

УДК 621.92.113

ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІЦНЕННЯ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЕКСТРУДЕРІВ

**Ляшук О. Л. докт. техн. наук, доц., Левкович М.Г., канд. техн. наук
доц., Пиндус Т.Б., асистент, Третьяков О.Л. аспірант**
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

В роботі розглянуто питання технологічного методу забезпечення надійності поверхонь робочих органів екструдерів. Досліджено процеси, що виникають при зміцненні внутрішніх сферичних поверхонь, виведено залежності для визначення залишкових напружень, що виникають в процесі зміцнення робочих органів.

Ключові слова: *зміцнення, контактне тертя, напруження, пластичне деформування.*

Постановка проблеми. Конструкції гвинтових робочих органів екструдерів можуть мати широке використання у галузях харчової та переробної промисловості, сільського господарства, а також у технологічних процесах зібраних зернових культур завдяки розширеним технологічним можливостям за рахунок підвищеної надійності вдосконаленій конструкції. В процесі виготовлення робочих органів екструдерів використовують як конструктивні, так і технологічні методи зміцнення. В даний час відома велика кількість технологічних способів зміцнення деталей машин. Найбільш поширеними технологічними методами зміцнення, є пластична деформація поверхонь, термічна і хіміко-термічна обробки, наплавлення поверхонь, створення захисних зносостійких покриттів і зміцнених поверхневих шарів. Всі ці методи забезпечують ту чи іншу характеристику параметрів зміцненої поверхні: твердості поверхневого шару, його глибини, структури. Використовується кожен з них окремо, або в поєднанні в різних технологічних процесах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перспективність використання поверхневого пластичного деформування (ППД) для підвищення контактної витривалості в порівнянні з іншими методами зміцнення поверхні полягає в тому, що ППД дозволяє отримати: зміцнений поверхневий шар до 15 мм; збільшення мікротвердості відносно початкової складає в середньому близько 150 % і досягає 6500 МПа; забезпечується плавний перехід між зміцнений поверхневим шаром і серцевиною. Обробними способами ППД може бути створена мала шороховатість зміцненої поверхні [3]. Відомі різноманітні методи зміцнення пластичним деформуванням широко досліджуються як закордонними так і українськими науковцями [7, 8]. Цікавим для зміцнення поверхневих шарів деталей машин є метод статико – імпульсної обробки розроблений і запатентований А.В. Киричек, Д.Л. Соловєв, А.Г. Лизуткін [4-6].

Встановлено взаємозв'язок між конструктивними, конструктивно-технологічними та технологічними параметрами та їх вплив на показники якості поверхневого шару [7, 8, 9]. Однак в розглянутих працях не досліджені контактні сили тертя та їх вплив на залишкові напруження.

Мета роботи. Досягнення високої якості зміцнення сферичних поверхонь шляхом впливу зусиль статико-імпульсної обробки на залишкові напруження.

Результати досліджень. Широке використання для зміцнення знайшло пластичне зміцнення шляхом поверхневого пластичного деформування (ППД). В процесах пластичного зміцнення заготовок виникають деформації та неоднорідні поля напружень. При холодному зміцнюванні металевих поверхонь неоднорідний напружено-деформований стан заготовок супроводжується виникненням залишкових напружень, які суттєво впливають на якість поверхонь заготовок, їх механічні властивості. Відомо, що залишкові напруження суттєво впливають на процес старіння прогартованих заготовок з вуглецевих сталей, та на межу плинності такого металу [1]. У процесі зміцнення товстостінної заготовки периферійні частини її зміцнюються, а в центральній частині є ідеально пластичний шар, що відповідає площадці плинності на діаграмі $\sigma_1 = \sigma_1(\varepsilon_1)$ [2].

На основі тверджень запропоновано обкатний інструмент для зміцнення гвинтових робочих органів (рис.1.) який виконано у вигляді диска 1, який встановлено на осі 2 з можливістю кругового повертання. На периферії поверхні диска виконані рівномірно по колу циліндричні отвори 3 з певним кроком. В радіальних отворах 3 з можливістю осьового переміщення встановлені деформуючі пуансони 4, кінці яких виконані плоскими 5 і є загартовані і які є у взаємодії з зовнішнім торцевим контуром гвинтового робочого органу 6. Крім цього центральний отвір 7 диска 1 заповнений під тиском мастилом 8.

Співвісно до зовнішньої поверхні диска 1 жорстко встановлено пружне кільце 9 з відкритою зоною 10, де кінець зони виконано з радіальним виступом 11 для створення додаткового тиску на деформуючі пуансони 4, а кінець відкритої зони виконано з загостренням 12 для плавного заходу формувальних пуансонів 4. Крім цього з протилежної сторони від зони зміцнення зовнішньої поверхні гвинтовий робочий орган 6 є у взаємодії з опорним роликком 13 довжиною 3...5 витків шнека і з ним є у взаємодії при обертанні і вигладжуванні. Гвинтовий робочий орган 6 з двох кінців встановлено в центри 14 з під ставкою знизу 15 для забезпечення надійності технологічного зміцнення.

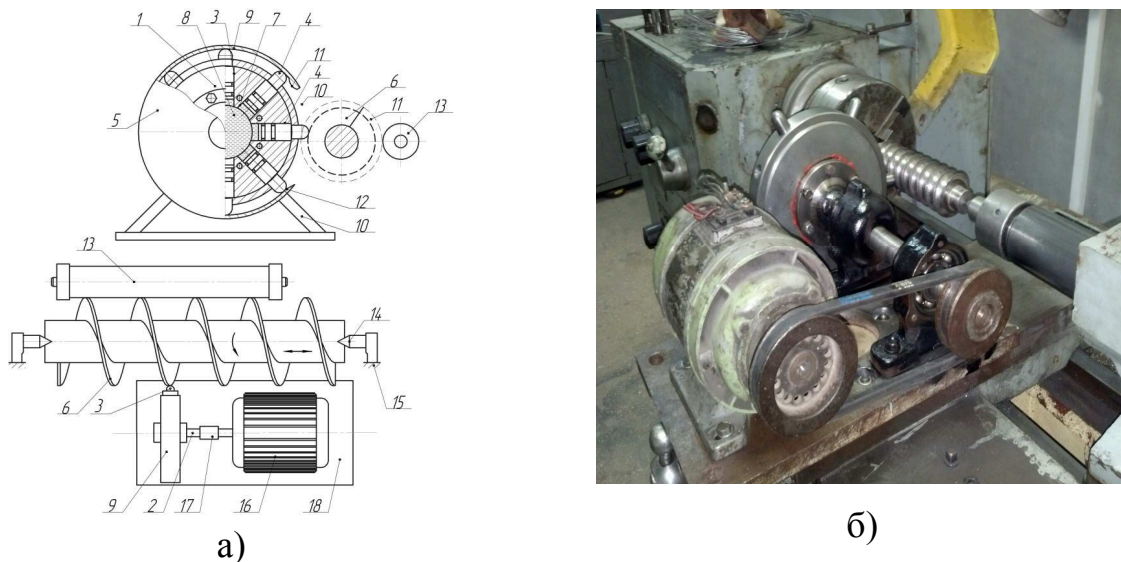


Рисунок 1 - Конструктивна схема інструмент для зміцнення гвинтових робочих органів а) [12] та експериментальна установка для проведення досліджень б)

Обкатний інструмент обертається з високою швидкістю. Робоча частина деформуючих елементів при обробленні наносить численні удари, пластично деформує оброблювану поверхню і миттєво відскакують від неї. Крім удару деформуючі елементи за час контакту здійснюють вигладжування оброблюваної поверхні. Пластична деформація металу здійснюється керованою імпульсною дією, що забезпечується силою ударів системи бойків інструменту, що статично навантажений силою P_c . Використання статичного підтискування інструменту до оброблюваної поверхні дозволяє збільшити її площу контакту з інструментом, сприяючи зменшенню спотворень ударного імпульсу, що передається і зменшуючи втрати енергії удару. Оскільки деталь в процесі обробки обертається, то сила P_c створює контактні сили тертя.

Контактні сили тертя характеризуються величиною коефіцієнта пластичного тертя μ , який можна визначити за формулою:

$$\mu = \frac{\tau_k}{2k} = \frac{\sqrt{3}\tau_k}{2\sigma_s} = \frac{\sqrt{3}\tau_k}{2\sigma_{io}} \quad (1)$$

де τ_k – контактне граничне напруження; μ – коефіцієнта пластичного тертя.

Пластично деформуючи оброблювану поверхню деталі змінюється її твердість. М.С. Дрозд [11] пропонує метод з використанням нового числа твердості H , яке за своїм фізичним змістом є не напруженням (дійсним або умовним), а модулем зміцнення матеріалу при втискуванні в нього сферичного індентора.

Якщо величину деформації записати як та припустити, що ε_i довжина площадки текучості, що відповідає початку пластичного зміщення в контактній поверхні заготовки то величину

$$\psi = \left(\frac{\Delta H}{H} \right)_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{1 - 4\mu^2 \varepsilon_i}, \quad (2)$$

відносного обтиску $\Delta H/H$ можна пов'язати з товщиною ідеального пластичного шару h_i співвідношенням:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\sqrt{3}}{2} \varepsilon_i \sqrt{1 - 4\mu^2 \frac{h_i^2}{H^2}}. \quad (3)$$

де ψ – деформація в лунці; $\frac{\Delta H}{H}$ – величина відносного обтискування; H – нове число твердості; h_i – товщина ідеального пластичного шару; ε_i – довжина площадки текучості, що відповідає початку пластичного зміщення в контактній поверхні деталі.

Використовуючи формулу (3) за заданою величиною довжини площадки плинності ε_i і величиною коефіцієнта пластичного тертя μ можна розрахувати величину відносного обтискування $\Delta H/H$, яка відповідає відносній товщині ідеального пластичного шару h_i/H .

Розподіл напружень в ідеально пластичному шарі [5]

$$\begin{aligned} \tau_{xy} &= \frac{4}{\sqrt{3}} \mu \frac{y}{H}, \quad \frac{\sigma_y}{\sigma_s} = -\frac{4}{\sqrt{3}} \mu \frac{x}{H} - \frac{\psi}{\sigma_s}, \\ \frac{\sigma_x}{\sigma_s} &= -\frac{4}{\sqrt{3}} \mu \frac{x}{H} + \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{1 - 16\mu^2 \frac{y^2}{H^2} - \frac{\psi}{\sigma_s}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Напруження, що виникає в зміцнюваних шарах заготовки:

$$\frac{\tau_{xy}}{\sigma_s} = \frac{4}{\sqrt{3}} \mu \frac{y}{H}, \quad \frac{\sigma_y}{\sigma_s} = -\frac{4}{\sqrt{3}} \mu \frac{x}{H} - \frac{d}{\sigma_s}, \quad \frac{\sigma_x}{\sigma_s} = -\frac{4}{\sqrt{3}} \mu \frac{x}{H} + \frac{\varphi(y)}{\sigma_s}. \quad (5)$$

де $\varphi(y)$ – парна функція ординати y ; σ_s – границя текучості; d – діаметр бойка.

Для безперервності напружень σ_x на межах розділу ідеально пластичного і зміцненого шарів вимагається дотримання такого співвідношення:

$$\frac{\varphi(\pm h_i/2 + \psi)}{\sigma_s} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{1 - 4\mu^2 h_i^2 / H^2}. \quad (6)$$

Значення середньої величини навантажуваної сили P_c визначається за залежністю:

$$\frac{P_c}{\sigma_s} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{h_i}{H} \sqrt{1 - 4\mu^2 \frac{h_i^2}{H^2}} + \frac{1}{2\sqrt{3}\mu} \arcsin\left(2\mu \frac{h_i}{H}\right) - \frac{d}{\sigma_s} + \frac{2}{H} \int_{k_i/2}^{H/2} \frac{\varphi(y) + \psi}{\sigma_s} dy \quad (7)$$

Залишкові напруження, які виникають після пластичного деформування заготовки еквівалентні пластичним переміщенням, з відрахуванням пружних деформацій, які можна визначити за теоремою про розвантаження.

На контурі деформованого матеріалу з центральним ідеально пластичним шаром діють наступні напруження:

$$\text{при } y = \pm \frac{H}{2},$$

$$\tau_{xy} = \pm \tau_k = \pm \frac{2}{\sqrt{3}} \mu \sigma_s, \quad \sigma_y = -\frac{2\tau_k}{H} x - d = -\frac{4}{\sqrt{3}} \mu \sigma_s \frac{x}{H} - \psi. \quad (8)$$

$$\text{при } x = 0, \quad \sigma_x = P_c.$$

Граничні умови (8) витікають з формул (1, 5). Цим умовам при $V = 0,5$ відповідають такі значення напружень в кожній пружній кульці:

$$\frac{\tau_{xy}}{\sigma_s} = \frac{4}{\sqrt{3}} \mu \frac{x}{H}, \quad \frac{\sigma'_x}{\sigma_s} = -\frac{4}{\sqrt{3}} \mu \frac{x}{H} + \frac{P_c}{\sigma_s}, \quad \frac{\sigma_y}{\sigma_s} = -\frac{4}{\sqrt{3}} \mu \frac{x}{H} - \frac{\psi}{\sigma_s}. \quad (9)$$

Значення залишкових напружень в деформованій частині заготовки з ідеально пластичними кульками в центрі одержимо, віднімаючи формули (9) від формул (5), з яких витікає, що в тонкому шарі

$$(\tau_{xy})_o = 0, \quad \sigma_{y_0} = 0. \quad (10)$$

Залишкові напруження σ_{x_0} можна визначити за формулами:

$$\frac{\sigma_{x_0}}{\sigma_s} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{1 - 16\mu^2 \frac{y^2}{H^2} - \frac{\psi + P_c}{\sigma_s}}, \quad \text{при } |y| \leq \frac{h_i}{2}, \quad (11)$$

$$\frac{\sigma_{x_0}}{\sigma_s} = \frac{\varphi(y) - P_c}{\sigma_s} = \frac{\varphi(y) + \psi}{\sigma_s} - \frac{\psi + P_c}{\sigma_s}, \quad \text{при } \frac{h_i}{2} \leq |y| \leq \frac{H}{2}. \quad (12)$$

Залишкові напруження σ_{x_0} безперервні на межах розділу пластично зміцненої та ідеально пластичної частин, тобто $y = \pm \frac{h}{2}$. Це впливає з формул (8), (11) і (12).

Інтенсивність залишкових напружень позначається $(\sigma_i)_0$ та визначали за формулою [4]:

$$(\sigma_i)_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} |\sigma_{x_0}| \quad (13)$$

тобто розподіл інтенсивності залишкових напружень $(\sigma_i)_0$ аналогічний розподілу модуля залишкових напружень $|\sigma_{x_0}|$ відрізняється від нього тільки числовим множником.

Форма запису формул (11), (12) така, що залишкові напруження σ_{x_0} видаються ніби залежні від зусилля P_c на периферії деталі. Проте з формули (7) витікає, що сума $\frac{\psi + P_c}{\sigma_s}$ не залежить від зусилля P_c , оскільки від нього не залежить ні один складник цієї формули разом з $\frac{\varphi(y) + \psi}{\sigma_s}$.

З формули (7) видно, що в значення параметру ψ зусилля P_c входить від'ємний доданок, оскільки сума $\frac{\varphi(y)+\psi}{\sigma_s}$ не залежить від прикладеного до бойків зусилля P_c .

Тому різниця $\varphi(y)-P_c$ у формулі (12) є не залежною від зусилля на бойках. Це в свою чергу показує, що за умови $\frac{h_t}{2} \leq |y| \leq \frac{H}{2}$ на залишкові напруження σ_{x_0} на границі зміцненого і пластичного шару не впливають початкові зусилля на бойках. З цього випливає, що залишкові напруження визначені за формулами (10), (11), (12), фактично не залежать від початкового зусилля на бойках.

Висновки. Проведенні дослідження підтверджують переваги використання для зміцнення для зміцнення гвинтових робочих органів деталей поверхневого пластичного деформування за допомогою Обкатного інструменту. Виведені залежності дають можливість встановлювати силові параметри процесу поверхневого зміцнення.

Література

1. Богомолова Н.А. Металлография и общая технология металлов / Н.А. Богомолова, Л.К. Гордиенко. – М.: Высшая школа, 1983. – 270 с.
2. Морозов Е.М. Контактные задачи механики разрушения / Е.М. Морозов, М.В. Зернин. – М.: Машиностроение, 1999. – 554 с.
3. Киричек А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Лазуткин А.Г. М.: Машиностроение, 2004. – 288 с.
4. Статико-импульсное упрочнение деталей передач / Киричек А. В. [та ін.] // Теория и практика зубчатых передач: труды международной конференции – Ижевск, 1998. – С. 363 - 368.
5. Упрочнение статико-импульсной обработкой ППД с использованием гидроударных устройств / А. Г. Лазуткин [та ін.] // Механизмы и машины ударного периодического и вибрационного действия: Материалы междунар. научного симпозиум. Орел. – Огел ГТУ, 2000. – С. 318 – 320.
6. Упрочнение статико-импульсной обработкой сердечников крестовин стрелочных переводов / Лазуткин А. Г. [та ін.] // Автотракторостроение. Промышленность и высшая школа: Тезисы докл. XXVII науч.-техн. конф. – М.: ААИ, 1999. – С. 17 – 19.
7. Упрочнение статико-импульсной обработкой / Лазуткин А. Г. [та ін.] // Новые материалы и технологии в машиностроении и приборостроении: Материалы науч.-техн. конф. – Пенза, 1996. – С. 26 – 31.

8. Картанов Л.В. Повышение долговечности деталей машин использованием материалов с регулярной гетерогенной структурой: дис. канд. техн. наук/ Картанов Леонид Владимирович.: ВлГУ, 1997. – 170 с.
9. Киричек А.В. Обеспечение качества несоосных винтовых механизмов деформационным упрочнением их спрягаемых деталей: дис. докт. техн. наук / Киричек Анатолий Владимирович.: М., 1999. – 394 с.
10. Применение деформационного упрочнения статико-импульсной обработкой для повешения контактной выносливости деталей / Киричек А.В. и др // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: Мат. Межд. науч.-техн. конф., Ростов-на-дону, ДГТУ, 2008. – С 16-20. – 252 с.
11. Дрозд М.С. Определение механических свойств металлов без разрушения / М.С. Дрозд. – М: Изд-во Металлургия, 1965. – 171 с.
12. Патент на корисну модель № 108422. Україна, МПК(2006.01) В24В 39/04. Обкатний інструмент для зміцнення гвинтових робочих органів/ Ляшук О. Л.; Сокіл М. Б.; Третьяков О. Л.; Навроцька Т. Д.; Клендій В.М.; Марчук Р.М. (Україна). – u201601511. Заявл. 18.02.2016.; Опубл. 11.07.2016р., Бюл.№13.- 4с.;

Abstract

The technology of strengthening the treated faced spherical surfaces

O. Lyashuk, M. Levkovich, T. Pyndus, A. Tretyakov

The matters of technological method of providing the reliability of the internal semi-spherical surfaces of machine's details in regarded in the paper. The processes, which arise during the strengthening of spherical surfaces investigated, the dependency for estimation the remaining strains, which happen during the process of strengthening.

Аннотация

Технология укрепления винтовых рабочих органов экструдеров

Ляшук О. Л., Левкович М.Г., Пындус Т.Б., Третьяков А.Л.

В работе рассмотрены вопросы технологического метода обеспечения надежности поверхностей рабочих органов экструдеров. Исследованы процессы, возникающие при укреплении внутренних сферических поверхностей, выведены зависимости для определения остаточных напряжений, возникающих в процессе укрепления рабочих органов.