

不锈钢纤维网对热压铁基预合金胎体 抗冲击韧性的影响

孙吉伟¹, 吴海霞², 沈立娜², 杨甘生¹

(1.中国地质大学(北京),北京 100083; 2.北京探矿工程研究所,北京 100083)

摘要:针对孕镶金刚石钻头在孔底钻进时受到各种冲击力而导致胎体出现裂纹甚至断裂的问题,提出了应用不锈钢纤维网提高胎体抗冲击韧性的方法。通过控制纤维网的摆放位置、目数和层数 3 个变量,测试了不同组合变量下的胎体抗冲击韧性。通过试验得到:(1)不锈钢纤维网能有效提高胎体的抗冲击韧性,而且 X 轴位置效果更好;(2)当纤维网的目数相同时,胎体抗冲击韧性随纤维网层数的增加而减小;(3)在纤维网层数相同的情况下,随着纤维网目数的增加,胎体抗冲击韧性呈现先增大后减小的趋势。当添加 30 目单层纤维网时,胎体的抗冲击韧性达到最大值。通过观察冲击断面、分析胎体断裂机理,解释了出现这种规律的原因,并提出了进一步优化胎体抗冲击韧性的方法。

关键词:孕镶金刚石钻头;胎体;纤维网;抗冲击韧性;断裂力学;线膨胀系数

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)02-0073-05

Effect of stainless steel fiber mesh on impact toughness of hot-pressed iron-based prealloyed carcass

SUN Jiwei¹, WU Haixia², SHEN Lina², YANG Gansheng¹

(1.China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2.Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: Aiming at the problem of low impact toughness of the impregnated diamond bit matrix, a method of adding stainless steel fiber net to the carcass to improve the impact toughness of the matrix is proposed. The impact toughness of matrix was tested at different combinations of the three variables: the placement, mesh and number of layers of the fiber net. It was obtained through experiments: (1) stainless steel fiber mesh can effectively improve the impact toughness of the matrix, and the X-axis placement position is better; (2) when the mesh number of the fiber web is the same, the impact toughness of the matrix decreases as the number of fiber mesh layers increases; (3) in the case of the same number of fiber net layers, the impact toughness of the matrix increases first and then decreases with the increase of the number of fiber net layers. With a single layer of 30 mesh net added, the impact toughness of the carcass reaches a maximum. Through the electron microscopy of the impact fracture and the mechanical analysis of the fiber net, the reasons for this law are explained, and the method of further optimizing the impact toughness of the matrix is proposed.

Key words: impregnated diamond bit; matrix; fiber net; impact toughness; fracture mechanics; linear expansion coefficient

0 引言

冲击韧性是指材料在冲击功作用下,吸收塑性

变形功和断裂功的能力,反应材料内部的细微缺陷,揭示材料的变脆倾向^[1]。在地质钻探中,钻头的抗

收稿日期:2019-02-16; 修回日期:2019-12-06 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.02.012

基金项目:国家重点研发计划资助“多金属矿岩心钻探关键技术装备联合研发及示范”(编号:2016YFE0202200)

作者简介:孙吉伟,男,汉族,1994年生,硕士研究生,地质工程专业,北京市海淀区学院路29号,965697673@qq.com。

通信作者:沈立娜,女,汉族,1985年生,高级工程师,从事金刚石钻头及钻具的优化设计,北京市房山区良乡工业开发区二期创新路1号,shenln@bjiee.com.cn。

引用格式:孙吉伟,吴海霞,沈立娜,等.不锈钢纤维网对热压铁基预合金胎体抗冲击韧性的影响[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):73-77.
SUN Jiwei, WU Haixia, SHEN Lina, et al. Effect of stainless steel fiber mesh on impact toughness of hot-pressed iron-based prealloyed carcass[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):73-77.

冲击韧性受到多种形式的考验,如钻头在钻进过程中承受纵向震动和横向抖动的频繁冲击;在提下钻过程中承受孔壁的瞬时撞击;在扫落岩心中受到滚动冲击;在冲击回转中钻头又承受一种周期性的高频冲击等^[1]。这些形式的冲击力使孕镶金刚石钻头很容易出现裂纹、掉块现象,进而导致钻头出现寿命短的问题。

为了提高孕镶金刚石钻头胎体的抗冲击韧性等性能,国内外专家已经做了大量研究。在增强胎体性能方面,可以通过添加增强相的方式来实现,如晶粒增强、晶须增强和纤维增强。目前,向胎体中添加稀土元素或添加纳米材料来填充微孔隙^[2],改善颗粒之间连接力的方法,可以有效提高钻头胎体的抗冲击韧性。段植元等^[3]人向聚晶金刚石复合片中添加碳纳米管大大增加其抗冲击韧性,并发现碳纳米管不仅协调了变形,而且阻碍了裂纹扩展。但在纤维增强胎体性能方面,做的研究很少,这种增强方式对胎体材料的硬度和耐磨性能的影响较小^[4-8]。因此,利用纤维增强复合材料性能方面的研究成果,探索不锈钢纤维网对胎体抗冲击韧性的影响规律很有意义。

钢纤维能显著提高混凝土的抗弯强度和抗冲击韧性^[9-10]。不锈钢纤维不仅具有高抗弯、抗拉强度的优点,而且还具有高的柔韧性、耐磨性、耐高温和耐腐蚀的优点。本文在孕镶金刚石钻头胎体中添加不锈钢纤维网,研究其对钻头抗冲击韧性的影响。

1 试验条件

1.1 试样制备

试验采用的胎体材料为铁基预合金粉末,其胎体的抗冲击韧性为 4.73 J/cm^2 。试验中的胎体抗冲击韧性试样块的标准尺寸为 $50 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 。在制备试验块时,按试验设计的基料—纤维网—基料顺序进行装料,再利用热压烧结机(RYJ2000A型)烧结抗冲击韧性试样块,并保证烧结条件相同。

在纤维网目数选择方面,如果纤维网的目数过大,试样块可能出现分层,导致胎体试样块的抗冲击韧性明显下降。如果纤维网目数过小,则单根纤维的直径相对较大,不利于基料和纤维之间的粘接。因此,试验中选择的不锈钢纤维网的目数以及单根纤维直径如表1所示。

表1 纤维网目数和单根直径

Table 1 Fiber mesh number and single line diameter		
目数/目	网孔/mm	丝径/mm
10	1.740	0.800
14	1.414	0.400
20	0.970	0.400
30	0.546	0.300
40	0.385	0.250

1.2 性能测试

胎体试样的抗冲击韧性利用JB-50型摆锤冲击试验机来测定。为了研究不锈钢纤维网对胎体抗冲击韧性的影响规律,本次试验中设置3组变量,分别为纤维网的放置位置(X轴方向和Y轴方向)、纤维网的目数以及纤维网的层数,每一种变量下的标准试样烧制3块。利用JB-50型摆锤冲击试验机,测试单一变量下胎体试样的抗冲击韧性,并取3块的平均值作为该变量下胎体的抗冲击韧性值。JB-50型摆锤冲击试验机如图1所示。



图1 JB-50型摆锤冲击试验机

Fig.1 JB-50 pendulum impact testing machine

2 试验结果与分析

2.1 纤维网的放置位置对抗冲击韧性的影响

从宏观角度出发,相同的纤维网断裂所消耗的能量是相同的,但是纤维网不同的放置位置影响着裂纹的形成位置和扩展方向。因此,确定最优放置位置尤为重要。

纤维网放置位置受到装料和热压烧结过程的影响。除了水平和垂直位置外,其他任何位置都无法保证纤维网不发生移动。因此,在研究纤维网放置位置对胎体抗冲击韧性的影响规律时,选择两种放置位置,即X轴放置和Y轴放置,则摆锤冲击方向与纤维网的相对位置如图2所示。

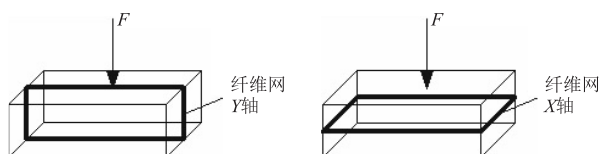


图 2 摆锤冲击方向与纤维网的两种放置位置示意图

Fig.2 Schematic diagram of two placement positions between fiber net and pendulum impact direction

为了确定纤维网的最优放置位置,分别在 X 轴位置和 Y 轴位置放置单层 10、14、20、30 和 40 目的纤维网,并利用热压烧结机烧结成试验块,通过摆锤冲击试验机测试不同目数下胎体的抗冲击韧性。试验测得不同放置位置下胎体的抗冲击韧性和纤维网目数之间的变化曲线图如图 3 所示。

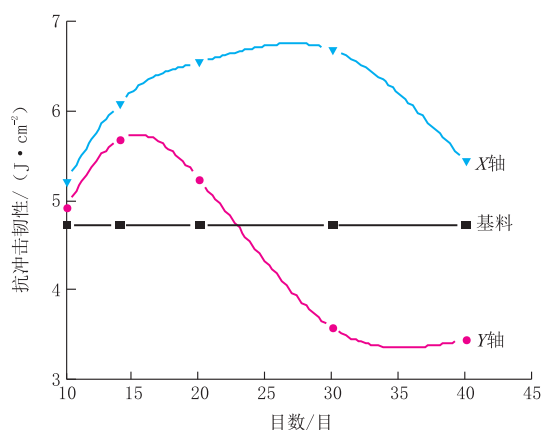


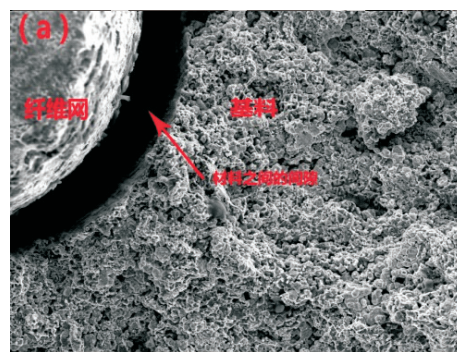
图 3 不同放置位置下抗冲击韧性—目数变化曲线

Fig.3 Impact toughness vs numbers of mesh curve at different placement positions

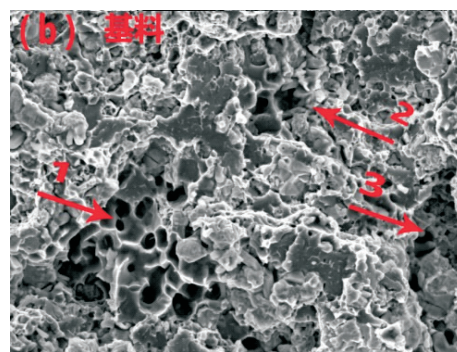
由图 3 可知,当 X 轴位置放置纤维网时,胎体试样的抗冲击韧性明显大于基料的抗冲击韧性,并且随着纤维网目数的逐渐增加,胎体抗冲击韧性呈现先增大后减小的趋势。当 Y 轴位置放置纤维网时,随着纤维网目数逐渐增加,胎体试样的抗冲击韧性也出现先增大后减小的趋势,而且当纤维网的目数在 10~20 目时,胎体抗冲击韧性高于基料,随着纤维网目数不断增大,胎体的抗冲击韧性急剧减小。其次,X 轴位置放置时的抗冲击韧性明显大于 Y 轴位置放置时的抗冲击韧性。

为了进一步解释这种变化规律,利用电子显微镜对冲击断口的形貌进行观察,其电镜扫描照片如图 4 所示。

从图 4(b)可知,基料中存在类似 1、2 和 3 的微孔隙,尺寸 $0.1\sim 0.5\ \mu\text{m}$;图 4(a)中除了这些微孔隙之外,还存在纤维网与基料之间的大孔隙,约为 $1\sim$



(a) 添加有纤维网的冲击断口的SEM图(500倍)



(b) 基料的冲击断口SEM图(2000倍)

图 4 胎体冲击断口的 SEM 图

Fig.4 SEM image of the carcass impact fracture

$2\ \mu\text{m}$,是基料胎体中微孔隙的 10 倍左右。

王栋材等^[10]从能量的角度出发,将冲击断裂过程分为 4 部分:(1)裂纹形成能;(2)裂纹扩展能;(3)形成剪切唇的塑性变形能;(4)过剩的弹性能。根据 Griffith 微裂纹理论^[11]可知,在同一荷载下,当材料内部产生的平均应力确定之后。孔隙长度 $> 2a$ (a 近似为原子间距)的裂纹发生扩展,材料出现破坏;孔隙长度 $< 2a$ 的微裂纹不扩展,可以吸收裂纹扩展时积蓄的弹性应变能,并阻止裂纹的扩展。纤维网的添加使胎体试样块中出现较大的孔隙,这为胎体中裂纹的出现提供了条件。

不锈钢纤维网的添加可以提高胎体抗冲击韧性,是因为一方面纤维网为胎体提供了部分抗拉强度,另一方面纤维网的存在也制造了大孔隙。随着纤维网目数的增加,纤维网的网孔和丝径随之减小,胎体试样块中能容纳的纤维网数量越多,纤维网横断面面积逐渐增加,提供的抗拉强度增加。同时,纤维网数量的增加也使胎体试样块中的大孔隙数量逐渐增多,导致基料本身的抗冲击韧性明显下降。两方面的影响使胎体抗冲击韧性呈现先增大后减小的趋势。当所添加的所有的纤维网的抗冲击韧性小

于因为添加纤维网而导致的基料的抗冲击韧性的减小值时,添加有纤维网的胎体的抗冲击韧性小于基料的抗冲击韧性。

在冲击荷载作用下,裂纹只会从与冲击力夹角较小的开裂,并且沿着冲击力的方向扩展^[12-13]。在 X 轴位置上,裂纹从大孔隙处形成并沿冲击力方向扩展,所需路程长,消耗的能量更大;在 Y 轴位置上,由于纤维网和冲击力的方向相同,导致纤维网处产生的裂纹会快速贯穿胎体块,使胎体块形成两层,严重降低了胎体的抗冲击韧性。因此, X 轴位置放置纤维网的胎体抗冲击韧性更大。

2.2 最优纤维网层数测试

从上述试验可知, X 轴位置放置单层纤维网可以显著增加胎体的抗冲击韧性。因此,我们设计了在 X 轴位置放置不同层纤维网的方式来确定纤维网的层数对胎体抗冲击韧性的影响规律。在试验中,分别在 X 轴位置放置一层、两层和 W 型的纤维网,放不同层的纤维网的胎体块的截面图如图 5 所示。

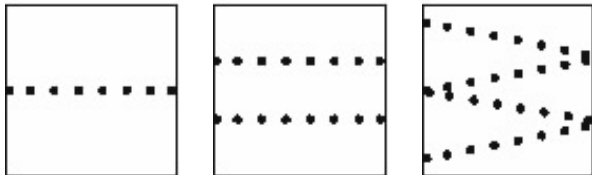


图 5 不同层纤维网的胎体块的截面图

Fig.5 Cross-sections of matrix with different layers of fiber net

通过测试不同纤维网层数胎体试样块的抗冲击韧性,得出结果如图 6 所示。

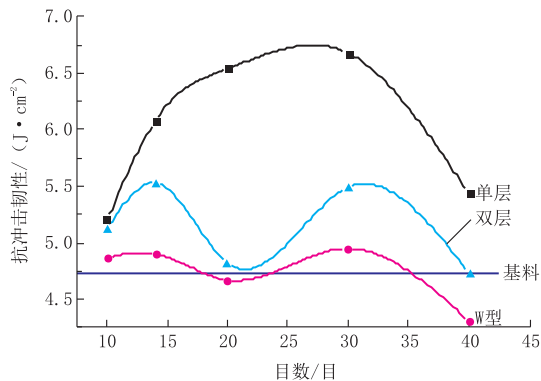


图 6 不同层数下纤维网目数-胎体抗冲击韧性曲线

Fig.6 Numbers of mesh - matrix vs impact toughness curve with different layers of fiber net

由图 6 可知,在纤维网目数相同时,随着纤维网层数的逐渐增加,胎体的抗冲击韧性呈下降趋势,添

加有 W 型的纤维网的胎体抗冲击性能小于纯基料的抗冲击韧性。此外,当纤维网层数增加时,胎体抗冲击韧性随纤维网目数的变化幅度很小。

随着纤维网层数逐渐增加,胎体试样中 1~2 μm 的孔隙数量不断增多,裂纹贯穿整个材料所需的能量急剧减小,胎体试样的抗冲击韧性随之减小。

根据上述试验结果可知,添加不锈钢纤维网在增强胎体韧性的同时,也使胎体内部出现缺陷。这种缺陷是纤维网和基料之间的大尺寸孔隙,它的存在为裂纹的出现提供了条件。出现上述情况的原因在于不同材料之间的界面连接^[14-15],这不仅与两种材料的线膨胀系数有关,而且与材料的润湿性和粘接强度有关。

3 结论

(1)放置在 X 轴和 Y 轴位置的单层不锈钢纤维网能有效提高胎体的抗冲击韧性,但是 X 轴位置放置的效果更好。

(2)当不锈钢纤维网的目数一定时,随着纤维网层数的增加,胎体试样的抗冲击韧性逐渐减小。

(3)在相同的层数下,随着纤维网目数的逐渐增加,胎体试样的抗冲击韧性先增大后减小,在 30 目时胎体抗冲击韧性达到最大值。

(4)由于不锈钢纤维网和铁基预合金两种材料的热膨胀系数的差距,导致了本次试验纤维增强复合材料出现了大孔隙。下一步考虑线膨胀系数和较好的润湿性的纤维材料。

参考文献(References):

- [1] 刘广志,等.金刚石钻探手册[M].北京:地质出版社,1991. LIU Guangzhi, et al. Diamond drilling handbook[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.
- [2] 沈立娜,阮海龙,吴海霞,等.稀土 La 添加量对预合金铁基胎体性能的影响[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(4):69-71. SHEN Lina, RUAN Hailong, WU Haixia, et al. Influence of La addition on the properties of pre-alloyed Fe-based matrix material[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(4):69-71.
- [3] 段植元,汪冰峰,崔刊,等.碳纳米管增强聚晶金刚石复合片的抗冲击韧性及其机制[J].矿冶工程,2015(2):150-153. DUAN Zhiyuan, WANG Bingfeng, CUI Kan, et al. Impact toughness and mechanism of polycrystalline diamond compacts reinforced by carbon nanotubes[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2015(2):150-153.
- [4] 杨曙兰,刘伟庆,方园.纤维增强复合材料性能表征方法研究进