

特约来稿

双胶料衬套的设计与研究

陆伟强, 俞超

(宁波拓普集团股份有限公司, 浙江 宁波 315800)

摘要:介绍双胶料衬套的设计。双胶料衬套按功能分为自润滑型和高阻尼型2种:前者主簧胶料采用单胶料衬套胶料,具有强度高、耐久性能好的特点,撞块胶料采用天然橡胶/顺丁橡胶并用并添加内润滑剂,具有表面摩擦因数小的特点;后者副簧胶料不同于主簧胶料,采用天然橡胶/溶聚丁苯橡胶并用胶,实现双向阻尼特性的调节。试验结果表明:双胶料衬套采用双料注射机加工成型,其可从模具、胶料和注射工艺方面进行优化调整;自润滑型双胶料衬套的动静刚度可调性、耐疲劳性能和降噪性能均比单胶料衬套更具优势。

关键词:双胶料衬套;自润滑;高阻尼;双料注射机;刚度;耐疲劳性能;降噪性能

中图分类号:TQ336.4⁺2

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2022)07-0483-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2022.07.0483

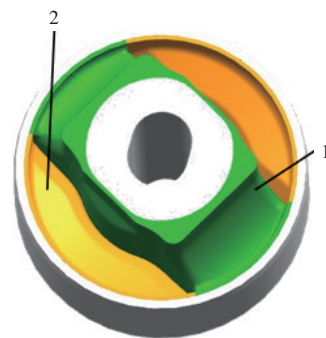


OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

汽车悬架系统与车身连接的铰接点上通常安装有橡胶衬套,以作为柔性连接件满足车辆减震降噪的需求^[1]。该橡胶衬套一般包括外管、内管和连接外管与内管的环状橡胶体,其主要作用是通过环状橡胶体减少汽车行驶过程中传递给车身的震动,橡胶衬套性能的优劣直接影响汽车底盘的NVH(噪声、振动和声振粗糙度的英文缩写)效果和整车的操控性能,甚至影响到驾乘舒适性^[2-4]。橡胶衬套环状橡胶体采用单种胶料时,在各方向的阻尼性能相同,不能实现在整车的NVH方向(即X向)上提供低动静刚度比和低阻尼性能,在整车操控性方向(即Y向)上提供高动静刚度比和高阻尼性能;另外,在整车的Y向上受到较大冲撞力时,Y向的撞块橡胶与主簧橡胶发生摩擦接触,会发出冲撞异响,特别是在雨天环境下橡胶衬套表面有涉水时,摩擦异响更加明显。

为避免单胶料衬套的上述缺陷,进行了以下设想:衬套主簧胶料保持单胶料衬套胶料强度高、耐久性能好的特点;撞块胶料采用特殊配方,使之

具有自润滑功能,以减小表面摩擦因数^[5],消除摩擦异响,由此而得的自润滑型双胶料衬套结构如图1所示。



1—主簧;2—撞块。

图1 自润滑型双胶料衬套的结构

Fig. 1 Structure of self lubricating double compound bushing

拖曳臂类衬套为高阻尼型双胶料衬套,包括内管和外管,内管与外管之间设计有呈十字交叉的橡胶主簧和橡胶副簧,橡胶主簧和橡胶副簧分别由2个对称设置的橡胶体组成,通过改变橡胶主簧胶料和橡胶副簧胶料的阻尼因数,可实现X

作者简介:陆伟强(1976—),男,浙江桐乡人,宁波拓普集团股份有限公司高级工程师,学士,主要从事汽车用橡胶减震材料的设计与工艺研究工作。

E-mail:lwq@tuopu.com

引用本文:陆伟强,俞超.双胶料衬套的设计与研究[J].橡胶工业,2022,69(7):483-489.

Citation: LU Weiqiang, YU Chao. Design and research of double compound bushing[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(7): 483-489.

向和Y向阻尼性能的调节,既保证X向上动静刚度比低,又保证Y向上阻尼因数大,以实现优异的驾乘舒适性^[6]。高阻尼型双胶料衬套的结构如图2所示。

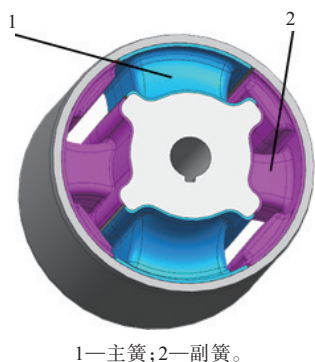


图2 高阻尼型双胶料衬套的结构

Fig. 2 Structure of high damping double compound bushing

1 不同类型衬套性能对比

乘用车底盘上的衬套分为单胶料衬套、双胶料衬套^[7-8]和液压衬套^[9-10],以单胶料衬套的性能为基准,3种衬套的性能对比如表1所示。

表1 3种衬套的性能对比

项 目	单胶料衬套	双胶料衬套	液压衬套
刹车颤动	100	+	++
转向摇摆	100	+	++
耐疲劳性能	100	+	-
质量	100	=	-
操控性	100	+	++
平顺性	100	+	++
噪声	100	+	-
成本	100	-	--

注: +表示性能变化趋势向好; -表示性能变化趋势向差; =表示性能相当。

2 双胶料衬套胶料配方设计

2.1 主簧胶料

主簧主要提供衬套主筋强度及X向刚度,对胶料的物理性能要求较高。生胶选用天然橡胶(NR, SCR5),活化体系采用常规的氧化锌/硬脂酸体系,防护体系采用喹啉类防老剂/对苯二胺类防老剂/微晶蜡并用体系,补强剂采用快压出炭黑,硫化体系采用常规硫黄硫化体系。

2.2 撞块胶料

撞块主要提供Y向刚度,并具备消除摩擦噪声的功能,此外还要有较好的耐磨性能。生胶可选用NR(SCR5)/顺丁橡胶(BR)并用体系,活化体系采用氧化锌/硬脂酸体系,防护体系采用喹啉类防老剂/对苯二胺类防老剂/微晶蜡并用体系,补强剂采用高耐磨炭黑,硫化体系采用常规硫黄硫化体系,并添加内润滑剂。

2.3 副簧胶料

副簧主要提供Y向刚度和高阻尼性能,同时需要保证胶料的物理性能。生胶可选用卤化丁基橡胶(XIIR)或NR(SCR5)/溶聚丁苯橡胶(SSBR)并用体系,活化体系采用氧化锌/硬脂酸体系,防护体系采用喹啉类防老剂/对苯二胺类防老剂/微晶蜡并用体系,补强剂采用快压出炭黑,硫化体系采用常规硫黄硫化体系。

3 双胶料衬套胶料的性能

3.1 双胶料衬套的动刚度理论

结合雷刚等^[11-12]的衬套动态特性研究,双胶料衬套使用时的运动过程可以看作两根弹簧串联(如图3所示)与并联(如图4所示)叠加后在一定加载频率下振动的过程,图中A和B分别为主簧和撞块胶料。

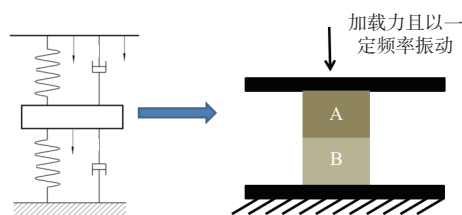


图3 串联示意

Fig. 3 Series schematic

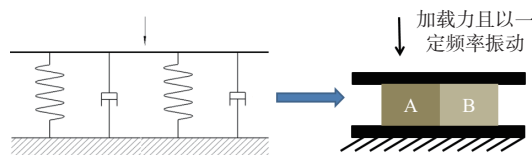


图4 并联示意

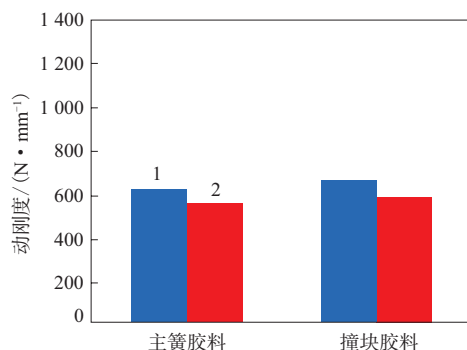
Fig. 4 Parallel schematic

3.2 自润滑型双胶料衬套胶料的性能

3.2.1 动刚度

将自润滑型双胶料衬套中的主簧胶料和撞块

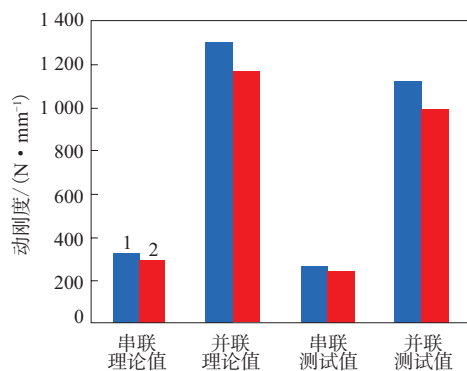
胶料分别制作成标准块进行单胶料(单独的主簧胶料和撞块胶料)、双胶料串联和并联情况下的动刚度测试,结果分别如图5和6所示。



测试条件:1—振幅0.5 mm,频率15 Hz;
2—振幅1.0 mm,频率15 Hz。

图5 单胶料的动刚度

Fig. 5 Dynamic stiffnesses of single compounds



注同图5。

图6 双胶料串联和并联情况下的动刚度

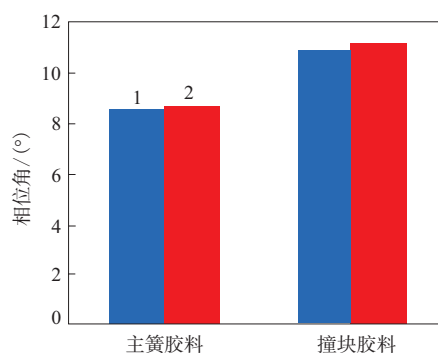
Fig. 6 Dynamic stiffnesses of double compounds in series and parallel

从图5和6可见:无论是理论计算结果还是实际测试结果,主簧胶料和撞块胶料以串联方式联接时的动刚度均小于2个单胶料的动刚度;以并联方式联接时的动刚度均大于2个单胶料的动刚度。

3.2.2 相位角

自润滑型双胶料衬套主簧胶料和撞块胶料的单胶料、双胶料串联和并联情况下的相位角测试结果分别如图7和8所示。

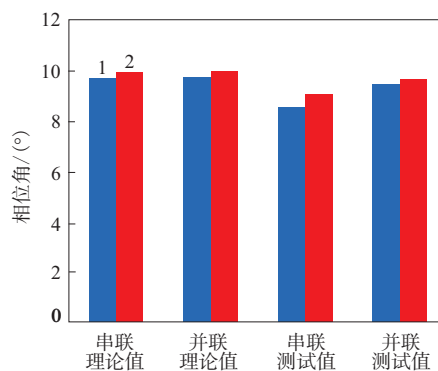
从图7和8可以看出,不管是理论计算结果还是实际测试结果,主簧胶料和撞块胶料以串联方式或并联方式联接时的相位角均介于2个单胶料的相位角之间。



注同图5。

图7 单胶料的相位角

Fig. 7 Phase angles of single compounds



注同图5。

图8 双胶料串联和并联情况下的相位角

Fig. 8 Phase angles of double compounds in series and parallel

3.3 高阻尼型双胶料衬套胶料的性能

高阻尼型双胶料衬套中高阻尼胶料生胶可选择XIIR或SSBR/NR并用胶,再结合胶料的物理性能、与金属的粘合性能以及动态性能等,最终确定合适的高阻尼胶料配方^[13-15]。0~100 Hz频率范围内高阻尼胶料动刚度和相位角的变化情况分别如图9和10所示。

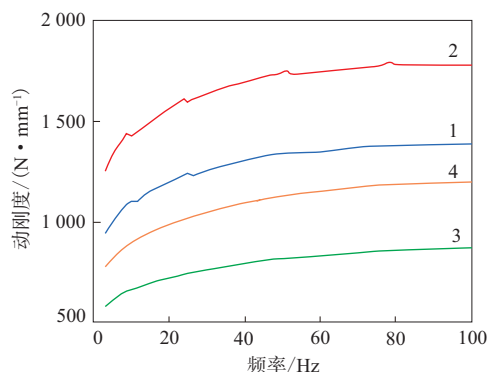
从图9和10可以看出,与传统的XIIR胶料相比,SSBR/NR并用胶的动刚度和相位角更大,在实际产品开发中具有更大的调配空间。

4 衬套制备

4.1 设备

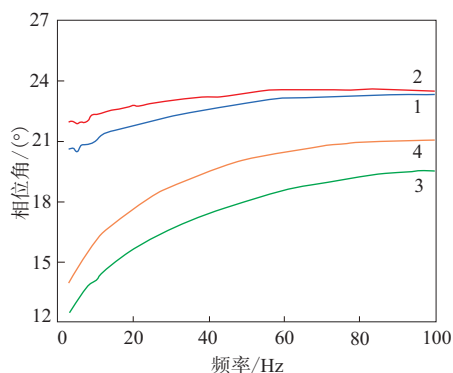
双料注射机比常规单料注射机多1套控制机构,具有2套独立储料单元和注射系统:1套布置在机台左侧,与单料注射机基本一致,一般用于注射

主簧胶料;另1套布置在机台右侧,位置较低,一般用于注射副簧胶料。双料注射机如图11所示。



1—邵尔A型硬度为58度的SSBR/NR并用胶;2—邵尔A型硬度为68度的SSBR/NR并用胶;3—邵尔A型硬度为58度的XIIR胶料;4—邵尔A型硬度为68度的XIIR胶料。

图9 高阻尼胶料的动刚度变化
Fig. 9 Dynamic stiffness variations of high damping compounds



注同图9。

图10 高阻尼胶料的相位角变化
Fig. 10 Phase angle variations of high damping compounds

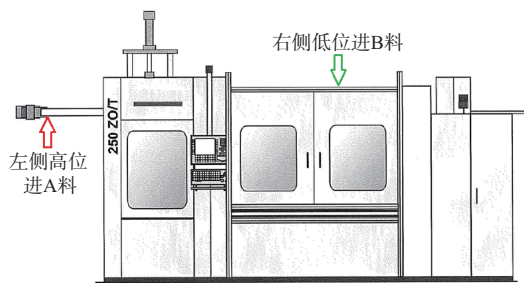


图11 双料注射机
Fig. 11 Double-material injection machine

4.2 模具

双胶料衬套模具结构比单胶料衬套模具复杂,需要在同一模具上设计2套相互分隔的胶料注

射流道,一般主簧胶料从垂直方向进入型腔,副簧胶料从侧面进入型腔,双胶料衬套模具结构设计中需要防止2种胶料混淆,模具中2种胶料接合处密封胶性要求高。双胶料衬套和单胶料衬套模具注射点布置如图12所示。

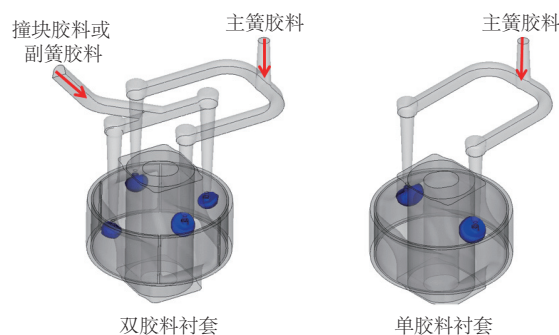


图12 双胶料衬套和单胶料衬套模具注射点布置
Fig. 12 Lay outs of injection points of double compound bushing mold and single compound bushing mold

4.3 注射过程混料问题的解决

双胶料衬套开发中最大的难点在于注射过程混料问题,为保证不混料,需控制好以下几点。

(1) 注意流道注射平衡,不同型腔间胶料量的差异必须控制在10%以内。

(2) 对2种胶料的初始门尼粘度加以控制,使二者的门尼粘度波动在其标准值的 ± 5 之内。

(3) 注射时间精准,通过调节注射单元参数,使得2种胶料在各个型腔内同时完成注胶。

5 衬套性能

5.1 静刚度、动刚度和相位角

双胶料衬套(自润滑型双胶料衬套,下同)与单胶料衬套的静刚度、动刚度和相位角对比如表2所示,测试振幅为0.4 mm、频率为20 Hz。单胶料衬套胶料邵尔A型硬度为60度;双胶料衬套主簧胶料邵尔A型硬度为60度,撞块胶料邵尔A型硬度为70度(下同)。

从表2可以看出:单胶料衬套X向的静刚度、动刚度和相位角已在客户要求目标值的 $\pm 10\%$ 范围内,但Y向的静刚度和动刚度超出目标值 $\pm 10\%$ 的范围;双胶料衬套X向和Y向的静刚度、动刚度和相位角均在客户要求目标值的 $\pm 10\%$ 范围内,双胶料衬套的刚度可调性具有较强优势。

表2 双胶料衬套与单胶料衬套的静刚度、动刚度和相位角									
Tab.2 Static stiffnesses, dynamic stiffnesses and phase angles of double compound bushing and single compound bushing									
项 目	双胶料衬套			单胶料衬套			客户要求(性能目标)		
测试方向	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
静刚度/(N·mm ⁻¹)	779	337	165	690	264	151	750	330	160
动刚度/(N·mm ⁻¹)	1 470	672		1 350	507		1 400	611	
相位角/(°)	8.47	7.63		7.60	6.40		8.00	7.00	
特点	刚度可调性好			刚度可调性较差					

5.2 疲劳耐久性能

双胶料衬套与单胶料衬套的耐疲劳性能对比如表3所示,耐疲劳性能按照美国通用汽车公司标准GMW 14504测试。

表3 双胶料衬套与单胶料衬套的耐疲劳性能
Tab.3 Fatigue resistances of double compound bushing and single compound bushing

项 目	双胶料衬套	单胶料衬套
寿命	1.5倍设计寿命	1.5倍设计寿命
主簧裂纹/mm	无	4×15
胶料部位磨损情况	轻微,未见明显裂纹	开裂严重



从表3可以看出,与单胶料衬套相比,双胶料衬套的耐疲劳性能明显提高,这是因为双胶料衬套的撞块胶料采用了高硬度(邵尔A型硬度为70度)胶料,从而增大了Y向静刚度,减小了胶料变形量,在衬套耐疲劳性能测试时,高硬度的撞块胶料在Y向给主簧部分提供了更好的支撑。此外,双胶料衬套X向主簧胶料与Y向自润滑撞块胶料之间的撞击摩擦因数小于单胶料衬套,减小了主簧胶料与撞块胶料之间的摩擦损耗,表现为双胶料衬套的磨损情况与单胶料衬套相比得到改善。

5.3 降噪性能

采用多通道振动噪声采集系统对比双胶料衬套与单胶料衬套在洒水与不洒水的情况下的噪声,衬套的声压-时间曲线如图13和14所示,主簧胶料与撞块胶料之间的往复摩擦噪声的主观评分(评分越高,噪声越低)如表4所示,测试时Z向预载20 kN。

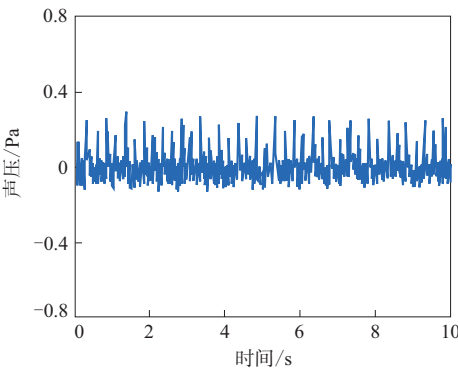
从图13和14可以看出,与单胶料衬套相比,双胶料衬套的声压明显降低,噪声消除效果明显。

从表4可以看出,双胶料衬套主簧胶料与撞块

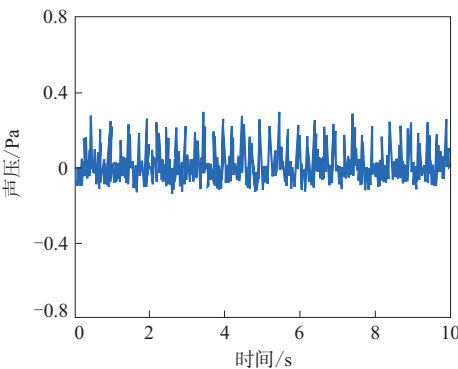
胶料之间的往复摩擦噪声主观评分较高,能够满足客户端目标8分以上的要求,极大地减少了客户对噪声的抱怨。

6 结论

(1)对传统单胶料衬套进行创新设计的双胶料衬套的主簧胶料保持原单胶料衬套胶料强度高、耐久性能好的特点,撞块胶料或副簧胶料采用特殊配方减小胶料表面摩擦因数或提高阻尼性能,从而制备出自润滑型和高阻尼型双胶料



(a) 不洒水



(b) 洒水

图13 双胶料衬套的声压-时间曲线

Fig.13 Sound pressure-time curves of double compound bushing

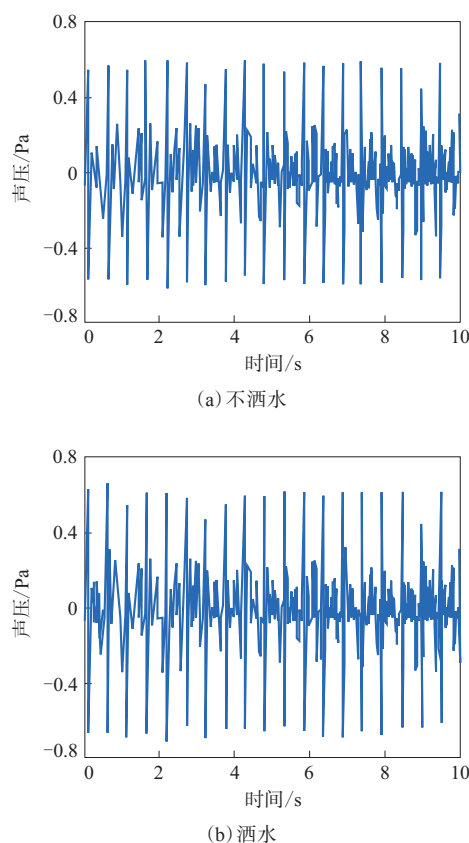


图14 单胶料衬套的声压-时间曲线
Fig. 14 Sound pressure-time curves of single compound bushing

衬套。

(2) 自润滑型双胶料衬套的撞块胶料在配方设计上生胶采用了NR/BR并用并添加了内润滑剂;高阻尼型双胶料衬套的副簧胶料在配方设计上生胶采用了NR/SSBR并用。

(3) 以自润滑型双胶料衬套的2种胶料制作标准块,分别进行单胶料、双胶料串联和并联情况下的动刚度和相位角测试,试验得出与单胶料相比,双胶料串联和并联时的动刚度和相位角更具调节性;对于高阻尼型双胶料衬套,SSBR/NR并用胶比XIIR胶料具有更大的动刚度与相位角。

(4) 双胶料衬套需采用双料注射机完成硫化,从模具、胶料和注射工艺进行优化调整,精准控制各参数,可解决注射混料问题。

(5) 成品性能测试表明,自润滑型双胶料衬套的动静刚度可调性、耐疲劳性能和降噪性能均比单胶料衬套更具优势。

表4 双胶料衬套与单胶料衬套的噪声性能

Tab. 4 Noise performances of double compound bushing and single compound bushing

序 号	主观评分值		测试结果
	不洒水	洒水	
双胶料衬套			通过
1	9.0	8.0	
2	9.5	8.0	
3	9.0	8.0	
4	9.0	8.0	
5	8.5	7.5	
6	9.0	8.0	
平均	9.0	8.0	
单胶料衬套			不通过
1	6.0	5.0	
2	5.5	5.0	
3	6.0	5.5	
4	6.5	5.0	
5	6.0	4.5	
6	6.5	5.0	
平均	6.0	5.0	

注:评分依据美国通用汽车公司标准GMW 14264,其中9~10分为噪声极低,7~8分为噪声低,5~6分为噪声一般,3~4分为噪声高,1~2分为噪声极高,0分为不适用。

参考文献:

- [1] 何方科,胡余优,李剑,等. 汽车衬套用不同硫化体系天然橡胶胶料的粘接性能[J]. 橡胶工业,2021,68(10):760-763.
HE F K, HU Y Y, LI J, et al. Adhesive properties of NR compounds with different vulcanization systems for automobile bushing[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(10):760-763.
- [2] 陈宝,雷刚. 悬架橡胶衬套对车辆性能评价的影响[J]. 机床与液压,2013,41(6):53-57.
CHEN B, LEI G. Suspension rubber mount's impact on evaluation of vehicle performance[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2013, 41(6):53-57.
- [3] 秦民,蒋永峰,宋雨. 基于车辆平顺性分析的橡胶衬套动态特性建模[J]. 汽车技术,2015(2):34-38.
QIN M, JIANG Y F, SONG Y. Dynamic characteristics modeling of rubber bushing for vehicle ride analysis[J]. Automobile Technology, 2015(2):34-38.
- [4] 吴利广,李广,景立新. 橡胶衬套动力学特性对平顺性的影响研究[J]. 汽车工程师,2021(10):34-38.
WU L G, LI G, JING L X. Effect of dynamic mechanical properties of rubber bushing on ride comfort[J]. Auto Engineer, 2021(10):34-38.
- [5] 郑鹏,王中岳,王重. 油酸酰胺对SBR/BR汽车橡胶衬套性能的影响[J]. 化工新型材料,2021,49(2):174-177.
ZHENG P, WANG Z Y, WANG Z. Influence of oleamide on

- property of SBR/BR automotive rubber bushing[J].New Chemical Materials, 2021, 49(2): 174-177.
- [6] 胡培龙,上官文斌.汽车悬架橡胶衬套静刚度设计方法[J].机械设计, 2011, 28(3): 3-5.
- HU P L, SHANGGUAN W B. Design method of static stiffness for automotive suspension rubber bushing[J].Journal of Machine Design, 2011, 28(3): 3-5.
- [7] 于义长,李剑,葛久刚.某车型扭转梁双胶料衬套的优化设计[J].轻型汽车技术, 2018(6): 6-11.
- YU Y C, LI J, GE J G. Optimal design of double rubber bushing for torsion beam of a vehicle[J].Light Vehicles, 2018(6): 6-11.
- [8] 潘涛,蔡抒瑾.一种双胶料衬套[P].中国:CN 112555314A, 2021-03-26.
- [9] 陈科,於孝朋,郑红梅,等.车辆悬架控制臂液压衬套区间刚度模型研究[J].计算力学学报, 2020, 37(2): 205-211.
- CHEN K, YU X P, ZHENG H M, et al. Research on the interval dynamic stiffness model of hydraulic bushing for the vehicle suspension control arm[J].Chinese Journal of Computational Mechanics, 2020, 37(2): 205-211.
- [10] 秦民,蒋永峰,马天飞,等.某乘用车悬架液压衬套匹配分析与优化[J].辽宁工业大学学报(自然科学版), 2015, 37(5): 303-307.
- QIN M, JIANG Y F, MA T F, et al. Matching analysis and optimization of passenger car suspension's hydrobushing[J].Journal of Liaoning Institute of Technology (Natural Science Edition), 2015, 37(5): 303-307.
- [11] 雷刚,刘莹,胡鹏,等.橡胶衬套动态特性研究[J].科学技术与工程, 2015, 15(7): 74-78.
- LEI G, LIU Y, HU P, et al. A study on dynamic characteristics of rubber bushing[J].Science Technology and Engineering, 2015, 15(7): 74-78.
- [12] 雷刚,陈茜,陈宝,等.橡胶衬套材料的超弹性力学行为研究[J].机床与液压, 2013(18): 19-24.
- LEI G, CHEN Q, CHEN B, et al. A study on mechanical behavior of hyperelastic material for rubber bushing[J].Machine Tool & Hydraulics, 2013(18): 19-24.
- [13] 王沛,刘炼,魏志勇,等.高乙烯基丁苯橡胶的合成及其阻尼性能的研究[J].材料工程, 2009, 37(S1): 192-195.
- WANG P, LIU L, WEI Z Y, et al. Study on preparation and damping property of high-vinyl SBR[J].Journal of Materials Engineering, 2009, 37(S1): 192-195.
- [14] 何静芳.一种汽车橡胶衬套及其制备工艺[P].中国:CN 106084349A, 2016-11-09.
- [15] 黄良平,肖同亮,穆洪帅,等.一种宽温域高阻尼卤化丁基橡胶材料及其制备方法[P].中国:CN 109320861A, 2019-02-12.
- 收稿日期:2022-02-16

Design and Research of Double Compound Bushing

LU Weiqiang, YU Chao

(Ningbo Tuopu Group Co., Ltd, Ningbo 315800, China)

Abstract: The design of double compound bushing was introduced. Double compound bushings were divided into two types according to their functions: self lubricating type and high damping type. The main spring compound of the former adopted the compound of single compound bushing, which had the characteristics of high strength and good durability. The collision block compound which had the characteristics of small surface friction factor was made of natural rubber and butadiene rubber blend with an internal lubricant. The second spring compound of the latter was different from the main spring compound, which was the blend of natural rubber/solution styrene-butadiene rubber to realize the adjustment of two-way damping characteristics. The test results showed that the double compound bushing was formed by double-material injection machine, which could be optimized and adjusted in terms of mold, compound and injection process. The fatigue resistance and noise reduction performance of the self lubricating double compound bushing were better than those of the single compound bushing, and it's easier to make adjustment on the dynamic and static stiffness.

Key words: double compound bushing; self lubricating; high damping; double-material injection machine; stiffness; fatigue resistance; noise reduction performance