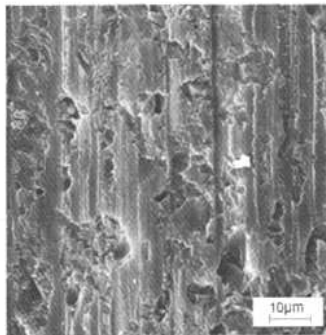


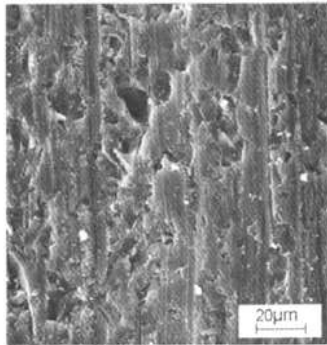
2.3 工件进给速度对锯切表面缺陷特征的影响

图 4 是走丝速度为 1.5 m/s, 采用不同的工件进给速度锯切单晶硅产生的表面缺陷。工件进给速度 6.25 $\mu\text{m}/\text{s}$ 时, 锯切表面存在大量脆性破碎的同时, 出现了部分塑性剪切形成的沟槽, 如图 4a。

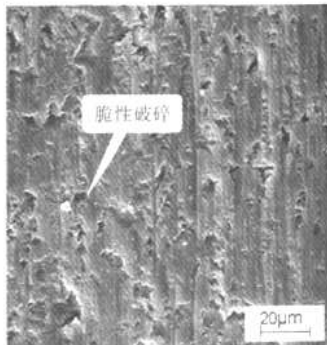
当工件进给速度降低到 2.5 $\mu\text{m}/\text{s}$ 时, 如图 4b, 加工表面出现较多的塑性剪切或微切削形成的浅沟槽, 但表面同样也存在许多脆性断裂和微破碎。此时加工晶片的表面缺陷同时存在材料脆性断裂去除留下的微破碎和磨粒塑性微切削留下的塑性沟槽, 而且表面的



(a) $v_f = 6.25 \mu\text{m}/\text{s}$



(b) $v_f = 2.5 \mu\text{m}/\text{s}$



(c) $v_f = 1.0 \mu\text{m}/\text{s}$

图 4 工件进给速度对锯切表面缺陷特征的影响
($v_s = 1.5 \text{ m/s}$)

Fig. 4 Influence of workpiece feed speed on characteristics of surface defect

缺陷, 逐渐由以脆性破碎为主转变为两者占据的比例相当。但锯切表面依然会偶尔出现较大尺寸的凹坑, 可能由脱落金刚石磨粒的挤压嵌入作用引起。当工件进给速度进一步降低到 1.0 $\mu\text{m}/\text{s}$ 时, 锯切材料去除时的塑性域剪切和微切削作用为主, 获得的锯切表面主要由光滑的剪切平面和微切削沟槽构成, 微切削沟槽具有明显的方向性, 总体上加工表面比较光滑, 如图 4c。加工表面依然存在一些脆性断裂或破碎形成的凹坑缺陷, 主要是锯丝表面尺寸较大的磨粒或锯丝的横向振动引起。此时表面上的破碎凹坑的数量、尺寸与深度已大大减小, 加工表面质量比较高。

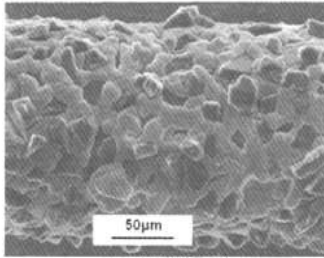
分析锯切表面的不同缺陷特性, 为研究材料的去除方式与材料去除的脆塑转变, 提供了实验依据与参考。如当工件进给速度为 1.0 $\mu\text{m}/\text{s}$ 时, 根据观察的锯切表面缺陷形式与特征, 加工表面的材料去除出现了较大范围的塑性剪切, 是材料去除主要的方式。材料主要依靠磨粒对工件材料的剪切作用和微切削而得以去除, 去除机理主要是以塑性剪切切削机理为主。但在实验中采用的工艺参数下获得的锯切表面中, 都能观察到数量极少的个别尺寸较大、深度较深的脆性凹坑, 这并不符合锯切表面缺陷特性与工艺参数之间的影响规律, 这些凹坑出现, 极有可能是因为存在个别尺寸较大的磨粒或脱落磨粒的挤压嵌入作用, 因此深刻了解锯丝的失效机理对于分析锯切表面的缺陷特性具有深刻意义。

2.4 金刚石锯丝失效机理分析

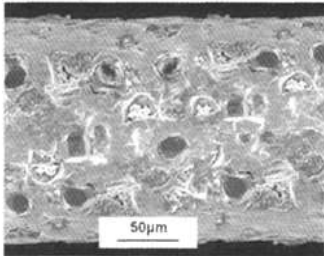
借助扫描电镜观察切割后锯丝的磨损情况。同大多数的金刚石工具类似, 锯丝的磨损存在磨粒磨损与镀层磨损两方面^[4,5]。磨粒磨损主要有磨粒脱落、磨粒整体与局部破碎、磨粒折断和磨平等, 镀层磨损主要表现为镀层表面直接与加工材料接触, 产生磨损, 这主要发生在锯切加工后期, 此时金刚石锯丝已经失去加工能力。图 5 为电镀金刚石锯丝在不同加工阶段的外观。

由图 5b 可见, 使用过一段时间后的锯丝, 表面出现明显的磨粒脱落现象, 而锯丝表面依然存在一些完整晶形的金刚石磨粒, 部分磨粒在没有完全发挥切削性能的时候已经整体脱落, 这说明磨粒的脱落是锯丝的主要磨损形式, 磨粒的脱落直接影响锯丝的切削能力。锯丝镀层的磨损主要发生于磨损的后期, 如图 5c, 由于金刚石磨粒的不断破碎与脱落, 使金属镀层与

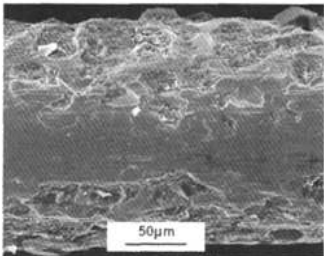
工件材料直接接触发生摩擦,磨损速度加快;同时镀层的磨损和软化使锯丝表面剩余的磨粒快速脱落,锯丝整体处于急剧磨损阶段,达到完全失效。因此锯丝失效的机理是表面固结的金刚石磨粒的快速、大量地脱落。因此为提高锯丝的使用寿命,发挥金刚石的切割能力,锯丝制造过程中应研究新措施来提高磨粒的把持力。



(a) 锯丝使用前



(b) 未完全失效的锯丝



(c) 完全失效的锯丝

图5 不同加工阶段的锯丝外观

Fig.5 SEM images of wire in different processing time

(2) 走丝速度增大,工件进给速度降低,锯切材料的表面缺陷逐渐由以脆性破碎凹坑为主,转变为以材料微切削去除留下的塑性域剪切沟槽为主,此时表面上的破碎凹坑的数量、尺寸与深度已大大减小,加工表面的表面质量也比较高。

(3) 锯丝的主要失效机理为金刚石磨粒的脱落,并没有完全发挥金刚石磨粒的切削性能。脱落的磨粒在锯切过程中被挤压嵌入加工表面造成较大尺寸较深的凹坑,对材料表面和亚表面质量的损害更为严重。

参考文献

- [1] Pei Z J. A study on surface grinding of 300mm silicon wafers [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2002, 42(3): 385 - 393
- [2] Craig W H, Albert J S, Richard L L. Diamond wire machining of wood [J]. Forest Products Journal, 2004, 54(11): 50 - 55
- [3] 高玉飞,葛培琪,李绍杰. 往复式电镀金刚石线锯切割单晶硅片特性研究[J]. 人工晶体学报, 2009, 38(2): 372 - 377
- [4] 詹友基,黄辉,徐西鹏. 钎焊金刚石磨削石材过程中磨粒磨损状态研究[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2007, (5): 10 - 13
- [5] 王凤荣,陈哲,刘一波,等. 金刚石工具金属结合剂的磨损特性[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2007, (1): 13 - 17

作者简介

黄波,男,1973年生,副研究员,主要从事硬脆材料加工技术研究。

高玉飞,男,1981年生,博士,主要从事线锯加工技术与超硬磨料磨具制造研究。

E-mail: yfgao@sdu.edu.cn

(修回日期:2010-11-28)

(编辑:张慧)

3 结论

(1) 往复式电镀金刚石线锯锯切的硅片表面缺陷主要有较长较深的沟槽、较浅的断续划痕、材料脆性去除留下的表面破碎及个别较大较深的凹坑。