

基于径向锻造加工 EV 驱动电机轴的高速拉伸试验与断面分析

西川 祐贵, 矢野 文彬, 小野 卓男

特点描述

- ◆ 可以通过试验的速度（应变率）来评估金属材料的力学性能。
- ◆ 通过 HITS-TX，最高可进行 20 m/s 的高速拉伸试验。
- ◆ 根据 EPMA，对于有凹凸的断面，也可以直接进行元素分析。

■ 引言

径向锻造加工是中空轴的一种新的锻造加工方法，用于输送机、医疗、工具等各个领域。在径向锻造加工中，通过锤子（模具）从轴的径向施加力使其塑性变形时，同时插入芯块传递内部形状，可同时成型内径和外径¹⁾。加工后的中空轴由于强度高且重量轻，特别是作为输送机领域的下一代轴的制造方法而受到关注。考虑到它在这类输送机中的用途，需要评价冲击特性和力学特性对试验速度的依赖关系。在之前的报告中，从使用径向锻造加工品和加工前的对照试样中采集的试样进行了静态拉伸试验²⁾。本次，同样采集试样，使用高速冲击试验机 HITS-TX，力学性能对速度依赖关系进行了评价。此外，还使用电子探针显微分析仪 EPMA 对断裂后的试样进行了断面观察及元素分析。

■ 测定系统

高速拉伸试验使用了高速冲击试验机 HITS-TX（图 1）。本次使用的试验设备如表 1 所示。此外，试验示意图如图 2 所示。

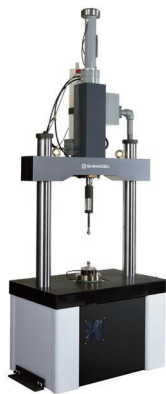


图 1 高速冲击试验机 HITS™-TX

表 1 试验设备

高速冲击试验机	: HITS-TX
称重传感器	: 10 kN
试验夹具	: 高速用平板夹具（销式夹齿）
位移计	: 夹盘位移计
动态应变仪	: DC-97A
软件	: 高速冲击试验机软件 TRAPEZIUM™ HITS

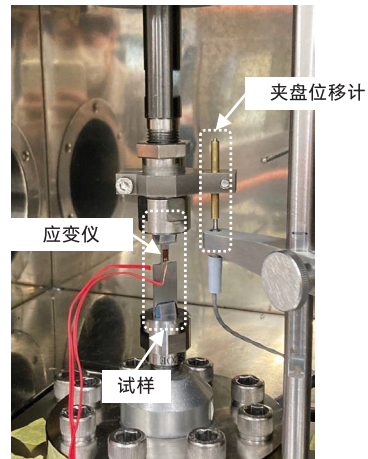


图 2 试验情形

■ 试样片信息和测定条件

试样是从径向锻造加工品和未加工（对照试样）两种产品中切割出来的。径向锻造加工品是相对于对照试样进行了锻造加工，其横截面积为未加工样品的 50%。试样从产品表面以下约 16 mm 处进行切割。试样切出位置的示意图如图 3 所示。试样的平行部双面粘贴了应变片。通过使用两侧应变片的测量值的平均值，这种测定方法可以降低试样的翘曲和试验设备同轴度的影响。试样形状如图 4 所示。

此外，为了评价径向锻造加工品及对照试样的力学性能的速度依赖性，将试验速度设定为 0.01、0.1、1 m/s 这 3 个条件。试样信息和试验条件如表 2 所示。

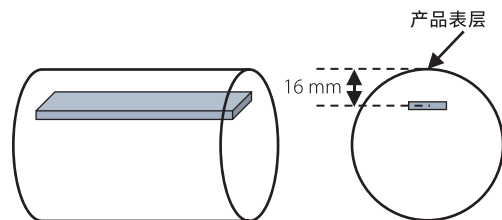


图 3 试样切出位置的示意图

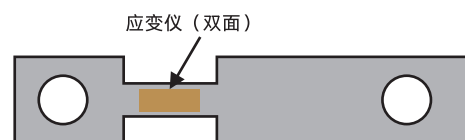


图 4 试样片形状

表 2 试验装置

试样尺寸	: t 1.5 mm, w 4 mm, 平行部长度 10 mm
试样种类	: 径向锻造加工品, 对照试样
试验数	: N = 3
试验速度	: 0.01、0.1、1 m/s (应变速度 1, 10, 100/s)

■ 测定结果

各试验速度下的径向锻造加工品如图 5 (a) 所示, 对照试样的应力 - 应变 (夹盘位移计) 曲线如图 5 (b) 所示。在径向锻造加工品和对照试样中, 表明随着试验速度的提高, 拉伸强度也得到提高。此外, 确认了通过径向锻造加工产生了明显的屈服点。

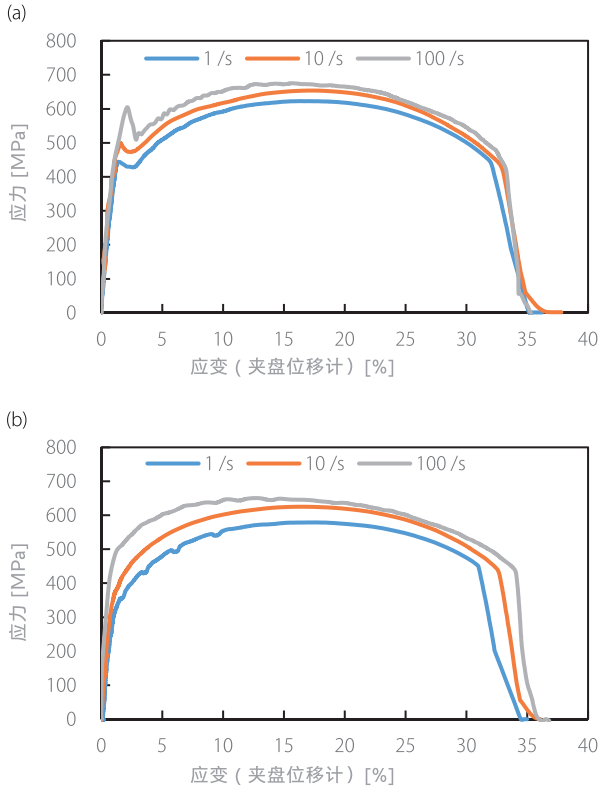


图 5 应力 - 应变 (夹盘位移计) 曲线
(a) 径向锻造加工品 (b) 对照试样

然后, 评价了弹性模量、屈服点 (径向锻造加工品) /0.2% 的屈服强度 (未加工的对照试样)、拉伸强度、断后伸长率对速度的依赖关系。弹性模量是从应力 - 应变 (应变仪) 曲线的线性区域计算出来的。从图 6 可以观察到, 弹性模量对速度依赖性很小。屈服点 /0.2% 的屈服强度对速度有依赖关系, 随着试验速度的提高有增高的趋势 (图 7)。从图 8 可以观察到, 拉伸强度也随着试验速度的提高而变高。随着速度的提高, 对断裂伸长率会有一些增加的趋势, 但也有可能在偏差的范围内, 对速度依赖性很小。

此外, 通过径向锻造加工的试样, 弹性模量提高了 10 GPa 左右。抗拉强度也提高了约 20 MPa。这与之前报告的静态试验结果趋势一致²⁾。

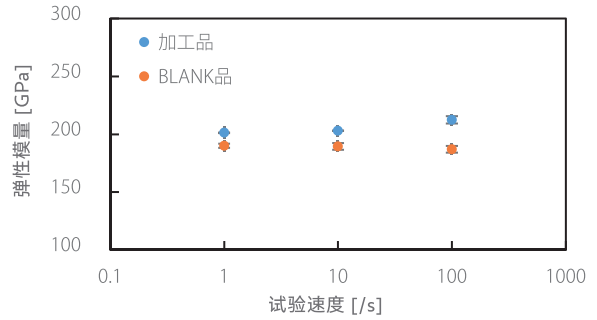


图 6 弹性模量和试验速度的关系

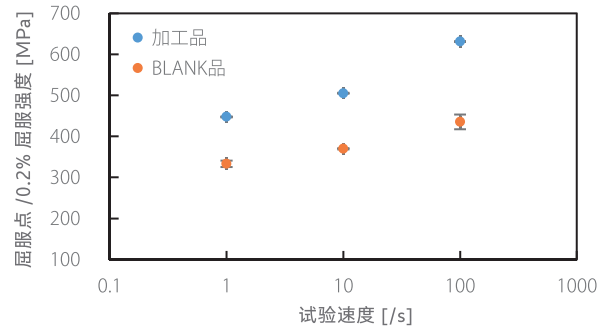


图 7 屈服点 /0.2% 屈服强度和试验速度的关系

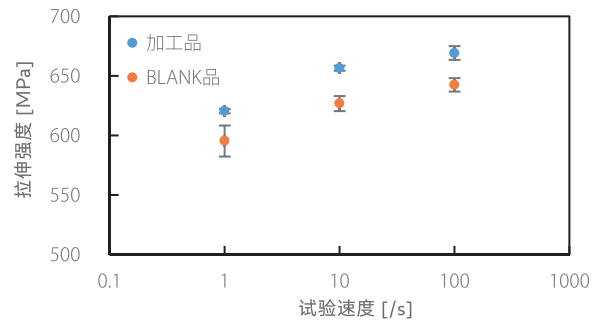


图 8 拉伸强度和试验速度的关系

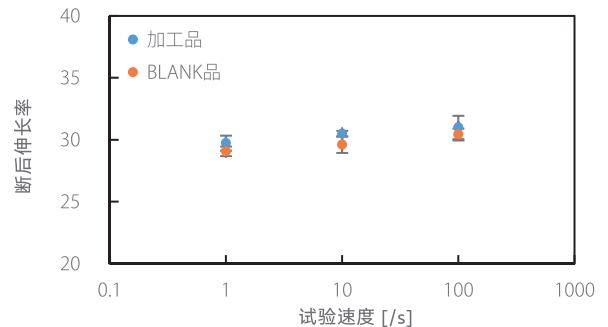


图 9 断后伸长率和试验速度的关系

■ 使用 EPMA 的断面观察和元素分析

使用 EPMA (图 10) 观察高速拉伸试验后的加工试样和未加工试样的断面。加工试样和未加工试样的各试验速度下的断面的二次电子像如图 11 所示。由于在各试验速度下的观察图像没有确认到大的差异,因此断裂模式可能没有大的差异。图 11 的试验速度 100/s 的图像内的框起来的部分的放大像如图 12 所示。在断面上观察到典型的韧性断裂韧窝形状。假设裂纹在孔洞和夹杂物处形核,向周围扩展并发生断裂,形成类似植物纤维组织的凹坑。而且,进行了图 12 的一部分元素分布像。从图 13 所示的试验后的加工品断面的分布像可知,作为夹杂物存在的主要是 MnS 和 Al_2O_3 。



图 10 电子探针显微分析仪 EPMA™ -8050G

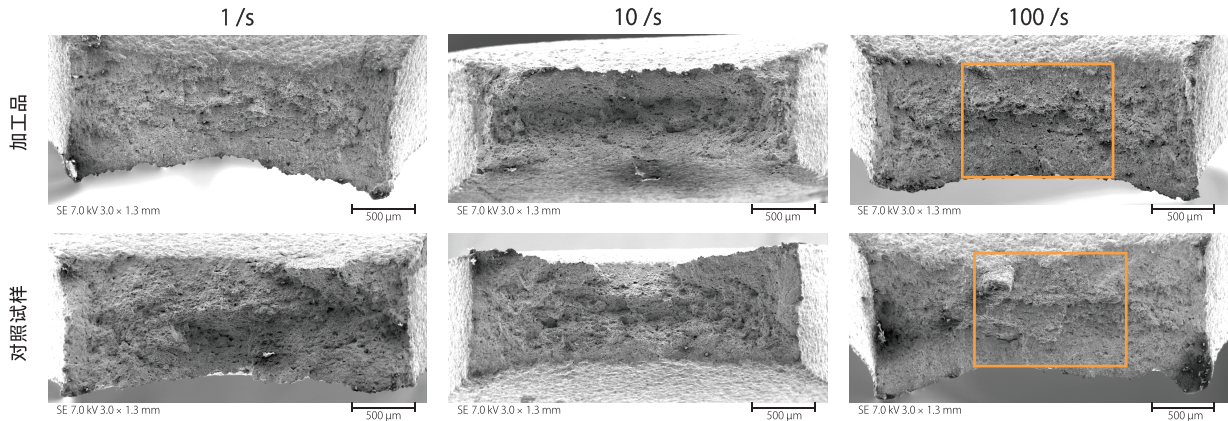


图 11 高速拉伸试验后的断面的二次电子像

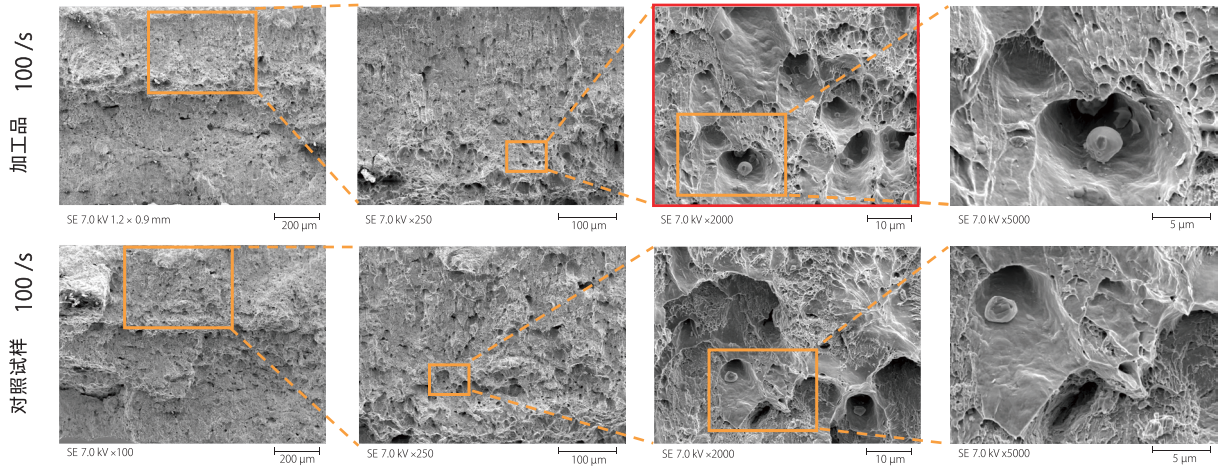


图 12 高速拉伸试验后 (100/s) 的断面的二次电子放大像

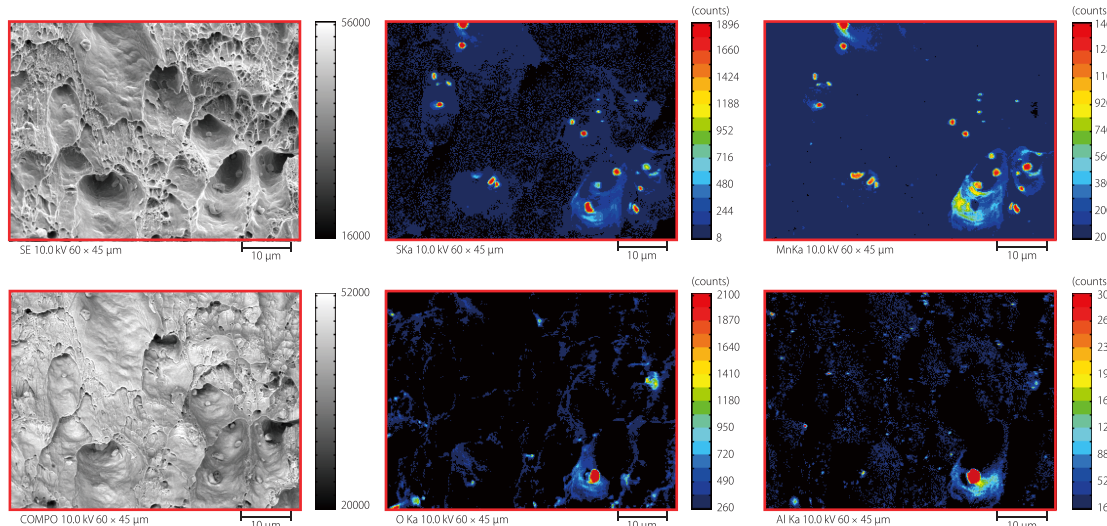


图 13 高速拉伸试验后 (加工品 100/s) 的断面的元素分布像

■ 结论

本文采用高速冲击试验机 HITS™ -TX，对径向锻造加工试样和未加工对照试样试样的力学性能对速度的依赖关系进行了评价。此外，还进行了电子探针显微分析仪 EPMA 的断面观察及元素分析。

高速拉伸试验结果表明，弹性模量和断裂伸长率受速度影响较小。另一方面，屈服点（径向锻造加工试样）/ 屈服强度（未加工对照试样）和抗拉强度随着试验速度的提高而得到提高。此外，通过径向锻造加工，确认了应力 - 应变曲线中出现屈服点，而且，弹性模量和抗拉强度也得到提高，与静态试验的结果有相同的趋势。

根据 EPMA 的断面观察结果，未发现试验速度不同的断面差异，观察到典型的韧性断裂的韧窝形状。同时，从元素分布像分析的结果表明，MnS 和 Al₂O₃ 等的夹杂物成为凹洞形状的起点。

通过使用本文介绍的测量系统，可以评价以径向锻造加工品为首的金属材料的力学性能对速度的依赖关系。

< 参考文献 >

- 1) 株式会社都筑製作所、シャフトの紹介、
<https://www.tsuzuki-mfg.co.jp/solution/2020/01/post-12.php>
- 2) ラジアルフォーミング加工による EV 用モーターシャフトの評価 - ラジアルフォーミング加工が静的引張特性に及ぼす影響 -
[Application News No.01-00440-JP](#)

< 相关应用 >

1. 径向锻造 EV 驱动电机轴的评估 - 硬度分布与元素分布之间的相关性确认 - [Application News No.01-00445-JP](#)
2. 基于径向锻造加工 EV 驱动电机轴的多角度评价 [Application News No.01-00506](#)
3. 基于径向锻造加工 EV 驱动电机轴的评价 - 基于 EPMA 的元素分布像分析 - [Application News No.01-00513](#)

岛津应用云



HITS, EPMA 及 TRAPEZIUM 是岛津制作所株式会社或其相关公司在日本及其他国家 / 地区的商标。



岛津企业管理（中国）有限公司
岛津（香港）有限公司

<http://www.shimadzu.com.cn>

用户服务热线电话： 800-810-0439
400-650-0439

免责声明：

* 本资料未经许可不得擅自修改、转载、销售；
* 本资料中的所有信息仅供参考，不予任何保证。
如有变动，恕不另行通知。

第一版发行日：2023 年 8 月