

电磁铆接放电过程仿真分析

Simulation Analysis of Electromagnetic Riveting Discharge Process

中航工业北京航空制造工程研究所 秦玉波 高明辉 邹方

[摘要] 目前,电磁铆接的放电回路主要有两种形式,一种是电容直接对线圈进行放电;另一种是电容对脉冲变压器放电,然后脉冲变压器作用于线圈。

关键词:电磁铆接 脉冲变压器 仿真

[ABSTRACT] There are two main forms of the discharge circuit of EMR, one is that the capacitor discharges to the coil directly; another is that the capacitor discharges to the pulse transformer, then the transformer act on the coil.

Keywords: Electromagnetic riveting Pulse transformer Simulation

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.05.068

电磁铆接技术与传统铆接方法相比,在保证结构长寿命、难成型铆钉的铆接和改善劳动条件等方面具有明显的优势。由电磁铆接的原理可知,电磁铆接的铆接力主要对初级线圈放电,使次级线圈产生感应电流,最终两个线圈相互作用产生涡流斥力推动铆枪动子部分完成铆接。

目前电磁铆接主要存在两种放电回路,一种是电容直接对线圈放电;另一种是在放电电容和线圈之间加一个变压器。这两种电磁铆接设备的典型代表中,前者为美国EI生产的电磁铆接设备,后者为俄国的电磁铆接设备。本文采用有限元方法对两者分别进行仿真,为便于比较分析,两仿真仅放电回路不同,剩下部分完全相同。

1 仿真模型的建立和仿真参数的设置

仿真模型主要用到 Ansoft Maxwell 2D 软件和 Ansoft 自带的电路编辑软件。Ansoft Maxwell 2D 是专业的电磁仿真软件,考虑到铆枪中多场耦合正好可以用此软件来解决这些问题。

1.1 外电路模型的建立

用 Ansoft Maxwell Circuit Editor 建立外电路模型。该软件是 Ansoft 自带的电路编辑软件,使用它建立外电路模型可以方便进行下一步的联合仿真。建立的外电路模型如图 1 所示。

(1) 无变压器的放电回路。

这个模型比较简单。模型中主要是电路参数的选取设置。电容量设置为 $93750 \mu\text{F}$,初始电压设置为 400V 。回路中的电阻经实际测量设置为 $27\text{m}\Omega$,电感主要是初级线圈的电感,经测量设置为 $91.6 \mu\text{H}$ 。

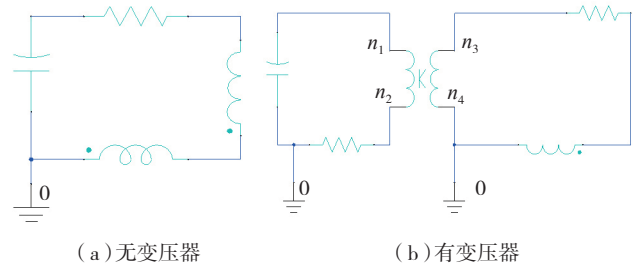


图1 放电电路模型

Fig.1 Discharge circuit model

(2) 带变压器的放电回路。

这个模型设置时设置了两组参数。一组电容设置为 $15000 \mu\text{F}$,初始电压设置为 1000V ;另一组电容为 $600 \mu\text{F}$,初始电压为 5000V 。电容设置时主要是结合实际情况和考虑电容初始储存能量相等便于比较。由于变压器的存在,回路变成两个,第一个回路由电容、电阻和变压器的初级组成。第二个回路由变压器的次级、电阻和初级线圈组成。为了仿真方便把变压器当成理想的变压器来处理。

1.2 铆枪模型

两种放电电路用到的铆枪参数基本一样,为了便于比较,两者的铆枪模型设置相同。考虑到计算的时效性,建立模型时适当对模型进行简化。由于铆枪中的动力线圈近似可以看成轴对称,因此在建立时可以用二维模型来代表铆枪。又由于次级线圈实际上是一个圆形的铜板,而涡流斥力主要作用在铜板上,因此在建立铆枪模型时,只需建立初级线圈和次级线圈即可,并把整个动子的质量加到次级线圈上。建立的模型如图 2 所示,进行网格划分后的局部放大图如图 3 所示。

1.3 仿真参数的设定

仿真参数主要分为两部分,一部分是外电路参数的设定,设定的主要参数主要是电容上的初始电压和电容量,设置的具体参数如表 1 所示(设置的条件是初始能量相同,均为 7.5kJ);另一部分是仿真时的参数设置。

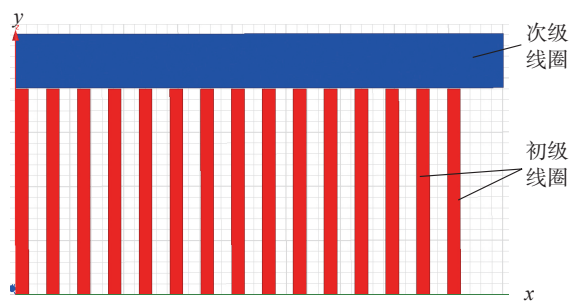


图2 简化后铆枪二维模型
Fig.2 Simplified rivet gun model

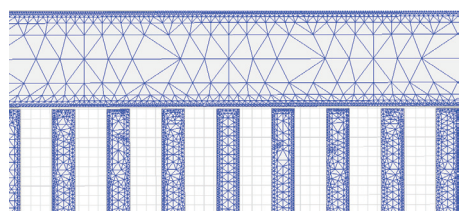


图3 划分网格后的局部放大图
Fig.3 Partial enlarged view after mesh generation

由于实际铆接时,铆枪的次级线圈会有一定移动,因此在仿真时必须考虑次级线圈的移动距离。由于铆钉的变形一般在几百微秒到毫秒级之间^[1],所以设置仿真的时间为1.5ms。仿真时没有考虑铆模的存在,也不考虑变形,主要对电路的电流、次级线圈受到的力和速度等参数进行了仿真。

考虑到铆钉变形距离不会太大,设置次级线圈的行程为10mm。

2 仿真结果与分析

仿真结果说明,在设置完上述参数后,有变压器B的在不到1ms时就已经走到10mm,因此有变压器B时就仿真到1ms。为了比较在10mm时的次级线圈的速度,在速度仿真时的结果时间有所增加。

表1 不同外电路模型的仿真参数

外电路模型	电容容量/ μF	初始电压/V
有变压器A	15000	1000
无变压器	93750	400
有变压器B	600	5000

次级线圈受力随时间的变化曲线如图4所示。从图中可以看出,次级线圈受力并不是随时间一直在增加,而是成震荡衰减,并且在第一个周期中力最大,下一个周期已经衰减得比较小。通过对比有变压器A和无变压器的力变化曲线,发现次级线圈受力峰值比较接近,但有变压器A的略大;从力的周期来看,无变压器的周期很长。高明辉等^[2]在1000V电压下测得的电磁

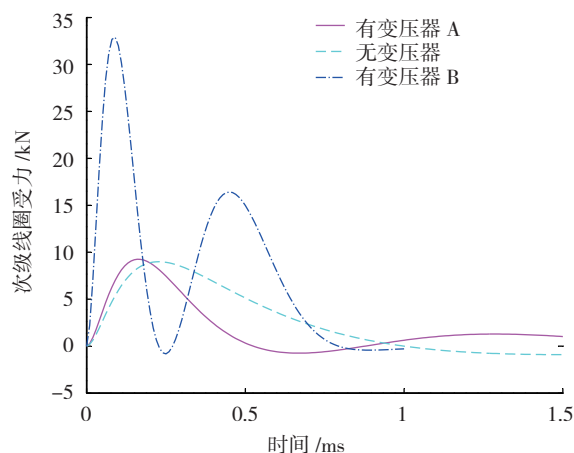


图4 次级线圈受力随时间的变化
Fig.4 Force variations of second coil with time

力为10.086kN,与有变压器A仿真的峰值9.25kN比较接近,可以间接验证仿真的准确性。通过对比有变压器A和有变压器B的力变化曲线,可看出有变压器B的力的峰值大很多,但周期很短。考虑到实际中铆钉的变形,力的加载速率对铆钉的变形影响较大,当加载速率高时铆钉易产生裂纹^[1],因此应当选用加载速率低、电磁力大的参数来设计放电回路。

线圈中电流随时间的变化曲线如图5所示。从图中可以看出,有变压器A的电流峰值最小且与无变压器的峰值相差不大,有变压器B的电流峰值最大。从周期上看,有变压器B的周期最短,无变压器的周期最长。结合图4可以看出,当电流增加时电磁力增加,而当电流减小时电磁力减小,与理论分析相一致。

次级线圈移动速度随时间的变化曲线如图6所示。图中所采用数据为次级线圈在10mm时的速度变化情况。从图中可以看出,次级线圈的速度并不是一直增加而是波动增加的,与力的变化曲线是相对应的,考虑到

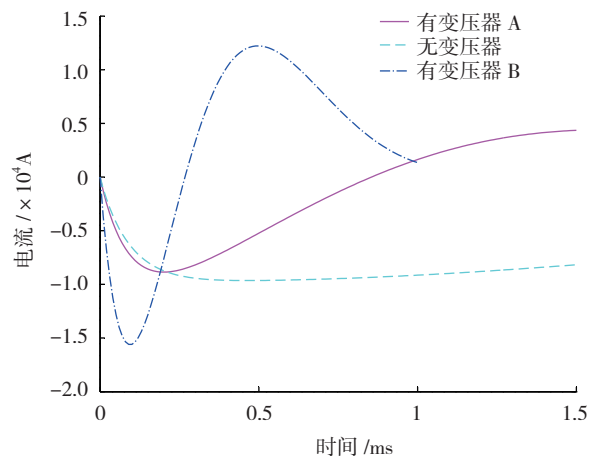


图5 主线圈中电流随时间的变化
Fig.5 Current variations of main coil with time

(下转第73页)

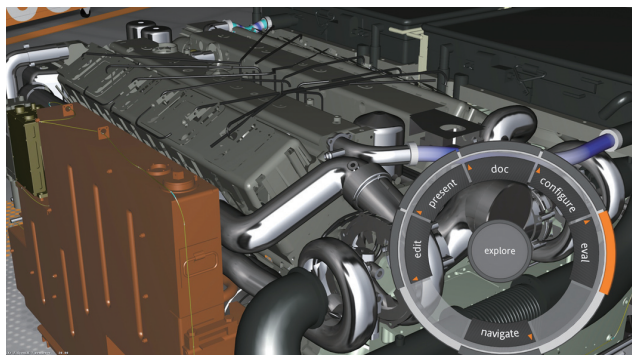


图2 在沉浸式环境下进行虚拟装配、验证的操作模式

Fig.2 Operation mode of virtual assembling and verification in silent environment



图3 狭小空间中进行综合性装配分析验证

Fig.3 Analysis and verification of comprehensive assembling in narrow space

拟样机为基础的综合虚拟现实应用系统,其核心思想是打造企业在集成设计与制造应用模式下的,多部门、多团队、多学科的可视化交互环境,使企业各方人员能够基于此统一的可视化交互环境,完成从设计协调、方案评审、工艺可行性分析、装配及维护性分析验证、人机工程分析等一系列问题;可以支撑在统一的可视化交互环境下,实现对三维模型、属性信息、分析结果、装配方法及路径等全信息的一体化模型的真实呈现,最终形成一套可以支撑多学科综合应用的、高度集成的、多站点的可视化协同决策平台体系。

参考文献

- [1] 夏平均,姚英学.虚拟装配的研究综述与分析.哈尔滨工业大学学报,2008,40(5):5-6.
- [2] 宋丽萍,武殿梁,范秀敏,等.面向虚拟装配的复杂产品装配建模技术.上海交通大学学报,2007,41(1):1-2.
- [3] 卢鹤,韩爽,范玉青.基于模型的数字化定义技术.航空制造技术,2008(3):78-81.
- [4] 刘宏增,黄靖远.虚拟设计.北京:机械工业出版社,2002.
- [5] Gunter S, Frank-Lothar K.虚拟产品开发技术.北京:机械工业出版社,2000.

(责编 亿霖)

(上接第 69 页)

实际铆接时主要是第一个周期起作用,因此速度第二次增加应不予考虑。基于以上考虑来看幅值,无变压器的速度最高,有变压器 A 的速度最低。从能量的利用率来看,由于初始能量都一样,在考虑到上面的情况下无变压器的能量利用率最高。具体能量利用率见表 2。

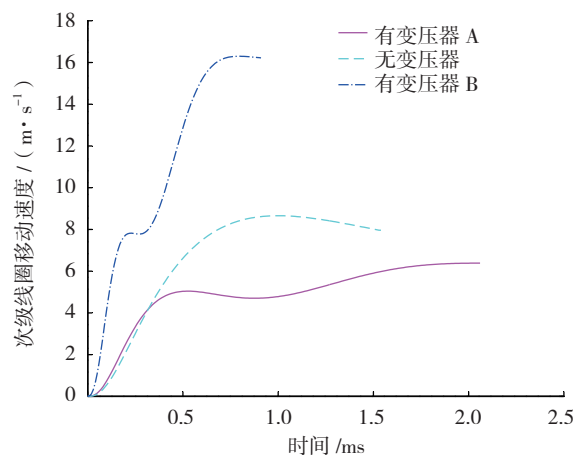


图6 次级线圈移动速度随时间的变化

Fig.6 Velocity variations of second coil with time

表2 不同外电路模型的能量变化

外电路模型	电容初始能量/kJ	次级线圈第一半波时的能量/J,利用率	次级线圈到 10mm 时的能量/J,利用率
有变压器 A	7.5	6.33,0.00084	10.18,0.0014
无变压器	7.5	18.72,0.0025	18.72,0.0025
有变压器 B	7.5kJ	15.17,0.0020	65.77,0.0088

3 结论

通过两种放电回路,3组初始参数的仿真结果对比,可以发现在同样的能量下,小电容、高电压的电磁力峰值最高;大电容、低电压的放电周期最长;而有变压器 A 的放电模型整体性能介于两者之间。另外还可以从仿真结果看出,当线圈中的电流增加时,次级线圈受力增加;线圈中的电流减小时,次级线圈受力减小。因此,在电磁铆接设备设计时,次级线圈的行程应设计在合理的范围内。外电路设计时,要结合铆钉材料选择合适的力和周期,然后根据力的峰值和周期设置合适的电路及参数。

参考文献

- [1] 曹增强,余公藩,夏力农,等.不同加载速率下铆钉材料变形研究.西北工业大学学报,2000,18(1):27-30.
- [2] 高明辉,肖庆东,许国康.一种电磁铆接力测量装置//李志强,刘华东.第四届数字化柔性装配技术论坛论文集—装配数字化与自动化技术.北京:国防工业出版社,2013:144-148.

(责编 深蓝 叶枫)