

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Виявлено фізичні закономірності процесу обкочування валів і визначено залежність сумарного зусилля обробки від режимів технологічного процесу обкочування.

Ключові слова: ролик, обкочування, сумарне зусилля обробки, подача, швидкість.

Abstract

The rolling process of the shafts was studied and the dependence of the total processing effort on the modes of the technological process of rolling was determined.

Keywords: roller, rolling, total effort, feed, speed.

Вступ

Процес обкочування роликом сталевих деталей є одним із методів поверхневого пластичного деформування, що широко використовується в сучасному машинобудуванні для підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин та механізмів. Основною метою цього процесу є зміцнення поверхневого шару металу, покращення його мікрогеометрії, зниження шорсткості поверхні, а також підвищення втомної міцності, зносостійкості та корозійної стійкості виробів. Обкочування застосовується для обробки валів, осей, втулок, циліндричних поверхонь, деталей гідравлічних систем, підшипникових посадок та інших елементів, які працюють під дією циклічних навантажень або тертя

Результати дослідження

Фізична сутність процесу обкочування полягає у пластичному деформуванні поверхневого шару металу внаслідок прикладання локального тиску ролика до оброблюваної поверхні. У процесі взаємодії інструмента з деталлю виникають контактні напруження, які перевищують межу текучості матеріалу, що призводить до незворотної деформації поверхневих нерівностей. Під впливом прикладеного навантаження мікроступи поверхні згладжуються, а матеріал переміщується в напрямку мікрозападин, унаслідок чого відбувається вирівнювання профілю поверхні та зменшення параметрів шорсткості.

У фізичному аспекті процес обкочування базується на явищах пружної та пластичної деформації металів. На початковій стадії контакту ролика з поверхнею виникає пружна деформація, за якої атоми кристалічної решітки зміщуються відносно положення рівноваги, однак після припинення навантаження повертаються до початкового стану. Якщо ж величина контактного тиску перевищує межу текучості сталі, відбувається пластична деформація, що супроводжується незворотним переміщенням дислокацій у кристалічній структурі металу. Саме пластична деформація забезпечує зміцнення поверхневого шару та зміну його фізико-механічних властивостей.

Однією з основних фізичних особливостей процесу є явище наклепу або деформаційного зміцнення металу. Унаслідок інтенсивного переміщення дислокацій їх густина значно зростає, що утруднює подальший рух структурних дефектів і підвищує опір матеріалу пластичному деформуванню. Це спричиняє зростання твердості, межі міцності та зносостійкості поверхневого шару. Зміцнений шар

характеризується підвищеними механічними властивостями порівняно з основним матеріалом, що особливо важливо для деталей, які працюють в умовах інтенсивного механічного навантаження або циклічного контакту.

Важливою фізичною характеристикою процесу є формування залишкових стискальних напружень у поверхневому шарі деталі. Під час пластичного деформування верхні шари металу ущільнюються, що призводить до виникнення внутрішніх напружень стиску. Наявність таких напружень позитивно впливає на опір утворенню та розвитку втомних тріщин, оскільки стискальні напруження частково компенсують зовнішні розтягувальні сили, які виникають під час роботи деталі. У результаті значно підвищується довговічність виробу та його здатність витримувати повторні навантаження.

Процес обкочування роликотом також супроводжується структурними змінами в поверхневому шарі сталі. У зоні деформації відбувається подрібнення зерен металу, ущільнення структури та часткова переорієнтація кристалічних площин. У ряді випадків це призводить до зменшення пористості та дефектності поверхні, покращення контакту між окремими структурними елементами матеріалу і, відповідно, до підвищення механічної стабільності обробленої поверхні.

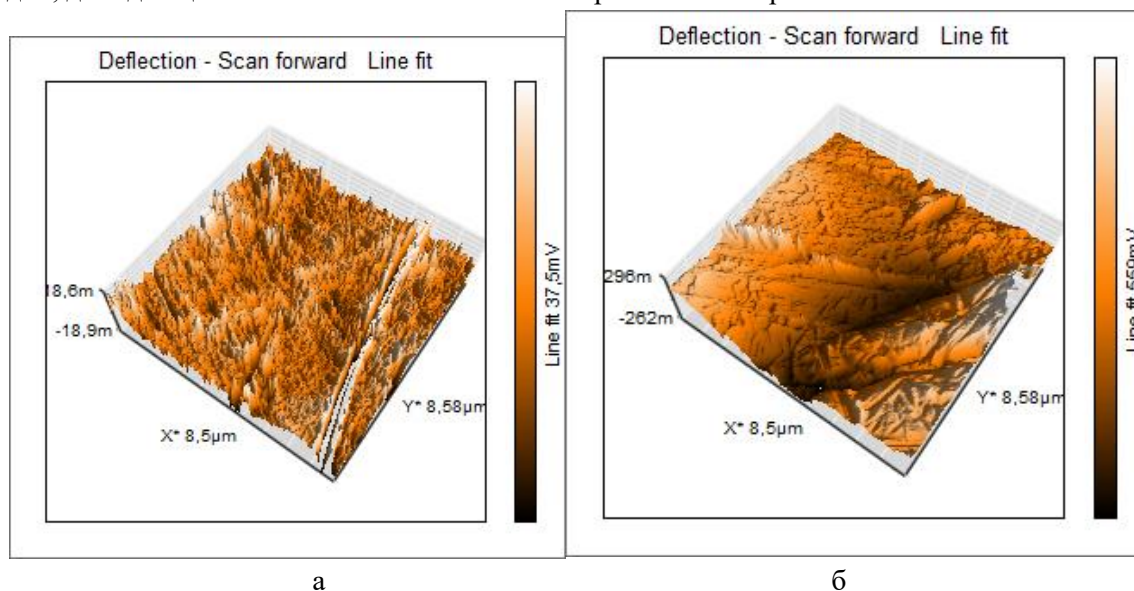


Рис. 1 – Мікрорельєф поверхні до обкочування (а) та після (б)

На ефективність процесу істотно впливають технологічні параметри обробки, серед яких важливе значення мають сила притискання ролика, швидкість обкочування, подача, кількість проходів та геометрія інструмента. Надмірне навантаження може призвести до появи локальних пошкоджень, надмірного зміцнення або навіть утворення мікротріщин, тоді як недостатній тиск не забезпечує необхідного ступеня пластичної деформації. Оптимальний вибір режимів обробки дозволяє досягти максимального ефекту зміцнення при збереженні точності геометричних параметрів деталі.

З фізичної точки зору важливу роль відіграють також сили тертя між роликотом і поверхнею сталі. Тертя впливає на характер деформаційних процесів, інтенсивність тепловиділення та стабільність контакту. У більшості випадків застосовуються мастильно-охолоджувальні рідини, які зменшують коефіцієнт тертя, знижують температуру контакту та запобігають надмірному зношуванню інструмента. При цьому температура під час обкочування залишається відносно низькою, що дає можливість уникнути значних термічних змін структури сталі та зберегти стабільність її фізичних властивостей.

Особливе значення процес обкочування має для забезпечення високої якості поверхні деталей. Після механічної обробки різанням на поверхні залишаються сліди інструмента, мікронерівності та концентратори напружень. Обкочування роликотом дозволяє значно зменшити висоту мікронерівностей, покращити чистоту поверхні та знизити коефіцієнт тертя в експлуатації. Це позитивно впливає на точність посадок, герметичність з'єднань та довговічність вузлів тертя.

Для оцінки пластичності металів при немонотонному навантаженні можна використовувати тензор пошкоджень, компоненти якого визначаються за формулою:

$$\psi_{ij} = \int_0^{e_u} F(e_u^*, \eta, \mu_\sigma) \beta_{ij} de_u^*,$$

де η - показник жорсткості напруженого стану, σ - середнє напруження, μ_σ - параметр Надаї-Лоде, e_u - ступінь деформації, t – час деформування з моменту початку пластичної деформації до деформованого стану, який розглядається.

Головні компоненти тензора β_{ij} дорівнюють

$$\beta_1 = -\frac{1}{\sqrt{6}} \frac{\mu_\sigma - 3}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}}, \quad \beta_2 = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{2\mu_\sigma}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}}, \quad \beta_3 = -\frac{1}{\sqrt{6}} \frac{\mu_\sigma + 3}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}}.$$

$$\psi_1 = \int_0^{e_u} \left(1 - a + 2a \frac{e_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)} \right) \beta_1 \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}$$

$$\psi_2 = \int_0^{e_u} \left(1 - a + 2a \frac{e_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)} \right) \beta_2 \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}$$

$$\psi_3 = \int_0^{e_u} \left(1 - a + 2a \frac{e_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)} \right) \beta_3 \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}.$$

Тоді умова руйнування в розглядуваній моделі приймає вид

$$\psi_\sigma + \psi_\tau = 1$$

Умову руйнування можна використовувати для оцінки граничного фрмозмінення при немонотонному навантаженні. В результаті досліджень виявлено, що при обкочуванні по двухроликівій схемі в поверхневих шарах валів формуються остаточні напруження, що досягають при однопрохідній обробці значень до 650 МПа, при двоохпрохідній – 700МПа. Величина остаточних наружень, що формуються при обкочуванні, найбільше залежить від схеми обкочування, зусилля обкочування, а також швидкості обертання валу в процесі обкочування.

Висновки

Отже, фізичні основи процесу обкочування роликом сталевих деталей ґрунтуються на явищах пластичної деформації, деформаційного зміцнення, перерозподілу внутрішніх напружень і структурних змін металу. Завдяки дії контактного тиску та пластичного ущільнення поверхневого шару досягається підвищення твердості, зменшення шорсткості, збільшення зносостійкості та втомної міцності деталей. Це робить процес обкочування одним із найбільш ефективних і економічно доцільних методів підвищення якості сталевих виробів у сучасному машинобудуванні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сердюк О.В. Оцінка пластичності поверхневого шару металу при немонотонному навантаженні / О. В. Сердюк, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков, Р.І.Сивак // Наукові нотатки. – Луцьк, 2016. – Вип. 54. – С. 277–281
2. Сердюк О.В. Напружено-деформований стан в осередку деформації при вдавлюванні тороїдального ролика / О. В. Сердюк, І.О.Сивак, М.А.Карватко // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2013. – Вип.40. – С.251-256. – (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка»)

3. Сердюк О.В. Дослідження впливу технологічних параметрів процесу обкочування на якість поверхневого шару / О. В. Сердюк, В.В. Літвінов, О.В. Березюк, В.В. Півторак // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. – Хмельницький, 2025. – Вип. 355(4). – С. 538-541

Сердюк Ольга Валентинівна — канд. техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет

Мартинюк Володимир Валерійович — канд. техн. наук, доцент кафедри фізики, Вінницький національний технічний університет

Сердюк Олександр Васильович - студент групи ІПІ-25б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Serduk Olga V. - Cand. Sc. (Eng), assistant professor, department of technology and automation of mechanical engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Martynuk Volodymyr V. - Cand. Sc. (Eng), assistant professor, department of physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Serduk Oleksandr V. - student of group IPI-25b, faculty of information technologies and computer engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia