УДК 621.787.4:621.9.048

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОГО ФОРМУВАННЯ ЗАДАНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ

В. Димура, група ГМ-24М-3
О. Лисенко, кандидат технічних наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет

У сучасному машинобудуванні якість деталей машин розглядається не лише як відповідність геометричних параметрів заданим допускам, а як комплексна характеристика, що охоплює точність форми і розмірів, мікрогеометрію поверхні, фізико-механічний стан поверхневого шару, залишкові напруження, ступінь зміцнення та експлуатаційну стійкість. Саме поверхневий шар деталей у більшості випадків сприймає основні контактні, циклічні, температурні та корозійні навантаження, тому його стан значною мірою визначає довговічність, надійність і працездатність машин та механізмів.

Особливого значення набувають фінішні технологічні операції, під час яких остаточно формується якість робочих поверхонь деталей. Одним із ефективних способів покращення експлуатаційних властивостей є поверхнево-пластична деформація (ППД), зокрема накочування та вигладжування, які забезпечують згладжування мікронерівностей, зміцнення поверхневого шару, формування сприятливих залишкових напружень стиску та підвищення зносостійкості деталей [1; 2].

Разом із тим традиційні методи ППД не завжди забезпечують стабільне формування заданих параметрів поверхневого шару, особливо за умов обробки деталей із підвищеною початковою шорсткістю, складними умовами контакту або змінними характеристиками матеріалу. Ефективність процесів накочування і вигладжування значною мірою залежить від коректного вибору контактних умов, сили деформування, кінематики інструмента, властивостей матеріалу та початкового стану поверхні [1; 3; 4].

Перспективним напрямом є застосування пружного накатного інструменту із системою керування процесом обробки, що дозволяє регулювати силову взаємодію деформуючого елемента з поверхнею деталі [5, 6]. Такий підхід створює передумови для більш рівномірного формування наклепу за поверхнею і глибиною металу, підвищення стабільності якості обробки та забезпечення заданих параметрів зміцненого поверхневого шару. Доцільність керування параметрами ППД підтверджується роботами, у яких розглядаються чисельне моделювання контактної зони, вплив вихідної структури матеріалу на результати зміцнення, а також можливості вигладжування для зменшення поверхневих дефектів [1; 2; 4].

Поверхнево-пластична деформація належить до ефективних методів фінішної зміцнювально-оздоблювальної обробки. Її сутність полягає у пластичному деформуванні мікронерівностей поверхні без зняття стружки. У результаті відбувається перерозподіл матеріалу в поверхневому шарі, зменшення висоти нерівностей, ущільнення структури, підвищення мікротвердості та утворення залишкових напружень стиску, які позитивно впливають на опір утомному руйнуванню.

Ефективність ППД значною мірою залежить від стабільності силової взаємодії інструмента з деталлю. Якщо навантаження є недостатнім, поверхневий шар не отримує необхідного ступеня зміцнення. Якщо ж навантаження надмірне, можливе погіршення мікрогеометрії, виникнення дефектів, перенаклеп або локальне пошкодження поверхні. Тому важливо забезпечити керованість процесу деформування та можливість підтримання оптимальних параметрів контакту.

Розглядається підхід, за якого накатний інструмент виконується з пружною державкою та системою регулювання взаємодії робочого деформуючого елемента з деталлю. Така конструкція дозволяє компенсувати відхилення форми, нерівномірність припуску, зміну початкової шорсткості та коливання силових параметрів у зоні контакту. Завдяки цьому

створюються умови для стабільнішого формування зміцненого шару з прогнозованими властивостями.

Важливим аспектом є визначення параметрів контактної зони між деформуючим елементом і поверхнею деталі. До таких параметрів належать площа контакту, контактні напруження, глибина пластичного деформування, радіус робочого елемента, величина подачі, сила притискання та жорсткість пружної системи інструмента. Їх раціональне поєднання дає змогу досягти необхідного рівня шорсткості, мікротвердості та рівномірності наклепу.

Застосування керованого пружного накатного інструменту є особливо доцільним під час обробки деталей обертання, робочі поверхні яких повинні мати підвищену зносостійкість, контактну витривалість і стабільні параметри якості. До таких деталей можна віднести вали, осі, втулки, цапфи, ролики, посадкові поверхні та інші елементи машин, що працюють в умовах тертя, циклічного навантаження або контактної взаємодії.

Запропонований підхід дозволяє не лише покращити якість поверхні, а й розширити технологічні можливості ППД. Зокрема, обробка може виконуватися для поверхонь із відносно високою початковою шорсткістю, при цьому забезпечується формування поверхневого шару з регульованими параметрами зміцнення. Це підвищує універсальність методу та створює передумови для його практичного впровадження у виробничі процеси.

Запропоновані технологічні рішення можуть бути використані під час фінішної обробки деталей обертання у машинобудівному виробництві, зокрема для підвищення їх зносостійкості, надійності та ресурсу роботи.

Висновки. Забезпечення надійного формування заданих параметрів поверхневого шару деталей є важливою умовою підвищення довговічності та працездатності машин. Поверхнево-пластична деформація дає змогу ефективно покращувати якість робочих поверхонь без зняття матеріалу, однак традиційні методи ППД потребують удосконалення з погляду стабільності та керованості процесу.

Перспективним напрямом є використання пружного накатного інструменту із системою керування силовою взаємодією деформуючого елемента з деталлю. Такий підхід дозволяє забезпечити більш рівномірне зміцнення поверхневого шару, підвищити фізико-механічні властивості оброблюваної поверхні та розширити технологічні можливості процесу ППД.

Отже, розроблення методики створення керованого накатного інструменту є актуальним завданням, спрямованим на підвищення якості, надійності та експлуатаційної стійкості деталей машин.

Список літератури

1. Becerra-Becerra E., Aguilera Ojeda C. O., Saldaña-Robles A., Reveles-Arredondo J. F., Barco-Burgos J., Vidal-Lesso A. A review of numerical simulation of ball burnishing process. Finite Elements in Analysis and Design. 2023. Vol. 218. Article 103926. DOI: https://doi.org/10.1016/j.finel.2023.103926.
2. Lavrys S. M., Pohrelyuk I. M., Sheykin S. Ye., Rostotskyi I. Yu. The influence of the initial structure of high-strength titanium alloy on surface hardening and roughness after ball burnishing. Physicochemical Mechanics of Materials. 2024. Vol. 60, No. 6. P. 110-117. DOI: https://doi.org/10.15407/pcmm2024.06.110.
3. Cagan S. C., Leksycki K. Analysis of surface roughness after ball burnishing of pure titanium under environmentally friendly conditions. Applied Sciences. 2025. Vol. 15, No. 4. Article 1746. DOI: https://doi.org/10.3390/app15041746.
4. Skoczylas A., Zaleski K., Matuszak J. Evaluation of the effectiveness of surface defect removal by slide burnishing. Applied Sciences. 2025. Vol. 15, No. 13. Article 7398. DOI: https://doi.org/10.3390/app15137398.
5. Пестунов В. М. Розробка та дослідження модульних систем адаптації / В. М. Пестунов, О. В. Лисенко // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія : Машинобудування. - К. : НТУУ "КПІ", 2000. - № 39. - С. 196-199. URL: https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/11285.
6. Пат. на винахід 50821 Україна, МПК B24B 39/00, B24B 51/00. Інструмент для обробки обкаткою / В. М. Пестунов, О. В. Лисенко. - заявник і патентовласник Кіровоград. держ. техн. ун-т. - № 99105799; заявл. 25.10.1999 ; опубл. 15.11.2002 ; Бюл. № 11. - 3 с. : іл. URL: https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/11063.