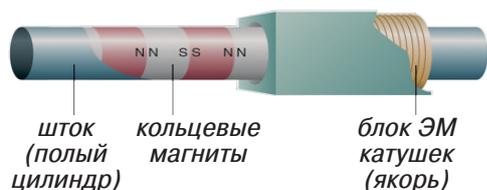


ПЛАНАРНЫЕ И ШТОКОВЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Штоковые ЛД

Shaft Linear - штоковые (цилиндрические) линейные двигатели (ЛД) в ЭИ станках



Первый показ ЭИ станка со штоковыми линейными двигателями - JIMTOF-2009

Штоковые ЛД производятся рядом компаний.

Например, японской **JMC Hillstone** совместно с Nippon Pulse Company (NPC). **Производство - с 2005 г.** Другие изготовители штоковых ЛД: LinMot, PBA Systems, Orientalmotor, Parker, Ametek, Delta и т.д.

Помимо названия shaft linear motor (штоковые ЛД) такие двигатели известны как “трубчатые” и “цилиндрические”.

Штоковые ЛД разрабатывались для замены пневмо-, гидро- и ШВП-приводов в роботах-манипуляторах, штабелеукладчиках, сборочных платформах, а также мед- и спецоборудовании. Проволочные электроэлектронные станки - первое известное применение штоковых ЛД в станках вообще.

Штоковые ЛД имеют бессердечниковые катушки и, как результат, недостаточную тягу. Такими **ЛД можно оснащать лишь малые и средние модели ЭИ вырезных станков.** Для прошивных станков такие двигатели непригодны - **штоковый ЛД попросту не поднимет тяжелый электрод!**

Главное достоинство штоковых ЛД:

Штоковые ЛД легко встроить на место ШВП-привода в существующие устройства (станки).

Но это, по сути, единственное достоинство!

Главные недостатки:

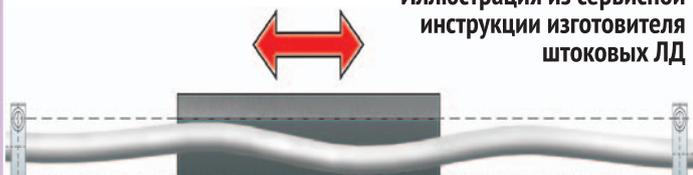
дефицит тяги (ЭМ катушки - бессердечниковые!);

проблемы с теплоотводом (его отсутствие!);

разнонаправленные биения магнитного штока и динамическая асимметрия зазора (вектор тяги пляшет хаотично от направления подачи!);

хлипкая конструкция (шток крепится лишь на концах внатяг и периодически требует перенатяжений).

Иллюстрация из сервисной инструкции изготовителя штоковых ЛД



Из-за продольных волн и разнородности параметров магнитов и их частей шток при движении “выплясывает твисты”

Sodick

Разработка электроискровых (ЭИ) станков с линейными двигателями (ЛД) с 1990 г.



Серийное производство стартовало в 1998 г.

До 2000 г. производились лишь электроискровые прошивные станки с линейными двигателями (ЛД) только по оси Z. С 2000 г. появились электроискровые (ЭИ) проволочно-вырезные станки с ЛД по осям XY и прошивные с ЛД по осям XYZ.

С 2001 г. станки оснащаются ЛД по всем осям:

ЭИ координатно-прошивные - по осям XY и Z
ЭИ проволочно-вырезные - по осям XY и UV

Линейные двигатели Sodick - собственная разработка компании, а также и собственное производство Sodick - вплоть до редкоземельных Ne-Fe-B магнитов.

Линейные двигатели Sodick - это плоские панели постоянных магнитов и блоки электромагнитных (ЭМ) катушек, между которыми постоянный зазор = 0,4 мм. Двигатели устанавливаются параллельно плоскости перемещений. Условно их можно назвать “плоско-параллельными”, однако более распространен термин **планарные линейные двигатели.**

Главные достоинства планарных ЛД Sodick:

большая мощность и тяга благодаря сердечниковым ЭМ катушкам;

идеальный теплоотвод - блок электромагнитных катушек крепится всей плоскостью на массивные элементы конструкции с высокой теплопроводностью;

Неизменный **константный зазор = 0,4 мм;**

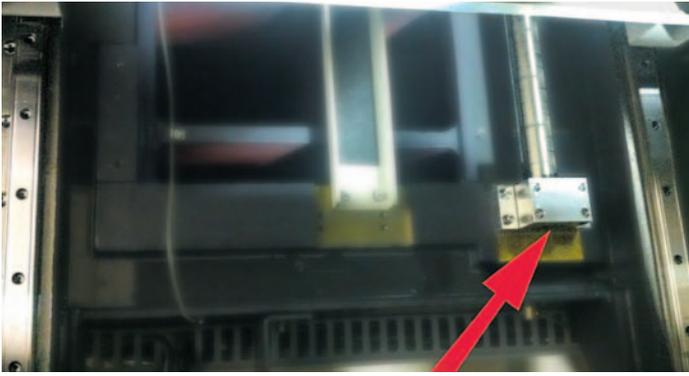
высочайшая динамическая точность в течение всей эксплуатации (**вектор тяги максимально совпадает с направлением подачи**);

надежность и долговечность, подтверждаемые двумя с лишним десятилетиями успешной эксплуатации;

особо **жесткая конструкция.**

Недостаток:

планарный ЛД нельзя встроить в обычный станок “под ШВП”; такие ЛД создаются “индивидуально” для станков, которые, в свою очередь, разрабатываются под эти ЛД и соответствующие им нагрузки.



Штоковый ЛД встраивается в станок на место ШВП. Тонкий магнитный шток толщиной чуть больше пальца легко деформируется, возникают разнонаправленные боковые биения, фатально влияющие на точность станка. Причин “гуляния” по меньшей мере две:

- 1) продольные волны, вызываемые силами сжатия и растяжения, которые порождаются неоднородностью плотности магнитных полей ЛД;
- 2) отклонения параметров отдельных магнитов на штоке, а также разнородность параметров разных частей одного магнита - двух одинаковых магнитов не бывает!

“Твисты” магнитного штока рожают переменные разнонаправленные боковые нагрузки на направляющие. Направляющие рассчитаны на вертикальные нагрузки, но быстро изнашиваются и теряют точность, если нагрузки боковые. Чтобы тонкий магнитный шток меньше гулял, изготовители штоковых ЛД предписывают крепить магнитный шток клиньями внатяг (!) в опоры на станине.

Насколько хватает такого натяга? Как часто придется “перенатягивать” шток уже в рабочем станке?

Опасность хаотичных плясок и твистов штока возрастает многократно, когда частота таких колебаний совпадает с собственной резонансной частотой конструкции... В любом станке имеется множество резонансных областей, которые зависят от физических характеристик и от изменений температуры. Ситуаций предостаточно!

Штоковые ЛД бессердечниковые и демонстрируют **хронический дефицит тяги**. Известно, что сердечниковая ЭМ катушка создает магнитное поле на порядки ($\approx \times 1000$) сильнее, чем генерирует бессердечниковая. Правда, коэффициент использования магнитного поля в штоковых ЛД несколько выше (благодаря кольцевым магнитам и трубчатой конструкции) - примерно в 2 раза. Но это лишь незначительно компенсирует потери от отсутствия сердечников. Именно из-за недостатка тяги штоковые ЛД не ставят в прошивные станки и большие проволочно-вырезные. Дефицит тяги порождает проблемы с плавностью на малых приращениях, когда отрабатываются подачи с микронной дискретностью. Здесь штоковый ЛД ведет себя, как трогаящийся рывками маломощный перегруженный грузовик!



Компания Sodick начала разработку линейных двигателей в начале 90-х в обстановке секретности. У компании уже был печальный опыт “заимствования”.

Разработчики перепроверили и испытали на стендах множество схем ЛД. Тестировались и конструкции с кольцевыми магнитами, как в новомодных штоково-цилиндрических ЛД. Все было забраковано, и только планарная (плоско-параллельная) схема ЛД оказалась идеальной для станков. Но с одной оговоркой: под приводы с планарными линейными двигателями необходимо заново создавать весь станок. По сути,

линейный станок Sodick с планарными ЛД - единая мехатронная система.

Машина, создаваемая заново, - это большие затраты, но... **дешево хорошо не бывает!** Это подтверждает опыт других станкостроительных компаний: практически все станки с ЛД (не электроискровые) ведущих мировых изготовителей используют планарные ЛД - другой проверенной временем альтернативы нет!

Сила взаимного притяжения между панелью постоянных магнитов и блоком электромагнитных катушек примерно в 6 раз больше той тяги, которая создается при работе ЛД в направлении подачи. Однако, если станок изначально конструируется для установки такого ЛД, проблема решается сама собой: жесткость литых конструкций значительно выше тех сил, которые возникают при работе ЛД, а нагрузка приходится на направляющие, которые на эти нагрузки как раз и рассчитаны. Нагрузки на направляющие - только вертикальные или в направлении, перпендикулярном плоскости ЛД. **Боковые нагрузки при работе планарных ЛД отсутствуют.** И это гарантирует сохранение первоначальной точности позиционирования по крайней мере на 15-20 лет.

В линейных станках Sodick используются сердечниковые ЛД. **Магнитные сердечники усиливают магнитные поля и тягу на порядки.** Бессердечниковые ЛД применяются лишь для нано-прецизионных станков, но по два и более на одну ось.