



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104471576 B

(45)授权公告日 2019.02.22

(21)申请号 201380030313.5

(73)专利权人 安赛乐米塔尔研发有限公司

(22)申请日 2013.04.09

地址 西班牙比兹卡亚省赛斯陶镇E-48910
查凡利/CL6号

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104471576 A

(72)发明人 斯利蓝·斯达果潘 奥斯卡·蓝兹

(43)申请公布日 2015.03.25

(74)专利代理机构 上海翼胜专利商标事务所
(普通合伙) 31218

(30)优先权数据

13/442166 2012.04.09 US

代理人 翟羽

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.12.09

(51)Int.Cl.

606F 17/50(2006.01)

审查员 赵上

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/035696 2013.04.09

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/155026 EN 2013.10.17

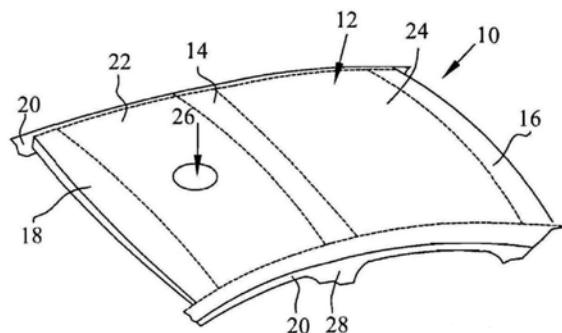
权利要求书2页 说明书10页 附图14页

(54)发明名称

成型片状钢板之跃越失稳的预测系统及方法

(57)摘要

一个简化的工具被提供用于顶板(12,30)之跃越失稳抗力和压痕抗力的同步预测,此顶板包括顶板弓部配置造成的影响、顶板(12,30)的曲度(R1,R2)、顶板(12,30)的厚度和钢的等级。于一实施例中,提供了一种对于局部负载情形下的施加负载(26)预测生成之片状金属板(12)的跃越失稳抗力的方法,其中此片状板(12)具有某些已定义几何构形。此方法包括如下步骤:定义所述片状金属板(12)的第一和第二主曲度半径(R1,R2);定义所述片状金属板(12)的一厚度(t);定义介于支撑结构(32)间所述片状金属板一部分的距离(L2);建立一数学函数以确定跃越失稳之负载偏移行为;以及通过输入这些参数,确定所述片状金属板(12)的可能性以显示各种各样的局部施加负载(26)下的跃越失稳特性。



1. 一种对于局部负载情形下施加的一局部负载(26,33)预测生成之一片状金属板(12)的跃越失稳抗力的方法,所述片状金属板(12)具有已定义几何构形,所述方法包含步骤:

 定义所述片状金属板(12)的第一主曲度半径(R1);

 定义所述片状金属板(12)的第二主曲度半径(R2);

 定义所述片状金属板(12)的厚度(t);

 定义介于支撑结构(32)间所述片状金属板(12)一部分的距离(L2),所述支撑结构(32)用于支撑所述片状金属板(12),所述距离(L2)为所述支撑结构(32)间的长度;

 建立一数学函数以确定跃越失稳之负载偏移行为;以及

 通过输入所述第一主曲度半径(R1)、第二主曲度半径(R2)、所述片状金属板(12)之厚度(t)及介于所述支撑结构(32)间所述片状金属板(12)一部分的距离(L2)这些参数与基于所述数学函数的数学方法曲线结合,确定所述片状金属板(12)在施加各种各样的局部负载(26,33)下的跃越失稳特性,从而利用有限元素分析模型进行回归分析来预测并生成一整体的负载偏斜曲线,该回归分析涵盖初始斜率、不稳定的点及从该不稳定的点而来的负载偏斜曲线。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一主曲度半径(R1)为所述片状金属板(12)的一前视曲度半径。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第二主曲度半径(R2)为所述片状金属板(12)的一侧视曲度半径。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述片状金属板(12)为一顶板(30),所述厚度(t)为所述顶板(30)的厚度。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中所述支撑结构(32)为支撑所述顶板(30)之顶弓部(32),所述距离(L2)为所述顶弓部(32)间的长度。

6. 根据权利要求1所述的方法,更包括基于有利于以该回归分析进行进一步分析的配置的确立,建立施加到所述片状金属板(12)之局部负载(26,33)程序的有限元素分析模型的步骤。

7. 根据权利要求1所述的方法,更包括基于所述片状金属板(12)之几何变量的输入及所述局部负载(26,33)程序的有限元素分析模型,对所述片状金属板(12)实际进行实验的步骤。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述方法生成的负载偏斜曲线显示剧烈的油壶效应包括一稳定反应曲线和一塌陷或变形反应曲线。

9. 根据权利要求1所述的方法,其中所述方法生成的负载偏斜曲线显示缓和的油壶效应包括一稳定反应曲线和一塌陷或变形反应曲线。

10. 根据权利要求1所述的方法,其中所述方法生成的负载偏斜曲线显示无油壶效应仅具有一稳定反应曲线。

11. 根据权利要求1所述的方法,其中所述局部负载(26,33)是以一平坦压头(33a)施加。

12. 根据权利要求1所述的方法,更包含利用该负载偏斜曲线的结果,来调整该支撑结构(32)的设置位置,以减少跃越失稳之情形的步骤。

13. 一种对于局部负载情形下施加的一局部负载(26,33)进行预测生成之一片状金属

板(12)的跃越失稳抗力的装置,所述片状金属板(12)具有已定义几何构形,所述装置包含:

用以将包含至少一曲度(R_1, R_2)的所述片状金属板(12)之所述已定义几何构形近似化的工具;

用以建立施加到所述片状金属板(12)中所述至少一曲度(R_1, R_2)之一局部负载(26,33)程序的有限元素分析模型的工具;

用以输入影响所述片状金属板(12)对油壶效应之抗力的几何变量的工具,所述至少一曲度(R_1, R_2)包括至少一曲度值;

用以基于所述输入变量及局部负载(26,33)程序的有限元素分析模型,对所述片状金属板(12)进行实际实验的工具;

用以从所述实际实验发展一回归模型的工具,其中所述回归模型输出预测并指出在局部负载(26,33)情形下所述片状金属板(12)的油壶效应抗力,且生成一整体的负载偏斜曲线,其包含初始斜率、不稳定的点及从该不稳定的点而来的负载偏斜曲线。

14. 根据权利要求13所述的装置,其中所述片状金属板(12)之所述已定义几何构形包括一前视曲度半径(R_1)、一侧视曲度半径(R_2)、所述片状金属板(12)之支撑结构(32)间的长度(L_2)以及所述片状金属板(12)的厚度。

15. 根据权利要求13所述的装置,其中所述局部负载(26,33)由一平坦压头(33a)提供。

成型片状钢板之跃越失稳的预测系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及汽车车顶板之压痕抗力和油壶效应的同步预测系统及方法,特别有关车顶弓部的设置、车顶板的曲度、车顶板的厚度和钢的级别如何彰显压痕和油壶效应之抗力。

背景技术

[0002] 车板(特别是车顶板(*roof panel*))中发生的与工作性能有关的问题有油壶效应(*oil canning*) (亦称跃越失稳(*snap-through buckling*))以及凹痕(*dents*)。跃越失稳发生于轻型(*light gauge*)金属产品的内部,特别是那有具有宽平区域的金属产品,例如汽车的车顶板。显然地,跃越失稳和凹痕可以毁了平板的外观,制造不希望有的噪音,也可能降低消费者满意级别。

[0003] 跃越失稳是一个复杂不稳定的现象,其发生于相对平坦的板,许多处理大型薄板的产业都经历此现象。从根本上看,跃越失稳的发生是因为圆拱上的压缩应力。此压缩应力起因于外部负载或制造过程导致的残余应力。此不稳定性导致其相依于负载类型、板的曲度与支撑结构的依从性(*compliance*)以及其他变量。薄型拱之跃越失稳的问题先前已有进行相当程度的研究。虽然先前研究采用的边界和负载条件(*boundary and loading conditions*)有助于解释跃越失稳的现象,但其不是对汽车产业所经历的在役负载条件(*in-service loading conditions*)而进行的模拟。因此,其结果不能被用来评估车板之跃越失稳抗力(*resistance*)。

[0004] 对压痕和跃越失稳的抗力是覆盖板(*closure panel*)的重要特性。对汽车覆盖板的压痕抗力已经做过相当深入的研究,并且已知其相依于钢的等级、厚度和板的曲度。在许多例子中,较高强度等级的钢通过减少厚度达到减重目的的能力受限于板的硬度和其对跃越失稳的抗力。跃越失稳是一种现象,其发生于当板之抗力随著强加之偏移(*deflection*)增加而突然降低时该板之负载。在有些情况下,此下降之负载伴随著声音的产生。

[0005] 普遍地,压痕和跃越失稳的抗力是按照Auto/Steel Partnership的说明指南、通过对板的物理测试来进行评估。对大量的原型部件进行物理测试可以给出预想的在役压痕抗力和跃越失稳抗力最好的指引或指示,但此需要大量的时间和努力。此外,要被原型化不同类型的钢需要被鉴定并从钢铁厂取得以进行上述测试。冲压(*stamping*)和组装试验亦需要在既有生产线的生产过程中协作,而之后最终的原型部件才可被真正的测试。经过最近十年的发展,有限元素分析(*Finite Element Analysis, FEA*)已经广泛用来对这些性能度量进行评估。此分析方法和过去/失败的标准随制造商不同而不同,并且相依于板的类型和车辆等级。典型地,一个完整的车辆结构模型被简化为暴露之板的结构模型,此模型接著在负载之局部区域进一步优化,并被提交以进行后续的分析和结果。利用此典型方式,可能需要几个礼拜完成分析,才能取得适当的解决方案,确定一个给定之暴露的板较佳的厚度-等级组合。

[0006] 对大部分汽车原始设备制造商(Original Equipment Manufacturers, OEMs)来

说,为暴露之板作出的材料决定以符合跃越失稳抗力、硬度和压痕抗力的要求,是至关重要的。如上所述,压痕抗力已经显示出其相依于板之曲度、钢的等级、厚度以及冲压过程给予板片之延展。对钢进行烘烤硬化是一种已知提高板之强度以降低外板重量的方法,同时此方法亦符合该压痕抗力之性能要求,而且通过塗裝烘烤程序 (paint bake cycle) 提高该板之强度也已被有效使用。

[0007] 本专利申请的专利权人先前已经针对许多等级的钢开发出压痕抗力的预测模型。与物理测试的结果进行比较,此模型已经显示出相当高程度的正确性;但是,目前该模型仅应用于门板。所述系统和方法由Sadagopan等发明人描述于美国专利公告第7,158,922B2号。

[0008] 跃越失稳的特点是,回应在局部负载情况下强加之偏移而产生该板之抗力的下降。当片状金属的厚度下降时,对跃越失稳的抗力也会下降。并且,在某些情况下,此抗力的下降伴随著很大的声音。不像压痕抗力,对跃越失稳的抗力相依于板的几何构形、支撑情况和厚度。钢的等级对跃越失稳来说相对不重要。在许多情况下,降低板之规格的能力受制于其跃越失稳抗力。

发明内容

[0009] 因此,本发明的一个目的在于提供顶板之跃越失稳抗力的预测导引。本发明另一目的在于对先前开发的门板在线压痕抗力模型进行扩展。利用此工具在交通工具开发设计阶段能够使得曲度半径、钢的级别、厚度和设计决定最佳化和可被选择使用,以符合板之硬度、跃越失稳和压痕抗力之标准。本发明的优点是使得OEM厂商避免耗费大量时间进行分析,同时最小化需要高成本维修、调整及后续在程序开发上之改变的情形。本发明的再一个目的在于提供合理的结果给理想几何构形和负载条件,以分析与钢的级别、钢的厚度、板的式样和设计选项相关的可能的情况,其可于相当短的时限内完成,比现有分析技术允许的时限还短。

[0010] 本发明的又一个目的在于为汽车车顶板提供跃越失稳和压痕抗力预测模型,其中这些模型可结合于单一使用者介面。本发明另一个目的是,当负载位于该板的中央时,预测模型较佳与FEA相关。此预测模型显示顶板之跃越失稳的抗力会被适当之顶弓部的设置所影响,通过将顶弓部设置为彼此靠近可以避免跃越失稳。

[0011] 一个简化的工具被提供用于顶板之跃越失稳抗力和压痕抗力的同步预测,此顶板包括顶板弓部配置造成的影响、顶板的曲度、顶板的厚度和钢的等级。于一实施例中,提供了一种对于局部负载情形下的施加载荷预测生成之片状金属板的跃越失稳抗力的方法,其中此片状板具有某些已定义几何构形。此方法包括如下步骤:定义所述片状金属板的第一主曲度半径;定义所述片状金属板的第二主曲度半径;定义所述片状金属板的厚度;定义介于支撑结构间所述片状金属板一部分的距离;建立一数学函数以确定在标准化负载下跃越失稳之负载偏移行为(所述行为此后称为“负载偏移行为”);以及通过输入所述两主曲度半径、所述板之厚度及介于支撑结构间片状板一部分的距离这些参数与所述数学方法曲线结合,确定所述片状金属板的可能性以显示各种各样的局部施加载荷下的跃越失稳特性。

[0012] 所述第一主曲度半径可为片状金属板的前视曲度半径,所述第二主曲度半径可为

片状金属板的侧视曲度半径。所述片状金属板可为一顶板，所述距离可为支撑所述顶板之顶弓部间的长度。

附图说明

[0013] 本发明上述提及的特徵和目的、其他特徵和目的以及获取到它们的方式将会变得更佳清楚，通过结合所附附图，参考如下对本发明实施例的描述，将更清楚理解该发明本身，其中：

- [0014] 图1显示门板的偏移与所施加负载之关系的图表；
- [0015] 图2显示一种车顶板，其显示供跃越失稳分析的负载位置；
- [0016] 图3A显示车顶结构之板的代表性区域，该车顶结构显示几何特徵，其为预测模型中的变量；
- [0017] 图3B进一步显示车顶弓部的细节；
- [0018] 图4显示该车顶之板的模型的代表性区域，其显示用于分析的边界条件；
- [0019] 图5A显示一种用于跃越失稳分析的压头；
- [0020] 图5B显示一种用于压痕抗力分析的压头；
- [0021] 图6显示用于分析的材料的真应力对真塑性应变的图表；
- [0022] 图7A显示剧烈的油壶效应的偏移与所施加负载之关系的图表；
- [0023] 图7B显示缓和的油壶效应的偏移与所施加负载之关系的图表；
- [0024] 图7C显示无油壶效应的偏移与所施加负载之关系的图表；
- [0025] 图7D显示缓和的油壶效应和无油壶效应两者的偏移与所施加负载之关系的图表；
- [0026] 图8A显示用来评估压痕抗力的实验的板；
- [0027] 图8B显示设置用来评估压痕抗力的测试装置和实验的板；
- [0028] 图9A显示针对1个百分比的双向延展的物理压痕测试结果对FEA模拟方法的图表；
- [0029] 图9B显示针对2.5个百分比的双向延展的物理压痕测试结果对FEA模拟方法的图表；
- [0030] 图10显示车顶板之压痕抗力和油壶效应的组合模型的单位使用者介面；
- [0031] 图11A显示利用代表性区域之负载对偏移的FEA预测的图表；
- [0032] 图11B显示针对给定的几何构形和未被支撑之弓部间的长度的不同值之所施加载对偏移的预测模型输出的图表；
- [0033] 图12显示基于施加到FEA全部平板和预测模型之负载的负载偏移行为之比较的图表；
- [0034] 图13显示基于施加到另一个FEA全部平板和预测模型之负载的负载偏移行为之比较的图表。
- [0035] 所有多个视图中相应参照标记表示相应零件。尽管附图表示本发明的各实施方式，但附图未必是按比例绘制的并且放大了特定特征以更好地图示和说明各实施方式。在此提出的示例以多个形式对本发明的实施方式进行说明，并且这些示例不应被理解为以任何方式限制本发明的范围。

具体实施方式

[0036] 为了增进对本发明之原理的理解,现将参考附图中说明的并于下文描述的实施例。然而,应当理解,在此方面,目的不在于限制本发明的范围。并且,本发明涉及之领域中的技术人员可以预期所说明之设备和所描述之方法的变化和进一步修改以及本发明之原理的进一步应用。

[0037] 下面揭露的实施例并非意图将本发明悉数列出或将本发明限定为后续具体说明中所揭露的确切形式。而是,对实施例进行选择性的说明以便该领域的技术人员可以运用其原理。

[0038] 接下来的具体说明一部分是按照代表字母数字字符或其他信息之计算机内存内对信号操作的符号表示形式和算法给出。这些说明和表示方法是数据处理领域内的技术人员彼此间进行最有效技术交流所使用的方式。

[0039] 这些算法通常设想为导致所需结果的前后一致的步骤序列。这些步骤是需要对各物理量进行物理操作的步骤。通常,虽不一定,但上述物理量采取的是可以存储、传送、组合、比较、或者其他操作的电信号或磁信号形式。由于可以通用,这些信号可以是数位、数值、符号、字符、显示数据、项目、号码等,这样使用通常会带来方便。但应清楚,上述全部术语或类似的术语应与适当的物理量相关联,但这里仅仅使用应用于上述物理量的方便标记。

[0040] 某些算法可以利用数据结构以输入信息及生成所需结果。数据结构大大地便利数据处理系统的数据管理,并且只有通过复杂的软件系统才能存取。数据结构不是存储器的信息内容,而是代表对存储器中存储的信息赋予物理组织的特定电子结构元素。具体来说,该数据结构是存储器中既准确表示复杂数据又对计算机操作提高效率的特定电结构元素或磁结构元素。

[0041] 再者,所进行的操作往往在术语方面指代诸如比较或加法操作,一般与操作者进行的脑力工作相关联。操作者不需要具有这种能力或者很多情况下都不需要有这种能力进行这里所说明的构成本发明部分内容的任何操作;这些操作为机器操作。用于进行本发明操作的有用机器包括通用的数字计算机或其他类似设备。任何情形下都应认识到,操作计算机的操作方法和计算方法本身两者的区别。本发明涉及的是用于在处理电信号或其他(例如机械、化学)物理信号的过程中操作计算机以产生其他所需的物理信号及结果的方法和装置。

[0042] 本发明亦涉及用于进行这些操作的装置。该装置可以是为了所需用途而具有专门结构的装置,也可以包括如通过计算机存储的计算机程序选择性地激活或重组那样的通用计算机。这里给出的算法并非固有地关联某种专门的计算机或其他设备。具体来说,可按照符合本文原理的程序使用各种通用机器,或者构成更为专业化的装置进行所需方法步骤以便更加方便。下面说明中将会给出上述各种机器所需的结构。

[0043] 开发的一个目的是为针对理想的平板几何构形提供许多跃越失稳负载值,作为主曲度半径和材料厚度的函数。图1显示利用平坦压头进行测试的一个门板的负载偏移行为。此图显示随著偏移增加有两个地方负载下降,这两个地方相应于跃越失稳。第一个地方的跃越失稳发生于负载在100~140牛顿处,没有产生声音,而第二个地方的跃越失稳发生于300~400牛顿处,产生很大的声音。在发生跃越失稳处,负载快速下降。

[0044] 开发的另一方面是为确定车顶弓部对跃越失稳负载和负载偏移之预测的影响,以提供一个类似于图1显示之测试结果的曲线,并为类似于针对门板开发的压痕抗力模型的车顶开发预测模型.FEA用来代替基本物理实验的进行。

[0045] 现在参阅图2,其显示车顶结构(通常标为10)的一个代表性FEA模型。车顶结构10包括一板(通常标为12)、一车顶弓部14、一头部16、一挡风玻璃头部18以及一车顶横条20。如上可见,该车顶结构提供未被支撑的车顶板12两个跨度(span),该车顶板12包括一前侧车顶板部22和一后侧板部24。另显示有一负载26被施加到前侧板部22以供跃越失稳分析。车顶板12点焊到该挡风玻璃头部、后侧头部和车顶横条。对典型的四人座轿车来说,车顶弓部14跨越了于支柱28之位置的车顶横条20间的宽度。车顶弓部14点焊到车顶横条20并且以胶合铺料(mastic)黏附到车顶板12,胶合铺料在涂料施作期间被固化。如图3、图4和图5A所示,利用一个压头(indenter)在26处施加该负载。在所示的例子中,该压头和负载设置于挡风玻璃头部18和车顶弓部14之间的车顶板12的未被支撑的前侧板部22。为了发展预测模型,同时允许参数化研究,有必要定义一板的代表性区域(Representative Area of the Panel,RAP),其相当近似于车顶的几何形状和边界条件。图2中的RAP以该前侧板部22的虚线外型来表示。

[0046] 现在参阅图3A,其显示一个车顶板的RAP(通常标示为30)。此RAP的宽度记为W、长度记为L。两个代表性的车顶弓部32显示为支撑此RAP。由一个压头进行施加的负载通常标于33处。就本例而言,该车顶弓部的几何没有什么变化。变量包括前视曲度半径R1、侧视曲度半径R2以及车顶弓部间未被支撑部分的长度L2。弓部32包括一下部34、两倾角支柱(angled leg)36和从倾角支柱36延伸的翼缘(flange)38。参阅图3B,车顶弓部14的细节包括该弓部上面的宽度tw、该弓部下面的宽度bw、该弓部的深度db和该弓部的翼缘长度bf。下部34和倾角支柱36间的角度记为ba。胶合铺料40位于弓部32的翼缘38和RAP30之间。胶合铺料40的厚度记为mt。在第一个例子中该弓部的尺寸保持固定。

[0047] 每个个别的FEA模型是根据这些确定了的变量以及给定R1、R2和L2的值而建立的。R1、R2和L2的值是建在实验设计(Design of Experiments)矩阵的基础上,于后详述。

[0048] 现在参阅图4、图5A和图5B,其显示FEA模型中的边界条件和对应两个不同负载的压头的例子。在图4中,RAP 30在44处被钉住或被支撑。在图5A中,一个平坦压头33a被用来进行跃越失稳分析,而一个直径25.4毫米的半球状压头33b(图5B)被用来进行凹痕分析。就凹痕抗力而言,25.4毫米之压头的使用已经被接受,其在北美汽车供应产业中作为一种“标准”;但是,就跃越失稳抗力而言,压头在不同的板、车辆等级和制造商间变化相当大。

[0049] 现在参阅图6,其显示三种级别的钢的真应力(stress)对塑性应变(strain)资料的图表,此三种级别的钢为DDQ Plus、BH210和BH250,这些被考虑作为RAP 30的材料。该车顶弓部被塑造为优质冷拉钢(drawing quality steel)。

[0050] 就DOE来说,分析了四个变量以确定对油壶效应的抗力,此四个变量包括前视曲度半径R1、侧视曲度半径R2、车顶弓部间未被支撑部分的长度L2以及车顶板的厚度(t)。就压痕抗力来说,变量亦包括前视曲度半径R1、侧视曲度半径R2以及一材料厚度;但是采用有效压变(effective strain) $\bar{\epsilon}$ 取代该车顶弓部间未被支撑部分的长度。过去有些测试该车顶弓部间之长度L2对压痕抗力之效应的筛选模拟(screening simulation)显示对此因子没有依存关系,因此就压痕实验来说在DOE中未包括此项。至于该前视和侧视曲度半径,这些

变量的中心值 (center value) 被选用以使这些曲度之值 ($1/R_1, 1/R_2$) 等距分布。针对该车顶弓部间未被支撑部分的长度 L_2 , 更多数量或级别被选用, 因为油壶效应对此因子有复杂的依存关系。

[0051] 跃越失稳和压痕的DOE是一个完全正交的L27设计(此后称为“L27”), 其反覆迭代 (iterated over) 一第四变量。为了说明清楚, 随著该前视和侧视曲度半径和厚度作为变量, 跃越失稳的DOE为L27。此DOE反覆迭代该车顶弓部间之长度 L_2 , 生成243个个别模拟。就压痕而言, L27是建基于该前视和侧视曲度半径及有效应变作为变量反覆迭代三个厚度值, 生成一L81设计。就压痕而言, 此设计适合用来描述FEA模型。

[0052] 两个跃越失稳抗力的量测被确定为表现特性, 也就是, 负载偏斜行为 (load deflection behavior) 和跃越失稳负载。

[0053] 在此模型中必须考虑负载对偏斜行为的三种可能情况。这些情况是: 相应于真正的跃越失稳的“剧烈的 (hard)”油壶效应(图7A), 其中实际的负载在某一段偏斜范围内随著附加之偏斜减少; “缓和的 (soft)”油壶效应(图7B), 其中增量的抗力减少但实际的负载减少没有发生; 以及没有油壶效应(图7C)。这些负载偏斜曲线被视为是由两个成分曲线组成, 即一稳定的反应曲线和一塌陷或变形反应曲线。这些曲线中每一曲线相称 (fit), 此即利用回归分析 (regression analysis) 确定曲线上的特定点, 接著利用这些相称点间分段或二次或三次多项式进行内插而达成。

[0054] 在所有情况中, 此相称的完成并不导向于实验曲线。此相称的完成宁可是基于FEA生成的曲线, 其建立方式已如上所述。做此选择有两个原因: 第一、独立测试已经显示出FEA结果符合那些实验结果, 此一比较为可行的; 第二、于一段合理时间内为这些大量的情况进行受控实验 (controlled experiments) 是不可行的。

[0055] 如上所述, 此模型中必须考虑油壶效应的三种可能情况, 也就是, “剧烈的”油壶效应、“缓和的”油壶效应以及没有油壶效应, 如上定义的。在这三种可能情况中每一种情况方面, 稳定和塌陷反应以及它们间的转变点的定义也必须被制订。

[0056] 在如图7A所示的剧烈的油壶效应中, 所观察到的负载-偏斜曲线中有一个反转。跃越失稳和非跃越失稳的过程被连结, 而现实情况是在该塌陷曲线(从A到D)的初始部分, 形变的抗力变成是负的一该曲线向下倾斜而不是向上倾斜一此表现出一固有不稳定状态。

[0057] 在如图7B所示的缓和的油壶效应中, 对形变的抗力在A处减少。但是, 这里对形变的抗力在每个地方都是正的, 因此跃越失稳被避免了。只有点A和点C仍可被辨认出来。稳定反应是从零到A, 而从此被塌陷反应取代之。

[0058] 最后, 于图7C中, 对形变的抗力在任一点处没有被减少, 这称为“没有油壶效应”。稳定反应持续适用, 遍及整条负载-偏斜曲线。但是, 为了进行数学建模, 必须定义一转变点和一塌陷曲线。该模型因此被建构为: 对于没有油壶效应的情况, 该“塌陷”曲线平滑地与该稳定曲线合并, 以致只有一条平滑曲线。

[0059] 该塌陷反应先进行相称, 因为其相称之输出会影响该稳定反应和它们之间的转变点之相称的进行。

[0060] 为了与一通用曲线 (generic curve) 相称, 一点与该曲线上几个已定义之点进行相称, 并接著在相称之值间进行内插。在此选用的内插方法为厄米特样条内插法 (Hermite spline interpolation), 此需要每个已定义之点的值和导数两者。以该塌陷反应来说, 这

些已定义之点被用作该转变点以及于2、3、4、5、6、7、8和9毫米处之负载。对这些固定的偏斜之点(2到9毫米)进行的相称先被描述,此相称的结果接著被用于对在该转变点的值和斜率进行相称。

[0061] 对于在2至9毫米的偏斜,根据以下方程式对该负载(如从FEA计算所确定的)进行相称,即:

$$[0062] \ln(y) = \sum_{j+k+l+m \leq 2} A_{jklm} t^j R_1^{-k} R_2^{-l} L_2^{-m} \quad [1]$$

[0063] 在此y为N中之该负载,A_{jklm}为一系数,其在每个偏移处被独立评估,t为以毫米单位之该厚度,R₁和R₂为以毫米为单位之该前视和侧视半径,以及L₂为该车顶弓部间之距离,也是以毫米为单位。整数j,k,l和m为所有非负的数字,其增加到不超过2。因此,常数、线性和二次项包含于此回归法中。对于该半径和该车顶弓部间之距离的情形,其指数似乎具有负号。这是因为此回归法使用的量(quantities)实际上不是这些量的值,而是它们的乘法逆元(multiplicative inverses)。这给出了我们对平板和支撑间之长距离所期望的有限极值(finite limiting values)。此对数接著被指数化(exponentiated)以给出该相称之负载值。对数函数的使用是由试验和错误所建立,以在负载预测上(特别是在剧烈的油壶效应方面该曲线之低负载部分上)给出百分比最一致的误差或错误。

[0064] 类似地,根据以下方程式对斜率进行相称,即:

$$[0065] \frac{dy}{(y dx)} = \sum_{j+k+l+m \leq 2} B_{jklm} t^j R_1^{-k} R_2^{-l} L_2^{-m} \quad [2]$$

[0066] 此等式左侧为用于负载值相称上之对数的导数,右侧具有一组新的系数B_{jklm},其独立于该A系数且相互独立。座标x代表该偏斜。此相称函数接著乘上相应的负载值,以获得导数d(y)/dx。

[0067] 此回归方法在位移10毫米处崩溃,因为在此位移处的FEA数据太过稀少。因此,为了获得在10毫米处的负载及其导数,ln(y)和dy/(ydx)的值简单地从它们在8和9毫米的值进行线性外差。这导向如下表达式:

$$[0068] y_{10} = \frac{y_9}{y_8}; \quad \left(\frac{dy}{dx}\right)_{10} = y_{10} \cdot \left(2\left(\frac{dy}{(y dx)}\right)_9 - \left(\frac{dy}{(y dx)}\right)_8\right) \quad [3], [4]$$

[0069] 在此下标8、9和10指的是以毫米为单位之位移的值。此等式的右手边是来自于运用回归法[1]和[2]在8和9毫米处此两个位移之ln(y)和dy/ydx的相称值。

[0070] 随著在2到9毫米之点的负载和导数已被确定,三次厄米特内插法被用来对它们进行相称。对于每一区间,三次多项式需要确定四个系数。这可利用对在该区间两端之相称的负载值和相称的斜率两者进行匹配来完成。

[0071] 对于该转变点,该负载和偏斜两者都必须利用回归法相称。此负载相称于包括某些三次项及二次项的回归式,亦即:

$$[0072] \ln(y_t) = \sum_{j+k+l+m \leq 3, j \leq 2, k \leq 2, l \leq 2} C_{jklm} t^j R_1^{-k} R_2^{-l} L_2^{-m} \quad [5]$$

[0073] 在此y的下标t代表该负载是于该转变点下进行评估。总和符号的下标指出指数j、k和l仍限制在最大值2,而允许指数m的取值与3一样大,但所有指数的和小于或等于3。因此,此三次项为那些含有至少-L₂⁻¹因子。该偏斜相称于类似于方程式[1]的回归式,如下:

[0074] $x_t = \sum_{j+k+l+m \leq 2} D_{jklm} t^j R_1^{-k} R_2^{-l} L_2^{-m}$ [6]

[0075] 该偏斜 x 是以 t 为下标,以代表该转变点。

[0076] 此假设发生剧烈的或缓和的油壶效应。如图7D所示,这相应于随著该转变点远处之 x 增加而导数减小,反过来需要具有小于某一最大值的偏斜,如图2指出的 x_{max} 。 x_{max} 的值是从在2毫米位移处之该相称的负载值和导数、以及该稳定反应曲线的初始斜率(见下文)计算而得,此假设了从零到该转变点之稳定反应的二次式内插。此计算的结果如下:

[0077]

$$x_{max} = (\sqrt{(s_0 - s_2 + y_2)^2 + 4y_t(s_2 - s_0)} - (s_0 - s_2 + y_2)) / (s_2 - s_0) \quad [7]$$

[0078] 在此等式中, y_2 和 s_2 的值代表在2毫米处之相称的负载和斜率, s_0 为在零负载及偏斜处(于下文要被确定的)之稳定反应的斜率。当方程式[6]给定的回归值超过方程式[7]给定的最大值,后者会取代前者。在所有已研究过的情况中,该转变点会发生于少于2毫米之位移的情况。

[0079] 随著该转变负载和偏斜相称,在该转变点和2毫米位移之间二次式内插被用来取代三次式内插。较低阶之多项式避免了病态情形(i11-conditioning),其在该转变点之位移靠近2毫米时可能会发生。该内插再次需要对在该区间(该转变点和2mm位移点)两端的负载值进行匹配,但该斜率仅需要匹配于2毫米位移处的相称值。该二次式内插曲线自动给出了塌陷曲线在该转变点的斜率,因此确定了是否发生剧烈的油壶效应(此由该塌陷曲线在该转变点的一个负斜率指出)。

[0080] 该稳定反应被假设为从零往上到该转变点的一个简单的二次曲线。由于此曲线必须通过原点且负载之值由方程式[5]停止于该转变点,因此只有一个自由的参数需要被确定,这被认为是该曲线在原点的斜率。这由一个类似于方程式[1]或[6]的回归式来确定,如下:

[0081] $s_0 = \sum_{j+k+l+m \leq 2} E_{jklm} t^j R_1^{-k} R_2^{-l} L_2^{-m}$ [8]

[0082] 此相称斜率为方程式[7]使用的 s_0 的值,以在没有油壶效应的情况下约束在该转变点的偏移。

[0083] 采用生成0.1毫米的负载,对其压痕抗力的一个单独的表现量测被选用。压痕抗力之预测模型的确定程序先前已由本申请发明人公开,但在此包括其重点以求完整。此预测模型包括五个因子,即材料(不连续变量)、厚度(t)、有效塑性压变($\bar{\varepsilon}$)(在下压时显现)、前视曲度半径 R_1 以及侧视曲度半径 R_2 。除了材料之外,所有其他的变量为连续的且同时合并于一反应表面设计。此反应表面模型被建构为正交多项式中使用的及成为如下等式之特征的正交项的和,所示等式为:

[0084]
$$Y = \sum_{ijklmn} b_{ijklmn} t^{(k)} \bar{\varepsilon}^{(l)} (1/R_1)^{(m)} (1/R_2)^{(n)} \quad (1)$$

[0085] 其中参数 k 、 l 、 m 和 n 为0到2的整数,并限制为 $k \leq 2$, $l \leq 2$, $m \leq 2$, $n \leq 2$ 及 $k+1+m+n \leq 2$ 。这些限制条件相对于对所有因子来说只有包括线性和二次的相依性。 k 、 l 、 m 、 n 或其任一组合为零值是被允许的,此相对于所对应之因子没有包括于该项中的情形。利用 $k=1=m=n=0$,则一个常数项包括于上述回归式中。方程式(1)中的 Y 为0.1毫米压痕深度的负载,为相依变量。

[0086] 图8A显示利用Auto/Steel Partnership的程序来进行压痕测试的一实验的板60,其中压痕测试使用半球状压头33b(如图5B所示)来进行。实验的平板是利用5080毫米的冲压半径在全力冲压的情形下形成(如图8B所示),生成 $1\% \times 1\%$ 和 $2.5\% \times 2.5\%$ 的双向平衡预应变(balanced biaxial prestrain)。固定结构的特徵被显示,通常标为64。图9A和图9B显示对于多种材料、1%和2.5%双向延展级别的压痕测试和FEA的相关性。如这个比较所显示的,利用FEA方法分析压痕抗力的相关度相当好。

[0087] 利用此报告描述的FEA程序结合如上描述的数学程序而驱使该跃越失稳的负载偏移行为,跃越失稳的预测模型因而建立起来。类似于先前对门板进行的工作,DDS和BH210之压痕抗力的预测模型亦被建立起来。结合此预测模型,一个利用LabView®的使用者界面被建立。LabView®为国家仪器公司(National Instruments)的产品,其提供各种可用来进行编程的GUI工具。程式码便可被编译以建立可单独执行的程式,其可独立运行于任一台式机。图10显示一代表性的已开发界面,通常标为70。

[0088] 此介面包括动态控制项,例如钟面(dials)或滑块(sliders),藉此使用者可以输入设计意图之变量的值,也就是,前视半径R1、侧视半径R2、厚度(t)和弓部间的长度L2。此介面亦包括通过大的或小的形变导致的压下(stamping)效果,并且获取该负载偏移行为、该油壶效应负载以及该0.1毫米压痕深度的负载。使用者可将结果存储到一本本地计算机,并且在短时间内完成大量的设计情形评估。在另一方面,使用传统的分析方式可能需要好几天来确定油壶效应和压痕两者的分析,对于一个设计项目,包括了前置程序、分析和后续程序。对于大量项目的评估以取得满足两者要求的最佳解决办法,可能耗时相当长的时间。因此,使用者利用该预测工具,能够在相当短的时限内完成分析,从而增加产量,让一个已被通知之决定成为可行,当一个完整的结构模型还没出来时,提早进行设计程序。

[0089] 对于该预测模型与FEA的相关性,在该相关性中第一个步骤是针对一些特定的几何构形比较从该预测模型得出的结果与该RAP模型的FEA结果。图11A显示使用FEA预测该负载偏移行为之结果,而图11B显示针对R1、R2和厚度的一组值与该弓部间之长度L2的不同的值的预测模型。图11A和图11B中之图表的比较显示该预测模型与该FEA预测相当一致。

[0090] 在该第一阶段的相关之后,下一个阶段是要对该预测模型和一个车顶结构全部之板的FEA进行相关。图12和图13显示基于全部之板的FEA和预测模型两者、对两个不同的板施加负载而得出之负载偏移行为的比较。在将该模型应用到理想条件(例如曲度固定的区域,其在该车顶板中央时呈显著正确)时,与FEA预测的相关度是非常好且合理的。当在曲度大幅或突然改变的区域时或当负载位置接近车顶横条或弓部时,预测就较不成功或较不正确。

[0091] 因此,采用FEA、DOE和数学曲线相称的一个组合已然建立跃越失稳抗力和压痕抗力的预测模型。一个跃越失稳抗力的模型基于该前视曲度半径R1、该侧视曲度半径R2、该厚度(t)和该未被支撑的车顶梁间之长度L2,而得出该负载偏移曲线。可以确定的是,藉由适当地设置车顶弓部,即使在车顶板的厚度小于0.55毫米的情况下,也可以避免跃越失稳。车顶板中压痕抗力的结果与先前门板的结果一致。该预测模型与全部之板的FEA的相关性已经显示出很好的相关度。

[0092] 已开发出的预测模型可利用安装于一网站的互动界面来实现,以预测汽车车顶板上的油壶效应和压痕抗力。此结果可用以在早期开发阶段将设计导引提供给汽车制造商。

此工具提供有效确定“如果…将会怎样 (what-if)”情形并实时获取结果之能力给汽车设计者,此实时之时长情况与致力于FEA所耗费之时间相反,相信利用该预测模型可实现显著节约。

[0093] 本发明已以这些实施例之特定参照教示如上,本领域的普通技术人员可以理解到,在不脱离本发明之范围的情况下,可以在形式上或细节上作变化。所描述的实施例因此应被视为在各方面均仅作为示例,而不是限制。因此,本发明之范围是由接下来的权利要求表示,而不是由所描述的内容表示。

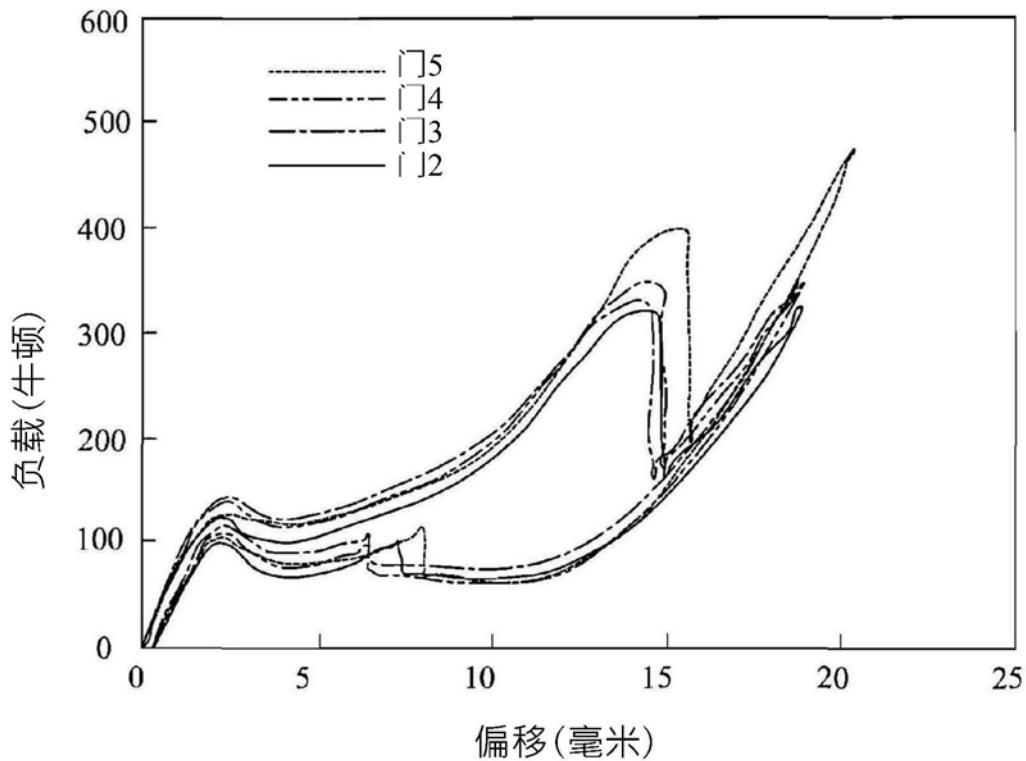


图1

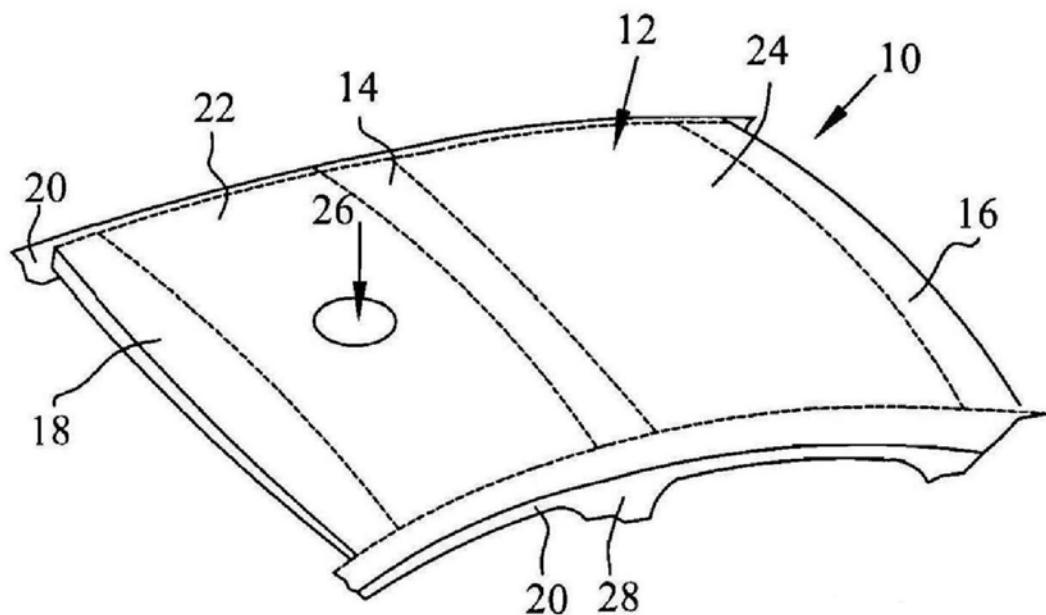


图2

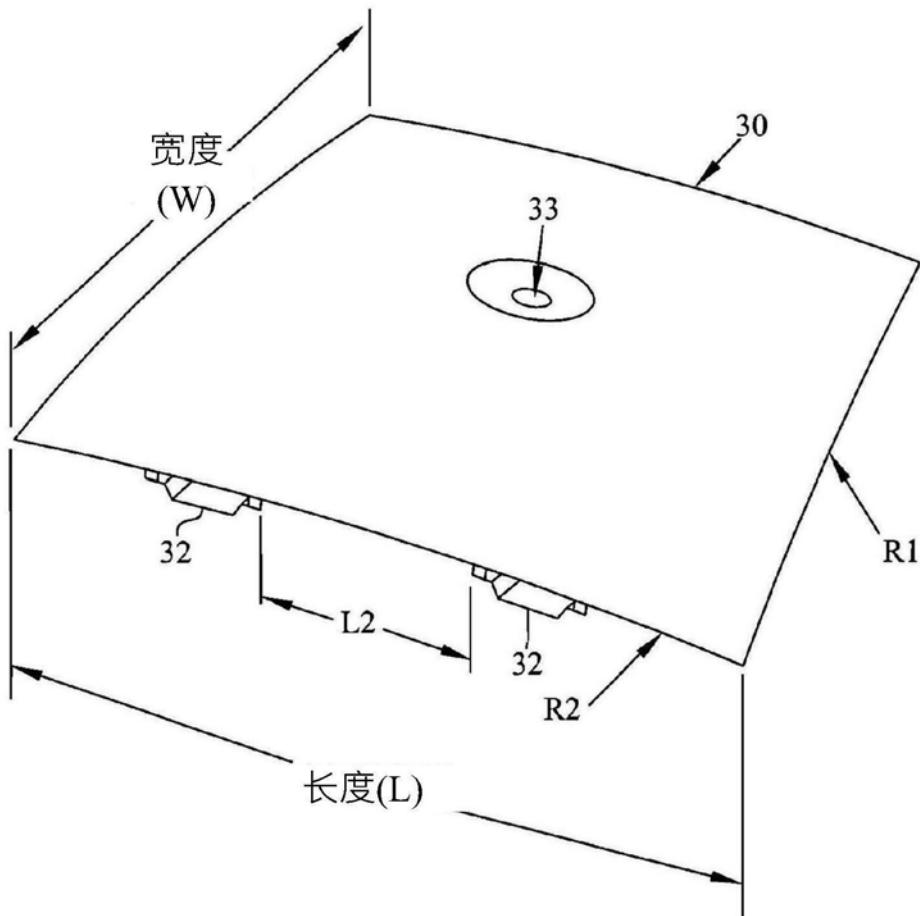


图3A

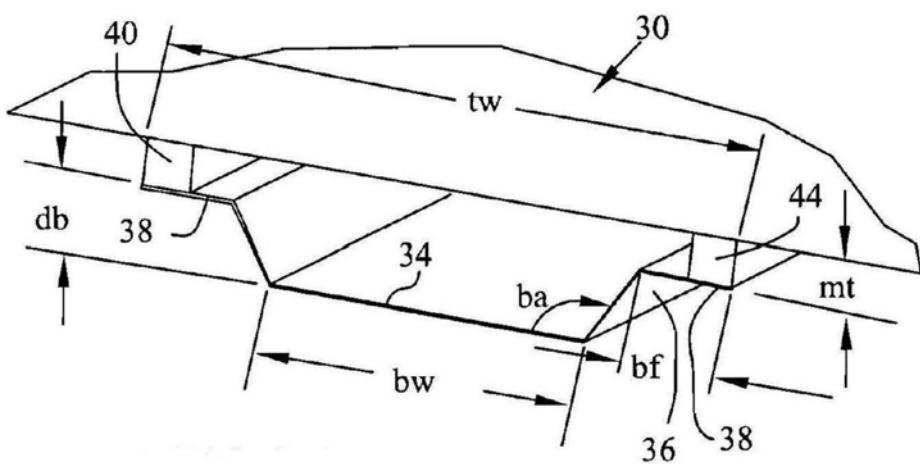


图3B

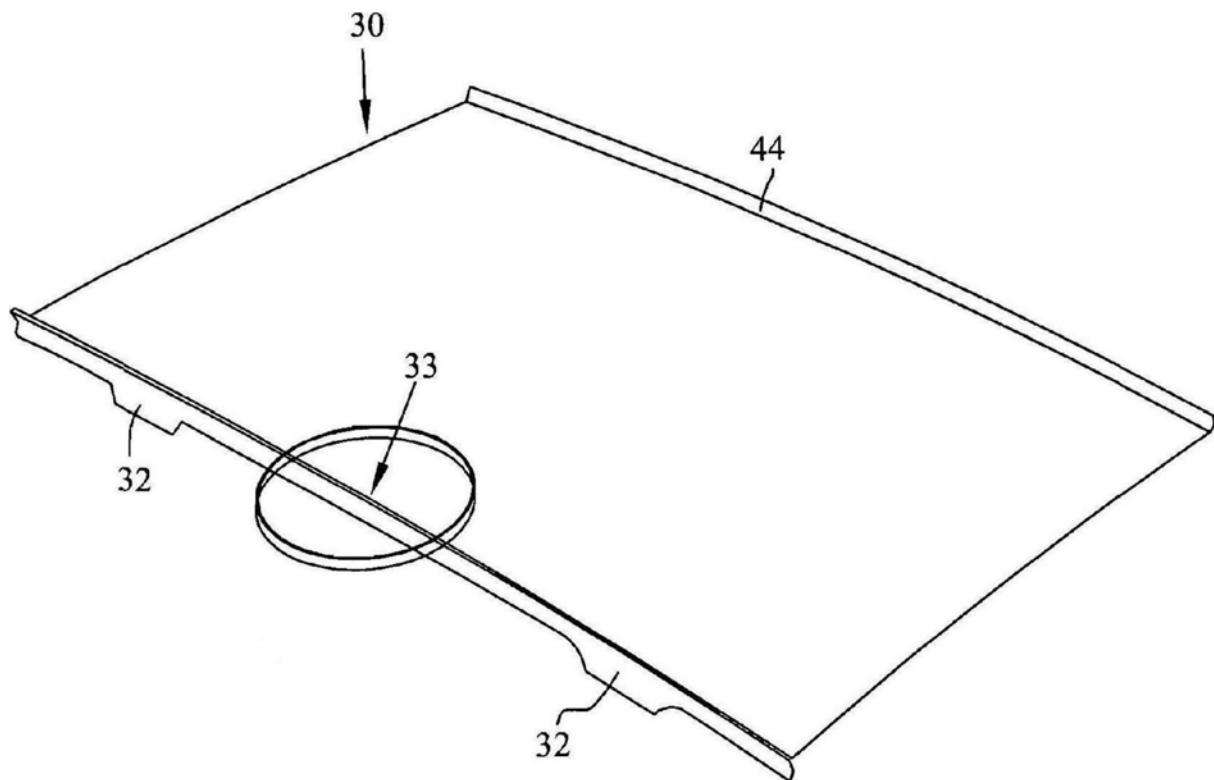


图4

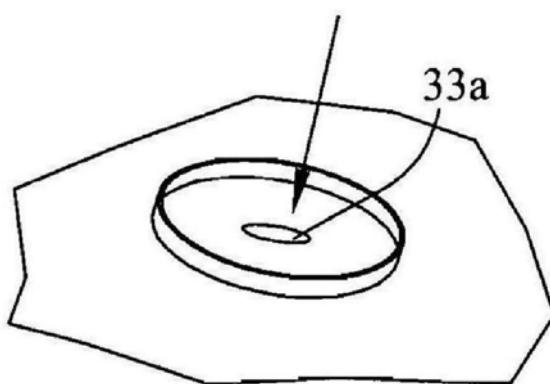


图5A

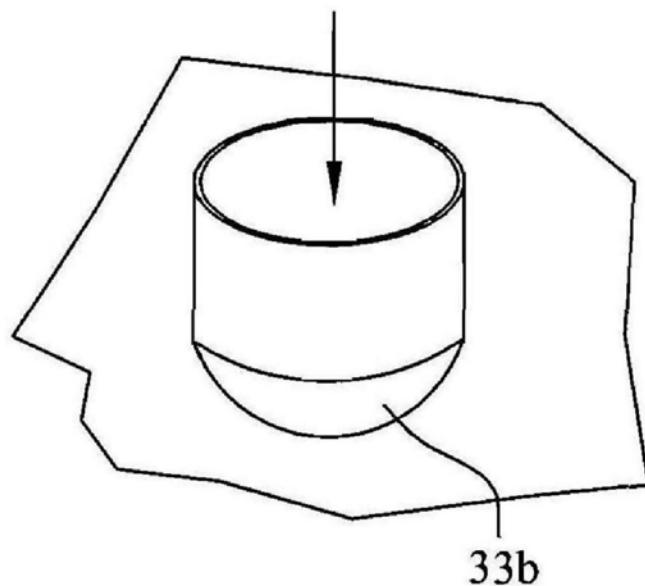


图5B

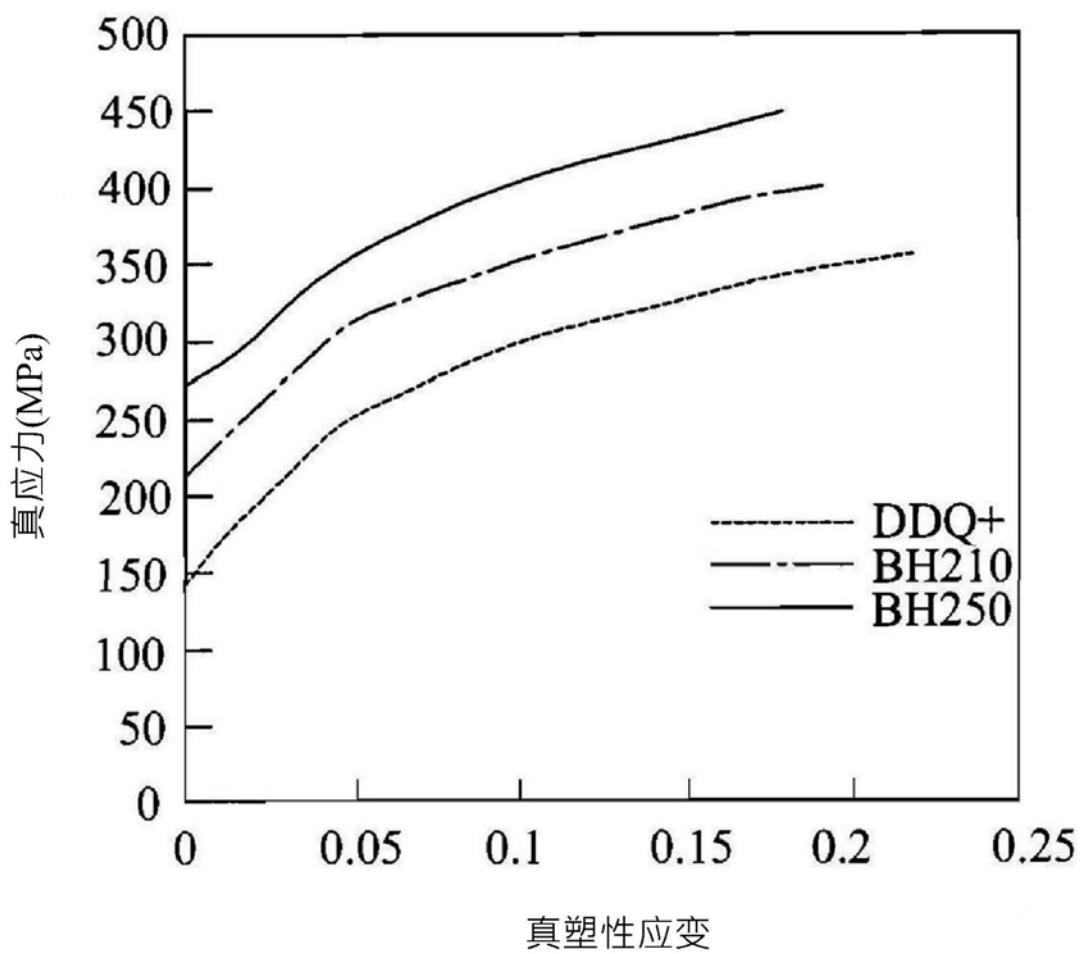


图6

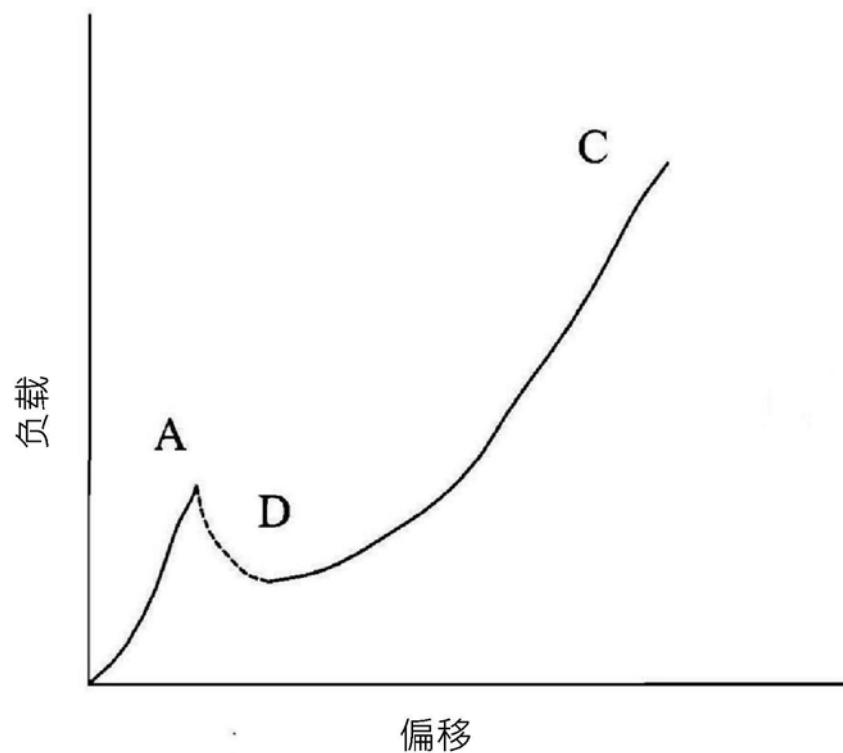


图7A

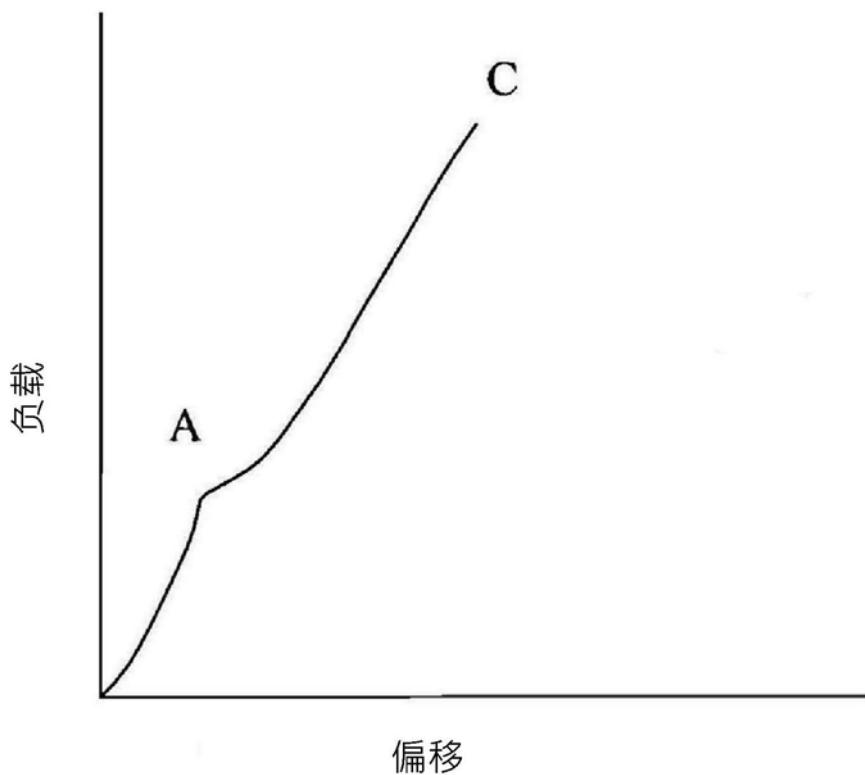


图7B

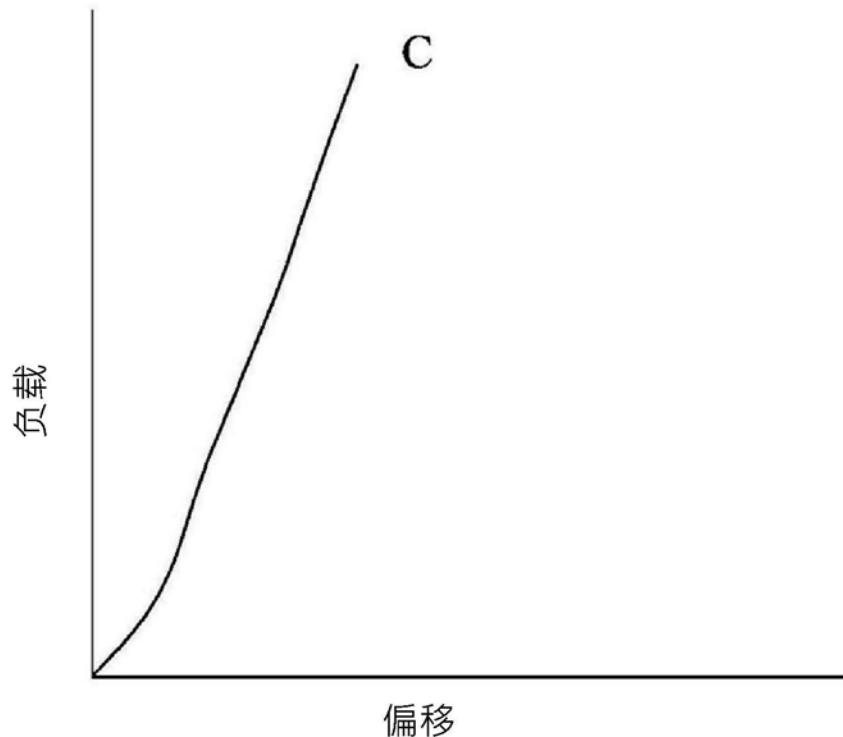


图7C

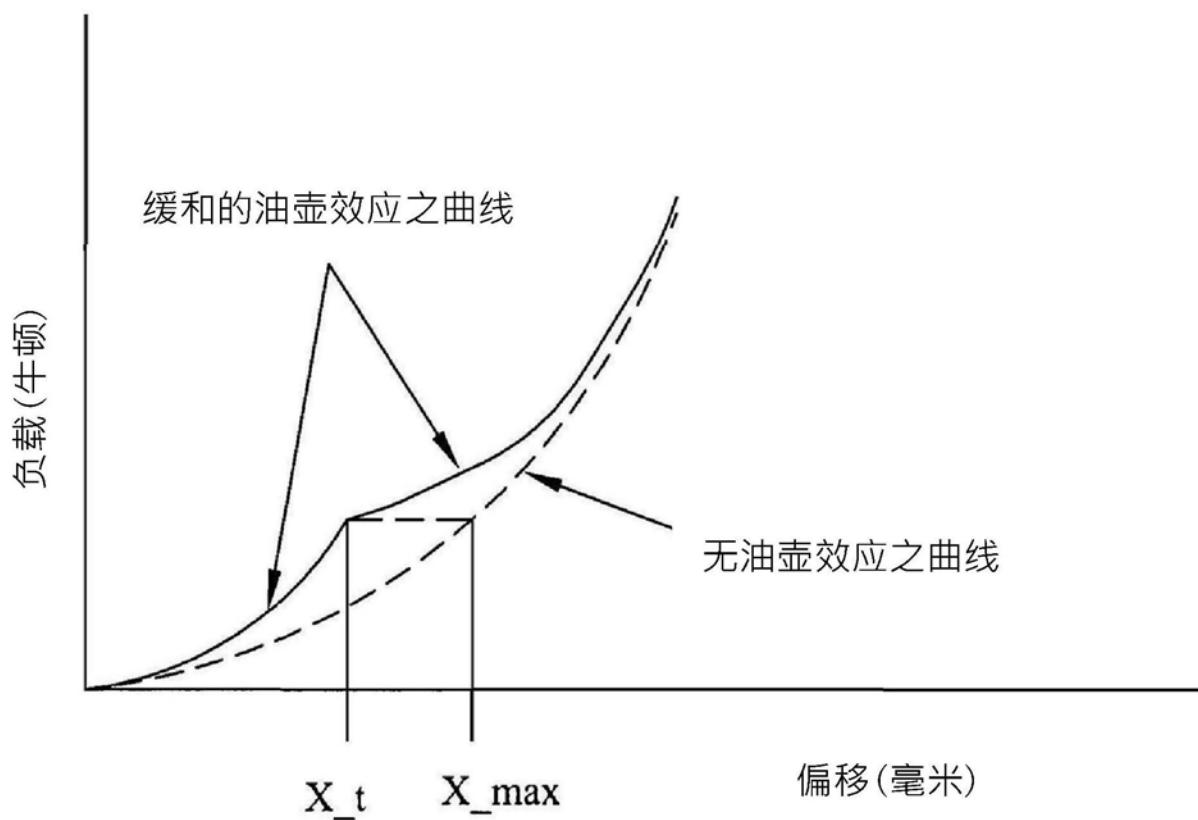


图7D

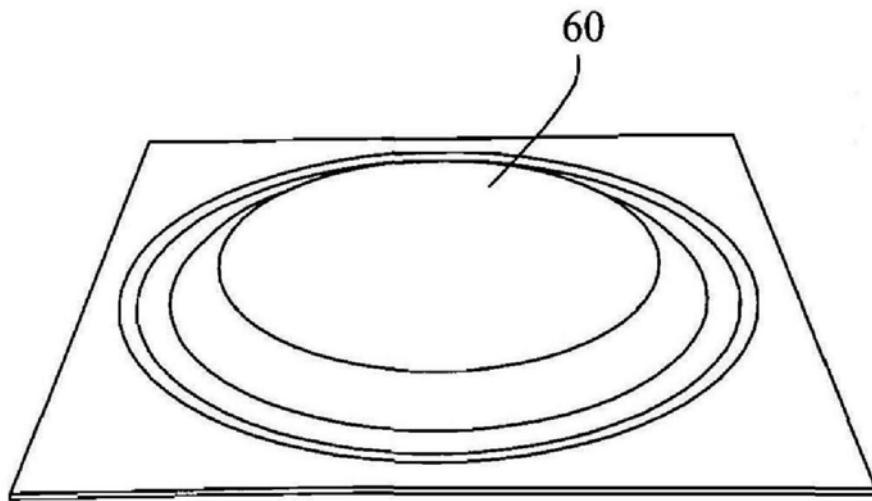


图8A

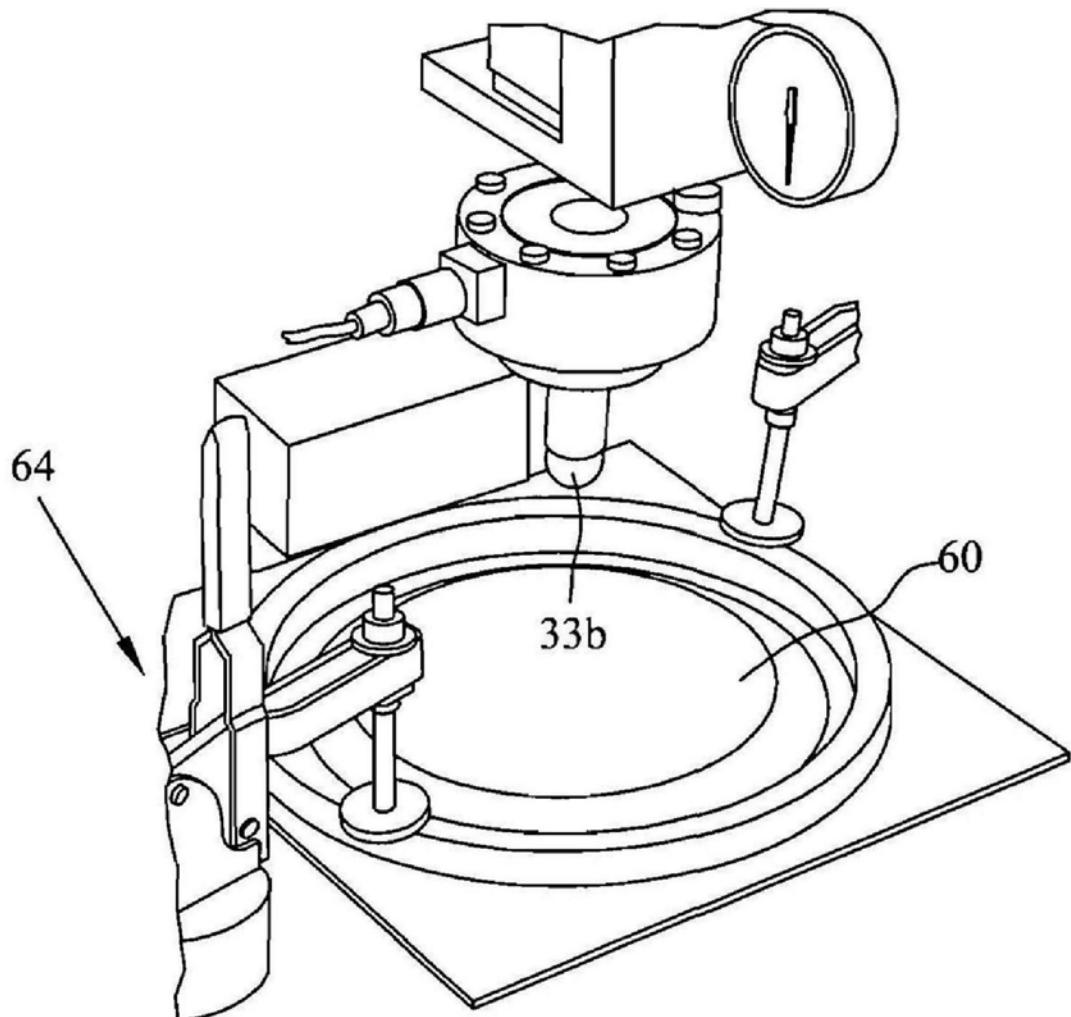


图8B

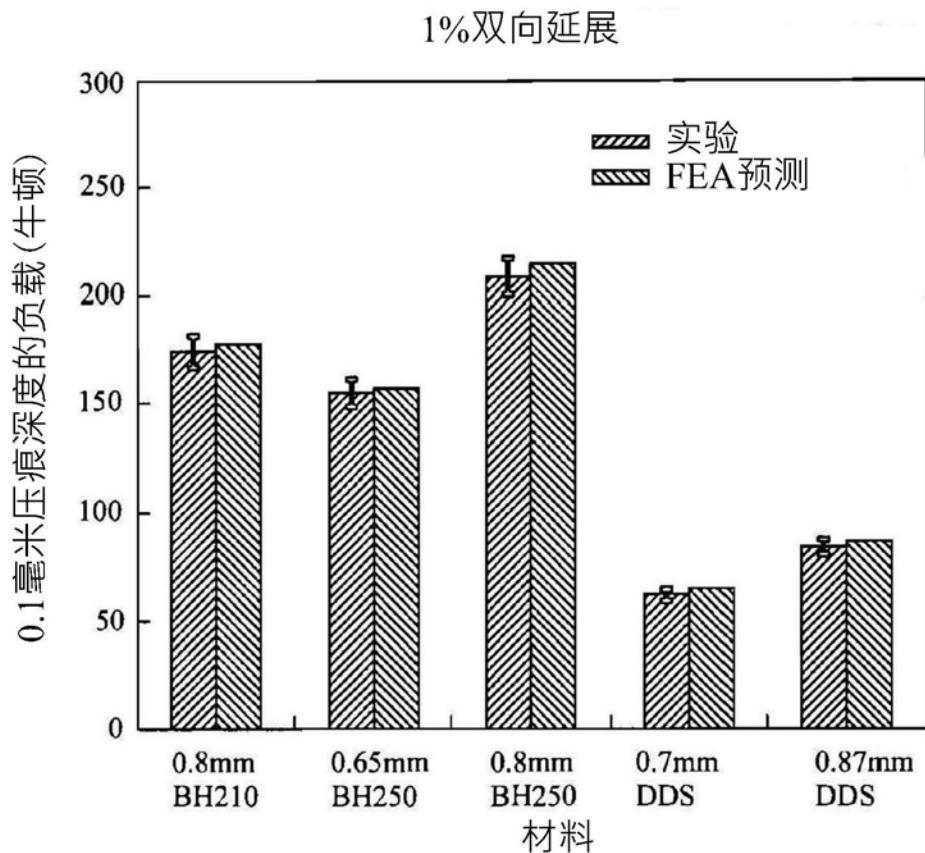


图9A

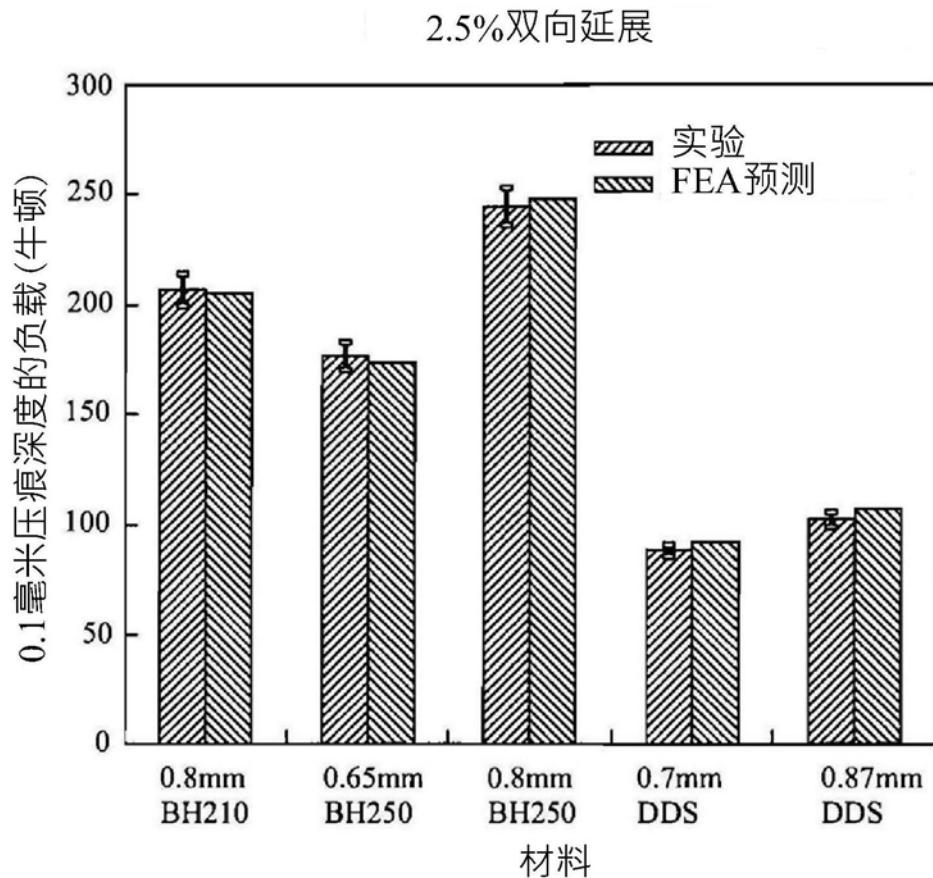


图9B

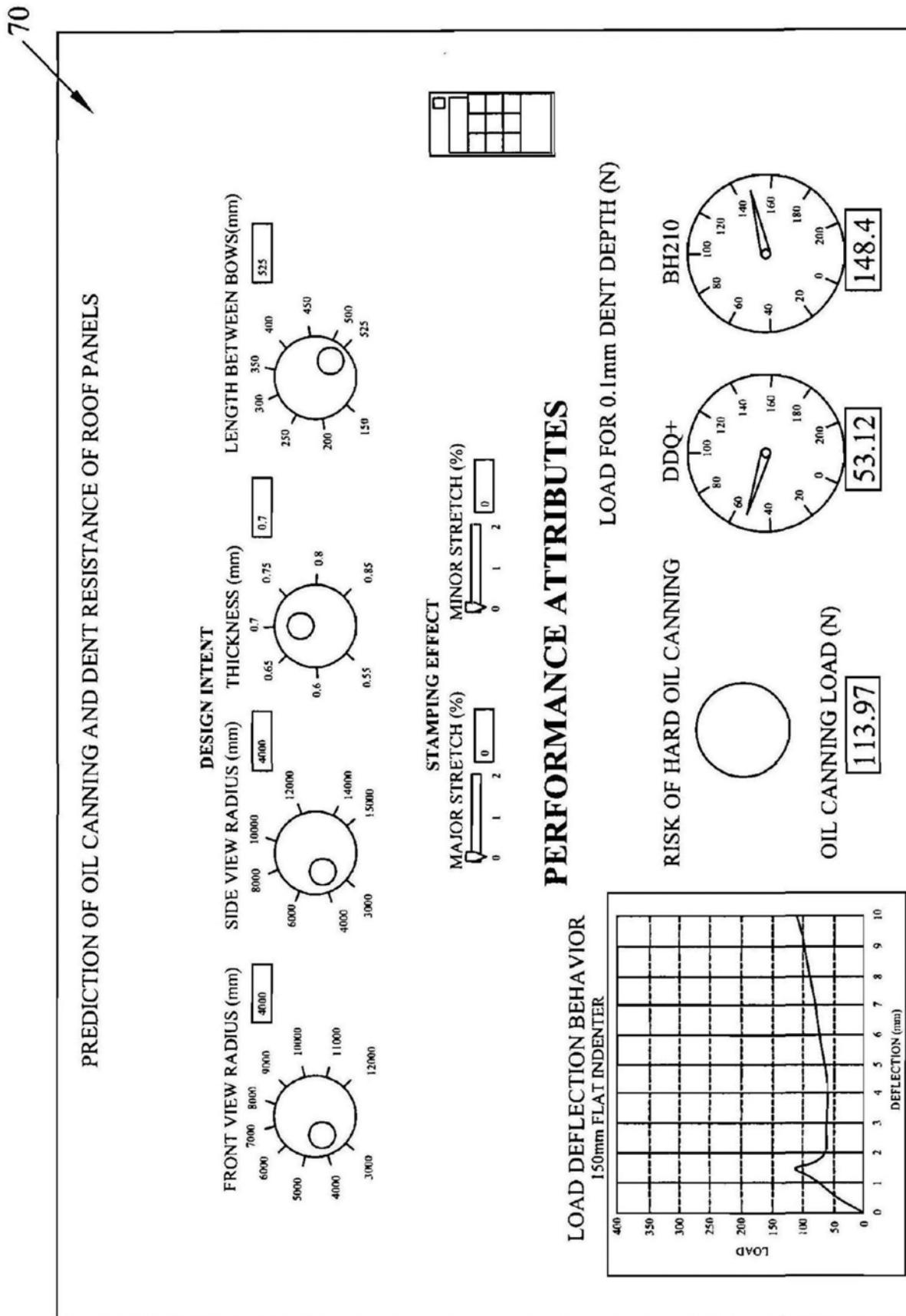


图10

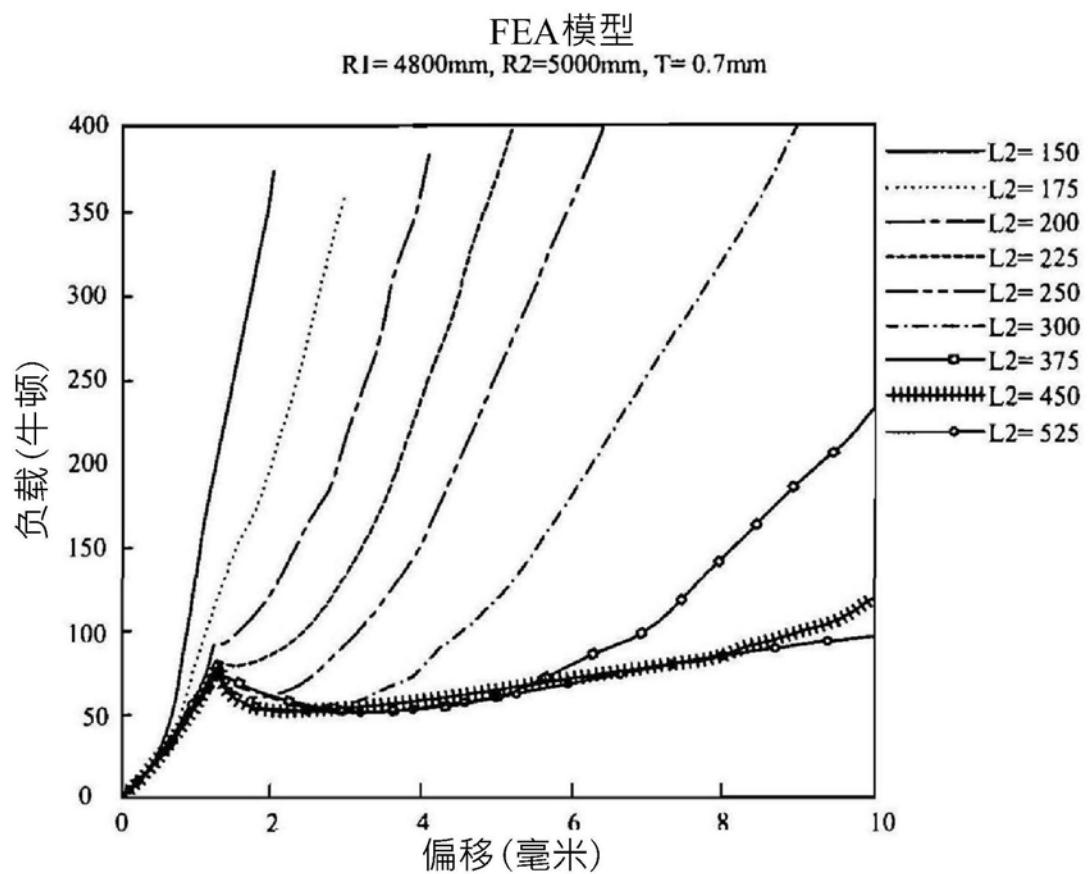


图11A

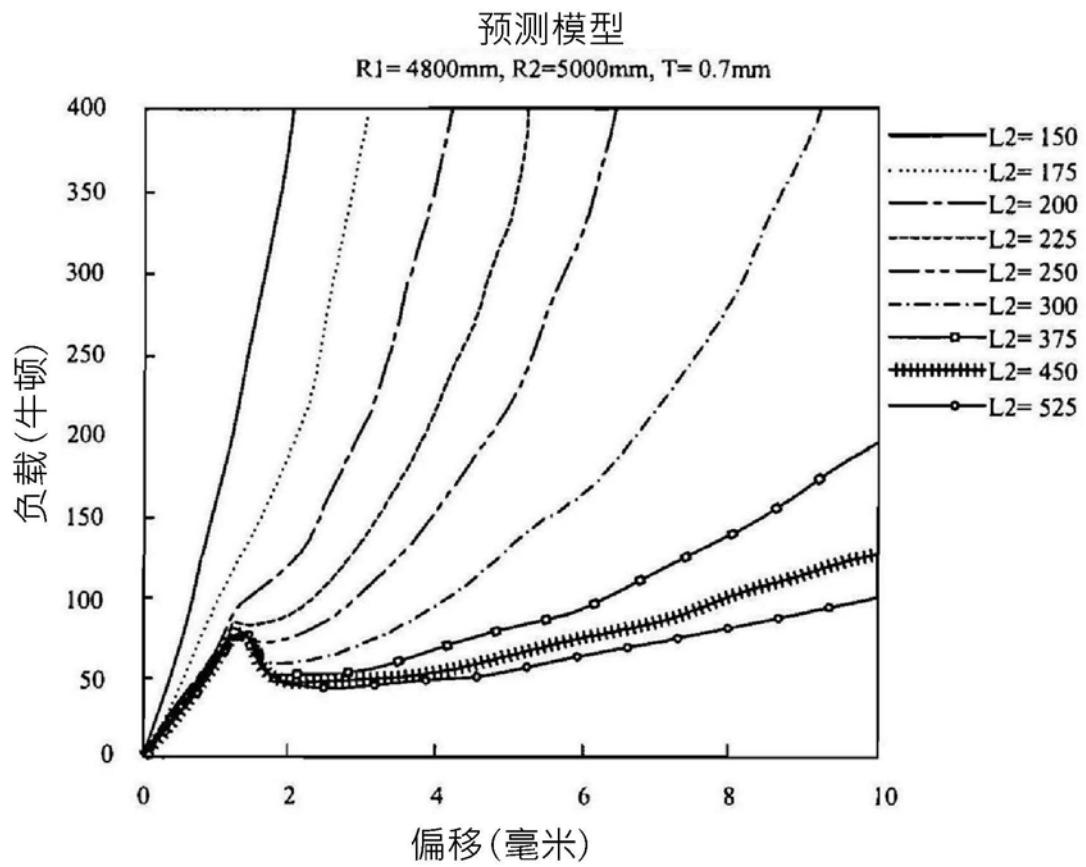


图11B

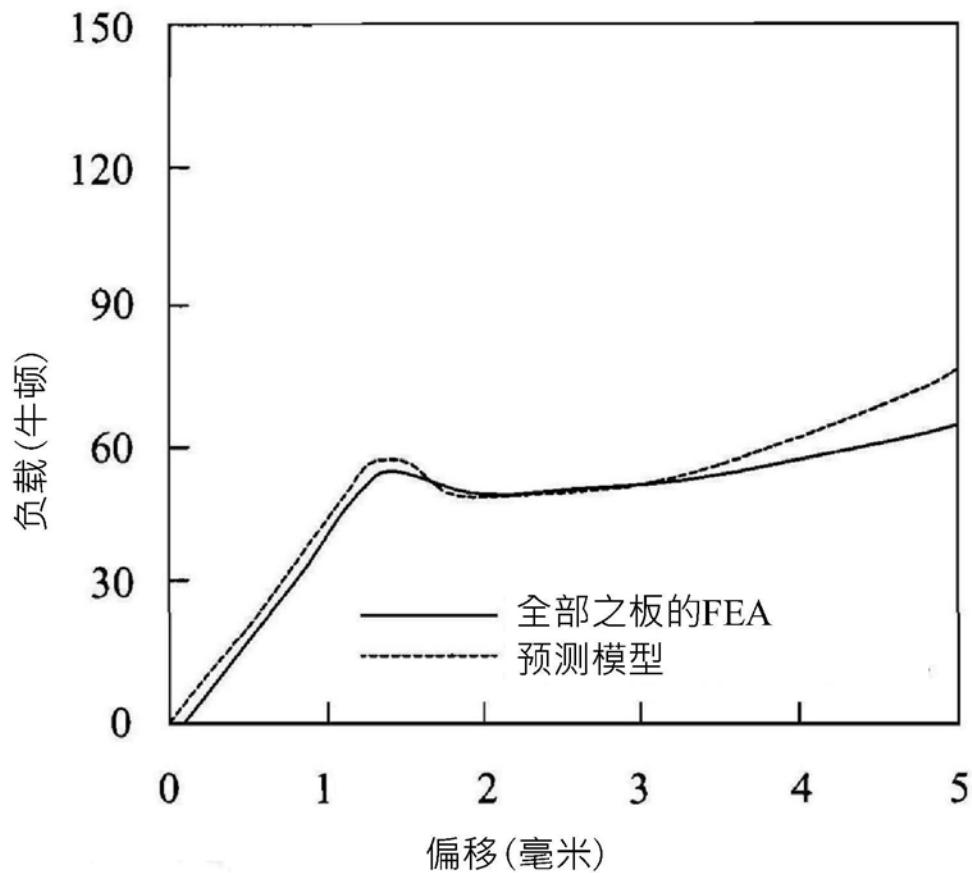


图12

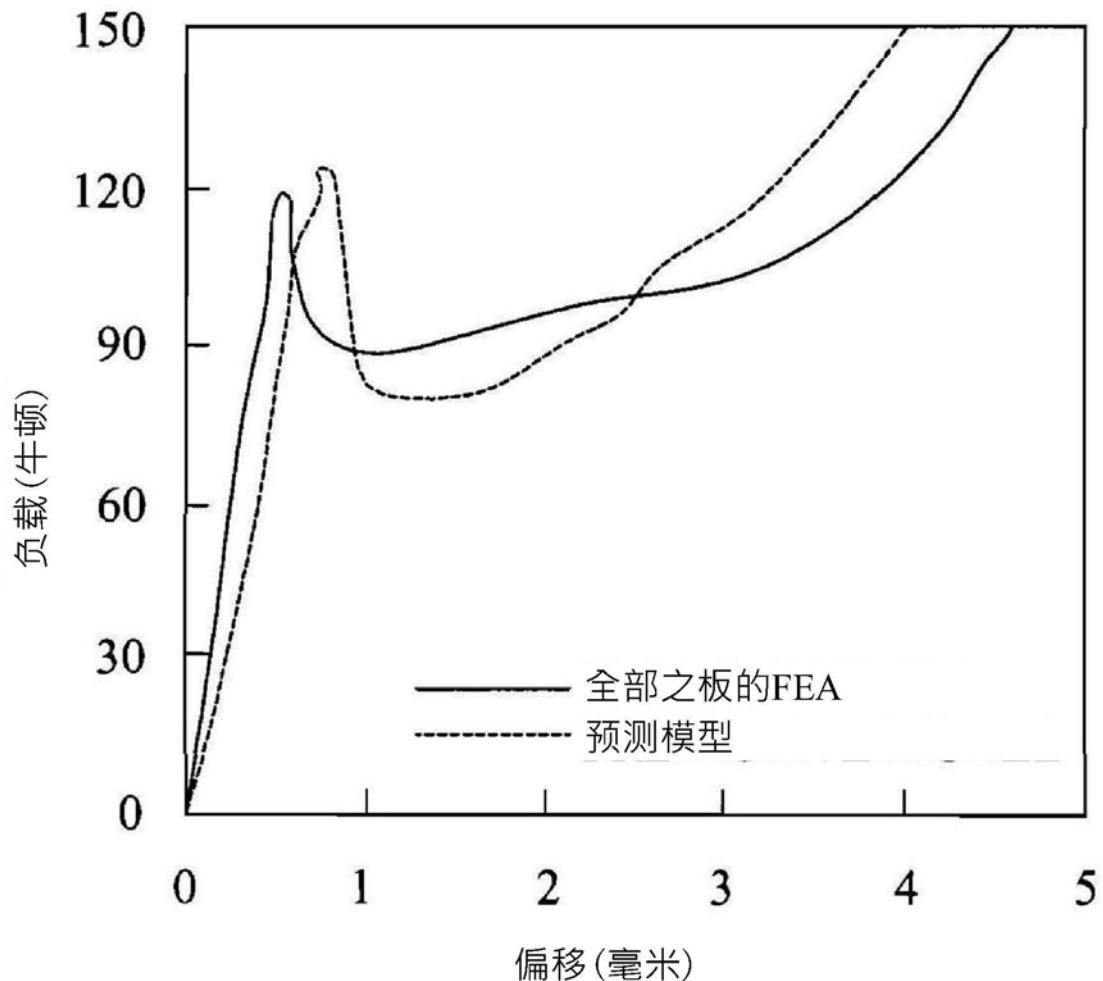


图13