



Борис Крамаренко,

кандидат технічних наук, директор «МІКРОТЕХ»

№ 04 / 2021, жовтень / **Вимірювання та випробування**

Комп'ютерний штангенциркуль: нові можливості засобу

Українські розробники штангенциркулів отримали близько 70 патентів, значна кількість з яких пішла у серійне виробництво для підприємств України та на експорт

Штангенциркулі та мікрометри – найбільш поширені з ручних геометричних засобів виміральної техніки (*далі – РГ ЗВТ*), що пояснює зацікавлення ними.

Розглянемо сучасні напрями удосконалення штангенциркулів з метою зменшення похибки та підвищення достовірності вимірювань.

Історична ретроспектива

Протягом трьох промислових революцій РГ ЗВТ завжди були на других ролях щодо застосування з металообробними верстатами.

Перший металообробний верстат був створений у 1797 році, тоді як перші аналогові штангенциркулі та мікрометри почали впроваджувати лише через 40–50 років.

Верстат із числовим програмним керуванням було розроблено у 1952 р., а перші цифрові електронні штангенциркулі та мікрометри – тільки через 30 років.

У період Третьої промислової революції паспортна точність метало-обробних верстатів (NC та CNC) суттєво покращилась завдяки використанню фотоелектричних лінійних шкал та адаптивних систем технологічного контролю, тоді як похибки РГ ЗВТ за міжнародними стандартами DIN862 та DIN863-1 залишалися незмінними.

З початком Четвертої промислової революції (2011 р.) загострилася загальна диспропорція між можливостями верстатного CNC-устаткування та застарілими вже на той час РГ ЗВТ.

Шляхи удосконалення штангенінструменту

Традиційні штангенциркулі завжди вважалися доволі грубими вимірювачами, які за точністю поступалися традиційним мікрометрам.

Похибка штангенциркулів за стандартом DIN862 у діапазоні 0–150 мм дорівнює 30 мкм у порівнянні з похибками 4–6 мкм для відповідних мікрометрів.

Така різниця пов'язана з певними чинниками, а саме:

- завищеними значеннями цін поділок та дискретностей (0,01–0,1 мм) для відлікових пристроїв традиційних штангенциркулів у порівнянні з цінами похибок та дискретностями (0,001–0,01) для відлікових пристроїв традиційних мікрометрів;
- відсутністю у традиційних штангенциркулях будь-яких пристроїв тарованих зусиль за наявності тарованих тріскачок або фрикціонів у мікрометричних голівках;
- діапазони вимірювань штангенциркулів на порядки більші ніж діапазони вимірювань мікрометрів.

Штангенциркулі використовують у 3–5 рази частіше ніж мікрометри, при цьому 95% РГ ЗВТ призначено для вимірювання розмірів до 300 мм, переважна більшість яких – у межах 150 мм.

Для запобігання негативного впливу температурних подовжень-скорочень на РГ ЗВТ метрологи використовують такі підходи:

- обмежують робочі температури діапазоном 18–22° (що дуже складно або неможливо забезпечити в цехових умовах, коли необхідно в короткий проміжок часу контролювати теплу деталь із верстата або холодну деталь – після міжцехового транспортування та зберігання);
- збільшують до кількох годин термін витримки вимірюваної деталі та РГ ЗВТ (що критично збільшує трудовитрати та ефективно за однакових температурних коефіцієнтів лінійного розширення (ТКЛР), цей підхід неможливо використовувати у разі застосування електронних РГ ЗВТ з обмідненими склопластиковими вимірювальними шкалами).

Відсутність у мікрометрів та штангенциркулів компенсації температурних подовжень-скорочень катастрофічно спотворює результати вимірювань стосовно паспортних показників.

Викривлення результатів мікрометрів і штангенциркулів:

- за стандартом DIN862 похибка штангенциркулів діапазонів 0–150 мм та 0–300 мм дорівнює 30 мкм
- за стандартом DIN863-1 похибка для комплекту з шести одиниць мікрометрів у діапазоні 0–150 мм дорівнює 4–6 мкм, похибка для комплекту з шести одиниць мікрометрів у діапазоні 150–300 мм дорівнює 7–9 мкм
- температурні подовження-скорочення вимірюваних деталей розміром 150 та 300 мм у діапазоні температур 15–25°С одного порядку з похибкою штангенциркулів за стандартом DIN862
- температурні подовження-скорочення вимірюваних сталевих та алюмінієвих деталей у 1,7–3,8 раза більші ніж паспортні похибки мікрометрів

Навіть за нормальної температури (20°С) традиційні штангенциркулі мають на порядок більшу похибку ніж мікрометри, оскільки їхні дискретності відрізняються на порядок, окрім того, у традиційних штангенциркулів відсутні таровані пристрої.

Після появи цифрових електронних штангенциркулів їхнім удосконаленням активно займалися фахівці-розробники з усього світу, поміж яких найбільшу кількість патентів стосовно РГ ЗВТ отримали розробники японської компанії Mitutoyo.

Міжнародні та вітчизняні новації

Останнє десятиріччя японські фахівці найбільшу увагу приділили удосконаленню штангенциркулів в аспекті створення пристроїв тарованого зусилля (з використанням електронних, електромеханічних, храпових механізмів, фрикційних та інших принципів), проте жодний із них не здобув використання на практиці.

З 2015 р. ініціатива з удосконалення штангенінструменту перейшла до українських розробників, які отримали близько 70 патентів, значна кількість з яких пішла у серійне виробництво для підприємств України та на експорт, зокрема:

- штангенциркулі комп'ютерні Tablet – з вбудованим мінікомп'ютером, двостороннім зв'язком із зовнішніми ПК та смартфонами (патенти US № 10184772, WO № 2016/124993, UA № 99687, UA № 124514);
- штангенциркулі комп'ютерні Intelligent – із вбудованим мікрокомп'ютером та сенсорним дисплеєм, математичною компенсацією похибки та температурних подовжень, голосовими повідомленнями 15 мовами та відтермінованим зв'язком (патенти UA № 128692, UA № 103318, UA № 126928);
- штангенциркулі таровані з оптичною або тактильною індикацією зусилля, односторонніми або двосторонніми спіральними пружинами або пневмопатронами постійного зусилля (патенти UA № 100613, UA № 146381, UA № 148138, UA № 202105429, US № 10429165, WO № 2016/124991, UA № 104879);
- штангенциркулі таровані з тензоелектричним сенсором, електронним регулюванням вимірювального зусилля 1–20Н (патент UA № 147949);
- штангенциркулі подовжені з використанням рейкових напрямних та кареток катання із рухомою рамкою з косоурами губок, фланцевими подовжувачами штанги (патенти UA № 111194, UA № 110139, UA № 108362, UA № 108044);
- штангенциркулі з вузлом поточного змащення штанги та рухомої рамки ковзання (патент UA № 121314);
- штангенциркуль-клямра з двома рухомими штангами (патенти UA № 96949, UA № 142523);
- штангенциркулі плиткові з поворотними вимірювальними кутниками на шарнірах і автоматичним обчисленням статистичних показників (патент UA № 142056).

У 2011 році були створені можливості революційного удосконалення штангенінструменту.

Перехід на мікронну дискретність інкрементних шкал в штангенциркулях типу S Cal Evo від Sylvac (Швейцарія) дав можливість зменшити похибку вимірювань до 15 мкм у діапазоні 0–150 мм (удвічі краще ніж у DIN862) за обмежених робочих температур 15–25 °С .

Використання пружного пристрою тарованого зусилля на 8Н в українських штангенциркулях типу ШЦЦПУ дало змогу зменшити похибку до 10 мкм у діапазоні 0–150 мм (утричі краще ніж у DIN862) за обмежених робочих температур 18–20 °С.

Використання пружного пристрою тарованого зусилля на 8Н в поєднанні з мікронними шкалами в українських штангенциркулях типу ШЦЦПМ дало можливість зменшити похибку до 5 мкм у діапазоні 0–150 мм за обмежених робочих температур 18–20 °С.

Застосування шкал із мікронною дискретністю разом із пружним пристроєм тарованого зусилля на 8Н у комп'ютерних штангенциркулях типу ШЦЦКМ дало можливість зменшити похибку до 5 мкм у діапазоні 0–150 мм (у шість разів краще ніж у DIN862):

- **за обмежених** робочих температур 19–20 °С ;
- **за розширених** робочих температур 5–35 °С .

Комп'ютерні штангенциркулі серії ШЦЦКМ

Українські комп'ютерні штангенциркулі серії ШЦЦКМ найбільше гарантують достовірність результатів вимірювань для чотирьох груп деталей з різними ТКЛР:

- **тверді сплави** – ТКЛР 5,5 мкм/м_хград;
- **сплави заліза** – ТКЛР 11,5 мкм/м_хград;
- **сплави міді** – ТКЛР 17 мкм/м_хград;
- **сплави алюмінію** – ТКЛР 23 мкм/м_хград.

Доволі показовим є порівняння кращих сучасних штангенциркулів із комплектом сучасних аналогових мікрометрів (серія 40А від провідного німецького виробника).

Показники порівняння	Штангенциркуль мікронний цифровий тарований ШЦЦПМ-150 (Україна)	Штангенциркуль мікронний комп'ютерний тарований ШЦЦКМ-150 (Україна)	Комплект мікрометрів серії 40А за DIN863-1 (Німеччина)
1	2	3	4
Діапазон вимірювань, мм	0–150	0–150	0–150
Дискретність вимірювань, мкм	1	1	10
Кількість необхідних ЗВТ для забезпечення діапазону 0–150 мм	1	1	шість /0–25/ 25–50/50–75/ 75–100/100–125/ 125–150/
Похибки вимірювань, мкм	5	5	4/4/5/5/6/6
Робочі температури для отримання паспортних похибок вимірювань, °С	19–21	5–35	19–21
Математична компенсація похибки	ні	так	ні
Температурна компенсація	ні	так	ні
Врахування ТКЛР матеріалу деталі	ні	так, для 4 груп	ні
Функції «Так/Ні», «Мін/Макс»	ні	так	ні
1	2	3	4
Бездротовий зв'язок	так, 10 м	так, 50 м	ні
Пам'ять	ні	так	ні
Ціна вимірювача, євро	259	399	понад 1000
Витрати на щорічне калібрування, євро	7	7	90 (для 6 мікрометрів та 5 установчих мір)
Відповідність стандартам DIN	у 6 разів краще ніж у DIN862	у 6 разів краще ніж у DIN862	відповідає DIN863-1

Порівняння можливостей сучасних штангенциркулів

Кожний із двох зазначених мікронних тарованих штангенциркулів успішно можуть замінити шість стандартизованих аналогових мікрометрів, при цьому економія становить 75–82%.

Комп'ютерний штангенциркуль серії ШЦЦКМ забезпечує похибку 5 мкм у розширеному діапазоні робочих температур 5–35°С на відміну від звуженого діапазону робочих температур у 19–21°С для комплексу з шести стандартизованих мікрометрів.

Інноваційні українські штангенциркулі експортуються в:

- Японію
- США
- Сингапур
- Корею
- Китай
- Німеччину
- Чехію
- Італію тощо

У жовтні 2021 року комп'ютерні штангенциркулі серії ШЦЦКМ на міжнародній виставці Control-Stom-2021 (Кельце, Польща) відзначені головним призом за впровадження інновацій системи Industry 4.0.
