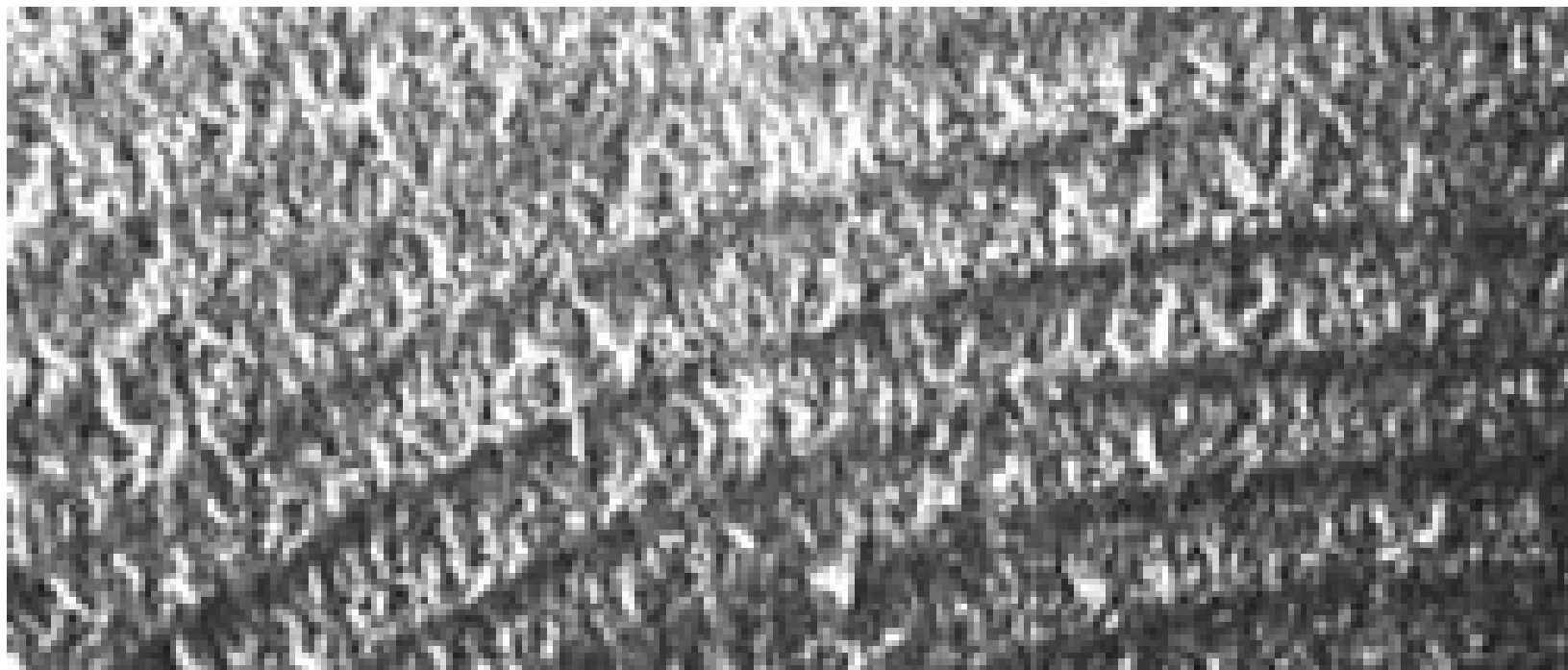


图7

顺便提醒一下，塑件在模具内还没有脱模状态下，在型芯的内侧尺寸数值可以认为是没有变化的，亦即收缩差就只发生在BC区域的外侧。

3破坏极限计算

根据胡克定律，过渡区 $B' C'$ 被拉长成 BC 后，就会产生的拉应力 σ ，当其伸长率 ε 达到一定程度时， σ 值将会超过屈服应力 $[\sigma]$ ，此处就会受到破坏，表面产生无法恢复的变化，出现发白或贝壳纹。

下面我们来计算分析一下在段差 F 点处达到应力破坏极限时的厚薄比值 θ 。

已知^[1]：（西安交通大学材料力学教研室编，人民教育出版社，《材料力学》，1979年6月第1版。）

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3)$$

式中：

E 表示弹性模量， σ 表示应力， ε 表示线性应变—伸长率。

设定厚薄比为：

$$\theta = \frac{T_2}{T_1}$$

因为：

$$\varepsilon = \frac{BC - CE}{CE} = \frac{BC}{CE} - 1 \quad (4)$$

通过几何推算可得：

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \sqrt{\frac{2T_{1S}}{2T_{1S} - \Delta S}} - 1 \\ &= \sqrt{\frac{2T_1(1 - S_1)}{2T_1(1 - S_1) - (T_2S_2 - T_1S_1)}} - 1 \\ &= \sqrt{\frac{2(1 - S_1)}{2 - S_1 - \theta \cdot S_2}} - 1\end{aligned}$$

把 ε 代入公式 (3) ， 则有：

$$\sigma = E \cdot \sqrt{\frac{2(1 - S_1)}{2 - S_1 - \theta \cdot S_2}} - E$$

亦即:

$$\theta = \frac{2(1-S_1) \cdot \left[1 - \left(\frac{E}{E+\sigma} \right)^2 \right] + S_1}{S_2} \quad (5)$$

代入ABS各相关数据^[2]: (冯炳尧, 韩泰荣, 殷振海, 蒋文森。上海科技出版社, 《模具设计与制造简明手册》, 1985年6月第1版。)

$$E = 1.8 \times 10^4 (10^5 P_a) \quad [\sigma] = 500 \times 10^5 P_a$$

此处我们把不等厚段差处的两处收缩率分别按最小值和最大值取值, 亦即:

$S_1=0.0029, S_2=0.0076$, 可得:

$$\theta = \frac{2 \times (1 - 0.0029) \times \left[1 - \left(\frac{1.8 \times 10^4}{1.8 \times 10^4 + 500} \right)^2 \right] + 0.0029}{0.0076} \approx 14.3$$

上述的算法是两收缩率差值最大取值时的状况。如果我们可以把 S_1 和 S_2 都按平均值

$S=0.005$ 来计算的话, 则有如下结果:

$$\theta = \frac{2 \times (1 - 0.005) \times \left[1 - \left(\frac{1.8 \times 10^4}{1.8 \times 10^4 + 500} \right)^2 \right] + 0.005}{0.005} \approx 14.5$$

由此可见，对于公式（5）来说，不管是取收缩率值为两个最小最大值（ S_1, S_2 ），还是取收缩率的平均值（ S ），所计算出的 θ 值都是比较接近，相差不大。因此我们有理由相信，把公式(5)中的收缩率值替换为平均收缩率值，可以让计算来得简易些。于是公式（2）和公式（5）可分别简化成：

$$\Delta S = \Delta T \cdot S \quad (6)$$

$$\theta = \frac{2(1-S)}{S} \left[1 - \left(\frac{E}{E+\sigma} \right)^2 \right] + 1 \quad (7)$$

从计算结果来看,对于塑料ABS来说,只要厚薄比 $\theta > 14$ 时,塑件外表面才会遭受破坏。但从常规的设计数据上来看,塑件上段差处的厚薄比 θ 超过14倍的可能性是比较小的。再有一点就是,我们计算时只是把因收缩差导致的拉伸量全部分担给了过渡区BC段,现在计算的结果实际上只是一个近似值。究其原因就是,对于取样区B'C'的几何拉伸应该是在BC中心部分伸长率最大,并各自向BC两端逐渐变小的过程,也就是说BC长度两端之外还将分担此区域的部分变形,应该说BC段的实际伸长率比用公式(5)所计算的值要略小,当然产生的拉应力亦会相应的小一些。因而用公式(7)所计算出厚薄比 θ 值将会比14更大一些。这更加印证了按常规的设计的数据来看,塑件外表面要受到因收缩差所带来的应力破坏的几率是很低的。

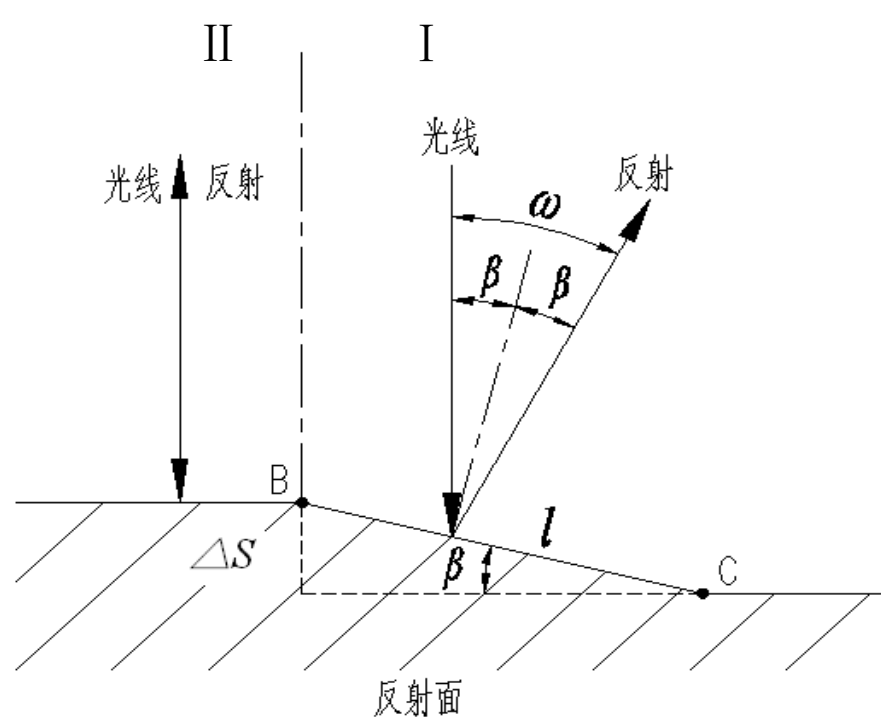
一般情况下,不等厚注塑件脱模后,其段差处在模内所产生的应力变形是可以随着时间的推移得到一定量的恢复,对表面的几何尺寸影响不大。如后处理采用喷漆等覆盖性后处理的话,表面质量是完全可以满足要求的。但是,如果表面不做后处理,因其模内形成的收缩痕是仍然存在的,所带来表面的瑕疵将会有被显露出来的可能。

因此,我们没有必要担心由于材料厚薄比 θ 值过大而造成制品表面的应力破坏,而应该研究的是材料厚薄差异在过渡区域所造成收缩痕的可见程度的规律性。

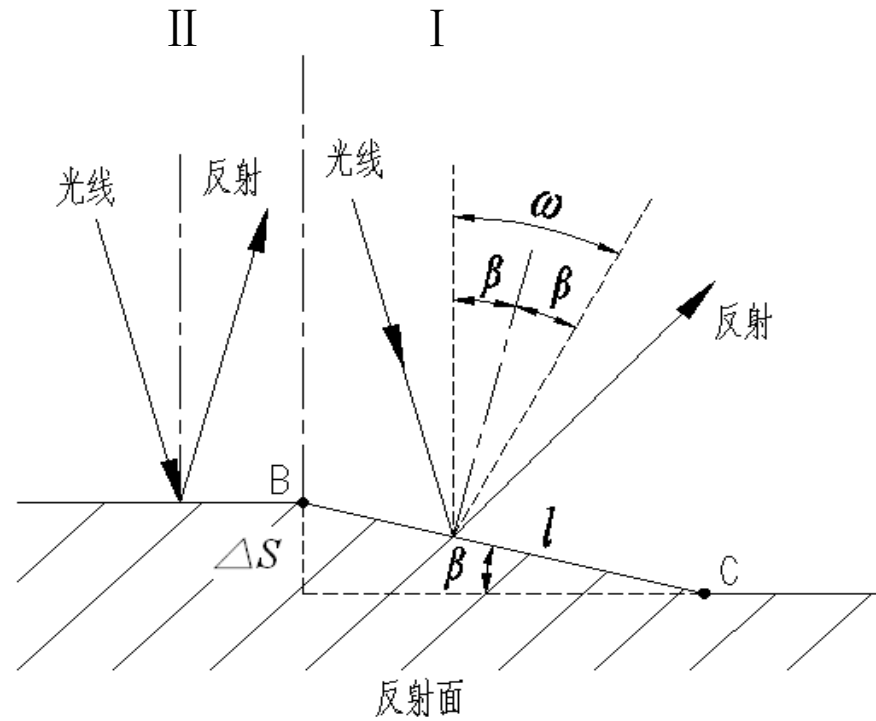
4 收缩痕可见性的极限计算

既然我们已经谈到收缩痕的可见性问题，自然就会跟人的眼睛扯上关系，因此，我们就有理由把人眼的分辨率拿来说事，从几何光学的基本原理开始分析其必要的观测条件。事实上，不是所有的应力变形都能被人眼观测得到，只有当应力变形达到一定的程度时，其所造成的收缩痕才可满足人眼的可见条件，引致所谓的“外观不良”。下面我们就用几何光学的方法来分析计算应力变形所带来的一系列问题。

利用图4，我们把收缩差引致局部拉伸的 BC 段的长度设为 l ，斜楔角设为 β ，斜楔高度为 ΔS 。当光线直射在塑件楔形表面时反射光线将会偏移一个角度，而该反射角就等于 β ，如图8（A）。



(A)



(B)

图8

人类眼睛在中等亮度和中等对比度的环境下，分辨率^[3] $\omega = 1'$ 。（沈海龙编，徐金镛校，华东工程学院出版，《光学测量》，1982年6月。）因此，当光线在斜楔面的反射偏角 $\beta = \omega/2$ ，亦即 $\beta = 0.5'$ 时，就满足人类眼睛可以观测的分辨率，亦即是可以被观测到的临界值。

正是由于上述原理，把有收缩痕的样品在对着光线的摆出不同角度时，收缩痕的位置和强弱都会有比较明显变化。若是在散射光（漫反射）的环境下，收缩痕的显现就会减弱或者无法被观测到。在满足 $\beta \geq 0.5'$ 时，还需符合光源区与观测区必须分别置于 I 区和 II 区。亦即是，要么把光源区放在 I 区，观测区放在 II 区，要么把光源区放在 II 区，观测区放在 I 区，就是不能把光源区与观测区同时处在 I 区或 II 区。当这些条件都得到满足后，收缩痕才可以被观测到，图8（B）。图6中的BC区收缩痕是在光线的一个特定得反射角范围内被观测到的照片。

还有一个不容忽略的因素就是人眼可视的最小长度值，观察距离以明视距离250mm计算，则有斜楔面的可视最小长度*l*为：

$$l = 250 \cdot \tan \omega = 250 \cdot \tan \left(\frac{1}{60} \right)^\circ \approx 0.073 (mm)$$

可以这样说，收缩痕要达到可见的条件必须满足： $\beta \geq 0.5'$ ， $l \geq 0.073mm$ 。因此，我们就把从上面的所计算出 β 和 l 的极限值作为下面一系列计算的依据。

收缩模型计算法

实际上，我们可以在图4简易收缩模型的基础上进一步细化，建立一个更为精确的收缩模型图，以此来进行一些分析计算，探求收缩痕达到可见条件时，厚薄比 θ 临界值以及 T_1 和 T_2 之间的相互关系。如图9所示。

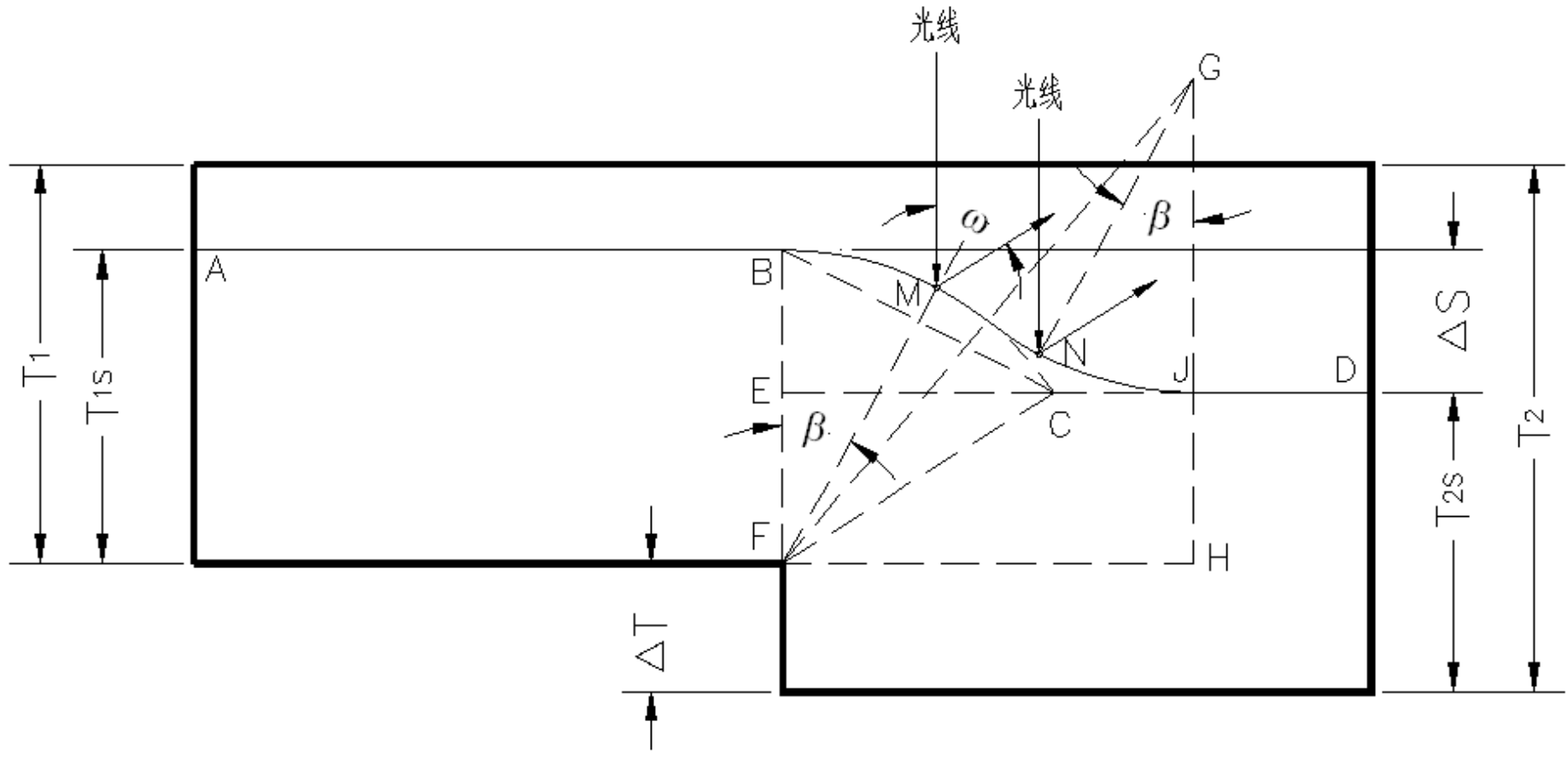


图9

收缩模型图9中的细实线就是塑件收缩后的轮廓线， $BMNJ$ 就是两段分别以 F 和 G 为圆心，以 T_{1S} 为半径的相切圆弧， M 与 N 区间的直射光线反射角 $\beta \geq \omega/2$ ，也就是说只有 MN 段才会有可能会被人眼观察到，亦即是常说的收缩痕所在区域。我们要计算的就是当 MN 的长度在可见的临界值时， θ 值与之的关系。在此设定 $MN=l$ 。从图中的几何关系可得到等式：

$$\cos\left(\frac{90 \cdot l}{\pi \cdot T_{1S}} + \beta\right) = \frac{2 \cdot T_{1S} - \Delta S}{2 \cdot T_{1S}} \quad (7)$$

因计算量比较大，笔者把推算的过程省略，直接导出公式如下：

$$\theta = \frac{2-S}{S} - \frac{2(1-S)}{S} \cdot \cos\left[\frac{90 \cdot l}{\pi \cdot (1-S) \cdot T_1} + \beta\right] \quad (8)$$

已知： $S=0.005$ ， $\beta=0.5'$ ， 代入公式（8）：

$$\theta = \frac{2-0.005}{0.005} - \frac{2(1-0.005)}{0.005} \times \text{Cos} \left[\frac{90 \times 0.073}{3.14 \times (1-0.005) \times T_1} + \frac{0.5}{60} \right]$$

可得：

$$\theta = 399 - 398 \times \text{Cos} \left(\frac{2.102}{T_1} + 0.0083 \right)$$

简化后得：

$$\theta = 399 - 398 \times \text{Cos} \left(\frac{2.1}{T_1} \right) \quad (9)$$

$$T_2 = T_1 \bullet \left[399 - 398 \times \text{Cos} \left(\frac{2.1}{T_1} \right) \right] \quad (10)$$

说明：上式中 T_1 和 T_2 单位是 mm ， θ 是无量纲单位。

若果我们预先设定 T_1 的取值在0.5~2.0之间，利用公式（9）和（10）可计算出当收缩痕被观测到时， T_2 与 θ 的临界值如下表1：

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| T_1 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.8 | 0.90 | 1.00 | 1.10 | 1.20 | 1.30 | 1.40 | 1.50 | 1.60 | 1.70 | 1.80 | 1.90 | 2.00 |
| T_2 | 1.04 | 1.04 | 1.08 | 1.13 | 1.19 | 1.27 | 1.34 | 1.43 | 1.51 | 1.60 | 1.68 | 1.76 | 1.85 | 1.94 | 2.03 | 2.14 |
| θ | 2.07 | 1.74 | 1.54 | 1.41 | 1.32 | 1.27 | 1.22 | 1.19 | 1.16 | 1.14 | 1.12 | 1.10 | 1.09 | 1.08 | 1.07 | 1.07 |

表格1

下图10就是根据表格1的数据所做的一个图表：

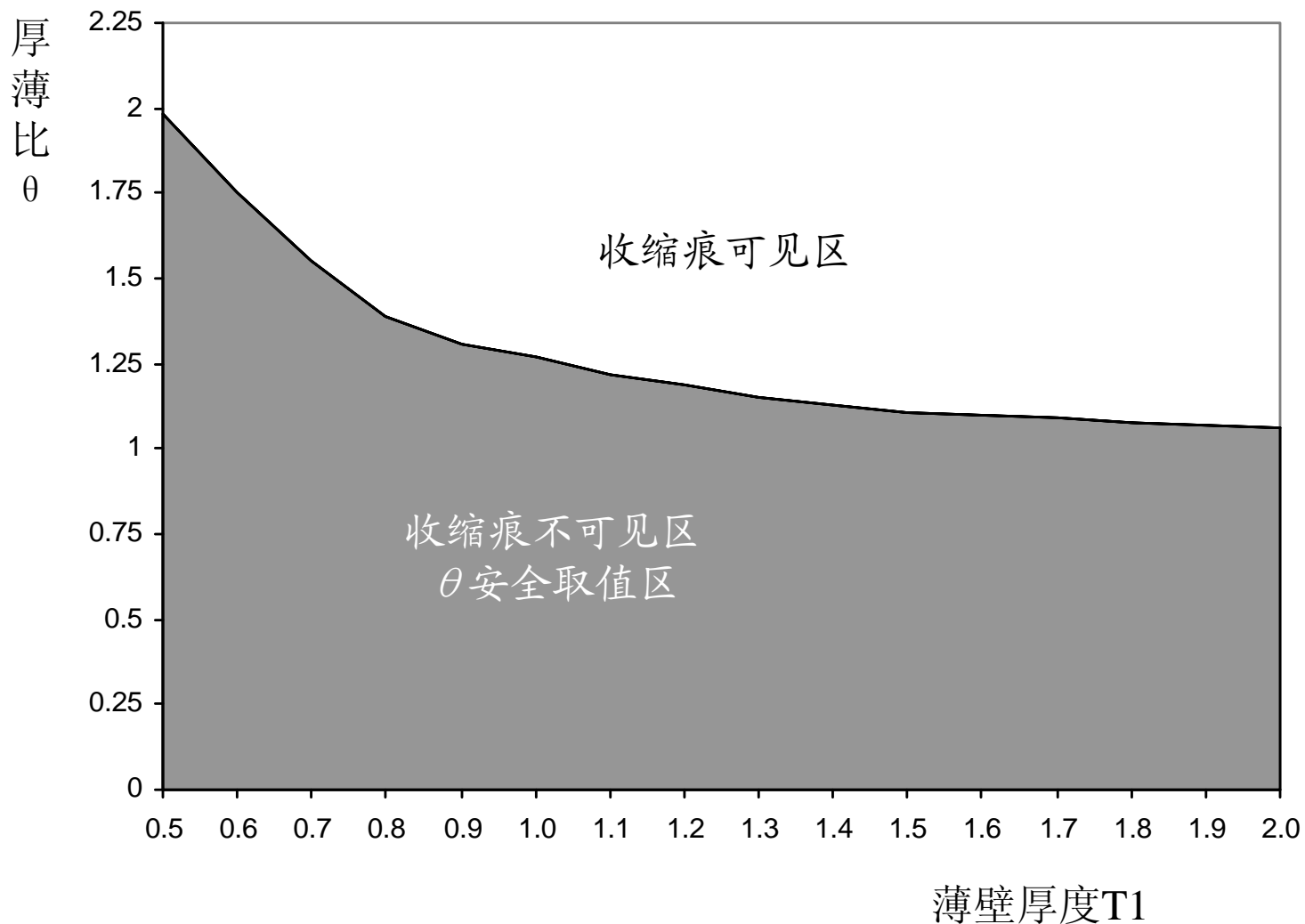


图10

从图10可得出厚薄比 θ 极限值是随着薄壁厚 T_1 的增大而减小，趋向 $\theta = 1$ 。

如果用 T_2 作为纵坐标替代厚薄比 θ 可得 T_1 和 T_2 的对应关系，如图11。当 T_1 取值越大时， T_2 的取值就越大，几乎成线性的关系。

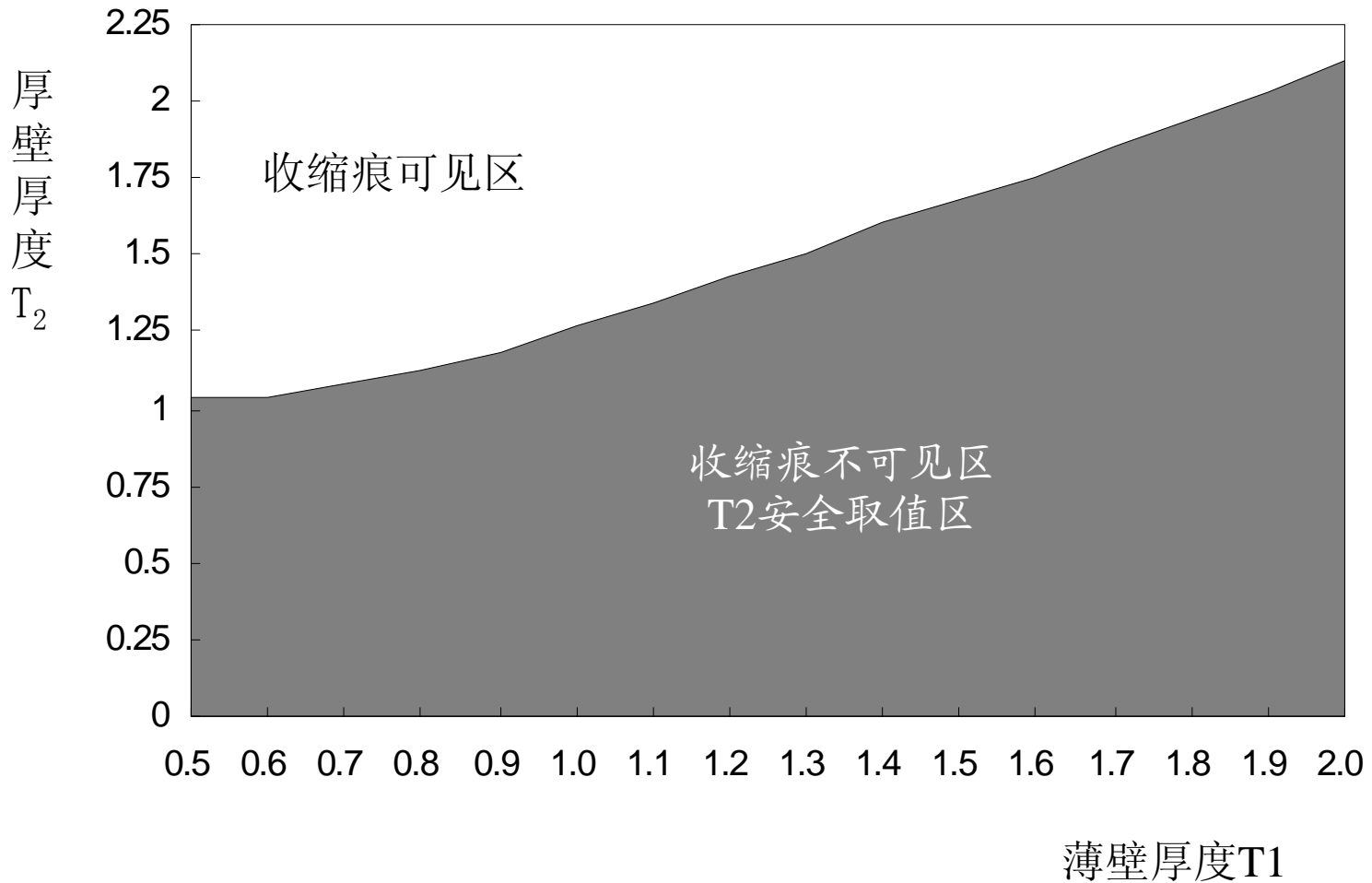


图11

5分析与讨论

事至如此，我们对于不等厚塑件的收缩痕的形成机理，已经十分明晰了。所谓的“收缩痕”就是由塑件的段差引起收缩差，再由收缩差产生应力导致表面的几何变形，使其视觉的一致性遭到破坏，从而发生的外观不良。

只要制品有厚薄差的存在，由收缩差 ΔS 带来的应力就存在，亦即收缩痕就存在。因为应力改变了区域性的微观结构，导致了该区域光线反射出现了差异。但其几何变形量的大小的直接表现形式就反映可见性与否上。因此，我们可以这样来理解，当同时满足 $MN \geq 0.073mm$ 和 $\beta \geq 0.5'$ 这两个条件时，收缩痕 MN 就达到可以被观测到的状态。文中所列出的计算公式与图表就是旨在提供这种依据，为设计参数的选取提供方向性的指引。

实践证明塑件在注塑过程中产生的应力只可以随着时间的延后而逐渐减弱，但不能完全消除。从公式（6）和公式（7）可以分析出，“收缩痕”的严重程度与厚薄差(即段差) ΔT 相关， ΔT 值越小，其“收缩痕”越小， ΔT 值越大，其“收缩痕”越大。在实际设计应用中应尽量减少 ΔT 值，以求得到较小的收缩差，减少收缩痕的出现。同时对于收缩痕出现的临界条件，根据本文中的图表数据，可以分析得出，随着薄壁厚度 T_1 取值的增大，塑件的段差 ΔT 值就越小，有变为零值的趋势。几乎是不允许塑件厚度有级差的存在。

原本以为随着 T_f 增大，塑件的段差 ΔT 会跟着增大，但根据计算所得的结果却恰恰相反，这点的的确有点出乎笔者的意料之外，亦是本人对这种计算方法存疑的地方，看来文中所建立的收缩模型还需要改进。但不管怎样，塑料注塑成型中，均一的壁厚是非常的重要的。

对于不等厚注塑件的收缩痕，其产生的必然性和不可消除性。我们是不能无视它的存在而回避矛盾的，要积极地面对，寻求解决方法。设计时除了可以参考本文中的附表3来取值外，还可以从下面两个方向寻求解决途径：

(1) 减少应力法

提高模具成型温度，延长冷却时间。

(2) 减少收缩差法

尽量选用收缩率小的成型材料。

6 小结

塑料注塑成型中，由于段差的存在，厚胶的地方比薄胶的地方冷却得慢些，产生内应力，会造成挠曲、色差或透明度的不同。在此，我们可以达成一个共识了，不等厚塑件的段差所造成的收缩痕是确实存在的，是不可消除的。所不同的只有因段差处两尺寸的差异导致其出现的程度不同，程度轻时，人眼不可见，程度重时，也就是满足可见条件时，人眼就可见。我们所能做的工作只有通过调整一些厚度的参数，以求使得实际存在的收缩痕不被观测到，令人眼视而不见，这就是本文的真实意图。

在设计过程中，当塑件不等厚不可避免时，应尽量设计成较大的斜角或圆角平滑过渡，避免横截面急剧突变出现段差。让收缩差有从零到最大值的渐变过程，减弱视觉上突变的反差对比度，使得收缩痕淡化在“潜移默化”中。诸如此类的化解方案相信大家可以从很多的资料上能看到，这不是本文所要论述的内容，也就不再赘述了。文中所提出的计算公式与取值方法都是基于一种特定的级差是直角的段差情况（如图3）。但还是再次恳请记住我们所做的这一切努力，都只是为了减弱收缩痕的出现程度不被人眼所观测到，而不是真正的消除它。

至于本文所提出的建立收缩模型的计算方法，只是一种新方法尝试，或许这只是一个伪命题，或许所作的计算方法都是错误的，或许所说的都是谬论。笔者之所以在这里把它提出来，目的就是期望能起到启发大家解决这类问题的一些思路，权当抛砖引玉吧。同时也希望得到各位同仁在以后的实践工作中加以验证，提出正确意见。

趋利避害乃人之常情，有句俗语说得很好，叫做“针无两头尖”。从辩证的角度来讲，事物都是一分为二的，凡事都有它的两面性。

不等厚设计的塑件在段差处产生的收缩痕的确令人生厌，但却又无可奈何。话又得来说，不等厚设计也还是有它可取之处的，那就是利用它在构件的设计当中巧妙地改善在注塑生产中产生的一些缺陷。

下面这部分就是探讨如何利用厚薄差的设计来达到改善高光按钮的位置的。

第二部分 不等厚在按键设计中的应用

一. 概述

对于当今普遍采用传统的注塑工艺来讲，塑胶部件出现熔接痕是极常见的。当然，现在有一种新的注塑工艺叫蒸汽模，它与传统注塑工艺相比较，确实具有消除熔接痕、提高产品表面光泽度等的优点，其作用是传统注塑工艺不可企及的。但是，目前蒸汽模的应用开始起步不久，也因其受制于制造成本高以及模具寿命短的关系，还远未能得到普及。传统注塑工艺还是现在的主流注塑工艺。本文试图从结构设计的角度为传统注塑成形工艺作一些探讨。既然消除不了熔接痕，那就要正视它的存在，通过一些特殊的设计手段，把熔接痕位置调整到外观的不可见处，从而满足产品外观设计要求。注意：本文只针对圆柱形按钮作分析。

二. 理论分析

根据模具注塑的近似壁厚因素公式^[1]: (1. [德] G. 曼格斯、P. 默兰著, 李玉泉译, 张荫朗校, 《塑料注射成型模具的设计与制造》, 中国轻工业出版社, 1993年2月, 第1版)

$$L_n = L_m (T_n / T_m)^k \quad (1)$$

式中 L —时间间隔内距离, 亦即流程

T —壁厚

n 、 m —各面序号

$k \approx 1$, 壁厚因素指数

从式(1)中可以看出: 当壁厚相同的情况下, 料流的流动形式应是从浇口开始, 呈放射式同心圆逐级地向外扩散, 在相同的时间间隔内熔融体的各处前端的流动行程是相同的, 亦即我们通常所说的等流程原理。据此我们可以为圆柱形按钮以侧浇口方式建立一个料流的流动分析模型, 如图1、2。

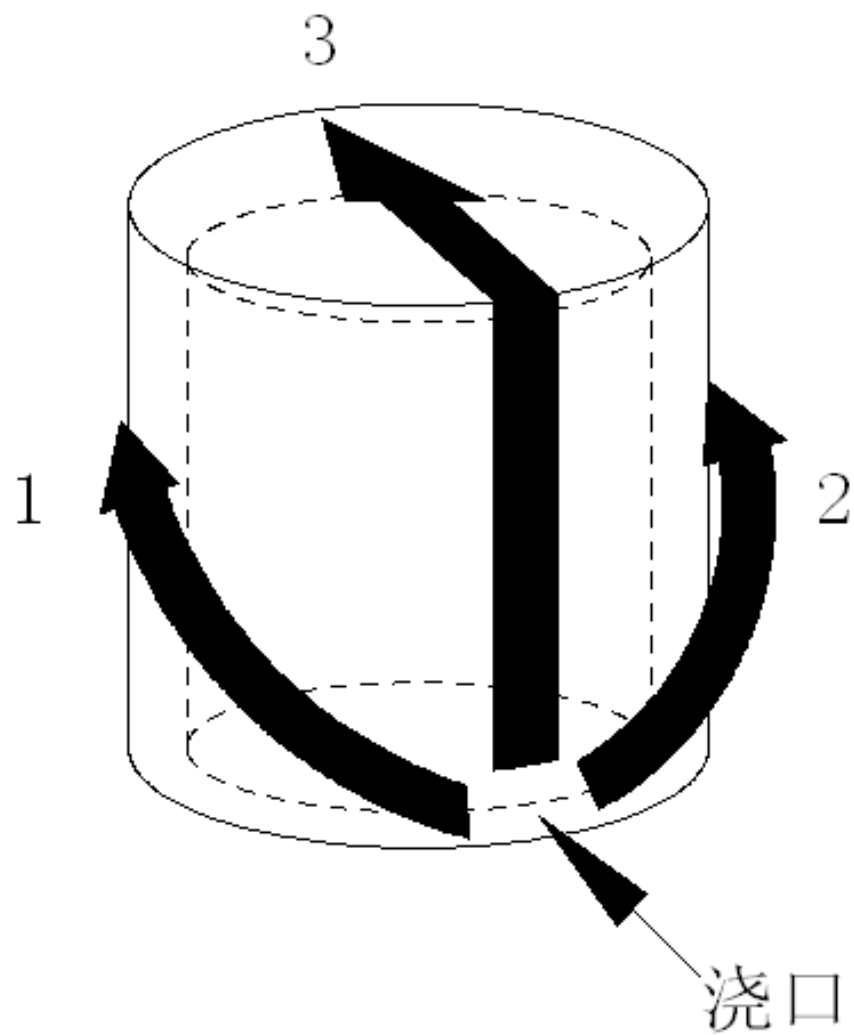
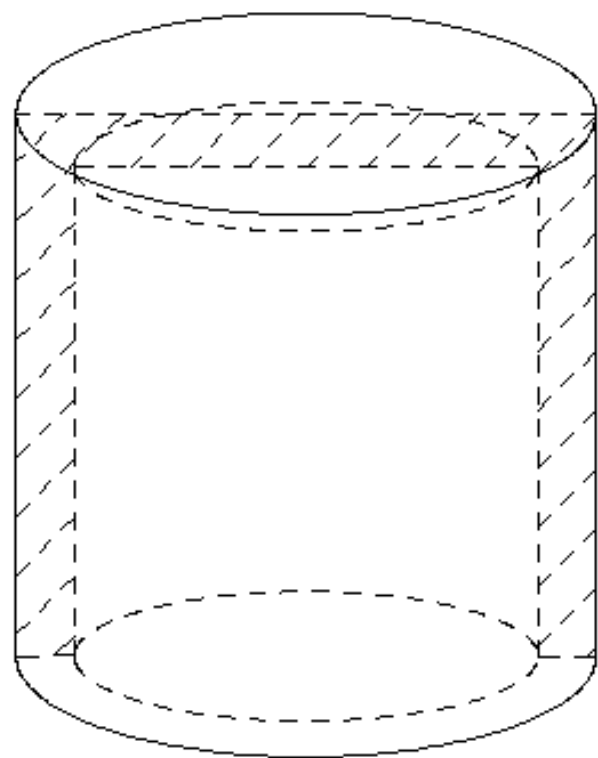


图1

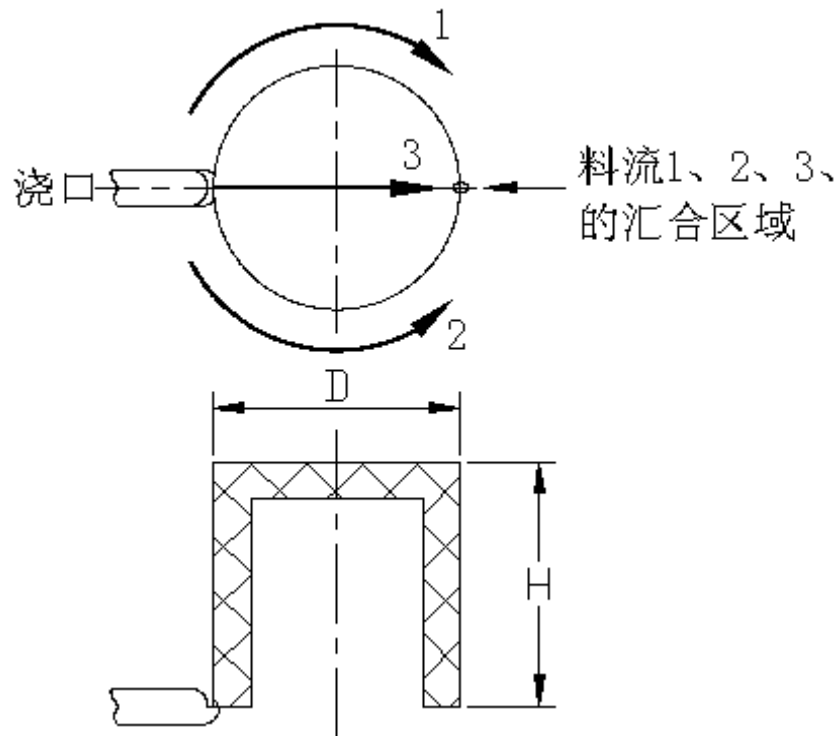


图2

在图1、2中，把浇口射出料流大致分为三股的合流：料流1和2是绕过钮型芯的两侧径向流动到达熔合处，最近的汇合处流程是型芯周长的一半，料流3是先沿型芯轴向流动，再经钮顶面到达汇合处。这三股熔融体的汇合区域应在浇口相对面的另一侧的中心区域形成熔接痕。

可以这样理解，若设定条件是钮的等胶厚情况，料流从浇口开始，其料流的最前端的流动边界用同心圆来表示。为表达直观些，我们把圆柱形面和按钮顶面展开到一个平面上。如图3、4、5就是以外径为 D 、高为 H 的圆柱形按钮的展开图，图中的圆弧细实线就是料流从浇口“O”在经过压力降 ΔP 后，每一个时间间隔距离 ΔL 以及时间间隔 Δt 的理论熔体前端边界线（亦叫等流程线）。

c 点就是按钮顶面圆周上的相应浇口正对面处的一点，所设定的熔接区的临界点就在 c 点处， $1、1'、2、2'、3、3'、4、4'$ 和 $a、a'$ 等都是圆形顶面与柱面一一对应的料流前端边界线上的点，展开图3、4和5上 b 点就是纵向轴与以 oa （或 oa' ）为半径圆的交点， $oa' = oa = ob$ 。

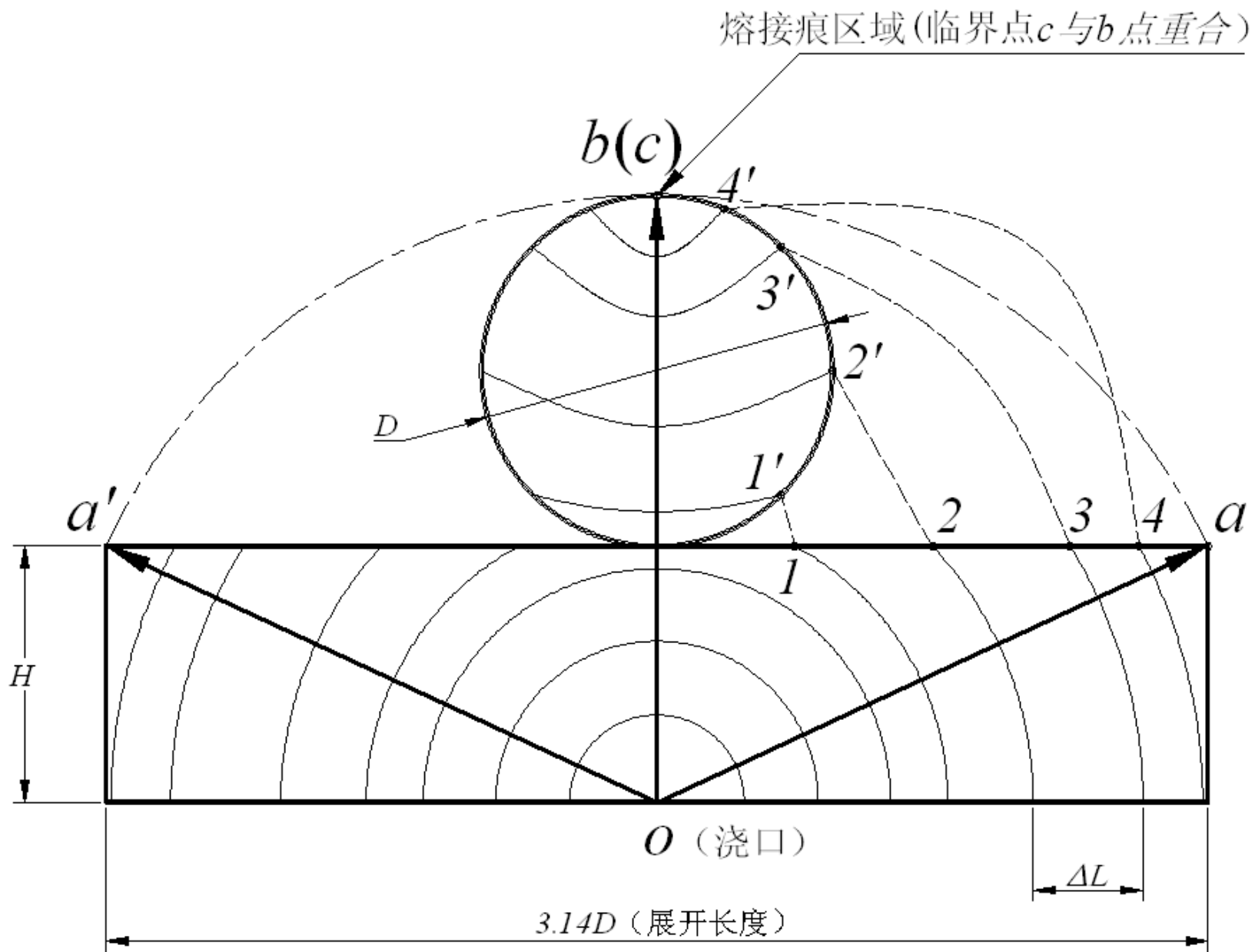
图3上 b 点与钮顶面的临界点 c 是重合的。我们所指的临界状态就是当 $a、a'、b$ 与 c 点重合时，为即 $ob = oc$ 。

$$oa' = oa = ob = H + D, \quad (oa)^2 = (1.57D)^2 + H^2$$

应有：

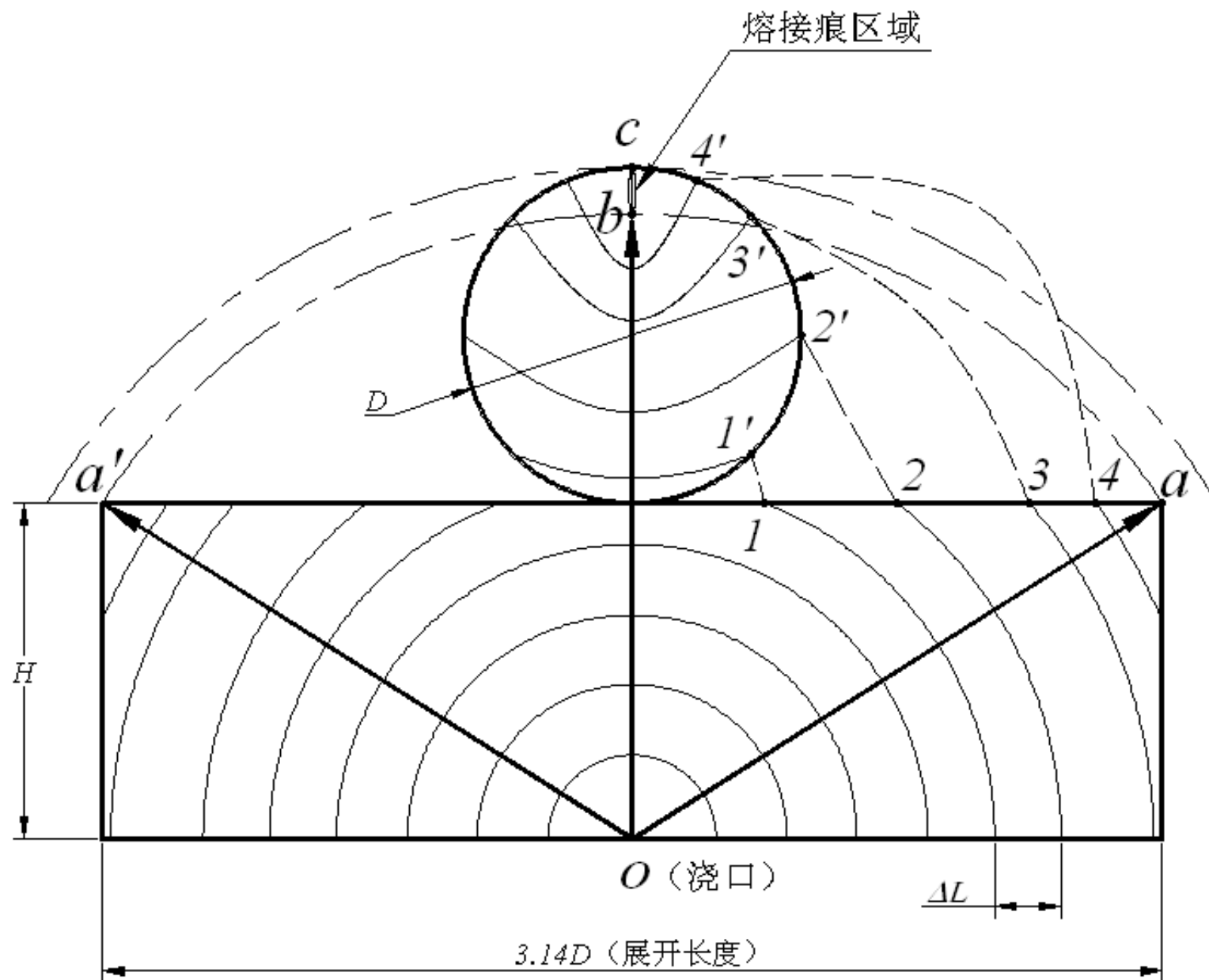
$$(H + D)^2 = (1.57D)^2 + H^2 \tag{2}$$

可得： $H = 0.73D$

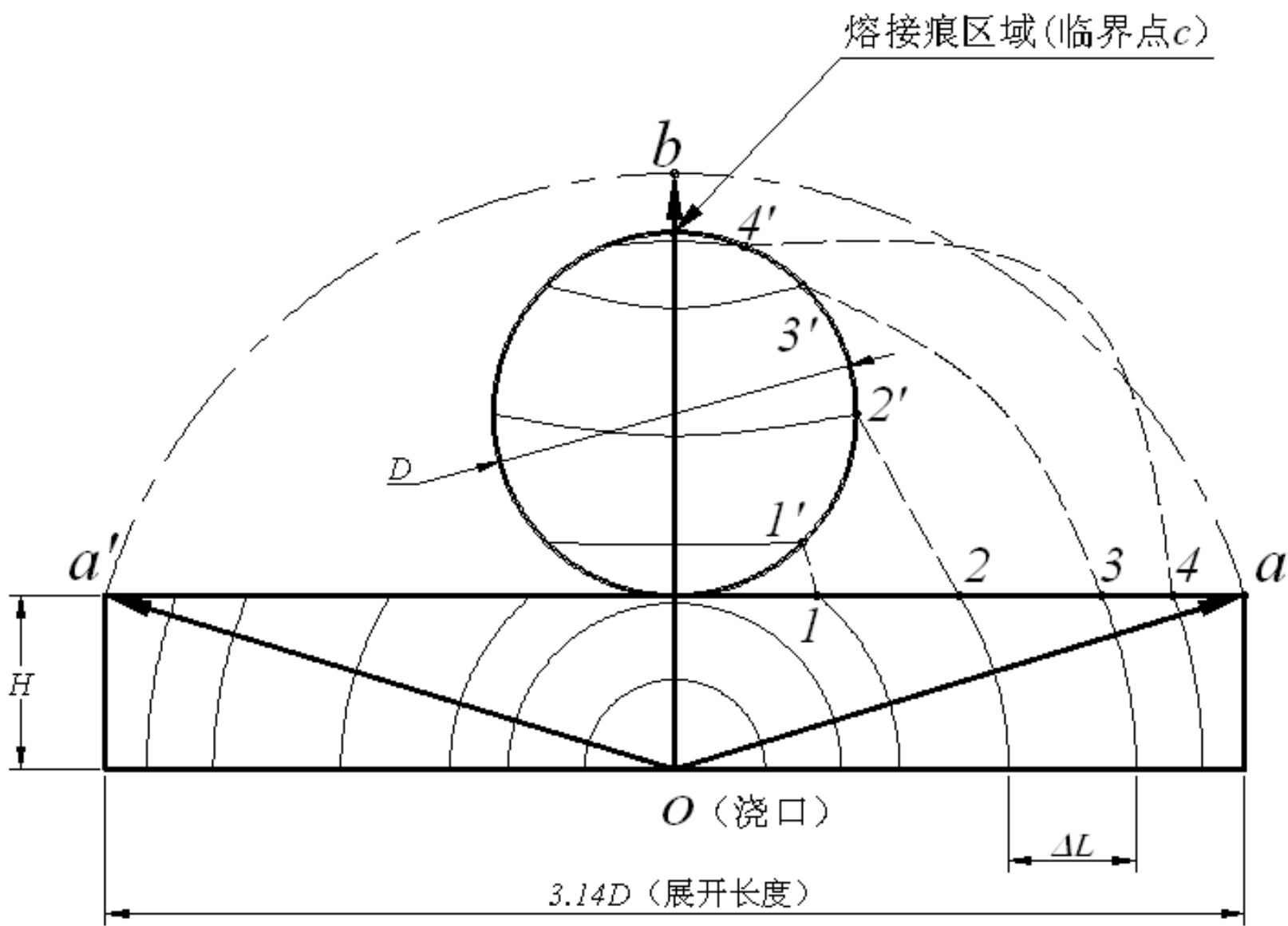


$$H=0.73D, \quad ob=oc$$

图3



$H > 0.73D, ob < oc$
图4



$$H < 0.73D, ob > oc$$

图5

图4是当 $H > 0.73D$ 时， $oc > ob$ ，临界点 c 在钮顶面上，此时熔接痕出现在钮面上。从图上可以看得出钮面熔接痕就是出现在 b 与 c 之间的熔接痕区域。

图5是当 $H < 0.73D$ 时， $oc < ob$ ，临界点 c 已走出钮顶面之外，跑到下面的圆柱面了，当然熔接痕不会在按钮顶面出现了。

本文要探讨的就是图4当 $H > 0.73D$ 的情况下，应该采取的设计方案。

三. 设计实例

图6是一款球形音箱局部图片，图7是其安装在面板上的一组按钮，外观表面处理要求是高光，该按钮设计要求是不允许外观可以见到有熔接痕。

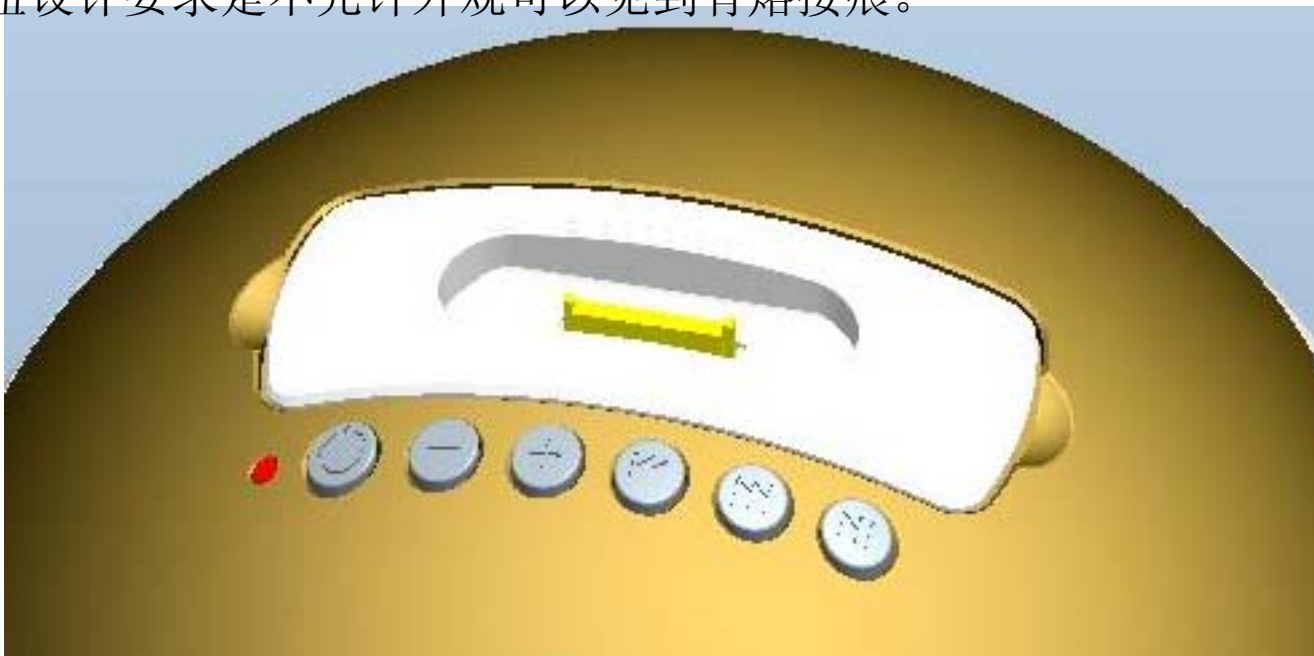


图6

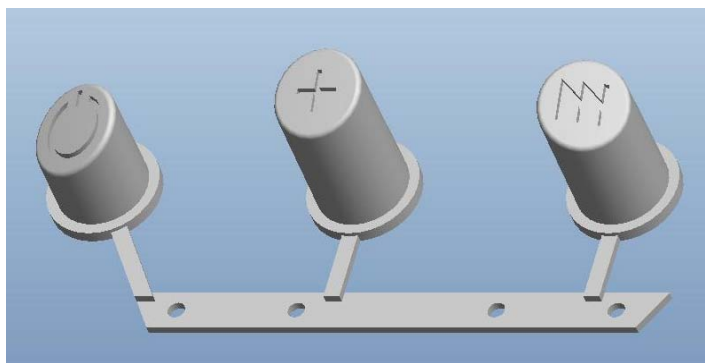


图7

我们选取其中最高一个按钮来分析计算，如图8。基本尺寸：壁厚 $T=1.5$ ，高度 $H=16.2$ ，直径 $D=9.0$ 。

因此， $H=1.8D$ ，显然是属于 $H>0.73D$ 的情况。倘若我们还是按常规的等厚方法来设计该模具的话，在该按钮注塑成型时，绝对是不能保证熔接痕不出现在按钮面上的。因此需要采取某种特别的方式来解决此问题，也就是如何把熔接痕的位置移动到非外观区（该案例的非外观区域就是在按钮的圆柱侧面）。

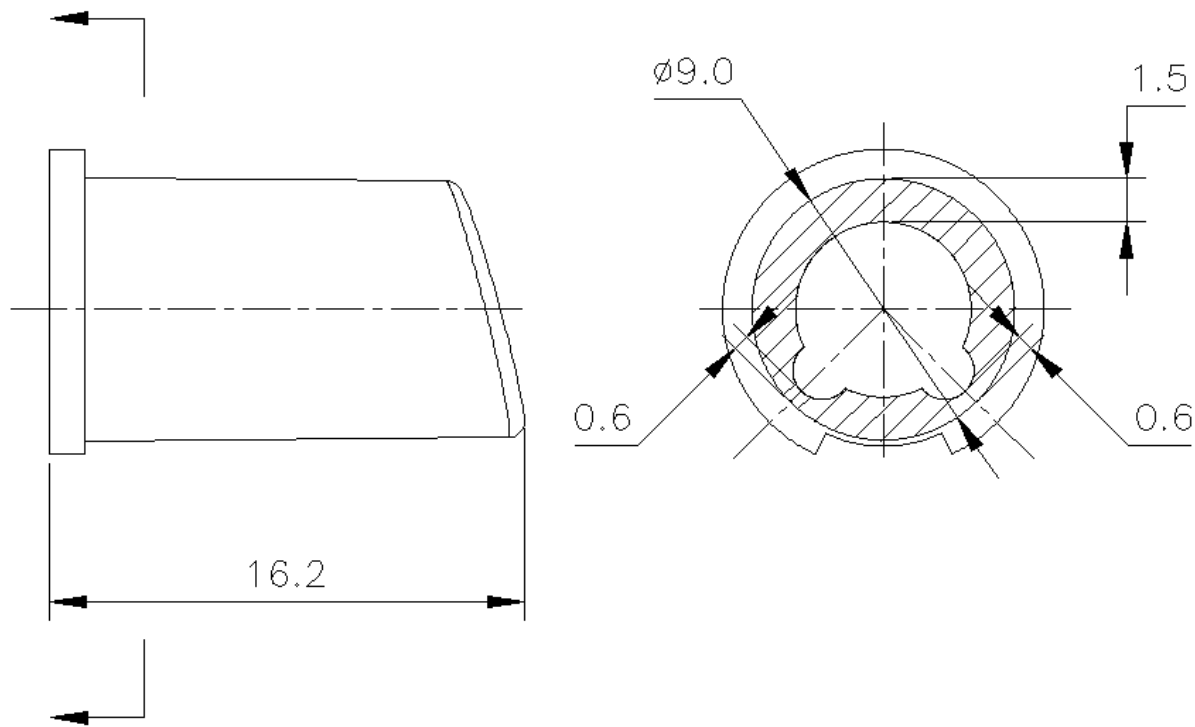


图8

通过分析流程展开图3、4、5可以看出，只要能把经过钮顶ob方向的料流3料流速度加快，或相应地把两侧oa和oa'方向料流1、2的料流速度减慢，使得在同一个时间点ob方向流料3边界端先于oa和oa'方向的流料1、2到达c点，此时b点就跑出了钮的顶面之外，在外则的圆柱面与oa和oa'方向的流料1、2汇合，此时熔接痕所在区域就转移到钮顶面的外圆柱侧面了。熔接痕区域具体情况如图9所示。

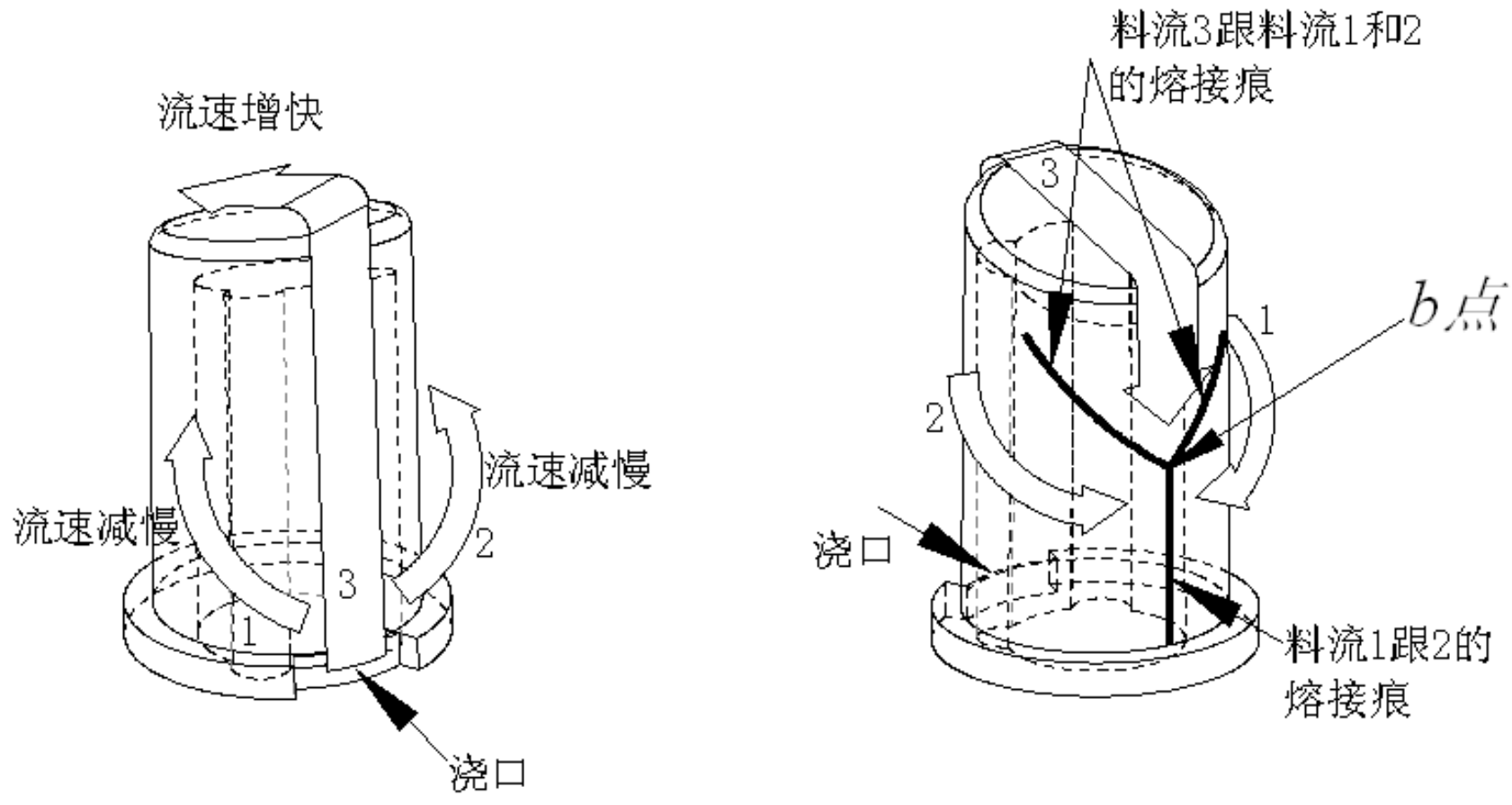


图9

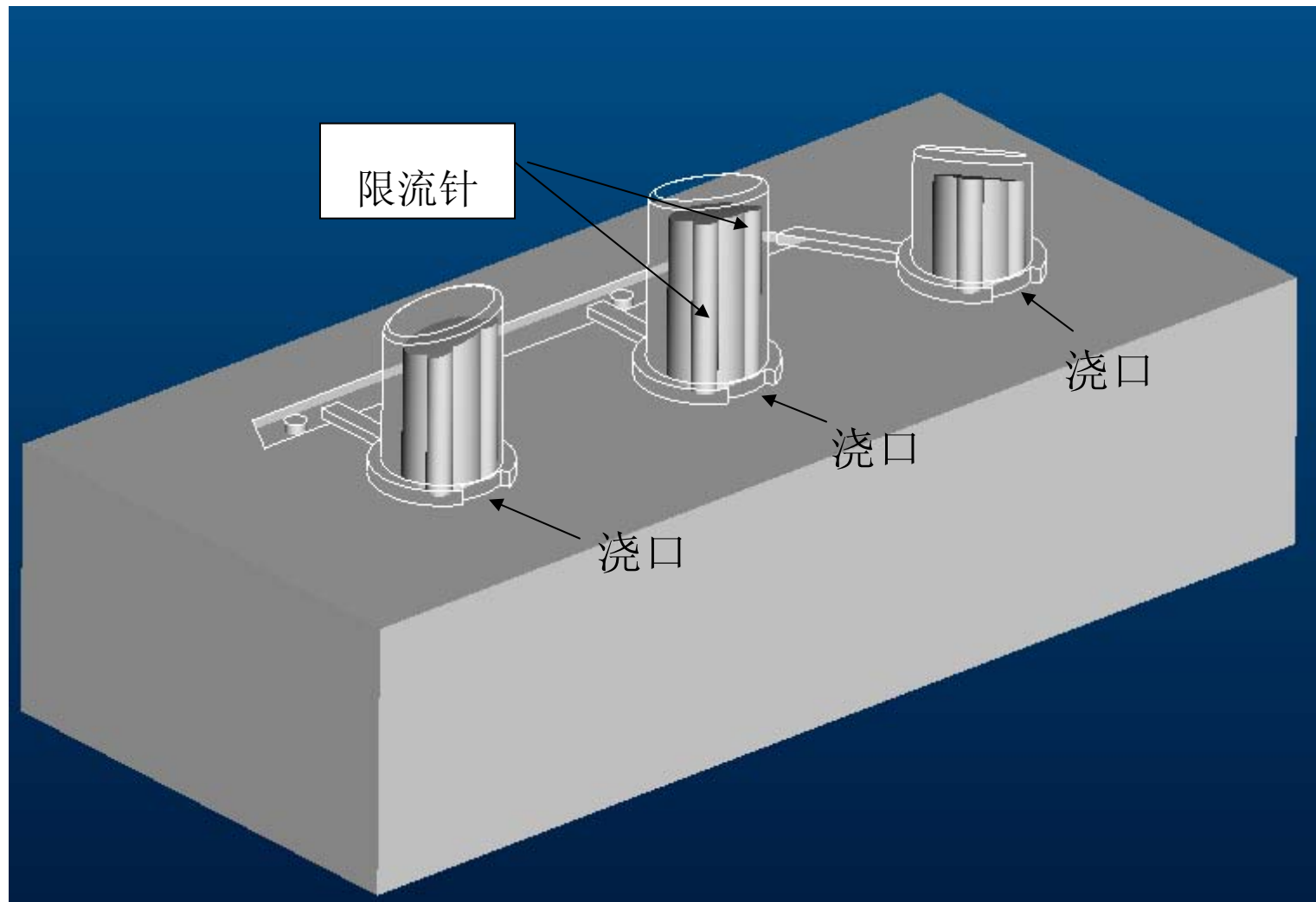


图10

据此，我们在模具上的详细实施情况如图10。在每个型芯在进浇口处两侧加做了限流针，减薄了该处的壁厚，起到减慢两侧料流1、2的流动速度，相对地加快了中间及型芯顶部的料流速度，使得料流3前端边界先于两侧料流1、2到达临界点 c 。

下面我们就计算一下图10中限流针的截面处的壁厚尺寸。

因为：

$$oc = D + H = D + 1.8D = 2.8D = 25.2$$

$$oa = \sqrt{\left(\frac{3.14D}{2}\right)^2 + H^2} = \sqrt{(1.57D)^2 + (1.8D)^2} = 2.34D \approx 21.1$$

可得：

$$oa/oc \approx 0.8$$

亦即是该案例的料流1或2与料流3的流程关系是：

$$L_3/L_{1, 2} = 0.8$$

依公式（1）的分析可知在同一时间点其料流的流程与壁厚是正比关系的，即：

$$L_3/L_{1, 2} = T/T_{\text{限流}} \quad (3)$$

式中： $L_{1, 2}$ 、 L_3 —料流1、2、3的流程

T —基本壁厚

$T_{\text{限流}}$ —限流针处壁厚

据公式 (3) 可得:

$$T_{\text{限流}}=T \cdot L_3 / L_{1,2} \quad (4)$$

$$T_{\text{限流}}=1.5 \times 0.8=1.2$$

因此, 我们只要把限流针的截面壁厚减薄到1.2, 就可以满足**b**点跑出钮顶面的条件。

不过, 由于实际注塑时影响模具的填充情况比较复杂, 理论计算出来的数据需要加一个比较大的保险系数*n*为佳(保险系数*n*取值范围1.5~2.0)。依此, 我们在制作该模具时, 取保险系数为*n*=2, 故限流针处的截面实际壁厚为:

$$[T_{\text{限流}}]=1.2/n=0.6$$

图8就是该模具设计的详细数据。实际注塑的熔接痕的位置基本与设计相吻合, 熔接痕位置就在图9所示的圆柱侧壁区域内。因为该按钮外露部分只有按钮的顶面部分, 有熔接痕的侧壁会给按键的面板遮挡住, 外观不可能看见。可以说是达到了预期的设计效果。

四. 小结

试图通过设计不等胶厚的方式来改变熔接痕的位置是可行的，建议在以后的结构设计中灵活地运用此方法，把熔接痕位置预先设置在对外观影响最小甚至不影响外观质量的区域，令部件的外观更加漂亮，减少后处理加工的成本。此法尤其适合高光类产品及不喷油类的塑料产品设计。

结束语

此次演讲时间有限，难以面面俱到，只是泛泛而谈罢了。如果大家有兴趣的话，还想作更进一步的讨论，可以参考模具制造杂志2012第3期《改善按钮熔接痕位置的设计方法》，第6期《不等厚注塑件收缩痕的光学解析法》，文章中会有比较详细的论述。

最后，谢谢大家！