

一种深拉伸冲压零件压料面起皱解决方法探讨

文 | 杨律 · 广汽乘用车有限公司

引言

中国汽车行业正处于深度变革与加速洗牌的关键阶段，新能源、智能化、全球化竞争等趋势重塑了产业格局。新车型产品为了快速抢占市场份额，不断压缩周期，达成更高的质量标准，并且适应产能迅速爬坡的需求，这都离不开先进生产制造工艺强有力的支撑。因此，对传统冲压生产而言，提升工艺方案的有效性和缩短调试周期将势在必行。

车身是汽车的重要组成载体，它影响汽车的价值和功能的实现。而汽车覆盖件的质量决定着车身的颜值，这就促使冲压工艺工程师不断地探索研究如何提高汽车覆盖件的质量，也推动汽车覆盖件冲压成形理论和模具调试方法研究不断进步。深拉伸件在冲压成形过程中影响质量的因素复杂多样，工艺方案及工艺参数的细微变化，都可能产生较大的差异。因此本文将深拉伸地板零件为例，深入研究深拉伸地板零件在工艺设计和调试过程中的常见问题点和解决方法，为后续车型工艺方案设计和调试积累经验。

深拉伸地板零件的特点及常见的品质缺陷

深拉伸地板零件，造型类似盒子的形状，如图 1 所示，冲压方向零件深度 196mm，属于超深拉伸零件范畴。根据成型特点，材料流动距离大，角部和直边位置材料流动差异大。材料成型过程主要受到较大的拉应力，当材料局部区域真实应变超出其成型极限应变（FLC）时微观空洞聚集并扩展，产生缩颈最终导致零件开裂；然而材料四个角部材料成型过程中次应力方向处于压缩，材料压缩失稳产生不同程度的波浪形褶皱。如图 2 所示，零件起皱和开裂风险并存，并

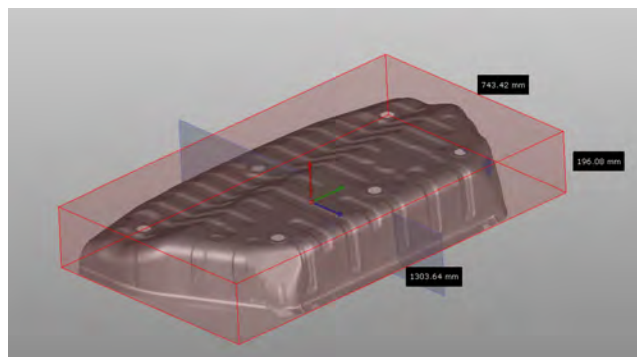


图 1 深拉伸地板总体造型

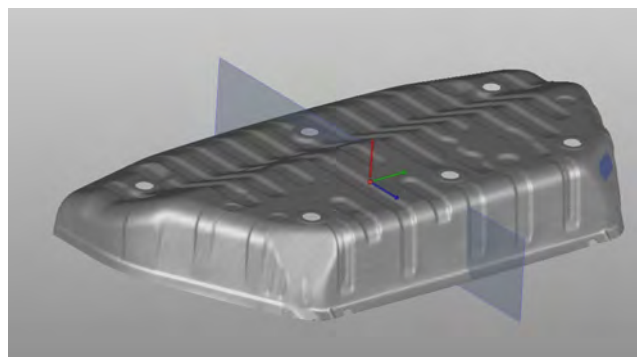


图 2 深拉伸地板零件成型难点

且两者互相影响。

这里以某车型深拉伸地板零件为例，介绍零件在调试和生产阶段出现的主要问题点，并深入分析品质不良产生原因以及调试对策验证和实施的具体情况。图 3 为压料面起皱的情况，图 4 为零件拉伤以及伤后发生开裂。从调试结果来看



图 3 压料面起皱



图 4 零件拉伤 & 开裂

该零件起皱、拉伤和开裂的并存。

压料面起皱

在起皱和开裂并存的前提下，按照模具调试通常思路，我们需要优先解决起皱问题，然后再解决开裂或者减薄的问题，并且开裂和起皱往往是相互影响。

压料面起皱的影响因素

- (1)零件拉伸深度太深，造型复杂，导致成型过程中材料流动过快或局部流料不均匀，从而出现的局部应力不均匀，这种特征微量弹性变形的应力释放，就会形成起皱；
- (2)凹模 R 角设计过大，导致在拉伸过程中无法充分撑开材料，造成材料聚集形成起皱；
- (3)拉伸筋的工艺参数设计不合理，包括拉伸筋大小、凸凹筋的间隙和位置不正确，不能有效控制流动，从而形成起皱；
- (4)成型压边力设置过小，在成型过程中压边圈被弹开，

形成起皱；

(5)模具压料面研合着色不良，导致在拉伸过程中无法压平材料形成的起皱；

(6)冲压过程材料受压应力失稳，形成褶皱；

工艺解决方法

通过对零件现状和成型过程进行分析，上文列出了 6 个可能产生起皱的因素，接下来将对每个可能影响的因素进行逐一模拟分析或实物验证，排除干扰因素，从而找出解决方法。

像这种深拉伸件角部位置，材料很难流动进去，材料通常从角部的两边补充进去，这样材料不均的流动就必然导致角部材料形成受压的状态，所以角部压料面就容易产生褶皱。主要是切向应力引起的压缩变形，造成纵向弯曲。一般来说压料面起皱，长期批量的生产就会给拉伸筋和压料面带来严重的磨损，一方面影响模具的寿命，另一方面带来品质的波动和恶化，例如零件拉伤，减薄开裂，零件回弹，精度波动等一系列不可逆的关联变化。在工艺方案设计时，可以通过以下对策进行优化：

(1)降低零件拉伸深度

零件成型深度太深，压缩部位的板厚会增厚，当达到某种极限，就会发生褶皱，而褶皱又会引起材料流动异常最终导致产品发生开裂等一系列的问题。工艺设计上可以通过消除碰撞印痕和改变制品形状，一般都可解决上述缺陷。

(2)凹模口 R 角设计合理

凹模口 R 角处，因凹模圆角部分对拉伸毛坯进料阻力影响很大，直接关系到拉伸件的起皱或开裂，所以取值要合理。

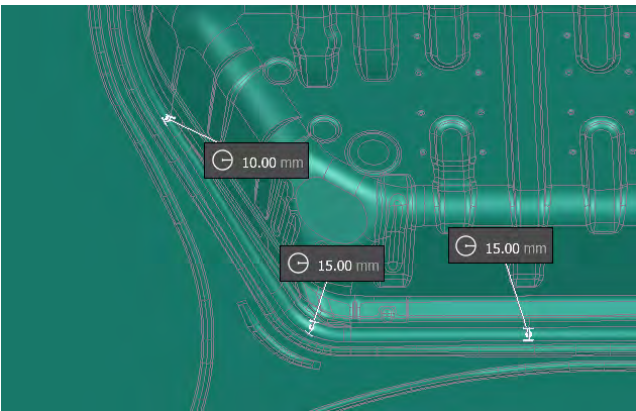


图 5

工艺补充部分的凹模圆角半径一般取 8 ~ 10mm，在能够拉出满意的拉伸件的条件下，尽可能减少工艺补充部分，但必要时还要有意识的增加工艺补充（如凹槽、斜槽和凸筋等）。深拉伸零件用小角 R 拉深时，R 角部容易发生破裂。如果凹模口 R 角太大，会增大坯料悬空部位，减弱控制起皱的能力，这是可适当减小凹模圆角半径。因此凹模口 R 角设计合理对零件品质和生产的稳定性非常关键。在工艺设计阶段，通过 AutoForm 模拟分析，综合开裂风险和起皱综合选择左右的凹模成型 R 角，对保证零件品质和缩短模具调试周期起到至关重要的作用。

(3) 拉伸筋设计合理，控制材料流动

拉伸筋的设计对零件成型非常重要，它的作用平衡材料流动的原则，要保证材料在整个拉伸过程中均匀地流动，不能有的地方流的快，有的地方流的慢，让材料受到的阻力平均，这样产品成型过程中才不会出现褶皱和开裂。按照零件深度差异布置，对应产品深度不一样的地方，在深的地方可以多布置几条拉伸筋来分散阻力，通过拉伸筋来控制材料的流动距离和流动速度；按需调整间距，如果在拉伸过程中材料往某个方向流动的太快或者太慢，就可以通过调整拉伸筋的间距来解决。在材料流的快的地方把拉伸件间距缩小，增加阻力；在材料流得慢的地方，或者需要在快到底的时候让材料流的快一点，可以把间距放大，让材料更顺畅的流过去，从而达成更优的零件品质。

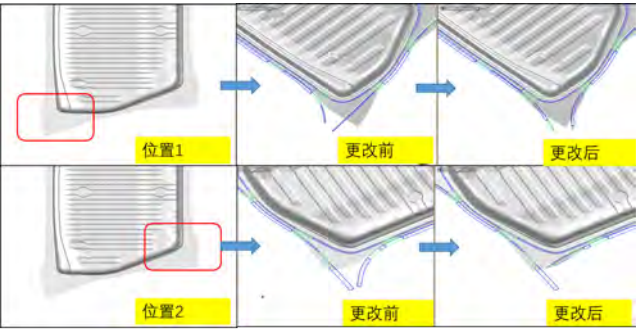


图 6

(4) 合理增加工艺补充面

为了实现拉伸，往往要在制件的基础上增加工艺补充部分，从而达到满意的拉伸效果。工艺补充部分是构成完整拉伸件的必要组成部分，是指零件本身以外的部分，是拉伸件设计成功与否的关键，也是衡量冲压工艺设计水平的标志之一。工艺补充的作用平衡成形阻力，控制材料的流量，拉伸

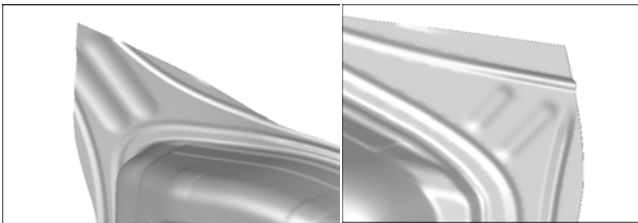
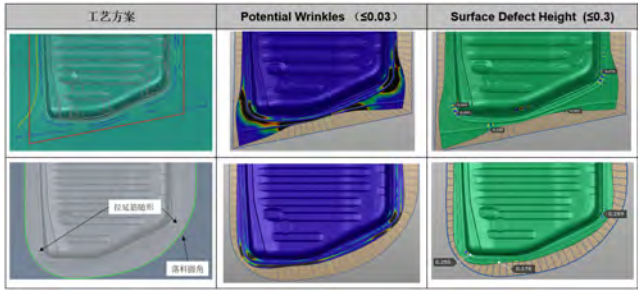


图 7

图 8



深度要均匀，平衡拉伸件各断面的线段长度，充分利用材料的成形极限，避免开裂和起皱。

如果在设计拉伸件时，经过仔细分析，已考虑到某一部分（形状变化急剧的部分）在拉伸时有多余的金属，可能会产生起皱，那么工艺人员就要有意在这部分的工艺补充上加凹槽或凸筋等，使多余的金属在拉伸过程中流到凹模或凸筋中，充分吸收多余的材料，使拉伸不起皱。同时加凹槽时要考虑到修边容易去掉，这个方法可有效地解决拉伸起皱问题。

(5) 正确的压料面形状

压料面是工艺补充的一部分，在增加工艺补充时必须正确确定压料面的形状，使压料面各部分进料阻力均匀可靠。要做到这一点，必须要保证拉伸深度均匀，因为只有在压料圈将拉伸毛坯压紧在凹模压料面上，不形成皱纹或折痕，才能保证拉伸件不皱不裂。压料面设计时尽可能按一个平面设置或者是单曲面（一个方向是曲线的话，另一个方向是直线）尽量避免急剧弯曲。

压料面要尽量降低拉伸深度，使压料面平缓。压料面展开长度比凸模展开长度短，材料才能产生拉伸。如果压料面展开长度比凸模长，拉伸时可能会形成波纹或起皱。如果局部压应力较大，无法有效减小时，可以考虑在压料面增加造型，缩小压应力，需要注意的是造型设计必须过渡平顺。

(6) 选择合理坯料落料形状

坯料的落料形状的选择对于控制材料的移动是非常重要的

的。对应方盒形状零件拉深时，其成形性能受角部毛坯形状的影响，变化非常之大；异形制品拉深时，为了达到制品的表面精度和形状精度，采用将拉深成形转化成胀形的方法，这时，多半要求改变凸模曲线，并与毛坯形状互相配合，共同控制材料的流动。因此，在试模阶段，毛坯形状与模具的配合，是一项非常重要的工作。

调试解决方法

在模具调试阶段，针对此类压料面起皱，可以通过以下方法进行优化。

(1) 选择合理的压边力

压料面四周均匀产生起皱时应判断为压边力不足。另外，也有折皱和破裂混同发生的情况，首先绝对控制折皱的发生，然后再防止其破裂。压边力偏低时折皱会在四周增高。逐渐提高压边力，压料面起皱可消除或减弱，如下图所示：



图 10



图 11

(2) 压边圈研合

拉深加工是通过凹模平面和压边圈来控制材料均匀流动，而且，板厚随冲压行程作相应变化，因此，必须通过研磨使其适应这种变化。深拉延时，板厚的变化很大，所以必须与模具进行很好地配合。



图 12 研合不均匀



图 13 研合良好

模具防拉伤的方法

虽然模具在试验阶段没有问题，但在批量生产阶段就会开始磨损，先是在压边圈或者凹模面出现折皱状的凹凸，在制品凸缘上也会出现这类痕迹，并逐渐加深。作为应急措施，是立即进行研配，去除折皱状凹凸；另外，为了延长一次研配后的使用周期，应针对磨损采取相应的措施：

(1) 将拉深模凹模平面作成硬度镶环或者镶块形式，选择硬度更高，耐磨性更好的材料。

(2) 对镶环、压边圈进行镀硬铬，或其他表面硬化处理（如 TD 处理法）等等。

(3) 使用铸钢铸件时，通过火焰淬火进行表面硬化处理。

结束语

深拉延零件，型面较复杂且造型落差大，模具调试过程典型的品质问题点是起皱和开裂，这是冲压成型中相对棘手的问题。那么如何在工艺设计阶段如何提前规避风险，从工艺设计着手去解决现场调试的问题，这是冲压工艺人员需要考虑的。另外，在模具调试阶段如何快速、有效应对模具在生产过程及零件品质提升的各种课题，缩短模具调试周期，给相关从业人员带来了更大的考验。本文基于某车型深拉延地板零件在工艺设计和调试过程遇到的问题，通过 CAE 辅助分析和模具调试验证等手段，最终顺利达成了量产要求。本文对解决深拉延地板压料面起皱和开裂的调试经验进行提炼和总结是具有现实的参考借鉴意义，同时希望能给后续新车型深拉延零件的工艺设计和模具调试提供有效的参考，提前对策规避风险。MFC