

# 鞭式刀具的失效及火焰喷焊 NWC 强化的可行性研究

郝建军<sup>1,2</sup>, 马跃进<sup>1</sup>, 刘占良<sup>1</sup>, 申玉增<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学机电工程学院, 保定 071001; 2. 北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 为解决秸秆根茬切碎还田机鞭式刀具成本高、寿命短的问题, 在 45# 钢基体上制备了火焰喷焊 Ni60 和 NWC 喷焊层。分析了鞭式刀具的失效机理; 用金相显微镜观察了刀具的宏观磨损形貌和喷焊层的结合状况; 运用能模拟刀具实际工作状况的自制磨损试验机进行了磨损实验, 对比了 65Mn 淬火回火与火焰喷焊 Ni60 和 NWC 喷焊强化刀具的耐磨性能; 探讨了火焰喷焊 NWC 喷焊层用于鞭式刀具强化的可行性。结果表明, 火焰喷焊 NWC 喷焊层具有良好的耐磨性, 可用于秸秆根茬切碎还田机鞭式刀具的表面强化和修复。

**关键词:** 秸秆根茬切碎还田机; 鞭式刀具; 火焰喷焊; 耐磨性; 可行性

**中图分类号:** TG174.14

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2005)08-0074-04

郝建军, 马跃进, 刘占良, 等. 鞭式刀具的失效及火焰喷焊 NWC 强化的可行性研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 74-77.

Hao Jianjun, Ma Yuejin, Liu Zhanliang, et al. Failure of scourge-type reamer and feasibility of strengthening by flame spray welding NWC coatings[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 74-77. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

农业机械的工作环境差, 条件苛刻, 大多数是露天作业, 并经常与土壤、砂石、作物秸秆、根块或带腐蚀性的化肥、粪尿、农药等接触, 锈蚀、磨损严重。另外还具有制造精度低、对耐磨层要求深、工作时受振动与冲击大等特点, 因而零件除需要足够的强度、刚度和韧性外, 还应具备很高的耐磨性和较好的耐蚀性。农机零件的失效破坏都直接或间接与磨损相关, 约占 80% 以上。据统计, 仅犁铧、犁壁、耙片、旋耕机刀片 4 种零件每年由于磨损造成的金属损耗约占制造这些零件用钢的 27%, 高达 8660 t<sup>[1-6]</sup>。

配置于秸秆根茬切碎还田机的鞭式刀具在作业过程中, 刀具在与土壤、砂石、秸秆、根茬等磨料相对运动的同时受到剧烈的冲击作用, 造成刀具材料的损耗属于低应力擦伤式磨料磨损, 表现为固态磨料撞击刀具, 并以某种速度与刀具表面相对运动, 刀具表面在磨料切削作用下形成犁沟, 犁沟两侧皱状隆起的金属再经随后其它磨料的反复挤压, 形成磨屑剥落而引起刀具表面材料的损失。通常, 刀尖部位磨损较大, 当刀尖强化层磨损后, 刀具变钝, 作业阻力增大, 刀具母材磨损速率加剧, 最终导致刀具早期失效而报废。

随着农业的可持续发展, 秸秆根茬切碎还田机得到进一步推广。目前, 中国秸秆根茬切碎还田机所用刀具大多使用 65Mn (GB 699—88) 钢板制成, 刀具不仅价格昂贵, 而且耐磨性差, 使用寿命低。据统计, 一般小麦秸秆根茬切碎还田机刀具的作业面积为 70 hm<sup>2</sup> 左右, 玉米秸秆根茬切碎还田机刀具的作业面积仅为 40 hm<sup>2</sup> 左

右<sup>[7]</sup>。随着新的表面强化工艺的不断出现, 亟待研究新材料、新工艺在农机具上的应用问题, 使农机具的选材和强化工艺更趋合理<sup>[8]</sup>, 为农机具的制造及再制造提供理论依据和技术支持。因此, 探讨农机具的磨损问题, 选择适合农机具工作特性与工作环境的抗磨材料及抗磨强化工艺不仅具有重要的实用意义, 而且有重要的经济意义。火焰喷焊技术能使材料表面得到强化, 在不显著增加成本的基础上, 赋予材料耐蚀、耐磨、耐热等特殊性能, 但目前尚缺乏它在农机具强化上的系统研究与应用。为此, 本课题在分析鞭式秸秆根茬切碎还田机鞭式刀具失效机理的基础上, 比较了常规热处理 65Mn 钢、Ni60 和 NWC 火焰喷焊层的抗磨性能, 并分析了 NWC 火焰喷焊层用于鞭式秸秆根茬切碎还田机鞭式刀具强化的可行性, 旨在为秸秆根茬切碎还田机鞭式刀具的强化提供理论依据和实践指导。

## 1 鞭式刀具的失效分析

### 1.1 鞭式刀具的结构与特点

目前, 中国秸秆根茬切碎还田机主要采用甩刀式、锤爪式刀具<sup>[9-12]</sup>。鞭式刀具配置于 4JCBQ 150 型鞭式秸秆根茬切碎还田机 (专利号 ZL 98218698.3) 上, 在田间能一次完成秸秆粉碎、灭茬及碎秸秆与土壤的均匀混拌等作业。

4JCBQ 150 型鞭式秸秆根茬切碎还田机, 采用三节鞭式刀具结构, 如图 1 所示。刀头形状为楔形。工作时, 刀具随刀轴逆拖拉机驱动轮转动方向高速旋转, 同时随机具作平移运动。刀具以“三节鞭”式的抽打方式作用于秸秆根茬, 秸秆的茎根和须根被鞭式刀头砍切; 随刀具旋转, 被卷起的秸秆及翻起的土壤, 被送入粉碎室, 在粉碎室内再次被刀具砍切、撕碎、混拌, 然后经抛出口均匀地抛撒在田间<sup>[13]</sup>。

### 1.2 鞭式刀具的失效

图 2 为配置于 4JCBQ 150 型鞭式秸秆根茬切碎还

收稿日期: 2004-09-15 修订日期: 2005-02-23

基金项目: 河北省科技厅项目部分内容 (项目编号: 03212157)

作者简介: 郝建军, 讲师, 博士生, 保定市 河北农业大学机电工程学院, 071001。Email: jianjunhaodear@163.com

田机 65Mn 制鞭式刀具的宏观磨损形貌。磨面上有近于平行分布的切削、犁沟痕迹和分布不均的冲击凿削坑。

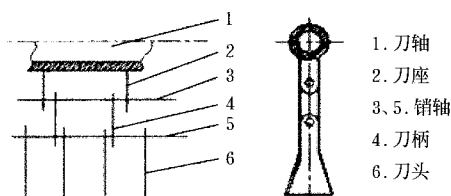


图1 刀具结构图

Fig 1 Structure of reamer

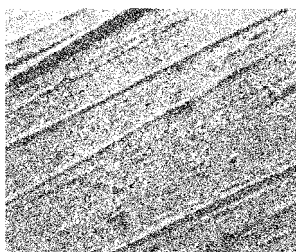


图2 刀具刃面磨损后的形貌

Fig 2 Worn appearance of reamer

鞭式秸秆根茬切碎还田机对秸秆及根茬的粉碎由打击与切割两个过程组成, 且以打击为主。刀具工作时, 土壤及秸秆根茬对刀具的磨损及冲击是造成刀具失效的主要原因。上述磨损形貌特征的产生是由于作业时刀具切向秸秆和土壤, 从接触开始即向秸秆和土壤施加压力, 并逐渐增加直到刀具再次旋起, 脱离接触, 压力才突然消失, 周而复始。该过程遭受冲击、磨损和疲劳的共同作用, 最终刀具失效。刀具的破坏主要由以下几方面的因素造成: (1) 磨粒对刀具工作面的切削和凿削; (2) 冲击造成的塑性变形冲击坑, 产生微区冷作硬化, 反复作用下原来有一定塑性的表面逐渐变脆剥落; (3) 磨粒的无数次反复冲击, 使刀具发生周期弹性变形, 最终造成接触疲劳破坏。刀具的失效不是单一原因造成的, 甚至每一微区的破坏都是多因素综合作用的结果。例如小磨粒的冲击本不能破坏刃口, 但多次冲击会造成塑性损伤, 致使塑性材料以脆性形式破坏。

## 2 表面强化试验与结果分析

### 2.1 试验材料及方法

本试验针对刀具在实际使用中, 基体材料需要一定的强韧性而表面需要高硬度、高耐磨性的特点, 喷焊试样采用 45# 钢基体并在其上制备 1 mm 的喷焊层。对比试样为 830 淬火和 540 回火的 65Mn 钢, 喷焊合金粉末为 Ni60 和 NiWC (含 65% Ni60 和 35% WC), 其中 Ni60 的化学成分为 (质量分数, %): C, 1.0; B, 3.5; Si, 4.0; Cr, 17.0; Fe, < 12; Ni, 余量。

试样形状如图 3。采用 P6-2/h 型喷枪, 采用二步法进行喷焊, 喷焊前用电动磨光机磨光试样喷焊位置并去除试样表层 1 mm 厚的金属层, 形成一个台阶面。喷焊前用丙酮清洗试样, 喷焊时试样的刀尖下倾, 以利于

涂层在刀尖处的增厚。重熔时采用中性火焰, 喷枪偏向已重熔面。喷焊工艺为: 氧气压力, 0.5 MPa; 乙炔压力, 0.08 MPa; 乙炔流量, 1000 L/h; 送粉量, 0.6 kg/h; 预热温度, 450 °C; 重熔温度, 1050~1150 °C; 喷涂距离, 40 mm; 重熔距离, 10~20 mm。每组制备试样 9 个。

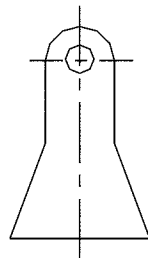


图3 试样示意图

Fig 3 Sketch of specimen

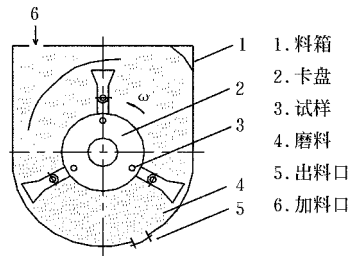


图4 磨粒磨损试验原理图

Fig 4 Operating principle of wear

为模拟刀具实际工作状态, 磨损试验在自制的磨损试验机上进行, 如图 4。卡盘以一定角速度旋转带动试样在磨料中运动, 磨料由加料口 6 加入, 并随刀具的旋转由出料口 5 排出。磨料为砂土、石英砂、秸秆碎段、根茬碎段的混合物, 重量比为 4:2:1:1。试验时, 卡盘转速设定为 300、500 和 700 r/min, 试验共进行 3 h。

为减小试验数据的离散性, 磨粒磨损试验前先预磨强化层外表面, 并使其表面粗糙度为 Ra10 μm (由 TR200 型粗糙度测试仪测得), 每组试验在卡盘分别安装 65Mn 淬火回火试样、喷焊 Ni60 试样和 NiWC 试样各 1 个。记为 m-n<sub>1</sub>, m-n<sub>2</sub>, m-n<sub>3</sub>, m 为组号, m=0, 1, 2, 分别代表 65Mn 淬火回火试样组、喷焊 Ni60 试样组和喷焊 NiWC 试样组; n 为转速编号, n=1, 2, 3, 分别代表 300 r/min、500 r/min 和 700 r/min。下角标 1, 2, 3 代表试验重复次数。

称重用 TG328A 光电分析天平。每次称重前先将试样用清水冲洗, 再用酒精清洗, 并用风机吹干。

在试验中, 把淬火回火的 65Mn 试样作为对比试样, 采用相对耐磨性系数  $\epsilon$  评价喷焊强化层的耐磨性,  $\epsilon$  由下式计算:

$$\epsilon = \frac{\overline{\Delta W_0}}{\overline{\Delta W}}$$

式中  $\overline{\Delta W_0}$  —— 淬火后回火的 65Mn 试样的磨损失重均值;  $\overline{\Delta W}$  —— 喷焊强化层试样的磨损失重均值。

记录试验数据并计算相对耐磨性系数见表 1。

### 2.2 结果分析

由表 1 可知: (1) 喷焊试样的耐磨性均高于对比试样淬火回火的 65Mn 试样, 最高可达 3.63 倍; (2) 镍基自熔性合金粉末 Ni60 中加入铸造 WC 可大大提高喷焊层的耐磨性; (3) 在同一组别中, 随着转速的提高, 磨损失重增加, 相对耐磨性系数降低。

图 5 为喷焊试样端面金相照片, 可以看到涂层组织致密, 表面较平整, 涂层与基体间有一明显过渡区, 熔化的涂层与基体金属相互溶解扩散, 形成了紧密的冶金结

合状态。

表 1 磨损失重及相对耐磨性系数  
Table 1 Wear weight loss and relative  
abradability coefficient

试验号	磨损失重/mg	失重均值/mg	相对耐磨性 $\epsilon$
0—1 <sub>1</sub>	41. 3343		
0—1 <sub>2</sub>	41. 8531	41. 6493	1
0—1 <sub>3</sub>	41. 7605		
0—2 <sub>1</sub>	41. 9904		
0—2 <sub>2</sub>	42. 1025	42. 1017	1
0—2 <sub>3</sub>	42. 2122		
0—3 <sub>1</sub>	44. 2045		
0—3 <sub>2</sub>	44. 0576	44. 1581	1
0—3 <sub>3</sub>	44. 2123		
1—1 <sub>1</sub>	23. 6521		
1—1 <sub>2</sub>	23. 0855	23. 3985	1. 78
1—1 <sub>3</sub>	23. 4578		
1—2 <sub>1</sub>	25. 0042		
1—2 <sub>2</sub>	25. 4688	25. 5162	1. 65
1—2 <sub>3</sub>	26. 0755		
1—3 <sub>1</sub>	31. 0028		
1—3 <sub>2</sub>	29. 8836	30. 0395	1. 47
1—3 <sub>3</sub>	29. 2322		
2—1 <sub>1</sub>	11. 1025		
2—1 <sub>2</sub>	11. 4659	11. 4736	3. 63
2—1 <sub>3</sub>	11. 8525		
2—2 <sub>1</sub>	13. 1055		
2—2 <sub>2</sub>	12. 2204	12. 5677	3. 35
2—2 <sub>3</sub>	12. 3771		
2—3 <sub>1</sub>	15. 2438		
2—3 <sub>2</sub>	14. 1086	14. 8182	2. 98
2—3 <sub>3</sub>	15. 1021		

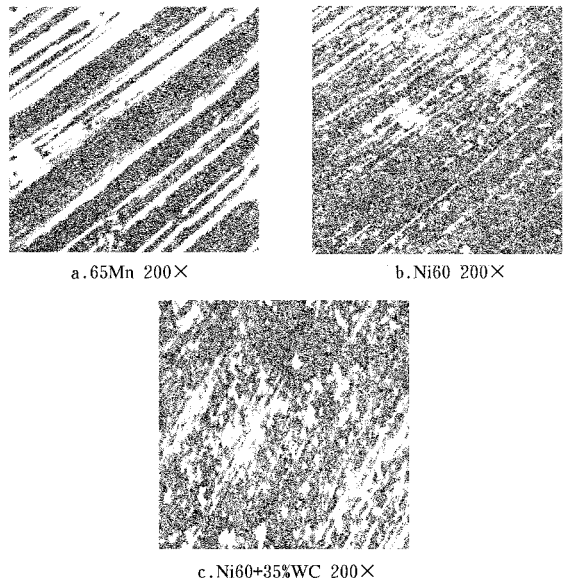


图 6 磨面形貌的 SEM 照片  
Fig 6 SEM of worn sample

强韧性喷焊层基体中锚固着大小不等、形状各异的硬质相,在磨料对刀具反复冲击引起的疲劳磨损过程中也能起阻挡硬质磨料的显微切削擦划和反复冲击引起刀具表面塑性变形作用,致使磨损机制发生变化,耐磨性提高;(3)弥散分布的WC微粒对基体产生弥散强化和晶界强化,融熔的WC产生固溶强化作用,三者的共同作用,导致喷焊层的硬度增高,从而可提高喷焊层承受和抵抗磨粒的显微切削、反复冲击推挤和凿削擦划作用,从而使磨损失重减小。因此,在镍基自熔合金喷焊层中加入铸造WC颗粒可改善喷焊层耐磨性能。

3 喷焊强化层用于鞭式刀具的可行性分析

鞭式刀具的工作环境和受力状况要求刀具不仅需要一定的强韧性而且又要具有较高的表面耐磨性和冲击性。因此,用作刀具强化的抗磨材料不仅应具有足够的硬度,以抵抗磨料的切削作用和形变作用,还应有一定的强度和韧性,以使材料在受到冲击或震动时不致破裂。

NWC喷焊层中均匀分布的未熔WC和其他硬质相由于弥散强化、晶界强化和固溶强化的共同作用,提高了基体的强韧性、喷焊层硬度、抗疲劳磨损性能及抵抗磨粒的切削、凿削、推挤和擦划等作用,从而保证刀具既具有一定的韧性,又具有优良的耐磨性。

在本研究中,若按每把刀具制备1mm厚的NWC喷焊层,用粉量15~20g计算,成本仅为2.1~2.8元,但其寿命却提高3倍左右。可见,用火焰喷焊NWC强化秸秆根茬切碎还田机鞭式刀具在经济上是合理的。

综上所述,NWC火焰喷焊层可应用于配置在4JCBQ150型鞭式秸秆根茬切碎还田机鞭式刀具的表面强化和修复中,并且具有较好的经济效益。

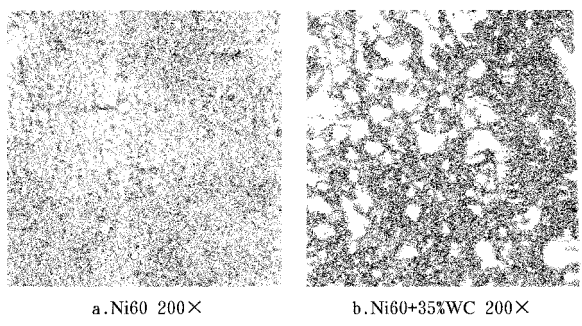


图 5 试样端面 SEM 照片  
Fig 5 SEM of sample side surface

图 6 为磨损试样磨面形貌的 SEM 照片。由图 6 可以看出,所有试样磨面有近于平行的磨痕,磨面上有深浅不同、宽窄不一、分布不均的切削、犁沟痕迹和凿削坑,但从图 6a~6c 中磨痕密度由大变小,磨痕由深变浅,由连续变为断续。

分析认为,产生上述现象的主要原因是:(1)NWC喷焊层中,由于WC分解而形成的硬质相(白色块状)分布于涂层中,这些硬质相和大量未熔的WC颗粒除其本身有很好的耐磨性外,在磨损过程中还能起阻挡犁削扩展的作用,致使磨痕往往在硬质相处间断;(2)在高

## [参 考 文 献]

- [1] 董进武, 郑英学. 农机具的磨损和抗磨技术的应用[J]. 农机维修, 1999, 6: 30
- [2] 冯承明, 宋云京, 许 斌. 我国农机热处理的发展现状与展望[J]. 金属热处理, 1996, 1: 16- 18
- [3] 陈逢凯, 杨丽祥. 农机零件热处理的现状和发展趋势[J]. 农机化研究, 2001, 8: 147
- [4] 黄建洪. 农机耐磨零件的硬度设计[J]. 金属热处理, 2001, 26(7): 7- 11
- [5] 黄建洪. 金相技术在农机刀片磨损机理研究中的应用[J]. 包头钢铁学院学报, 1998, 17(3): 173- 177
- [6] 许 斌, 张晓辉, 杨胶溪. 碳化钨颗粒- 高铬铸铁表面耐磨复合材料的试验研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 126 - 129
- [7] 凌 刚, 李德玉, 徐 杨. 农机用 65Mn 钢激光表面处理后
- 的组织与性能[J]. 中国农业大学学报, 1996, 1(6): 62- 65
- [8] 许 斌, 冯承明, 宋月鹏. 常规处理 65Mn 钢与 45 钢硼化物层的磨粒磨损性能研究[J]. 热加工工艺, 1997, 4: 19- 20
- [9] 李亚雄. 2H1. 6 秸秆还田机[J]. 农机与食品机械, 1996 (5): 12- 15
- [10] 孙学军, 王 频. 秸秆切碎还田机的研究现状与思考[J]. 新疆农业机械化, 2001, (2): 41- 42
- [11] 胡少兴, 马 旭, 马成林. 根茬粉碎还田机除茬刀滚功耗模型的建立[J]. 农业机械学报, 2000, 31(3): 35- 38
- [12] 吴子岳, 高焕文, 陈君达. 秸秆切碎灭茬机的设计与试验[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(1): 60- 64
- [13] 张世芳, 赵树朋, 马跃进, 等. 秸秆还田机鞭式刀具的研究[J]. 农业机械学报, 2004, 36(2): 59- 61

## Failure of scourge-type reamer and feasibility of strengthening by flame spray welding NiWC coatings

Hao Jianjun<sup>1,2</sup>, Ma Yuejin<sup>1</sup>, Liu Zhanliang<sup>1</sup>, Shen Yuzeng<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

2. College of Material Science and Engineering, Beijing Science and Technology University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of high-priced and short-lifetime of straw stubble returning machinery, the Ni60 and NiWC coatings were prepared on the surface of 45<sup>#</sup> steel specimens by flame spray welding. The failure mechanism of scourge-type reamer was analyzed. The worn macro-appearance and bonding status between substrate and coatings were observed with metallographic microscope. Wear test was conducted using self-made testing machinery which can imitate the actual working condition of scourge-type reamer. The abrasability of strengthened coatings, which were made by quench and tempering 65Mn and flame spray welding Ni60 and NiWC alloy, was contrasted. The feasibility of flame spray welding NiWC coatings used to strengthen scourge-type reamer was discussed. The results show that the coatings of flame spray welding NiWC have high antiwear performance and can be used to strengthen and repair the scourge-type reamer of straw stubble returning machinery.

**Key words:** straw stubble returning machinery; scourge-type reamer; flame spray welding; wear resistance; feasibility