(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 113483607 B
(45)授权公告日 2022.07.29

(21)申请号 202110717523.8

(22)申请日 2021.06.28

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113483607 A

(43)申请公布日 2021.10.08

(73)专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 马特 袁武 宋宏伟

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理事务所(普通合伙) 11390
专利代理师 胡剑辉

(51)Int.Cl.
F42B 12/04(2006.01)
B32B 1/08(2006.01)
B32B 15/01(2006.01)
B32B 15/02(2006.01)
B32B 37/06(2006.01)
B32B 37/10(2006.01)

(56)对比文件
CN 102660715 A,2012.09.12
CN 111765803 A,2020.10.13
JP H06307800 A,1994.11.01
DE 3700805 A1,1990.03.08
JP H0618200 A,1994.01.25
US 2003051629 A1,2003.03.20
US 6010580 A,2000.01.04
荣光等.钨纤维复合材料穿甲弹芯侵彻时的自锐现象.《爆炸与冲击》.2009,(第04期),
荣光等.钨纤维复合材料穿甲弹芯侵彻时的自锐现象.《爆炸与冲击》.2009,(第04期),

审查员 冯义威

权利要求书2页 说明书11页 附图3页

(54)发明名称

具有高侵彻能力的复合材料长杆弹及其制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种具有高侵彻能力的复合材料长杆弹及其制备方法,该复合材料长杆弹包括次径钨杆、锆基金属玻璃层和多圈钨纤维层;所述锆基金属玻璃层包覆于所述次径钨杆的外部,所述多圈钨纤维层设置于所述锆基金属玻璃层内,所述多圈钨纤维层内外向外依次套设于所述次径钨杆的外部,所述次径钨杆的外缘与最内圈的所述钨纤维层相接触;每圈所述钨纤维层包括多根互相接触且首尾相连的钨纤维。该复合材料长杆弹解决现有钨纤维金属玻璃基复合材料在侵彻过程中存在的钨纤维的弯曲变形和金属玻璃基体软化的技术问题。



CN 113483607 B

1.一种具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，其特征在于，所述复合材料长杆弹包括次径钨杆、锆基金属玻璃层和多圈钨纤维层；所述锆基金属玻璃层包覆于所述次径钨杆的外部，所述多圈钨纤维层设置于所述锆基金属玻璃层内，所述多圈钨纤维层由内向外依次套设于所述次径钨杆的外部，所述次径钨杆的外缘与最内圈的所述钨纤维层相接触；每圈所述钨纤维层包括多根互相接触且首尾相连的钨纤维；

所述次径钨杆和钨纤维均为圆柱形；沿着所述次径钨杆的径向，所述锆基金属玻璃层的横截面为圆环形；相邻的两圈所述钨纤维层之间相互接触。

2.根据权利要求1所述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，其特征在于，所述锆基金属玻璃层含有锆基金属玻璃。

3.根据权利要求2所述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，其特征在于，所述复合材料长杆弹为均布式长杆弹，所述次径钨杆为第一次径钨杆(3)，所述锆基金属玻璃层为第一锆基金属玻璃层(2)，所述钨纤维层为第一钨纤维层(1)；在所述多圈第一钨纤维层(1)内，所述钨纤维的直径均相同。

4.根据权利要求3所述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，其特征在于，所述第一次径钨杆(3)的直径为3-5mm，所述第一锆基金属玻璃层(2)的厚度为3-5mm，所述第一钨纤维层(1)的圈数为6-8圈，所述钨纤维的直径为290-310um。

5.根据权利要求4所述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，其特征在于，所述第一钨纤维层(1)的圈数为7圈，所述钨纤维的直径为295-305um。

6.根据权利要求2所述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，其特征在于，所述复合材料长杆弹为梯度式长杆弹，所述次径钨杆为第二次径钨杆(6)，所述锆基金属玻璃层为第二锆基金属玻璃层(5)，所述钨纤维层为第二钨纤维层(4)；沿着所述第二次径钨杆(6)的圆心至外缘的方向，每圈所述第二钨纤维层(4)内的所述钨纤维的直径逐渐减小；在同一圈所述钨纤维层中，所述钨纤维的直径相同。

7.根据权利要求6所述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，其特征在于，所述第二次径钨杆(6)的直径为3-5mm，所述第二锆基金属玻璃层(5)的厚度为3-5mm，所述第二钨纤维层(4)的圈数为6-8圈，最粗的所述钨纤维的直径为390-410um，最细的所述钨纤维的直径为140-160um。

8.根据权利要求6所述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，其特征在于，所述第二钨纤维层(4)的圈数为7圈，沿着所述第二次径钨杆(6)的圆心至外缘的方向，每圈所述第二钨纤维层(4)内的所述钨纤维的直径依次为395-405um、345-355um、295-305um、270-280um、245-255um、195-205um、145-155um。

9.根据权利要求1-8中任意一项所述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，其特征在于，所述钨纤维的总体积在所述复合材料长杆弹中的体积分数为75-85%，所述次径钨杆、所述多圈钨纤维层和所述锆基金属玻璃层的重量比为1:2.38-2.44:0.22-0.26。

10.根据权利要求1-8中任意一项所述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，其特征在于，所述复合材料长杆弹的长径比为8-12。

11.一种如权利要求1-10任一项所述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹的制备方法，其特征在于，所述制备方法包括：

1)将钨纤维布置于次径钨杆的外部，将锆基金属玻璃填充于所述钨纤维和次径钨杆之

间；

2)将体系依次进行抽真空、升温、加压、保压保温和冷却。

12.根据权利要求11所述的制备方法，其特征在于，所述抽真空后体系的真空度为10^{-3}—10^{-4}Mpa；

所述升温包括将体系自290-295K升温至800-1300K；

所述加压包括将体系加压至0.5-0.9MPa；

所述保压保温的时间为5-15min；

所述冷却为随炉冷却。

13.根据权利要求12所述的制备方法，其特征在于，所述升温包括将体系自290-295K升温至1100-1150K。

具有高侵彻能力的复合材料长杆弹及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及长杆弹，具体地，涉及一种具有高侵彻能力的复合材料长杆弹及其制备方法。

背景技术

[0002] 穿甲弹作为一种典型的动能武器，由于其具有威力大、防跳弹性能好、后效作用理想和能有效地摧毁复合装甲等优势，得到迅速发展并成为有效的反坦克弹种。然而随着防护装甲的发展以及目前发射系统的能级限制，导致穿甲弹的毁伤能力正在渐渐下降。

[0003] 为了能够在有限的发射能力下尽可能地提升其侵彻能力，在军事领域多采用钨或贫铀等作为穿甲弹的材料。相比于钨合金的“蘑菇头”，贫铀在侵彻过程中会出现自锐行为，从而具有更强的侵彻能力。但由于对人类以及环境的辐射危害，贫铀已遭到全面抵制。

[0004] 随着材料科学的发展，金属玻璃的出现打破了这种情况，其中较为典型的例子便是钨纤维锆基复合材料穿甲弹。钨纤维锆基复合材料穿甲弹在穿甲过程中也会出现自锐行为，其侵彻能力相比于钨合金弹体提高了10％～20％。然而在研究过程中发现，侵彻后的剩余弹体中，其头部存在“边缘层”；该边缘层内增强钨纤维发生大角度弯曲变形；金属玻璃基体发生软化，并导致弹体断裂和破碎。头部边缘层虽然体现了复合材料弹体变形/破坏的局域化效应，但是钨纤维的弯曲变形降低了弹体的侵彻能力。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种具有高侵彻能力的复合材料长杆弹及其制备方法，以解决现有技术中钨纤维金属玻璃基复合材料存在的钨纤维的弯曲变形和金属玻璃基体软化的技术问题。

[0006] 为了实现上述目的，本发明提供了一种具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，该复合材料长杆弹包括次径钨杆、锆基金属玻璃层和多圈钨纤维层；所述锆基金属玻璃层包覆于所述次径钨杆的外部，所述多圈钨纤维层设置于所述锆基金属玻璃层内，所述多圈钨纤维层由内向外依次套设于所述次径钨杆的外部，所述次径钨杆的外缘与最内圈的所述钨纤维层相接触；每圈所述钨纤维层包括多根互相接触且首尾相连的钨纤维。

[0007] 作为本发明的一种优选技术方案，所述锆基金属玻璃层含有锆基金属玻璃，所述次径钨杆和钨纤维均为圆柱形；沿着所述次径钨杆的径向，所述锆基金属玻璃层的横截面为圆环形；相邻的两圈所述钨纤维层之间相互接触。

[0008] 作为本发明的一种优选技术方案，所述复合材料长杆弹为均布式长杆弹，所述次径钨杆为第一次径钨杆，所述锆基金属玻璃层为第一锆基金属玻璃层，所述钨纤维层为第一钨纤维层；在所述多圈第一钨纤维层内，所述钨纤维的直径均相同。

[0009] 作为本发明的一种优选技术方案，所述第一次径钨杆的直径为3-5mm，所述第一锆基金属玻璃层的厚度为3-5mm，所述第一钨纤维层的圈数为6-8圈，所述钨纤维的直径为290-310um。

[0010] 作为本发明的一种优选技术方案，所述第一钨纤维层的圈数为7圈，所述钨纤维的直径为295-305um。

[0011] 作为本发明的一种优选技术方案，所述复合材料长杆弹为梯度式长杆弹，所述次径钨杆为第二次径钨杆，所述锆基金属玻璃层为第二锆基金属玻璃层，所述钨纤维层为第二钨纤维层；沿着所述第二次径钨杆的圆心至外缘的方向，每圈所述第二钨纤维层内的所述钨纤维的直径逐渐减小；在同一圈所述钨纤维层中，所述钨纤维的直径相同。

[0012] 作为本发明的一种优选技术方案，所述第二次径钨杆的直径为3-5mm，所述第二锆基金属玻璃层的厚度为3-5mm，所述第二钨纤维层的圈数为6-8圈，最粗的所述钨纤维的直径为390-410um，最细的所述钨纤维的直径为140-160um。

[0013] 作为本发明的一种优选技术方案，所述第二钨纤维层的圈数为7圈，沿着所述第二次径钨杆的圆心至外缘的方向，每圈所述第二钨纤维层内的所述钨纤维的直径依次为395-405um、345-355um、295-305um、270-280um、245-255um、195-205um、145-155um。

[0014] 作为本发明的一种优选技术方案，所述钨纤维的总体积在所述复合材料长杆弹中的体积分数为75-85％，所述次径钨杆、所述多圈钨纤维层和所述锆基金属玻璃层的重量比为1:2.38-2.44:0.22-0.26。

[0015] 作为本发明的一种优选技术方案，所述复合材料长杆弹的长径比为8-12。

[0016] 本发明还提供了一种如上述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹的制备方法，该制备方法包括：

[0017] 1)将钨纤维布置于次径钨杆的外部，将锆基金属玻璃填充于所述钨纤维和次径钨杆之间；

[0018] 2)将体系依次进行抽真空、升温、加压、保压保温和冷却。

[0019] 作为本发明的一种优选技术方案，所述抽真空后体系的真空度为10^{-3}—10^{-4}Mpa；所述升温包括将体系自290-295K升温至800-1300K，优选为1100-1150K；所述加压包括将体系加压至0.5-0.9MPa；所述保压保温的时间为5-15min；所述冷却为随炉冷却。

[0020] 在上述技术方案，本发明中，该复合材料长杆弹包括次径钨杆、锆基金属玻璃层和多圈钨纤维层，发明人通过创造性研究发现，将次径钨杆设置于中部，将多个钨纤维排布成钨纤维层的形式，多圈的钨纤维层由内向外依次套设在次径钨杆上；而锆基金属玻璃填充在钨纤维、次径钨杆之间以及相邻的钨纤维之间，形成锆基金属玻璃层。上述次径钨杆、锆基金属玻璃和钨纤维的布置是发明人通过创造性劳动得到的，该种布置方式保证了弹体头部区域不会因为钨纤维的弯曲变形而降低侵彻强度；同时也可规避锆基玻璃金属基体发生软化导致弹体断裂和破碎的情形的发生，从而保证了长杆弹具有优异的侵彻能力。

[0021] 根据各层钨纤维层中钨纤维的直径的不同，该复合材料长杆弹可以分为均布式长杆弹和梯度式长杆弹。其中，均布式长杆弹中的钨纤维的直径全部相同；而梯度式长杆弹中，沿着所述第二次径钨杆的圆心至外缘的方向，各圈钨纤维层中的钨纤维的直径逐渐减小。由于侵彻过程中弹靶界面压力会从长杆弹头部中心向弹坑边缘处衰减，所以当外径的增强钨纤维从内至外为梯度式分布时(即梯度式长杆弹)，其“自锐”能力更强，进而增加了侵彻深度。

[0022] 此外，相对于同直径的传统钨纤维增强锆基复合材料结构(如图5所示，包括锆基金属玻璃和多根钨纤维，图中的小圆圈表示钨纤维)，本发明中的复合材料长杆弹中使用了

次径钨杆，从而减少了钨纤维以及金属玻璃的使用量，从而降低了生产成本。

[0023] 由此可见，与现有技术相比，本发明至少有以下技术优势：

[0024] 1、规避了弹体头部区域因为钨纤维的弯曲变形而降低侵彻强度；也规避乐锆基玻璃金属基体发生软化，导致弹体断裂和破碎，从而保证了长杆弹具有优异的侵彻能力；尤其是梯度式长杆弹。

[0025] 2、减少了钨纤维以及金属玻璃的使用量，从而降低了生产成本。

[0026] 本发明的其他特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以详细说明。

附图说明

[0027] 附图是用来提供对本发明的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与下面的具体实施方式一起用于解释本发明，但并不构成对本发明的限制。在附图中：

[0028] 图1是本发明提供的均布式长杆弹的一种优选实施方式的结构示意图；

[0029] 图2是图1的截面图；

[0030] 图3是本发明提供的梯度式长杆弹的一种优选实施方式的结构示意图；

[0031] 图4是图3的截面图；

[0032] 图5是现有技术中钨纤维增强锆基复合长杆弹的结构示意图；

[0033] 图6是检测例1中的侵彻形貌图；

[0034] 图7是检测例2中的长杆弹头部等效塑性应变的对比图；

[0035] 图8是检测例3中的长靶板弹坑深度与直径的对比图。

具体实施方式

[0036] 以下对本发明的具体实施方式进行详细说明。应当理解的是，此处所描述的具体实施方式仅用于说明和解释本发明，并不用于限制本发明。

[0037] 本发明提供了一种具有高侵彻能力的复合材料长杆弹，该复合材料长杆弹包括次径钨杆、锆基金属玻璃层和多圈钨纤维层；所述锆基金属玻璃层包覆于所述次径钨杆的外部，所述多圈钨纤维层设置于所述锆基金属玻璃层内，所述多圈钨纤维层内外向外依次套设于所述次径钨杆的外部，所述次径钨杆的外缘与最内圈的所述钨纤维层相接触；每圈所述钨纤维层包括多根互相接触且首尾相连的钨纤维。

[0038] 其中，次径钨杆中的“次径”表示中心的钨杆的直径小于整体的长杆弹的直径。

[0039] 在本发明中，对所述锆基金属玻璃层的成份、层次径钨杆和纤维层的形状、锆基金属玻璃的形状、相邻的两圈所述钨纤维层之间分布方式均不作具体的要求，但是为了进一步提高复合材料长杆弹的侵彻能力，优选地，所述锆基金属玻璃层含有锆基金属玻璃，所述次径钨杆和钨纤维均为圆柱形；沿着所述次径钨杆的径向，所述锆基金属玻璃层的横截面为圆环形；相邻的两圈所述钨纤维层之间相互接触。由此，复合材料长杆弹整体呈圆柱形，次径钨杆和钨纤维也均为圆柱形，相邻的两圈所述钨纤维层之间相互接触，钨纤维层与次径钨杆之间也相互接触，由此保证了在侵彻过程中，钨纤维更不易弯曲变形，锆基玻璃金属基体更不易发生软化，进一步保证了长杆弹的侵彻能力。

[0040] 在本发明中，各个所述钨纤维的直径可以相同，也可以不同，为了便于所述钨纤维的布置，优选地，所述复合材料长杆弹为均布式长杆弹，所述次径钨杆为第一次径钨杆3，所

述锆基金属玻璃层为第一锆基金属玻璃层2,所述钨纤维层为第一钨纤维层1;在所述多圈第一钨纤维层1内,所述钨纤维的直径均相同。在该实施方式中,所有的钨纤维的直径均相同,由此降低钨纤维布置难度,从而提高了生产效率。

[0041] 在上述实施方式中,对所述第一次径钨杆3的直径、所述第一锆基金属玻璃层2的厚度、所述第一钨纤维层1的圈数、所述钨纤维的直径均不作具体的限定,但是从不同尺寸的长杆弹使用频次以及为了保证长杆弹的侵彻能力上考虑,优选地,如图1-2所示,所述第一次径钨杆3的直径为3-5mm,所述第一锆基金属玻璃层2的厚度为3-5mm,所述第一钨纤维层1的圈数为6-8圈,所述钨纤维的直径为290-310um;更优选地,所述第一钨纤维层1的圈数为7圈,所述钨纤维的直径为295-305um,沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向,各圈第一钨纤维层1中钨纤维的根数分别为43-45根、50-52根、56-58根、62-64根、68-70根、73-75根和80-82根。

[0042] 其中,所述第一钨纤维层1的圈数为6-8圈时最优的圈数,这是发明人通过创造性劳动获得的,6-8圈的所述第一钨纤维层1能够保证长杆弹具有最优的侵彻能力。

[0043] 当然,所述复合材料长杆弹除了采用均布式长杆弹的方式,还可以采用其他的方式布置各部件,考虑到侵彻过程中弹靶界面压力会从长杆弹头部中心向弹坑边缘处衰减,为了进一步提高所述复合材料长杆弹的侵彻能力,优选地,所述复合材料长杆弹为梯度式长杆弹,所述次径钨杆为第二次径钨杆6,所述锆基金属玻璃层为第二锆基金属玻璃层5,所述钨纤维层为第二钨纤维层4;沿着所述第二次径钨杆6的圆心至外缘的方向,每圈所述第二钨纤维层4内的所述钨纤维的直径逐渐减小;在同一圈所述钨纤维层中,所述钨纤维的直径相同。

[0044] 在梯度式长杆弹中,沿着所述第二次径钨杆6的圆心至外缘的方向,每圈所述第二钨纤维层4内的所述钨纤维的直径逐渐减小,由此在侵彻过程中,越靠近的所述次径钨杆的所述第二钨纤维层4承受的更大的弹靶界面压力,发明人发现所述钨纤维的直径越大,越能够更大的弹靶界面压力,由此,该梯度式长杆弹能够具有更强的侵彻能力。此外,在同一圈所述钨纤维层中,所述钨纤维的直径可以相同,也可以不同,但是为了便于钨纤维的分布,故采用在同一圈所述钨纤维层中钨纤维的直径相同的分布方式。

[0045] 在上述实施方式中,对所述第二次径钨杆6的直径、所述第二锆基金属玻璃层5的厚度、所述第二钨纤维层4的圈数、所述钨纤维的直径均不作具体的限定,但是从不同尺寸的长杆弹使用频次上考虑,以及为了进一步提高梯度式长杆弹的侵彻能力,优选地,所述第二次径钨杆6的直径为3-5mm,所述第二锆基金属玻璃层5的厚度为3-5mm,所述第二钨纤维层4的圈数为6-8圈,最粗的所述钨纤维的直径为390-410um,最细的所述钨纤维的直径为140-160um。

[0046] 其中,所述第二钨纤维层4的圈数为6-8圈时最优的圈数,这是发明人通过创造性劳动获得的,6-8圈的所述第二钨纤维层4能够保证梯度式长杆弹具有最优的侵彻能力。同时,各圈所述第二钨纤维层4中钨纤维的直径也是发明人通过创造性劳动获得的,在最粗的所述钨纤维的直径为390-410um,最细的所述钨纤维的直径为140-160um,梯度式长杆弹具有最优的侵彻能力。

[0047] 在上述实施方式的基础上,为了进一步提高梯度式长杆弹的侵彻能力,优选地,所述第二钨纤维层4的圈数为7圈,沿着所述第二次径钨杆6的圆心至外缘的方向,每圈所述第

二钨纤维层4内的所述钨纤维的直径依次为395-405um、345-355um、295-305um、270-280um、245-255um、195-205um、145-155um;沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向,各圈第一钨纤维层1中钨纤维的根数分别为33-35根、44-46根、59-61根、65-67根、84-86根、112-114根和159-161根。

[0048] 在上述实施方式中,所述次径钨杆、所述多圈钨纤维层和所述锆基金属玻璃层的含量可以在宽的范围内选择,但是为了进一步提高复合材料长杆弹的侵彻能力,优选地,所述钨纤维的总体积在所述复合材料长杆弹中的体积分数为75-85%,所述次径钨杆、所述多圈钨纤维层和所述锆基金属玻璃层的重量比为1:2.38-2.44:0.22-0.26。

[0049] 在上述实施方式中,所述复合材料长杆弹的长径比可以在宽的范围内选择,但是为了进一步提高复合材料长杆弹的侵彻能力,优选地,所述复合材料长杆弹的长径比为8-12。

[0050] 本发明还提供了一种如上述的具有高侵彻能力的复合材料长杆弹的制备方法,该制备方法包括:

[0051] 1)将钨纤维布置于次径钨杆的外部,将锆基金属玻璃填充于所述钨纤维和次径钨杆之间;

[0052] 2)将体系依次进行抽真空、升温、加压、保压保温和冷却。

[0053] 在上述制备方法中,采用“压力—渗透—快速凝固”的技术,能够使得钨纤维、锆基金属玻璃和次径钨杆之间能够结合地更加地稳定,从而提高长杆弹的侵彻能力。

[0054] 其中,在上述制备方法中,所述抽真空后体系的真空度可以在宽的范围,但是为了进一步提高长杆弹的侵彻能力,优选地,所述抽真空后体系的真空度为10^{-3}—10^{-4}Mpa。

[0055] 在上述制备方法中,所述升温的条件可以在宽的范围,但是为了进一步提高长杆弹的侵彻能力,优选地,所述升温包括将体系自290-295K升温至800-1300K,更优选为1100-1150K,进一步优选为1120-1125K。

[0056] 在上述制备方法中,所述加压的条件可以在宽的范围,但是为了进一步提高长杆弹的侵彻能力,优选地,所述加压包括将体系加压至0.5-0.9MPa。

[0057] 在上述制备方法中,所述保压保温的时间可以在宽的范围,但是为了进一步提高长杆弹的侵彻能力,优选地,所述保压保温的时间为5-15min。

[0058] 在上述制备方法中,所述冷却方式可以在宽的范围,但是为了进一步提高长杆弹的侵彻能力,优选地,所述冷却为随炉冷却。

[0059] 以下将通过实例对本发明进行详细描述。在下述实例中,钨纤维为中国科学院金属研究所牌号95W的产品,次径钨杆为中国科学院金属研究所牌号95WNiFe的产品,锆基金属玻璃为中国科学院金属研究所牌号VIT-1的产品,次径钨杆的直径为4mm。

[0060] 实施例1

[0061] 按照图1-2所示,将7圈第一钨纤维层1由内向外依次套设于第一次径钨杆3的外部,再将锆基金属玻璃填充在第一钨纤维层1和第一次径钨杆3之间以及相邻的第一钨纤维层1之间以便形成第一锆基金属玻璃层2。

[0062] 第一次径钨杆3、锆基金属玻璃和第一钨纤维层1均固定在模具内,将模具放入坩埚密封,接着对坩埚抽真空至1×10^{-3}MPa,接着自293K升温至1123K,再加压至0.6Mpa,然后保温保压10min,最后随炉冷却,以制得均布式长杆弹。

[0063] 其中，所述钨纤维的直径为300um，沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向，各圈第一钨纤维层1中钨纤维的根数分别为44根、51根、57根、63根、69根、74根和84根；第一次径钨杆3、所有的钨纤维、锆基金属玻璃的重量比为1:2.41:0.24；所述钨纤维的总体积在均布式长杆弹中的体积分数为80％；均布式长杆弹尺寸为：长度为80mm，直径为8mm。

[0064] 实施例2

[0065] 按照实施例1的方法进行，唯一所不同的是：

[0066] 第一次径钨杆3、锆基金属玻璃和第一钨纤维层1均固定在模具内，将模具放入坩埚密封，接着对坩埚抽真空至1×10^{-4}MPa，接着自293K升温至1120K，再加压至0.5Mpa，然后保温保压15min，最后随炉冷却，以制得均布式长杆弹。

[0067] 实施例3

[0068] 按照实施例1的方法进行，唯一所不同的是：

[0069] 第一次径钨杆3、锆基金属玻璃和第一钨纤维层1均固定在模具内，将模具放入坩埚密封，接着对坩埚抽真空至1×10^{-4}MPa，接着自293K升温至1125K，再加压至0.9Mpa，然后保温保压5min，最后随炉冷却，以制得均布式长杆弹。

[0070] 实施例4

[0071] 按照实施例1的方法进行，唯一所不同的是：

[0072] 第一次径钨杆3、锆基金属玻璃和第一钨纤维层1均固定在模具内，将模具放入坩埚密封，接着对坩埚抽真空至1×10^{-3}MPa，接着自293K升温至800K，再加压至0.6Mpa，然后保温保压10min，最后随炉冷却，以制得均布式长杆弹。

[0073] 实施例5

[0074] 按照实施例1的方法进行，唯一所不同的是：

[0075] 第一次径钨杆3、锆基金属玻璃和第一钨纤维层1均固定在模具内，将模具放入坩埚密封，接着对坩埚抽真空至1×10^{-3}MPa，接着自293K升温至1300K，再加压至0.6Mpa，然后保温保压10min，最后随炉冷却，以制得均布式长杆弹。

[0076] 实施例6

[0077] 按照实施例1的方法进行，唯一所不同的是：

[0078] 第一钨纤维层1为6圈，所述钨纤维的直径为350um，沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向，各圈第一钨纤维层1中钨纤维的根数分别为38根、43根、48根、53根、57根和62根；第一次径钨杆3、所有的钨纤维、锆基金属玻璃的重量比为1:2.41:0.24；所述钨纤维的总体积在均布式长杆弹中的体积分数为80％；均布式长杆弹尺寸为：长度为80mm，直径为8mm。

[0079] 实施例7

[0080] 第一钨纤维层1为8圈，所述钨纤维的直径为250um，沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向，各圈第一钨纤维层1中钨纤维的根数分别为47根、54根、58根、64根、71根、76根、82根和88根；第一次径钨杆3、所有的钨纤维、锆基金属玻璃的重量比为1:2.41:0.24；所述钨纤维的总体积在均布式长杆弹中的体积分数为80％；均布式长杆弹尺寸为：长度为80mm，直径为8mm。

[0081] 实施例8

[0082] 按照图3-4所示，将7圈第二钨纤维层4由内向外依次套设于第二次径钨杆6的外

部，再将锆基金属玻璃填充在第二钨纤维层4和第二次径钨杆6之间以及相邻的第二钨纤维层4之间以便形成第一锆基金属玻璃层2。

[0083] 第二次径钨杆6、锆基金属玻璃和第二钨纤维层4均固定在模具内，将模具放入坩埚密封，接着对坩埚抽真空至接着对坩埚抽真空至1×10^{-3}MPa，接着自293K升温至1123K，再加压至0.6Mpa，然后保温保压10min，最后随炉冷却，以制得梯度式长杆弹。

[0084] 其中，沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向，每圈所述第二钨纤维层4内的所述钨纤维的直径依次为400um、350um、300um、275um、250um、200um和150um，各圈第二钨纤维层4中钨纤维的根数分别为34根、45根、60根、66根、85根、113根和160根；第二次径钨杆6、所有的钨纤维、锆基金属玻璃的重量比为1:2.41:0.24；所述钨纤维的总体积在均布式长杆弹中的体积分数为80％；均布式长杆弹尺寸为：长度为80mm，直径为8mm。

[0085] 实施例9

[0086] 按照实施例8的方法进行，唯一所不同的是：

[0087] 第二次径钨杆6、锆基金属玻璃和第二钨纤维层4均固定在模具内，将模具放入坩埚密封，接着对坩埚抽真空至1×10^{-4}MPa，接着自293K升温至1120K，再加压至0.5Mpa，然后保温保压15min，最后随炉冷却，以制得梯度式长杆弹。

[0088] 实施例10

[0089] 按照实施例8的方法进行，唯一所不同的是：

[0090] 第二次径钨杆6、锆基金属玻璃和第二钨纤维层4均固定在模具内，将模具放入坩埚密封，接着对坩埚抽真空至1×10^{-4}MPa，接着自293K升温至1125K，再加压至0.9Mpa，然后保温保压5min，最后随炉冷却，以制得梯度式长杆弹。

[0091] 实施例11

[0092] 按照实施例8的方法进行，唯一所不同的是：

[0093] 第二次径钨杆6、锆基金属玻璃和第二钨纤维层4均固定在模具内，将模具放入坩埚密封，接着对坩埚抽真空至1×10^{-3}MPa，接着自293K升温至800K，再加压至0.6Mpa，然后保温保压10min，最后随炉冷却，以制得梯度式长杆弹。

[0094] 实施例12

[0095] 按照实施例8的方法进行，唯一所不同的是：

[0096] 第二次径钨杆6、锆基金属玻璃和第二钨纤维层4均固定在模具内，将模具放入坩埚密封，接着对坩埚抽真空至1×10^{-3}MPa，接着自293K升温至1300K，再加压至0.6Mpa，然后保温保压10min，最后随炉冷却，以制得梯度式长杆弹。

[0097] 实施例13

[0098] 按照实施例8的方法进行，唯一所不同的是：

[0099] 其中，所述第二钨纤维层4的圈数为6圈，沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向，每圈所述第二钨纤维层4内的所述钨纤维的直径依次为450um、400um、350um、300um、250um和200um，各圈第二钨纤维层4中钨纤维的根数分别为32根、41根、58根、64根、81根和120根；第二次径钨杆6、所有的钨纤维、锆基金属玻璃的重量比为1:2.41:0.24；所述钨纤维的总体积在均布式长杆弹中的体积分数为80％；均布式长杆弹尺寸为：长度为80mm，直径为8mm。

[0100] 实施例14

[0101] 按照实施例8的方法进行，唯一所不同的是：

[0102] 其中，所述第二钨纤维层4的圈数为8圈，沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向，每圈所述第二钨纤维层4内的所述钨纤维的直径依次为400um、375um、350um、300um、275um、250um、200um和150um，各圈第二钨纤维层4中钨纤维的根数分别为32根、41根、57根、61根、76根、83根、98根和116根；第二次径钨杆6、所有的钨纤维、锆基金属玻璃的重量比为1:2.41:0.24；所述钨纤维的总体积在均布式长杆弹中的体积分数为80％；均布式长杆弹尺寸为：长度为80mm，直径为8mm。

[0103] 对比例1

[0104] 按照图5所示，将568根所述钨纤维和锆基金属玻璃均固定在模具内，将模具放入坩埚密封，接着对坩埚抽真空至10^{-3}MPa，接着自293K升温至1123K，再加压至0.6Mpa，然后保温保压10min，最后随炉冷却，以制得钨纤维增强锆基复合长杆弹。

[0105] 其中，所述钨纤维的直径为300um；所有的钨纤维、锆基金属玻璃的重量比为1:0.09；所述钨纤维的总体积在均布式长杆弹中的体积分数为80％；均布式长杆弹尺寸为：长度为80mm，直径为8mm。

[0106] 对比例2

[0107] 按照实施例1的方法进行，唯一所不同的是：

[0108] 第一钨纤维层1为3圈，所述钨纤维的直径为600um，沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向，各圈第一钨纤维层1中钨纤维的根数分别为21根、33根和42根；第一次径钨杆3、所有的钨纤维、锆基金属玻璃的重量比为1:2.41:0.24；所述钨纤维的总体积在均布式长杆弹中的体积分数为80％；均布式长杆弹尺寸为：长度为80mm，直径为8mm。

[0109] 对比例3

[0110] 按照实施例1的方法进行，唯一所不同的是：

[0111] 第一钨纤维层1为10圈，所述钨纤维的直径为200um，沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向，各圈第一钨纤维层1中钨纤维的根数分别为62根、66根、69根、73根、78根、84根、90根、97根、102根和108根；第一次径钨杆3、所有的钨纤维、锆基金属玻璃的重量比为1:2.41:0.24；所述钨纤维的总体积在均布式长杆弹中的体积分数为80％；均布式长杆弹尺寸为：长度为80mm，直径为8mm。

[0112] 对比例4

[0113] 按照实施例8的方法进行，唯一所不同的是：

[0114] 所述第二钨纤维层4的圈数为3圈，沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向，每圈所述第二钨纤维层4内的所述钨纤维的直径依次为800um、600um和400um，各圈第二钨纤维层4中钨纤维的根数分别为15根、25根和42根；第二次径钨杆6、所有的钨纤维、锆基金属玻璃的重量比为1:2.41:0.24；所述钨纤维的总体积在均布式长杆弹中的体积分数为80％；均布式长杆弹尺寸为：长度为80mm，直径为8mm。

[0115] 对比例5

[0116] 按照实施例8的方法进行，唯一所不同的是：

[0117] 所述第二钨纤维层4的圈数为10圈，沿着所述第一次径钨杆3的圆心至外缘的方向，每圈所述第二钨纤维层4内的所述钨纤维的直径依次为400um、375um、350um、325um、300um、275um、250um、225um、200um和150um，各圈第二钨纤维层4中钨纤维的根数分别为31

根、37根、43根、51根、58根、67根、77根、89根、101根和115根；第二次径钨杆6、所有的钨纤维、锆基金属玻璃的重量比为1:2.41:0.24；所述钨纤维的总体积在均布式长杆弹中的体积分数为80％；均布式长杆弹尺寸为：长度为80mm，直径为8mm。

[0118] 检测例1

[0119] 采用有限元分析软件对钨合金长杆弹(长度为80mm，直径为8mm)、实施例1制得的均布式长杆弹、实施例8制得的梯度式长杆弹进行侵彻形貌的模拟测试，结果如图6所示，其中a部分表示钨合金长杆弹，b表示实施例1制得的均布式长杆弹，c表示实施例8制得的梯度式长杆弹。

[0120] 检测例2

[0121] 采用有限元分析软件对钨合金长杆弹(长度为80mm，直径为8mm)、实施例1制得的均布式长杆弹、实施例8制得的梯度式长杆弹进行等效塑性应变检测，按计算结果中的legend数值以及云图分布情况进行对比，结果如图7所示，其中a部分表示钨合金长杆弹(位于图左边)与均布式长杆弹(位于图右边)对比图，b表示均布式长杆弹(位于图左边)与梯度式长杆弹(位于图右边)对比图，c表示钨合金长杆弹(位于图左边)与梯度式长杆弹(位于图右边)对比图。

[0122] 通过上图对比可知，“自锐”能力的大小依次为：梯度式长杆弹＞均布式长杆弹＞传统钨纤维增强锆基复合材料长杆弹＞钨合金长杆弹。

[0123] 检测例3

[0124] 采用有限元分析软件对钨合金长杆弹(长度为80mm，直径为8mm)、实施例1制得的均布式长杆弹、实施例8制得的梯度式长杆弹进行靶板弹坑深度检测，结果如图8所示，其中a部分表示钨合金长杆弹(位于图左边)与均布式长杆弹(位于图右边)对比图，b表示均布式长杆弹(位于图左边)与梯度式长杆弹(位于图右边)对比图，c表示钨合金长杆弹(位于图左边)与梯度式长杆弹(位于图右边)对比图。

[0125] 图中W表示钨合金长杆弹，ND表示次均布式长杆弹，GD表示梯度式长杆弹，其中W形成的弹坑半径以及侵彻深度，分别表示为D_W、P_W；ND形成的弹坑半径以及侵彻深度，分别表示为D_{ND}、P_{ND}；GD形成的弹坑半径以及侵彻深度，分别表示为D_{GD}、P_{GD}；那么侵彻深度的增加率p以及弹坑半径减少d的计算过程则为：$p=(P_{GD}-P_W)/P_W$，$d=(D_{GD}-D_W)/D_W$。

[0126] 其中，弹坑半径越小，侵彻深度越深，说明长杆弹的侵彻能力越强。图8中，DW为6.00mm，PW为21.10mm，DND为4.80mm、PND为23.20mm，DGD为4.40mm、PGD为24.70mm。相比于钨合金长杆弹造成的侵彻深度以及弹坑直径，均布式长杆弹使深度增加了10.1％，弹坑直径降低了20％，梯度式长杆弹使深度增加了17.1％，弹坑直径降低了26.7％。结果表明，本发明提供的长杆弹均提高了自锐”能力，增加了侵彻深度，其中，梯度式长杆弹，其“自锐”能力最强。

[0127] 按照相同的方法对实施例2-7、实施例9-14、对比例1-6的长杆弹的弹坑半径以及侵彻深度进行检测，结果如表1所示。

[0128] 表1

[0129]

	弹坑半径（mm）	侵彻深度（mm）
钨合金长杆弹	6.00	21.10
实施例 1	4.80	23.20
实施例 2	4.90	23.10
实施例 3	4.85	23.15

[0130]

实施例 4	5.05	22.80
实施例 5	5.00	22.90
实施例 6	4.70	23.30
实施例 7	4.75	23.25
实施例 8	4.40	24.70
实施例 9	4.35	24.80
实施例 10	4.30	24.80
实施例 11	4.80	23.10
实施例 12	4.90	22.90
实施例 13	4.30	24.70
实施例 14	4.40	24.60
对比例 1	5.10	22.70
对比例 2	5.30	21.80
对比例 3	5.40	21.50
对比例 4	5.20	22.40
对比例 5	5.30	21.70

[0131] 通过上表对比可知，通过实施例4-5与实施例1-3对比以及通过实施例11-12与实施例8-10对比可知，升温温度为1120-1125K是最优温度，升温温度对长杆弹的侵彻能力具有显著的影响。

[0132] 通过对比例2-3与实施例1-7对比可知以及通过对比例4-5与实施例8-14对比可知，钨纤维层的圈数为6-8是最优圈数，钨纤维层的圈数对长杆弹的侵彻能力也具有显著的

影响。

[0133] 通过对比例1与实施例1-14对比可知,本发明提供的均布式长杆弹和梯度式长杆弹的侵彻能力均强于钨纤维增强锆基复合长杆弹。

[0134] 以上详细描述了本发明的优选实施方式,但是,本发明并不限于上述实施方式中的具体细节,在本发明的技术构思范围内,可以对本发明的技术方案进行多种简单变型,这些简单变型均属于本发明的保护范围。

[0135] 另外需要说明的是,在上述具体实施方式中所描述的各个具体技术特征,在不矛盾的情况下,可以通过任何合适的方式进行组合,为了避免不必要的重复,本发明对各种可能的组合方式不再另行说明。

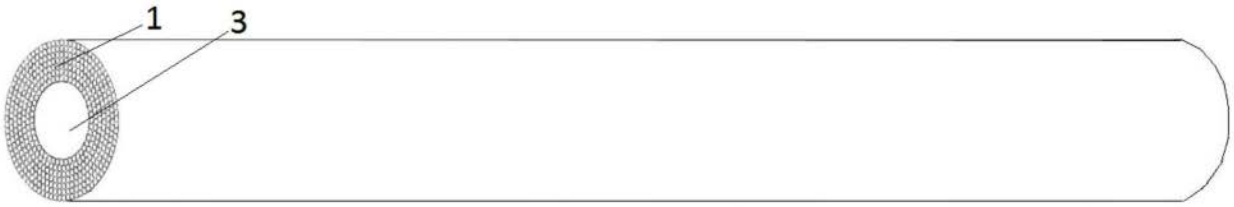


图1

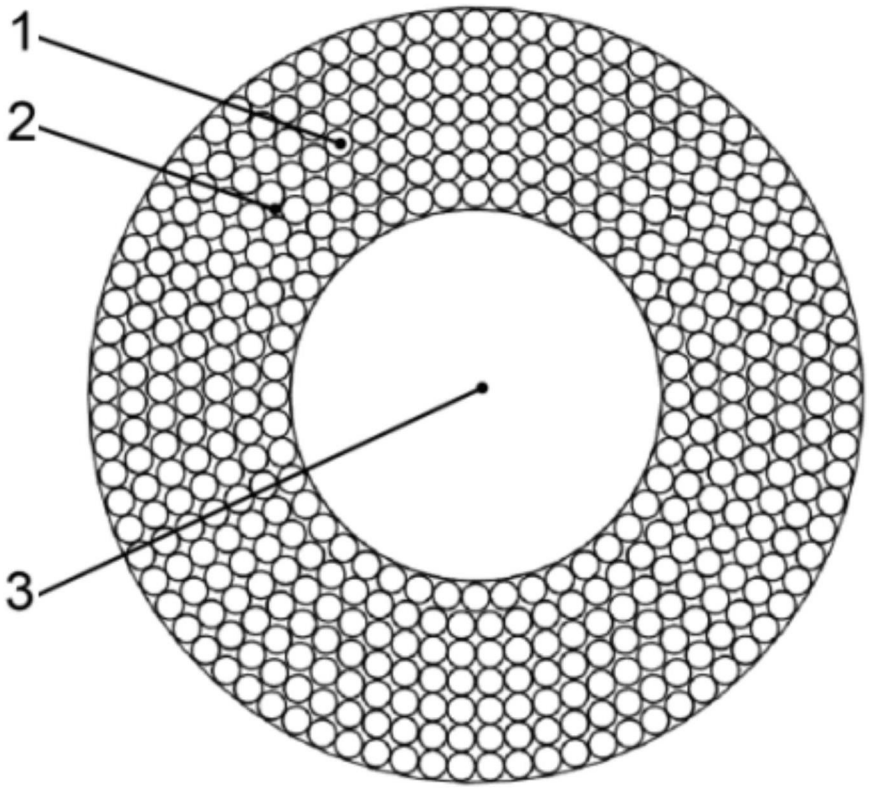


图2



图3

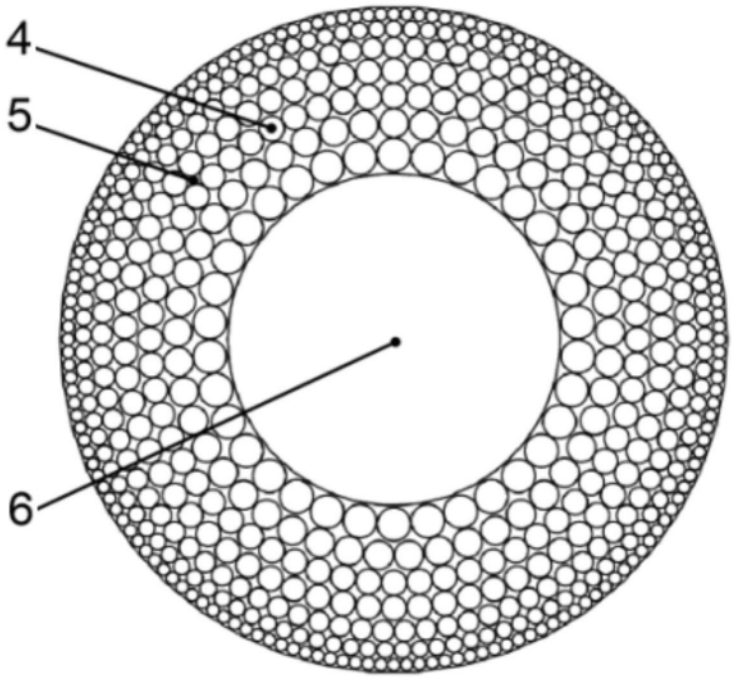


图4

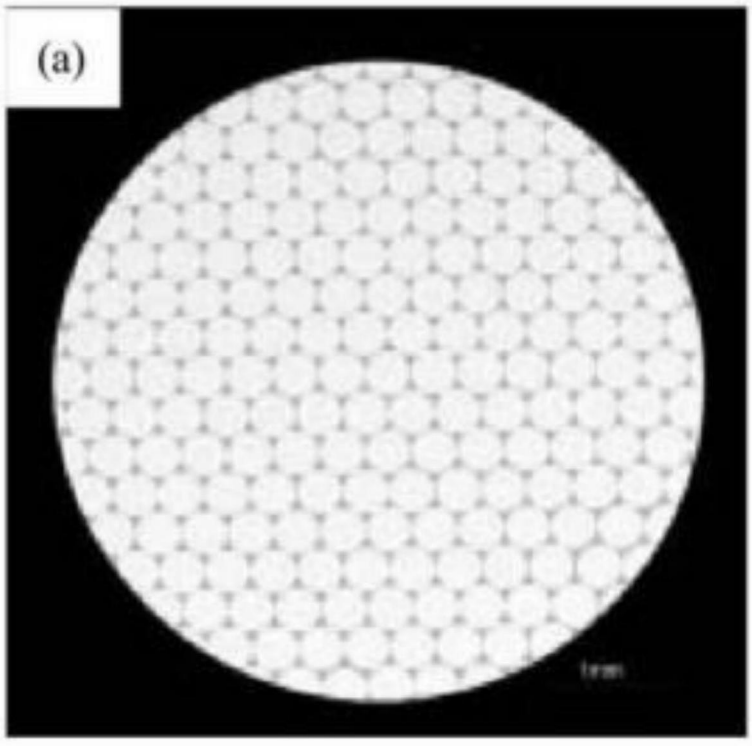


图5

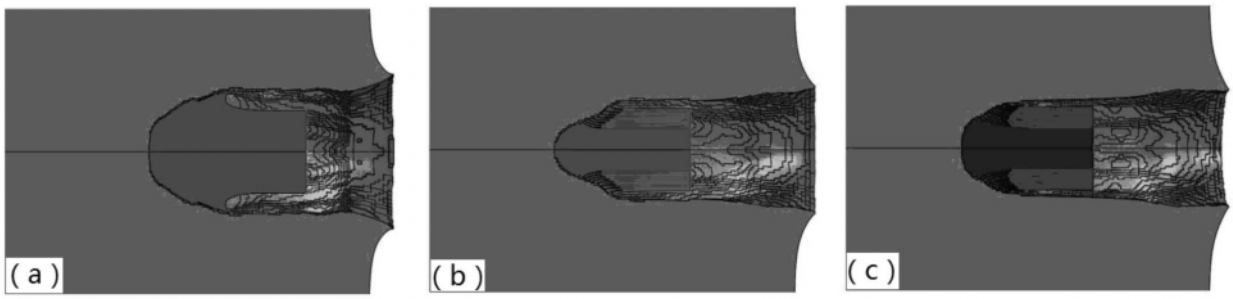

(a)
(b)
(c)

图6

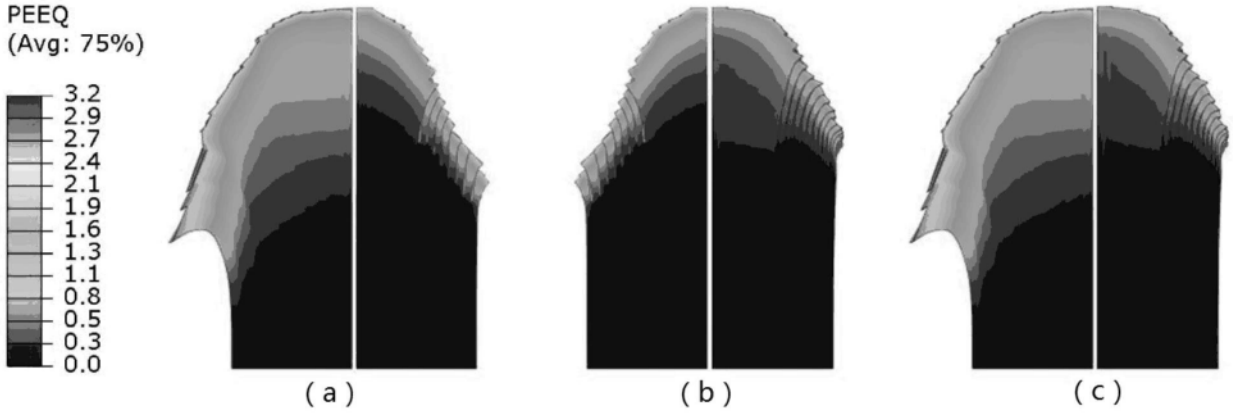

PEEQ
(Avg: 75%)
3.2
2.9
2.7
2.4
2.1
1.9
1.6
1.3
1.1
0.8
0.5
0.3
0.0
(a)
(b)
(c)

图7

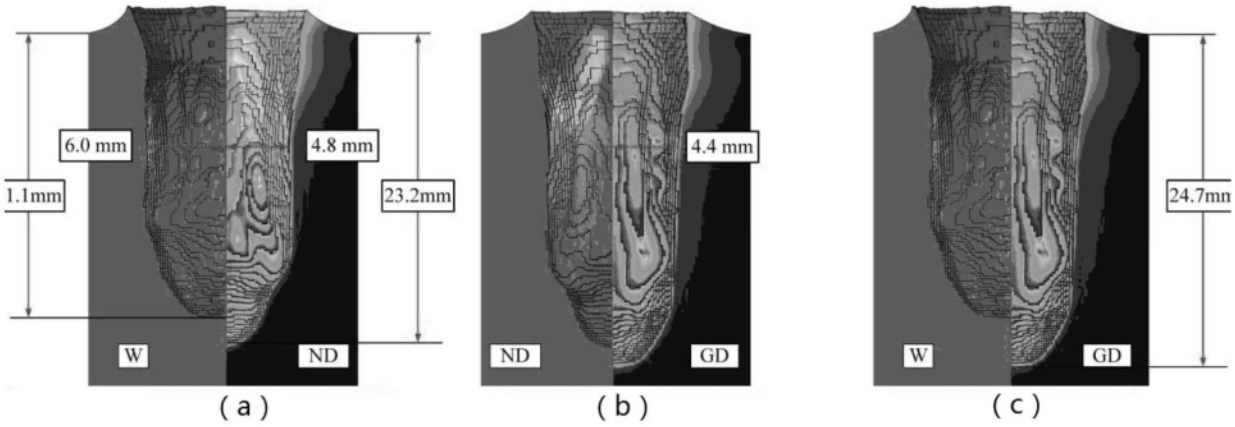

6.0 mm
4.8 mm
1.1mm
23.2mm
W
ND
(a)
4.4 mm
ND
GD
(b)
24.7mm
W
GD
(c)

图8