



Тематичний напрям № 4

Сільськогосподарська техніка нового покоління: автоматизація, роботизація та цифровізація процесів

УДК К 23.073.02

ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ СИСТЕМИ «ВЕРСТАТ - ІНСТРУМЕНТ - ДЕТАЛЬ» RESEARCH ON THE RIGIDITY OF THE «MACHINE TOOL - PART - SYSTEM»

Ярослав Батурін, Максим Ресляр

*Миколаївський національний аграрний університет
Миколаїв, Україна*

Ефективність оптимального режиму обкатування безпосередньо залежить від технічних можливостей верстатного парку, зокрема від здатності обладнання генерувати та стабілізувати необхідне робоче зусилля. При використанні однороликкових пристроїв усе навантаження припадає на вузли верстата, що обмежує застосування методу параметрами конкретної моделі обладнання. Ключовим фактором тут є стабільність жорсткості системи СІД (верстат–інструмент–деталь). Дослідження показують, що суттєву загрозу становить не низька жорсткість як така, а її суттєві коливання під час роботи.

Наприклад, при обробці валів на токарних верстатах жорсткість може знижуватися на 40–60% (а в окремих випадках — до 4 разів) залежно від положення супорта відносно бабок. Схожа тенденція спостерігається і на розточувальних верстатах, де збільшення вильоту шпинделя втричі спричиняє падіння жорсткості у 3,5–4 рази. Така нестабільність пояснюється визначальною роллю стиків у деформації вузлів, тоді як пружна деформація самих деталей становить лише незначну частку загального зміщення. Експериментальні дані підтверджують, що на початку розвантаження система демонструє надвисоку жорсткість (сотні кН/мм), яка забезпечується пружністю деталей до моменту включення в роботу контактних стиків.

Під час обкатування похибки (ексцентриситет деталі, радіальне биття роликів) спричиняють коливальний режим навантаження-розвантаження поблизу максимальних значень. На рис. 1 (крива 1) представлено результати моделювання цього процесу на верстаті з висотою центрів 286 мм (шість циклів у діапазоні 8,5–10,5 кН). Отриманий графік підтверджує, що жорсткість системи при цьому зберігається на високому рівні, що відповідає розвантажувальній гілці кривої $P=f(y)$. Для забезпечення стабільного зусилля в межах допусків до конструкції пристроїв обкатування впроваджують пружні елементи зі зниженою жорсткістю.

Одним із радикальних методів стабілізації процесу є виключення поперечної жорсткості верстата із загального балансу жорсткості технологічної системи. У промисловості цей підхід реалізується через використання багатороликкових охоплюючих пристроїв для обробки валів. Аналогічно, розкатування довгих отворів стає можливим лише завдяки застосуванню багатороликкових головок із урівноваженим радіальним зусиллям. При цьому під час обробки тонкостінних деталей необхідно обов'язково враховувати їхню власну жорсткість.

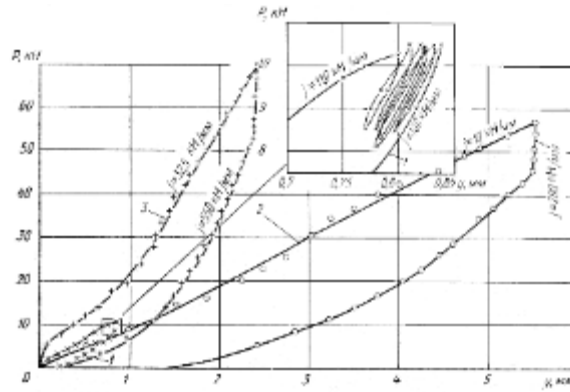


Рис. 1. Залежність віджимання супорта токарного верстата від радіального зусилля при висоті центрів: 1 - 286 мм; 2 - 500 мм; 3 - 1250 мм

Аналіз жорсткості системи «інструмент - деталь» проведено на прикладі розкатування втулок. У процесі розрахунку втулку представлено як тонку циліндричну оболонку з шарнірним спиранням на кінцях. Радіальні складові зусилля вважаються рівномірно розподіленими по колу в точках контакту роликів і прикладеними в середньому перетині. Подібна модель описана у праці П. П. Бейларда, де диференціальні рівняння оболонки розв'язуються шляхом розкладання навантажень і переміщень у подвійні ряди Фур'є.

Слід зауважити, що шарнірне кріплення кінців із нескінченною радіальною жорсткістю є певною мірою умовним, оскільки воно не повністю моделює реальні умови кріплення втулок поблизу їхніх торців. З точки зору практики, найбільш значущими є показники прогину на достатній відстані від країв оболонки при високих значеннях параметрів.

На основі отриманих даних про деформації та прикладені зусилля було розраховано жорсткість втулок. Результати зміни цього параметра залежно від довжини заготовок із різною товщиною стінок відображено на рис. 2. Аналіз графіків свідчить, що при двороліковій схемі розкатування жорсткість біля торця приблизно вчетверо нижча, ніж на глибині, що дорівнює діаметру виробу. При цьому спостерігається поступове зростання жорсткості в міру віддалення від краю. Збільшення кількості точок контакту до 4 або 8 дозволяє скоротити перепад жорсткості до триразового та значно наблизити зону її стабілізації до торця. Важливо зазначити повний збіг експериментальних значень жорсткості на глибині одного діаметра з теоретичними розрахунками для відповідних параметрів γ та кількості зусиль.

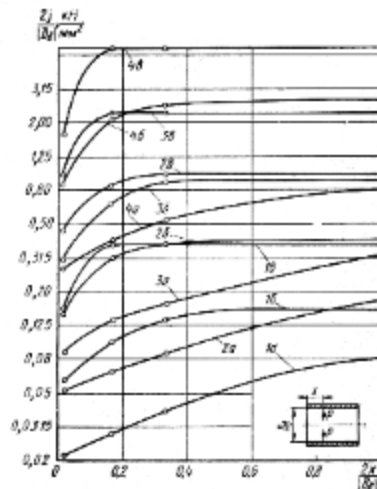


Рис. 2. Жорсткість втулок поблизу торців, навантажених двома (а), чотирма (б) і вісьма зусиллями при $\gamma = 30$ (1), 20 (2), 15 (3), 10 (4)

Для стабілізації робочого зусилля обкатування необхідно знизити жорсткість технологічної системи, що досягається впровадженням пружних елементів у конструкцію інструменту. Прогин пружної частини корпусу на одиницю її ширини обумовлюється його геометричними параметрами: корпуси подібної форми та однакової ширини генерують ідентичні зусилля при однакових деформаціях. Суттєвим недоліком планетарних багатороликових пристроїв є їхня висока радіальна жорсткість, через яку якість обробки критично залежить навіть від незначних коливань натягу. Попри переваги роликів із прямолінійною твірною перед кульковими головками, необхідність суворого дотримання вузьких допусків при підготовці деталей обмежує використання таких інструментів для виробів великого діаметру. Отже, розробка головок зниженої радіальної жорсткості з прямолінійним профілем роликів є актуальною задачею, вирішення якої дозволить розширити номенклатуру деталей для обробки. Комплексні дослідження підтвердили, що стабілізація зусилля та локалізація деформації у поверхневому шарі (з урахуванням жорсткості системи СІД) забезпечують оптимальні режими зміцнення.

Список використаної літератури

1. Зубехіна-Хайят О. В. Моделювання процесу обкатування різьб і черв'яків роликами. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2017. Вип. 4. С. 194-201. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/3408>.
2. Марченко Д. Д., Зубехіна-Хайят О. В. Дослідження жорсткості системи верстат-інструмент-деталь при ремонті деталей методом поверхневого пластичного деформування. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. № 192. Проблеми надійності машин. С. 99-109. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/5318>.
3. Дослідження і розробка технології зміцнення канатних блоків обкатування роликами / О. В. Диха, Д. Д. Марченко, В. О. Артюх та ін. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2018. Т. 2. № 1 (92). С. 1-11. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/3171>.
4. Zubiekhina-Khaiiat A. V. Mathematical modeling of the process of rolling body rolls with needed rollers. *Problems of tribology*. 2019. Vol. 93, no. 3. P. 45-50. URL: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2019-93-3-45-50>.
5. Пат. 54685 Україна, МПК6 В24В 39/00. Пристрій для ударного чистового розкатування отворів / Б.І. Бутаков, В. О. Артюх, О. В. Зубехіна. № u201003962 ; заявл. 06.04.2010 ; опубл. 25.11.2010. Бюл. №22. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/255082/>.

Науковий керівник: О. В. Зубехіна-Хайят, асистент
Миколаївський національний аграрний університет