

**УДК 621.797.23**

**РОЗРАХУНОК ЗУСИЛЛЯ ДЕФОРМУВАННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ  
ШЕСТЕРЕНЬ НАСОСУ НШ ГАРЯЧИМ ПЛАСТИЧНИМ  
ДЕФОРМУВАННЯМ**

**Кулешков Ю.В. д.т.н., проф.**

**Мирний В. Ю.,**

**Ляшенко Д.О.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Abstract**

A promising method of restoring the gears of pumps NS is a method of hot plastic deformation. In the process of restoring gears by pressure, the "microcracks" heal. Material restored gears acquires a fibrous structure with the direction of the fibers in accordance with the outer contour of the part. Grain grinding occurs in the same components of the microstructure, a more uniform distribution of hardness over the cross section, and residual internal stresses decrease. All this contributes to the improvement of the physical and mechanical properties of the metal.

In the development of the technological process of restoring the gears of the NS pump using the method of hot plastic deformation, die tooling, the task of determining the effort of deformation, which is necessary for the quality of the deformation process, arises.

The article developed the theoretical foundations of the method of calculating the effort of deformation. The result was obtained on the basis of the chosen shaping scheme, taking into account the effect on temperature, degree and rate of deformation on the resistance of the metal to plastic deformation.

**Keywords:** gear pump, gear, recovery methods, hot plastic deformation, shaping scheme, deformation force

**Вступ**

Насос є джерелом гідравлічної енергії будь – якої гідравлічної системи. В гідросистемах сільськогосподарських машин насоси типу НШ знайшли саме широке розповсюдження. Тяжкі умови експлуатації висока температура, запиленість атмосфери високо абразивними частками суттєво знижує довговічність цих насосів. Підвищення надійності роботи шестеренних насосів можливо за рахунок систематичного та високоякісного проведення технічних оглядів та своєчасного та якісного ремонту, що зумовлює постійну її готовність до роботи, високу економічну ефективність виконуваних робіт. Одним з резервів підвищення ефективності використання техніки та економії матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів є відновлення зношених деталей.

### **Аналіз попередніх досліджень**

Шестерні насоса НШ є активними елементами, які при своєму обертальному руху здійснюють всмоктування робочої рідини, перенесення її з камери всмоктування в камеру нагнітання, де здійснюють нагнітання робочої рідини в трубопроводі гідросистеми. З вищенаведеного не важко припустити, що шестерні насоса зазнають найбільшого зношування.

Шестерні насоса НШ являють собою специфічну деталь, в якій майже всі поверхні є робочими, а тому її відновлення пов'язане з певним труднощами.

До існуючих методів відновлення слід віднести наступні методи: контактне наварювання стрічки на зношені цапфи шестерень, контактне наварювання металевих порошків на верхівки зубів шестерень, відновлення цапф шестерень електролітичним залізненням або хромування. Також в останній час в ремонтному виробництві широке розповсюдження знайшов метод електролітичного натирання [1 - 8].

Однак ці способи відновлення не позбавлений недоліків, а саме виникнення значних сил розтягування в зоні нанесення металу. Окрім того, кожний з дефектів усувається окремим способом, що позначається на собівартості відновлення.

Крім того, майже всі шестерні, що надходять в ремонт мають зноши торців шестерень, відновлення яких стикається з певними проблемами. З вищенаведеного бачимо, що жоден з існуючих технологічних процесів не забезпечує комплексного усунення всіх дефектів шатуна.

### **Постановка проблеми**

Одним з прогресивних індустріальних методів відновлення деталей є метод пластичного деформування тиску, що полягає в переміщенні наявного в деталі запасу металу до зношених поверхонь [9 - 15]. При відсутності необхідного запасу металу в тілі деталі на її найменш навантажені поверхні наноситься компенсуючий метал, потім деталь нагрівають до температури пластичної деформації та обробляють тиском. В процесі такої обробки здійснюється деформуючий вплив на компенсуючий метал і переміщення основного матеріалу до зношених поверхонь деталі. Подальша термічна і механічна обробка відбувається за скороченим технологічним циклом виготовлення нової деталі [9 - 15].

Нагрівання деталей до кувальної температури здійснюється в соляних печах, штампування проводиться в спеціальних штампах закритого типу на гідравлічних пресах [10, 11]. Встановлено, що в процесі обробки деталей тиском відбувається «заліковування» мікротріщин, матеріал відновлених деталей характеризується волокнистою структурою з направленням волокон відповідно зовнішньому контуру, меншою величиною зерна при тих же

складових мікроструктури, що і у серійних деталей, більш рівномірним розподілом твердості по перетину і меншими залишковими напруженнями, що сприяє поліпшенню фізико-механічних властивостей металу [9- 15]. Втомна міцність відновлених деталей вище, ніж у серійних, на 15...20% [3 - 15]. Створення в процесі гарячого об'ємного штампування мінімально необхідних припусків по всім оброблюваним поверхням забезпечує повну відповідність всіх робочих параметрів деталей технічним вимогам креслень заводів-виготовлювачів [9 - 15].

При розробці технологічного процесу відновлення шатуна гарячим пластичним деформуванням, проектуванні штампової оснастки в першу чергу, визначити зусилля, яке необхідно розвивати в процесі штампування. Від цього багато в чому залежить якість штампування [16 - 20].

### Мета та завдання

Метою дослідження є створення теоретичної бази, що дає можливість розрахувати зусилля гарячого пластичного деформування шестерень насосів НШ роздачею із зворотнім видавлюваннями.

### Результати вирішення основних завдань

В процесі попередніх досліджень, а саме аналізу схем формоутворення було виявлено, що перерозподілом наявного запасу металу в процесі пластичного деформування можливо забезпечити необхідний припуск на всіх зношуються поверхнях шестерень без нанесення компенсуючого металу.

При цьому процес деформування умовної розчленовується на дві стадії: Перша стадія - роздача елементів шестерні по діаметру, що забезпечує створення припуску на цапфах шестерень, вершинах зубів і евольвентних поверхнях шестерень. І друга стадія - починається після впровадження пуансонів в тіло вінця шестерні, характеризується ознаками зворотного видавлювання і забезпечує зростання вінця шестерні по довжині зуба (рис. 1).

Опір металу пластичному деформуванню - математично може бути описана рівнянням Хайдука [16 - 21]

$$\sigma_s = \sigma_{s0} K_T K_\varphi K_\omega, \quad (1)$$

де  $\sigma_{s0}$  - опір металу пластичному деформуванню при початкових умовах, залежний від хімічного складу металу, величини зерна і фазового стану металу, Па [48];

$K_T K_\varphi K_\omega$  - коефіцієнти що враховують вплив на опір металу пластичному деформуванню відповідно температури, ступеня і швидкості деформування [16 - 21].

При цьому згадані коефіцієнти можуть бути визначені із залежностей [21]:

$$K_T = A_1 e^{-m_1 t}; \quad K_\varphi = A_2 \varphi^{m_2}; \quad K_\omega = A_3 \omega^{m_3}, \quad (2)$$



де  $V_n$  - нормальна до поверхні матриць, які формують цапфи, складова швидкості переміщення металу, м/с;  $\frac{\Delta d}{2}$  - товщина стінки цапфи після деформування, мм.

З рис. 1 бачимо, що

$$\Delta d = D_i - d_i, \quad (8)$$

$$V_n = V_1 \cos \alpha, \quad (14)$$

де  $V_1$  - складова швидкості переміщення пуансона, нормальна до конічної поверхні західної частини пуансона.

$$V_1 = V_i \sin \alpha, \quad (9)$$

де  $V_i$  - швидкість переміщення пуансона або швидкість деформування.

Кут  $\alpha$  (див. рис. 1) можна визначити з виразу

$$\alpha = \arccos \frac{d_i - d_0}{2h} \quad (11)$$

де  $d_0$  - початковий (найменший) діаметр конічної західної частини пуансона, мм;  $h$  - висота конічної західної частини пуансона, мм.

Підставивши в (6) значення часу деформації (8) отримаємо:

$$\bar{\omega} = \frac{\varphi V_i \sin 2\alpha}{D_i - d_i} \quad (12)$$

де  $\alpha$  - визначається з (11).

Таким чином знайдено взаємозв'язок між швидкістю деформування  $V_i$  і швидкістю деформації -  $\omega$ . Маючи в своєму розпорядженні цієї взаємозв'язки можна визначити із залежності (8) опір металу пластичного деформації. Для сталі 18ХГТ, з якої виготовляють шестерні насосів НШ з [16 - 21] маємо:

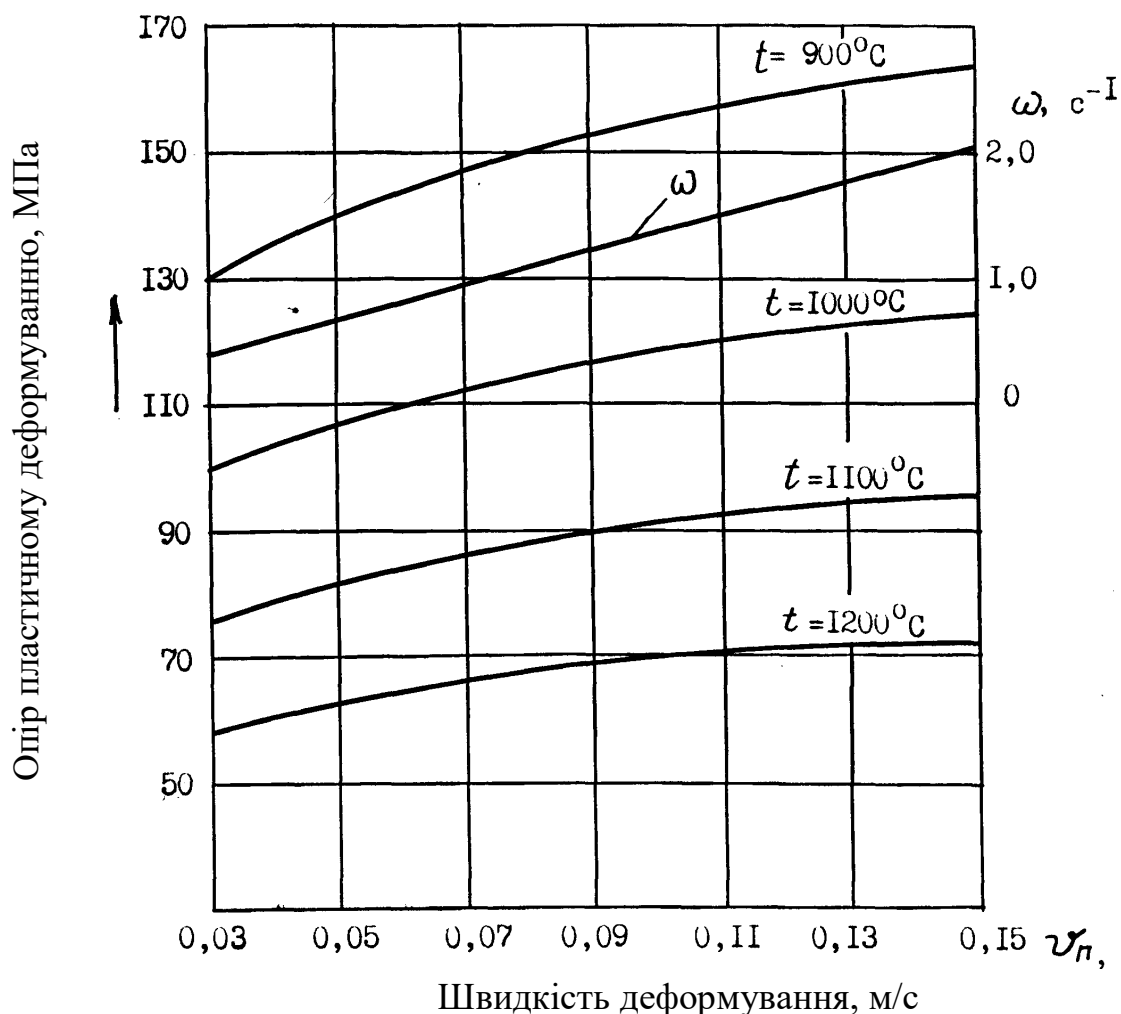
**Таблиця 1** Значення коефіцієнтів, що визначають опір пластичному деформуванню сталі 18ХГТ

$\sigma_{s0} = 121$ МПа	
$A_1 = 14,586$	$m_1 = 0,0268$
$A_2 = 1,629$	$m_2 = 0,212$
$A_3 = 0,726$	$m_3 = 0,139$

У відповідності до отриманих залежностей були проведені розрахунки. Максимальний ступінь деформації відповідає деформації шлицевого хвостовика ведучої шестерні і становить  $\varphi = 0,33$ .

При проведенні експериментів швидкість деформування змінювали в межах  $V_i = 0,03 \dots 0,15 \tilde{\text{н}}$ , а швидкість деформації, розрахована за формулою (12) становила  $\omega = 0,4 \dots 2,02 \tilde{\text{н}}^{-1}$ .

Залежність опору пластичній деформації сталі 18ХГТ від швидкості деформування і температури представлена на рис. 2. На рис. 2 представлена також залежність швидкості деформації від швидкості деформування



**Рисунок 2** Залежність опору пластичному деформуванню сталі 18ХГТ - від швидкості деформування і температури. Залежність швидкості деформації від швидкості деформування

#### Висновки

1. Аналіз відомих способів відновлення шестерень шестеренних насосів показав, що існуючі методи відрізняються тим, що майже всі способи пов'язані з локальним підвищенням температури, що є причиною виникненням внутрішніх напруг розтягування, що призводить до суттєвого зниження втомної міцності.

2. Жоден з існуючих технологічних процесів (окрім методу гарячого пластичного деформування) не забезпечує комплексного усунення всіх дефектів шестерень насоса НШ.

3. В процесі обробки деталей тиском відбувається «заліковування» мікротріщин, матеріал відновлених деталей характеризується волокнистою структурою з направленням волокон відповідно зовнішньому контуру, меншою

величиною зерна при тих же складових мікроструктури, що і у серійних деталей, більш рівномірним розподілом твердості по перетину і меншими залишковими напруженнями, що сприяє поліпшенню фізико-механічних властивостей металу.

4. Запропонована схема формоутворення дозволяє на відміну від інших відновити всі дефекти шестерні за один хід двох пуансонів. При цьому розрізняють першу стадію деформування - роздачу елементів шестерні по діаметру, що забезпечує створення припуску на цапфах шестерень, вершинах зубів і евольвентних поверхнях шестерень і другу стадію - після впровадження пуансонів в тіло вінця шестерні, яка характеризується ознаками зворотного видавлювання і забезпечує зростання вінця шестерні по довжині зуба.

5. Теоретичні дослідження опору металу пластичному деформуванню дають можливість встановити залежність опору металу пластичному деформуванню в залежності від хімічного складу металу, температури деформування та швидкості деформації.

### **Література**

1. Техническое обслуживание и ремонт машин под ред. Лауша П.В.-К.: Вища школа, 1983 г - 351 с.
2. Справочная книга по технологии ремонта машин в сельском хозяйстве. Под ред. А.И. Селиванова М., Колос, 1976 г 464 с
3. В. П Андреев, Н.И. Кириченко Ремонт масляных насосов и фильтров дизелей. М. Агропромиздат -1986 г
4. Черновол М.И. Упрочнение и восстановление деталей машин композиционными покрытиями; Учебное пособие - К.: Вища школа, 1992. - 79 с.- 112 с.
5. Ремонт дорожно-строительных машин и тракторов / В.П.Крюков, К.Х. Акмаев, В.И.Карагодин и др.- М.: Высшая школа, 1984,-223 с.
6. Ремонт машин.Ульман И.Е., Тонн Г.А., Герштейн Й.М. и др. Под общ. ред. Ульмана И.Е. 3-е изд.- М.: Колос, 1982.- 446 с.
7. Воловик Е.Д. Справочник по восстановлению деталей.- М.: Колос, 1961.- 351 с.
8. Прогрессивные способы восстановления шестерен. Экспресс-информация. Белорусский НИИН1МТЭИ Госплана БССР серии Металлообработка, Минск, 1978.- 15 с.
- 9 Бисикенов А.Б. Анализ способов восстановления автотракторных шестерен. Ремонт сельскохозяйственной техники и ее надежность. Сб. научных трудов вып. 76. Саратовский СХИ, Саратов, 1976,с. 58-70.
10. Кириллов А.В. Анализ технологических процессов восстановления зубчатых колес с неравномерным износом по длине зубьев. Ремонт тракторов и

с/х машин. Сб. научных трудов Саратовский СХИ, Саратов, 1982, с. 72-83.

11. Пашин Ю.Д., Кириллов А.В. Восстановление цилиндрических зубчатых колес. - Степные просторы, 1982, .№ 9. -52 с.

12. Кузьменков О.И., Карабанов Ф.Ф, Прогрессивные методы восстановления зубчатых колес. Обзорная информация. Серия: Машиностроение и металлообработка Белорусский НИИТИ и ТЭИ Госплана БССР Минск: 1980.- 22 с,

13. Кузьменков О.И, Теоретические основы восстановления формы и механических свойств твердых тел ротационным пластическим деформированием. Тезисы докладов на НІК стран-членов СЭВ и СФРЮ "Современное оборудование и технологические процессы для восстановления изношенных деталей машин" ("Ремдеталь-83"), ч. Л, с. 20-22.

14. Ковальчук Ю.М., Климин В.И., Брусенцов А.И. и др. Технология и установка для восстановления валов-шестерен гидронасосов типа НШ. Тезисы докладов на НТК стран-членов СЭВ и СФРЮ "Современное оборудование и технологические процессы для восстановления изношенных деталей машин" ("Ремдеталь-83") М.: ЦНИИТЭИ, часть 2, с. 19-20.

15. Климин В.И., Гребельник М.П., Савчук С.А. и др. Восстановление шестерен гидронасосов методом пластической деформации. Технология и организация производства. М.: ЩИИТЭИ Госкомсельхозтехники, 1985, № 3, с. 50-51.

16. Механика пластических деформаций при обработке металлов / Томсен З., Янг И., Кобаяши Ш. -М.: Машиностроение, 1969. —504 с.

17. Стопанский Л.Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением . ; - М.: Машиностроение, 1979. - 215 с.

18. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. - М.: Машиностроение, 1977. -423 с.

19. Теория обработки металлов давлением (Вариационные метода расчета усилия и деформаций) /И.Я.Тарновский, А.А.Поздеев О.А.Ганаго и др. Под ред. И.Я.Тарновского. -М.: Металлургиздат, 1963. -672 с.

20. Теория пластических деформаций металлов / Е.П.Унксов, У.Джонсон, В Л.Колмогоров и др. Под ред.Е.П.Унксова, А.Г.Овчинникова. -М.: Машиностроение, 1983. -598 с.

21. Хензель А., Шпигель Т. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением: Справ.изд. Пер. с нем. -М.: Металлургия, 1982. -360 с.

22. Hrynkiv A. Operational evaluation of motor oils of trucks by their thermal oxidative stability. Технологический аудит и резервы производства. - Харків : Технологічний центр. 2019. - № 3 (1). - С. 25-30.