制动器防尘罩冲压开裂CAE分析*

王亚男,刘 妍,刘恩泽,杨维宇

(内蒙古包钢金属制造有限责任公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 某零件公司冲压“制动器防尘罩”零件,材质切换过程中发生板材不适用的情况,文章通过两种模式对照计算的方式,准确表达板料恶化趋势,并通过模拟分析给出性能调整方向,提高抗拉值并优化表面微观形貌以改善摩擦系数,使后续供货使用性能得到改善,用户反馈良好。

关键词: 冲压成形技术; 开裂; 性能分析; 数值模拟; AUTOFORM

中图分类号: TG386 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)02-0052-06

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.02.014

CAE Analysis on Stamping Cracking of Dust Cover of Brake

Wang Ya-nan, Liu Yan, Liu En-ze, Yang Wei-yu

(*Inner Mongolia Baotou Steel Metal Manufacturing Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: A parts company stamps the parts of “dust cover of brake” and there is the situation that sheet is not suitable in the process of material switch. In this paper, the deteriorating trend of sheet is accurately expressed through two modes of contrast calculation, direction of performance adjustment is given through simulation analysis, friction coefficient is improved through increasing tensile value and optimizing surface micro-morphology so that the performances of subsequent products are improved and user feedback is good.

Key words: stamping forming technology; cracking; performance analysis; numerical simulation; AUTOFORM

板材冲压成形作为一种十分重要的制造技术,在汽车、航空、电器和国防等工业中都有广泛的应用。板材冲压成形在汽车制造中尤为重要,生产一辆汽车所需的原料大约有70%是钢铁材料[1],钢铁材料中的薄板,特别是深冲板,是汽车原料用的最为广泛和最重要的材料。

板材成形是一种复杂的力学过程,它包含几何非线性、材料非线性、接触非线性的强非线性问题。用传统的解析方法很难求解,即使能够求解,误差也较大。随着计算机技术的不断进步以及有限元技术的不断发展,近年来发展了用有限元法对板材成形过程进行计算机模拟和分析的新技术(CAE)。随着有限元理论逐渐成熟与计算机的快速发展,利用计算机模拟技术对板材冲压过程进行模拟分析已成为前沿技术[2],其技术优势在于无需多次实体试验,耗费极大的人力、物力、财力、时间,即可对产品性能有了直观的了解并且可以获取各项数值。

提前对板材产品的冲压性能进行评价,是对产品质量把控和升级的重要途径,是对客户进行EVI服务的重要手段。

* **收稿日期:** 2021-01-21

作者简介: 王亚男(1992-),女,内蒙古包头市人,助理工程师,现从事数值模拟研究及金属材料失效分析。

中国知网 https://www.cnki.net

1　原始情况

本文针对某零件公司“制动器防尘罩”零件冲压过程中的开裂问题进行分析。该公司使用“钢厂 2”板材材料直接替换“钢厂 1”材料后开裂率较大，生产开裂率最高达 50%。板材牌号为 DC03，厚度为 1.5 mm，现场测量零件板材厚度 1.502 mm，公差正常。

该零件冲压工序由成形、切边、整形、翻边 4 个工序组成。第一工序开裂，稍降压力又会有起皱，且很多第一工序拉薄的零件在第三工序整形时恶化为开裂，见图 1、图 2。最终现场调试在第一工序降低压力，变形不足的问题由第三工序整形调整（相当于将一步成形，缓解为两步），调整工艺后出现轻微起皱情况，在整形工序后有所减轻，残余变形在废料区可切除，遂问题得到解决，之后生产开裂率降为 15‰。



图 1　第一工序开裂



图 2　第三工序开裂

该零件并非结构件，调试后勉强可以接受，但板材仍处于接近失效极限状态，用户要求后续供货必须改进，以适应各种零件。

为判断“钢厂 2”板材性能问题，对成形过程进行模拟计算，还原成形状态并进行性能调整计算试验，为“钢厂 2”后续供货性能调整提供依据。

2　采用数据

2.1　板材性能数据

如表 1 所示，基于“钢厂 1”、“钢厂 2”对应批次的质量保证书性能，进行 AUTOFORM 材料卡片的编辑，最终录入如表 2 所示。

表 1　质量保证书性能

名称	试样检测方向 90°			
	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	*R* 值	*N* 值
钢厂 1	155	296	2.58	0.24
钢厂 2	147	282	2.65	0.24

表 2　AUTOFORM 材料性能录入

名称	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	*R* 值(0°)	*R* 值(45°)	*R* 值(90°)	*N* 值(全应变)
钢厂 1	155	296	1.56	1.559	2.583	0.264
钢厂 2	147	282	1.69	1.200	2.649	0.266

说明：1. 本次使用的“钢厂 2”材料卡，是以 AUTOFORM 材料卡的拟合逻辑进行参数修改的，未知参数（Young's modulus、Poisson's Ratio、密度、0° *R* 值、45° *R* 值、Biaxial 相关数据）使用 AUTOFORM 材料卡中对应逻辑规则生成。

2. 由于“钢厂 2”各向异性以及应力应变曲线等数据获取不全面，单次模拟的数据不建议过分关注，但针对本零件所做的性能调整对比具有参考价值。

中国知网　https://www.cnki.net

2.2 屈服准则对比研究

表3为各常用屈服准则的特点及缺点比较，综合各因素，最终采用Hill 1948屈服准则定义材料属性，充分考虑材料的各项异性以及三维应变状态。

表3 各屈服准则特征对比

项目	Hill 1948	Hill 1979	Hill 1990	Barlat 1989	Barlat 2000
特点	经典各向异性屈服准则	适用于各向异性主轴和应力主轴重合的材料	引入材料在不同方向上的屈服应力值(可较好描述铝合金屈服行为)	适用于平面应力条件(二维问题)分析起皱开裂较准	函数表达式简单，适用广泛
缺点	$r<1$ 时(铝合金)不准	适用范围极小	数值获取难度大	适用范围较小	精准度较低

Hill 1948屈服准则表达式:

$$A_{ijkl}\sigma_{ij}\sigma_{kj}-2K_{\mathrm{H}}^{2}=0$$

式中，A_{ijkl} 为一个对称张量，有15个互相独立的参数；σ_{ij}、σ_{kl} 为应力张量；K_{H} 为等效应力。

3 模型简化及前处理

使用ANSYS SCDM将该零件拉延工序的模具几何模型进行处理，将图3中的模具模型分离出图4中的凹模模面几何模型。将该凹模导入AUTOFORM后，进行前处理抽取该模型与板料接触面，分别编辑生成对应的“凹模、凸模、压边圈”，见图5。将板材尺寸、规格、轧制方向严格依照现场实际工况进行编辑。

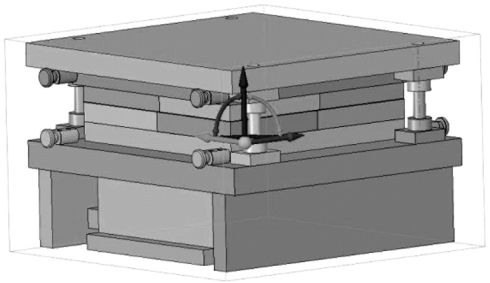


图3 该冲压模具几何模型

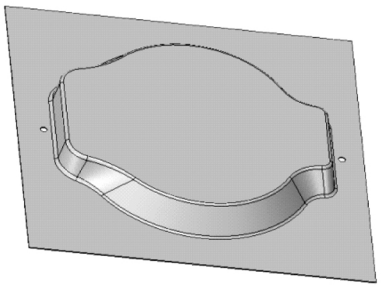


图4 提取到拉延模面

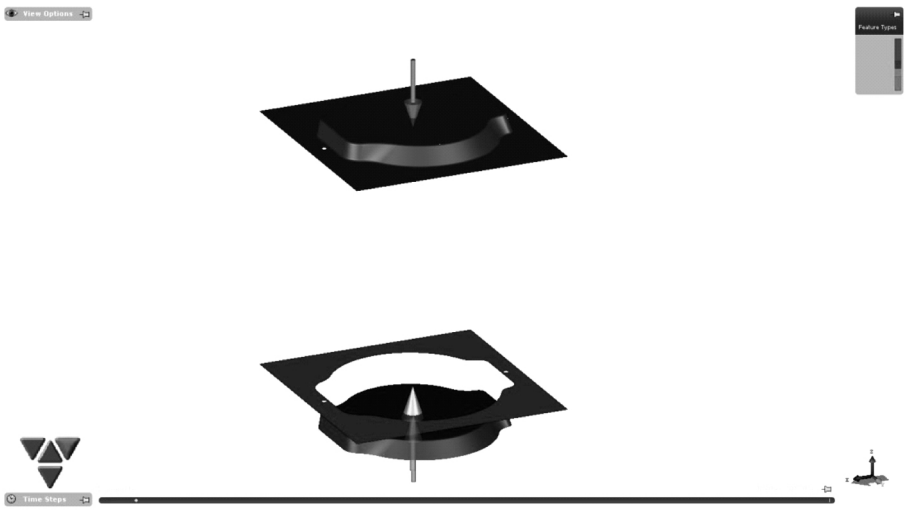


图5 生成凹模、凸模、压边圈

中国知网 https://www.cnki.net

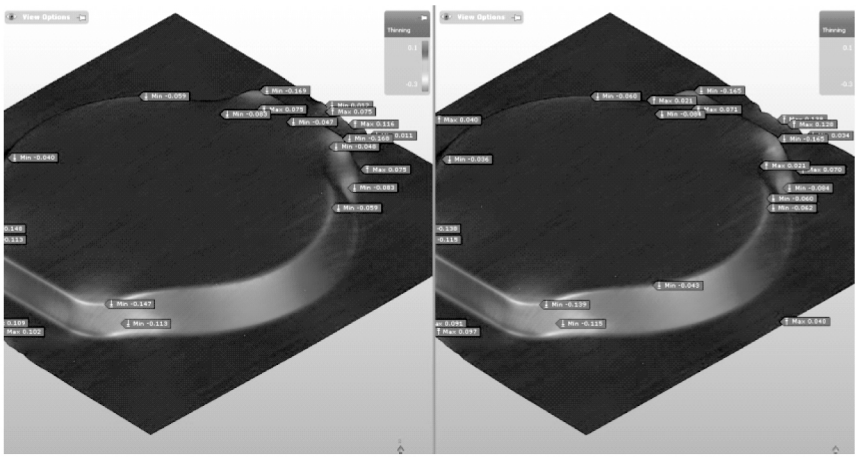
4　计算分析

4.1　一次计算

现场压机较为老旧，铭牌标识不清、压力表显示异常，无法查看动态压力，只可通过 Force control 进行间隙控制计算。

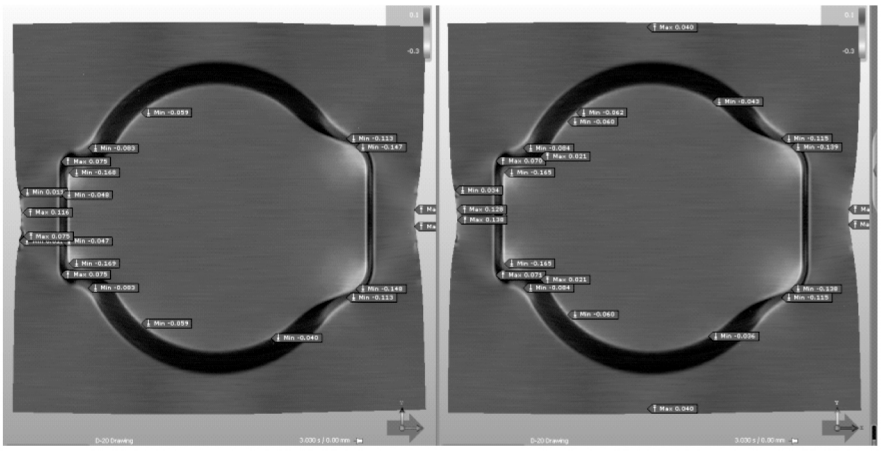
自适应网格处理，复杂变形部位 7 级细化；使用 Force control 控制间隙计算；考虑动态摩擦系数随压强变化，设置对应现场中度涂油的润滑工况；采用 CE +（评估阶段 +）算法，对应弹性壳单元 -5（EPS -5），最大初始单元 40，最小单元 0.31；Thickness Stress 打开，厚度积分层数 5。

经几何优化，反复对标工况修正后，得到“钢厂 1”、“钢厂 2”板材成形结果，最大减薄区域与现场工况相符，最大减薄率分别为 13.9%、14.7%，基本符合实际冲压结果，如图 6、图 7 所示。



（a）钢厂1　　（b）钢厂2

图 6　一次计算成形模拟结果（圆角处减落风险区域分布情况）



（a）钢厂1　　（b）钢厂2

图 7　一次计算成形模拟结果（圆角处减落风险区域分布情况）

结果分析：

（1）虽“钢厂 2”板材屈服强度低于“钢厂 1”，R 值高于“钢厂 1”，但抗拉强度低于“钢厂 1”14 MPa。可见屈服强度、R 值对该零件影响较弱，抗拉强度影响更为剧烈。

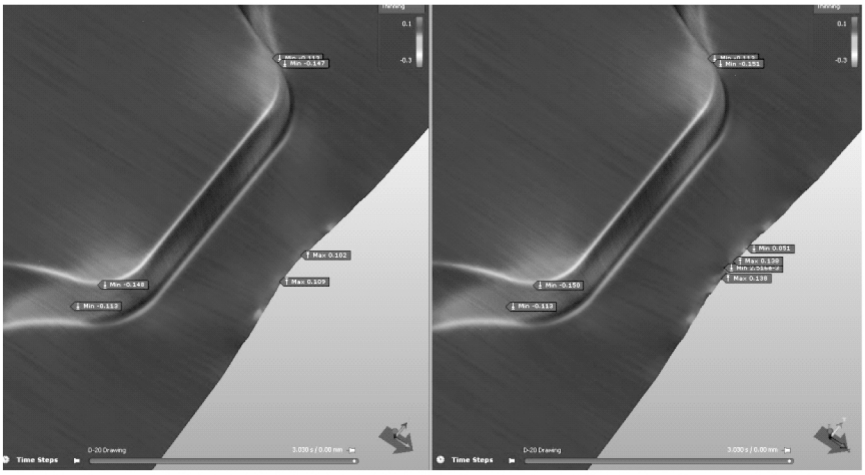
（2）计算结果显示“钢厂 2”板料边部起皱现象比“钢厂 1”明显，边部起皱也将对板料流动有一定的影响。

中国知网　https://www.cnki.net

4.2 二次计算

查看成形受力值，发现“钢厂2”各项成形受力值均低于“钢厂1”（由于使用Force control控制间隙计算，将在计算过程中为保证间隙不变而自适应调整压力），随后将“钢厂1”成形受力值代入“钢厂2”计算（使用Spring control控制压力不变），以排除板材特性变化所致成形受力状态改变而带来的影响。

自适应网格处理，复杂变形部位6级细化；使用Spring control控制压力不变计算；考虑动态摩擦系数随压强变化，设置对应现场中度涂油的润滑工况；采用最终阶段（FV）算法，对应弹性壳单元 -11（EPS -11），最大初始单元20，最小单元0.31；Thickness Stress打开，厚度积分层数11。计算结果如图8所示。



(a)钢厂1 (b)钢厂2

图8 二次计算“钢厂1”（左）、“钢厂2”（右）成形模拟结果（边部起趋情况）

结果分析：

结果显示减薄率进一步恶化为15.1%，证明“钢厂2”板材在实际工况（冲压现场通常保持压机实际压力不变）中开裂情况将更加严重，符合实际工况。同时也证明了各项性能对成形性的综合影响较为复杂，且板料特性将反向影响压机状态，可能导致成形愈加不顺。

5 改进

（1）依据上述试验结论，将“钢厂2”保持其他性能不变，提高抗拉强度进行计算。当抗拉强度提高至300 MPa时，最大件减薄率降为14.9%，进一步提高抗拉强度至310 MPa，减薄率为14.8%，无明显降低。见图9、图10。

（2）依据上述试验结论，将“钢厂2”保持其他性能不变，提高抗拉强度至300 MPa，同时降低摩擦系数为0.1，此时减薄率降低至13.0%。见图11。

据此反馈进行生产工艺调整，提高供货板材性能的抗拉强度10～20 MPa，降低板材粗糙度。后续供货，用户反馈使用效果良好。

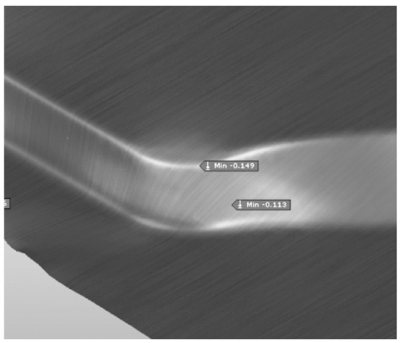


图9 300 MPa对应减薄情况

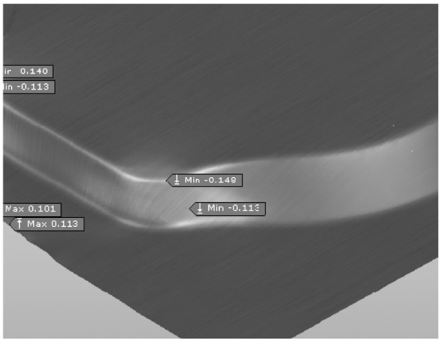


图10 310 MPa对应减薄情况

中国知网 https://www.cnki.net

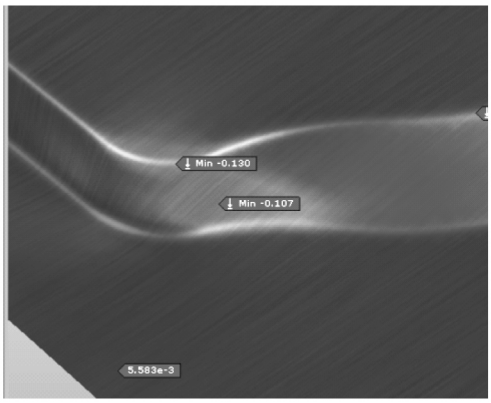


图 11　抗拉强度 300 MPa、粗糙度 0.1 时对应减薄情况

6　结论

(1) 本次模拟通过 Force control 来获取“钢厂 1”板材成形工况下的各项受力值代入 Spring control 的模拟方式，成功模拟出“钢厂 2”板料成形过程，准确表达板料恶化趋势。

(2) 通过模拟分析给出性能调整方向，提高抗拉强度并优化表面微观形貌以改善摩擦系数，后续供货使用性能得到改善，用户反馈良好。

参　考　文　献

[1] 李凯. 中厚板轿车摇臂件拉深成形数值模拟与分析 [D]. 长春: 吉林大学，2004.

[2] 罗亚军，杨曦，何丹农，等. 板料成形中的有限元数值模拟技术 [J]. 金属成形工艺，2000，18(6)：1－3，21.

(上接第 11 页)

通过制定控轧控冷工艺实现了工业化生产。X80M 热轧钢带屈强比控制在 0.86 左右，延伸率(A) 不小于 22%，－20 ℃的低温冲击功不小于 370 J，－15 ℃落锤剪切面积大于 95%，系列 V 型冲击韧脆转变温度为 －45 ℃；焊管系列温度韧脆转变温度为 －40 ℃，横、纵向系列温度落锤韧脆转变温度为 －20 ℃，材料各向韧性均一，各项性能指标控制稳定，使钢带焊管后获得优良强度及塑韧性匹配和遗传特性，增加了材料服役的安全性。

4　结论

(1) 控轧控冷过程奥氏体变形量不低于 25%，奥氏体发生完全再结晶，晶粒显著细化，冷却速率 20～30 ℃/s，得到合适比例的针状铁素体＋贝氏体，进一步降低钢带焊管后性能的波动。

(2) X80M 材料屈强比控制在 0.86 左右，延伸率不小于 22%，降低了钢带焊管后屈曲失稳风险；－20 ℃低温冲击功不小于 370 J，－15 ℃落锤剪切面积大于 95%，保证其优良强韧性匹配。

(3) 细小、均匀的针状铁素体和贝氏体组织，使 X80M 材料具有较低的 V 型缺口冲击韧脆转变温度，横纵向相同的低温落锤韧脆转变温度，可增加材料在服役过程的安全性。

参　考　文　献

[1] 陈小伟，嵇峰，白学伟，等. 中俄东线 X80 钢级 Φ1 422 mm × 30.8 mm 钢管理化性能研究 [J]. 焊管，2019，42(5)：10.

[2] 毕宗岳. 新一代大输量油气管材制造关键技术研究进展 [J]. 焊管，2019，41(7)：10.

[3] 金世铨，吴刚，刘志璞. 低成本 X80M 管线钢生产实践 [J]. 金属世界，2016，(5)：50.

[4] 安航航，包燕平，刘建华，等. X80 管线钢的生产实践 [J]. 钢铁研究，2010，38(1)：46.

[5] 冯耀荣，吉玲康，李为卫，等. 中国 X80 管线钢和钢管研发应用进展及展望 [J]. 油气储运，2020，39(6)：612.

中国知网　https://www.cnki.net