

УДК 620.186 (075)

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4\(35\).54-62](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4(35).54-62)

Ю.В. Кулешков, проф., д-р техн. наук, М.В. Красота, доц., канд. тнхн. наук,
Т.В. Руденко, доц., канд. тнхн. наук, Р. А. Осін, доц., канд. тнхн. наук, В.Г. Рева,
магістрант

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький,
Україна

e-mail: kul090455@gmail.com; krasotamv@ukr.net; r-t-v@mail.ua; ruslan_osin@ukr.net

Відновлення поршневих пальців гарячим пластичним деформуванням

Одним з перспективних методів відновлення поршневих пальців шатунно – поршневої групи двигунів внутрішнього згорання є метод гарячої пластичної деформації. Процес відновлення поршневих пальців гарячим пластичним деформуванням дозволяє підвищити їх міцність і, зокрема втомну міцність. При розробці технологічного процесу відновлення поршневих пальців із використанням методу гарячої пластичної деформації шляхом його роздачі пуансоном в штампі виникає задача визначення зусилля, яке необхідно для якісного проведення процесу деформації. У статті пропонуються теоретичні основи розрахунку зусиль деформації. Результат був отриманий на основі обраної схеми формоутворення.
гаряче пластичне деформування, пуансон, зусилля деформації

Постановка проблеми. Поршневий палець (рис. 1) призначений для шарнірного з'єднання поршня з шатуном і в процесі роботи підлягає впливу великих зовнішніх навантажень, змінних за величиною та напрямком. Матеріалом для виготовлення поршневих пальців тракторних дизелів служить переважно хромонікелева сталь марки 12ХНЗА, яка має наступний хімічний склад: С (карбон) – від 0,09 до 0,16%; Si (силіцій) – від 0,17 до 0,37%; Mn (манган) – від 0,30 до 0,60%; Ni (нікель) – від 2,75 до 3,5%; S (сірка) – від 0,025 до 0,030%; P (фосфор) – 0,025%; Cr (хром) – від 0,06 до 0,90%; інші - $\leq 0,2\%$.

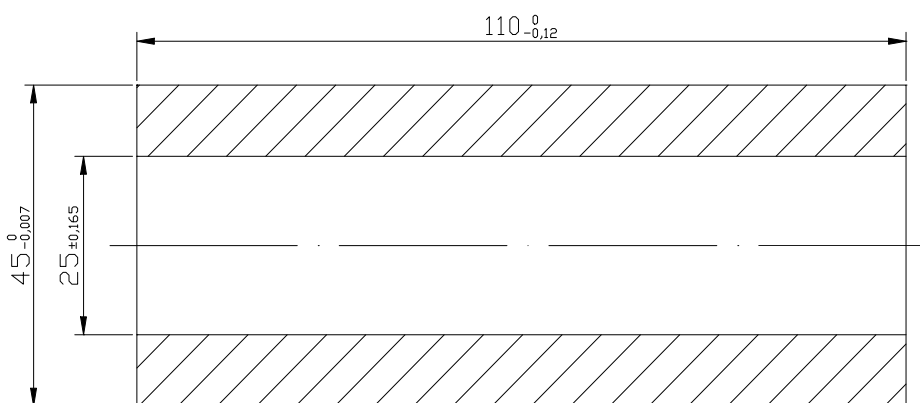


Рисунок 1 – Поршневий палець двигуна СМД-60

Джерело: розроблено авторами

Хімічні елементи, що входять до складу даної сталі сприяють забезпеченню її в'язкості і дозволяють отримувати заготовку деталі методами пластичного деформування.

© Ю.В. Кулешков, М.В. Красота, Т.В. Руденко, Р.А. Осін, В.Г. Рева, 2021

Зовнішня поверхня поршневого пальця підлягає цементації, після чого здійснюється загартовування. Твердість робочої поверхні складає HRC від 56 до 62, а серцевини HRC від 35 до 45.

Мікроструктура цементованого шару повинна складатися з дрібногольчатого мартенситу — до четвертого балу, в котрому допускаються рівномірно розподілені включення цементиту, залишкового аустеніту та троститу, також можливі окремі включення фериту. Під час виготовлення поршневих пальців з метою зменшення утримання залишкового аустеніту виконують обробку деталі холодом: охолодження й витримка деталей при температурах від мінус 50 до мінус 70°C. Високий рівень вимог до поршневих пальців зумовлений великим навантаженням деталей циліндро-поршневої групи. Навантаження на злом до появи тріщин складає для різних типорозмірів пальців від 18 до 70 тон.

Підвищення надійності роботи двигунів внутрішнього згорання можливо за рахунок систематичного та високоякісного проведення діагностичних заходів та своєчасного та якісного ремонту. Одним з резервів підвищення ефективності використання техніки та економії матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів є відновлення зношених деталей під час ремонту техніки..

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нами було проведено обстеження технічного стану поршневих пальців, о надійшли в ремонт. При цьому було встановлено, що товщина стінки поршневих пальців які поступають на відновлення знаходиться в межах від 9 до 10,5 мм, а більшість поршневих пальців мають розмір такий, що для їх відновлення необхідне збільшення зовнішнього діаметру поршневого пальця на величину до 0,30 мм.

Виділяють наступні схеми технологічних процесів відновлення поршневих пальців.

Механічна обробка під зменшений ремонтний розмір. На перший погляд є економічно доцільною, але для його реалізації необхідно мати шатуни і поршні відповідного ремонтного розміру.

Нарощування діаметру нанесенням додаткового шару матеріалу та наступна механічна обробка в номінальний розмір. До цих методів слід віднести гальванічні методи осаджування хрому та остальювання, контактне наварювання стрічки, плазмове нанесення порошкових матеріалів, гідротермічна роздача, тощо.

Аналізуючи вище перелічені методи відновлення поршневих пальців приходимо до висновку, що виникненням під час відновлення пальців внутрішніх напружень розтягування призводять до суттєвого зниження втомної міцності деталі

Існує і ще один напрямок нарощування діаметру за рахунок товщини стінок за допомогою пластичного деформування з наступною механічною обробкою в номінальний розмір. При цьому виділяють холодний та високотемпературний режим обробки. До першої підгрупи відносяться прошивка, протяжка та електрогідравлічний удар. Роздача поршневих пальців в перших двох випадках відбувається за рахунок силової дії пуансону або протяжки. В третьому випадку силова, дія, яка викликає деформацію, утворюється за рахунок тиску рідини при електродуговому розряді та носить характер удару.

Другу підгрупу складають методи, при яких роздачі підлягають розігріті поршневі пальці. Гаряча прошивка являє собою продавлювання пуансона через деталь, попередньо нагріту до високих температур.

Відновлення деталей пластичним деформуванням засновано на використанні запасу металу деталі і його пластичних властивостей.

З вищенаведеного бачимо, що відновлення поршневих пальців може бути

досягнута багатьма способами, але спосіб гарячого пластичного деформування [1 - 7]. має ряд переваг перед іншими методами, а саме:

- можливість відновлення всіх зношених поверхонь одночасно;
- можливість відновлення тільки за рахунок перерозподілу власного матеріалу пальця;
- можливість створення внутрішніх напруг стискання, що сприяє зміцненню матеріалу поршневого пальця;
- можливість «заліковування» мікротріщин;
- нагрівання пальця до температури 1150...1200⁰С з подальшим пластичним деформуванням веде до подрібнення зерна, що сприяє зміцненню матеріалу поршневого пальця, зокрема підвищенню його втомної міцності на 15...20%.

Це пояснюється тим, що в процесі нагрівання сталі вище точки рекристалізації і подальшого пластичного деформування з металом деталі відбувається ряд позитивних перетворень. Відбувається «заліковування» мікротріщини, що виникають в процесі експлуатації. Матеріал відновлених поршневих пальців набуває волокнистої макроструктури з напрямком волокон відповідно до зовнішнього контуру деталі. Відбувається подрібнення зерна в компонентах мікроструктури, більш рівномірний розподіл твердості по поперечному перерізу та зменшення залишкових внутрішніх напружень. Все це сприяє поліпшенню фізико-механічних властивостей металу

На пластичність металу в процесі пластичного деформування крім температури суттєвий вплив має схема пластичного деформування й і швидкість деформування. Для збільшення пластичності металу й усунення можливості наклепу при гарячій пластичній деформації температура нагрівання повинна бути значно більше, ніж мінімальна температура рекристалізації. Як правило початок гарячого пластичного деформування відбувається при температурі 1200...1150⁰С, а закінчення не нижче 800...850⁰С.

При відновленні деталей пластичним деформуванням особливо важливе значення має швидкість нагрівання, оскільки важливо уникнути при нагріванні вигорання легуючих елементів і не допустити росту зерна. Тому необхідно максимально збільшити швидкість нагрівання деталі і вести нагрівання, по можливості в захисному чи нейтральному середовищі.

Сутність способу відновлення поршневого пальця гарячим пластичним деформуванням полягає у швидкісному нагріванні вала в соляній печі за 2,0...2,5 хв., переміщенні пальця в штамп і роздачі в штампі двома пуансонами.

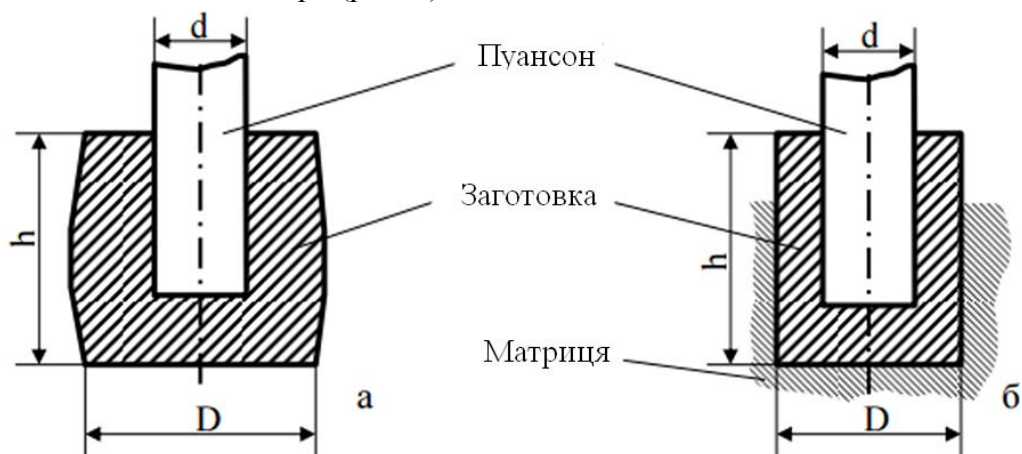
Після відновлення поршневого пальця гарячим пластичним деформуванням деталь піддається повільному охолодженню, щоб уникнути утворення гартівних структур з наступною механічною обробкою. Об'єм механічної обробки часто знижується в порівнянні з заводською технологією, оскільки при пластичному деформуванні поковка максимально наближається до форми деталі.

Оскільки при відновленні пальців пластичним деформуванням поковка максимально наближається до форми деталі, то ряд операцій механічної обробки стають непотрібними.

При розробці технологічного процесу відновлення поршневого пальця гарячим пластичним деформуванням, проектування штампової оснастки важливо в першу чергу, визначити зусилля, яке необхідно розвивати в процесі штампування. Від цього багато в чому залежить якість штампування [8 - 13].

Постановка завдання. Метою дослідження є створення теоретичної бази, що дає можливість розрахувати зусилля гарячого пластичного деформування поршневого пальця.

Виклад осного матеріалу. Прошивка - ковальська операція, за допомогою якої отримують в заготовках отвори (рис. 2).



а - відкрита; б - закрита

Рисунок 2 – Прошивка заготовки

Джерело: розроблено авторами

Відкрита прошивка циліндричних заготовок здійснюється зазвичай при співвідношенні діаметрів заготовки - D і пуансона - d : $D/d > 2$. При значенні зазначеного співвідношення близько, $D/d \approx 5...6$, схема прошивки практично не відрізняється від схеми занурення пуансона в плоский напівпростір.

При закритій прошивці співвідношення $D/d < 2$ зазвичай менше 2.

Співвідношення зусиль при відкритій і закритій прошивках показано на рис. 3.

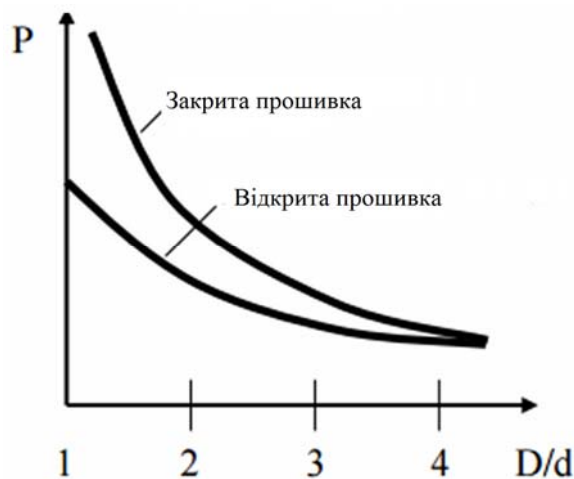


Рисунок 3 – Залежність зусилля прошивки від співвідношення діаметрів заготовки - D і пуансона - d
Джерело: розроблено авторами

Розглянемо задачу відкритої прошивки (рис. 4).

Повне зусилля на пуансоні задається формулою

$$P = P_1 + P_2, \quad (1)$$

де P_1 – зусилля, потрібне для осадження матеріалу безпосередньо під пуансоном;

P_2 – зусилля відколу матеріалу по контуру пуансона.

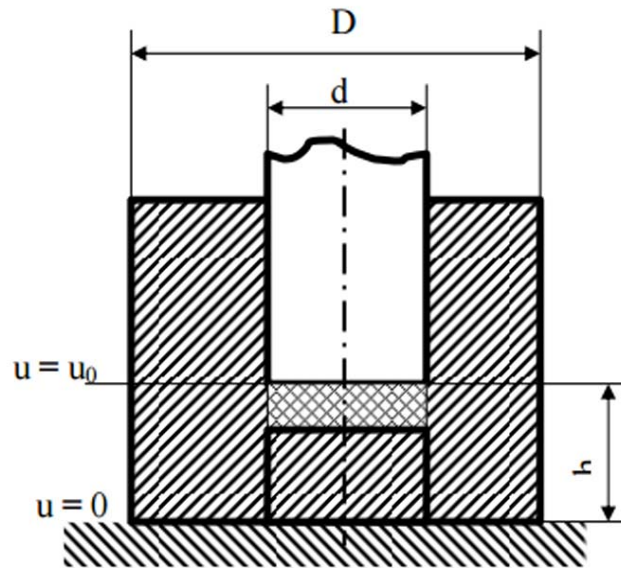


Рисунок 4 – Схема відкритої прошивки

Джерело: розроблено авторами

При гарячій прошивці формула для осадження смуги може бути перетворена для осесиметричного випадку таким чином:

$$\tau_k = -f \cdot \sigma_s \quad \text{або} \quad \tau_k = -\frac{\sigma_s}{2}, \quad (2)$$

$$\sigma_{33} = \frac{2 \cdot \tau_k}{h} \cdot x_1 + C \quad \text{або} \quad \sigma_{33} = \frac{\sigma_s \cdot \rho}{h} \cdot x_1 + C, \quad (3)$$

σ_s – границя текучості матеріала;

σ_{33} – нормальні напруги;

τ_k – дотичні напруги.

Коефіцієнт C у формулі (3) можна визначити, використовуючи рішення задачі про деформацію кругової заготовки (формула (7)), вважаючи, що радіальні напруги на границі ототожнюються з радіальним тиском з боку заготовки:

$$\sigma_\rho = \sigma_s^* \cdot \ln \frac{D}{d}. \quad (4)$$

Зв'язок радіальних і нормальних напружень виражається умовою пластичності в вигляді

$$\sigma_{33} - \sigma_\rho = -\sigma_s. \quad (5)$$

Послідовне перетворення формул (3) - (5) дає:

$$\sigma_\rho = \sigma_{33} + \sigma_s,$$

$$\sigma_\rho = \sigma_s + \frac{\sigma_s \cdot \rho}{h} + C, \quad \sigma_\rho \left(\rho = \frac{d}{2} \right) = \sigma_s + \frac{\sigma_s \cdot d}{2 \cdot h} + C, \quad \sigma_\rho \left(\rho = \frac{d}{2} \right) = -\sigma_s \ln \frac{D}{d},$$

$$C = -\sigma_s^* \cdot \ln \frac{D}{d} - \frac{\sigma_s \cdot d}{2 \cdot h} - \sigma_s, \quad \sigma_3 = \frac{\sigma_s \cdot \rho}{h} - \frac{\sigma_s \cdot d}{2 \cdot h} - \sigma_s^* \cdot \ln \frac{D}{d}.$$

Остаточно, маємо:

$$\sigma_3 = -\sigma_s \left[1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{D}{d} - \frac{\rho - d/2}{h} \right]. \quad (6)$$

Отримане значення нормального напруження (6) можна використовувати для обчислення: P_1 :

$$P_1 = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{d/2} \sigma_3 \cdot \rho \cdot d\rho \quad P_1 = \sigma_s \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \left[1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{D}{d} - \frac{d}{6 \cdot h} \right], \quad (7)$$

звідки питоме зусилля визначається елементарно:

$$p_1 = \sigma_s \cdot \left[1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{D}{d} - \frac{d}{6 \cdot h} \right]. \quad (8)$$

Для визначення питомої зусилля p_2 , що виникає від зрізу, використовуємо метод балансу робіт. Робота зрізу визначається співвідношенням:

$$A_{cp} = \pi \cdot d \cdot h \cdot \tau_k \cdot \left(\frac{u_0 - O}{2} \right), \quad A_{cp} = \pi \cdot d \cdot h \cdot \frac{\sigma_s}{2} \cdot \frac{u_0}{2}. \quad (9)$$

Робота подолання опору зрізу, що обчислюється при переміщенні пуансона, записується формулою

$$A_{comp} = p_2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot u_0. \quad (10)$$

Прирівнюючи формули роботи (9) і (10), отримаємо:

$$p_2 = \sigma_s \frac{h}{d}. \quad (11)$$

Складаючи формули (8) і (11), отримаємо повне питоме зусилля:

$$p = \sigma_s \cdot \left[1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{D}{d} - \frac{d}{6 \cdot h} + \frac{h}{d} \right]. \quad (12)$$

Використовуючи дану формулу, можна обчислити повне потрібне зусилля для прошивки шляхом простого множення питомої зусилля на площу торця пуансона.

Питоме зусилля (12) можна мінімізувати за величиною, визначивши тим самим умова співвідношення висоти заготовки і діаметра пуансона для створення оптимального силового режиму деформування. Виконуючи диференціювання (12) і прирівнюючи похідну нулю, отримаємо: $\frac{d}{h} = \sqrt{6}$.

Тоді питоме зусилля

$$p = \left[2 + \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{D}{d} \right]. \quad (13)$$

Формули (12) і (13) справедливі для співвідношень $D/d \leq 5 \dots 6$, проте друга формула справедлива при $\frac{d}{h} \leq \sqrt{6}$.

Якщо співвідношення $D/d > 6$, то задача прошивки аналогічна задачі втискання пуансона в плоске напівпростір. Оцінку граничних значень питомих зусиль можна зробити в цьому випадку методом ліній ковзання, що дозволяє зробити рівняння, яке дається залежністю:

$$p = 2 \cdot k \cdot (1 + \omega_{AB}), \quad (14)$$

$$\text{де } k = \frac{\sigma_s^*}{2};$$

ω_{AB} – кут між дотичними до лінії ковзання під інструментом і при виході на вільну поверхню.

Для початкового етапу втискання - кут повороту дотичної становить $\pi/2$, а для кінцевого – π . Відповідно значення питомих зусиль, в силу формули (14), дорівнюватимуть приблизно $2,8 \cdot \sigma_s$ і $3,6 \cdot \sigma_s$.

Вирішимо задачу про роздачу товстостінної труби внутрішнім тиском «р». Внутрішній і зовнішній радіуси кривизни труби рівні r і R відповідно. Механічні характеристики, зокрема, межа текучесті матеріалу, вважаються відомими. Задача полягає в з'ясуванні зв'язку між параметрами труби і внутрішнім тиском в момент приведення труби в пластичний стан.

Якщо взяти рівняння рівноваги для осесиметричних задач з урахуванням того, що коефіцієнт тертя дорівнює нулю, то рівняння рівноваги має вигляд

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} = 0 \quad (15)$$

Умову пластичності можна записати у вигляді

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_s^* \quad (16)$$

Умова пластичності (16) для даного випадку має мати знак «-» у правій частині для узгодження знаків окружних напружень, а тому рівняння (15) набирає вигляду

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} = \frac{\sigma_s^*}{\rho} \quad (17)$$

Рішення диференціального рівняння (17) призводить до залежності

$$\sigma_\rho = \sigma_s^* \cdot \ln R + C \quad (18)$$

Граничні умови

$$\sigma_\rho|_r = f(\rho), \quad (19)$$

з урахуванням нульових значень нормальних напружень на зовнішньому контурі використовуємо для визначення C

$$\sigma_\rho(R) = \sigma_s^* \cdot \ln R + C \quad (20)$$

Підстановка значення C з (20) в (18) призводить до вирішення:

$$\sigma_\rho(R) = -\sigma_s^* \cdot \ln \frac{R}{\rho} \quad (21)$$

На внутрішньому контурі (при $\rho = r$) нормальне напруження дорівнює $-p$, а тому з (21) маємо

$$\sigma_\rho(r) = -\sigma_s^* \cdot \ln \frac{R}{r} \quad (22)$$

Співвідношення (22) є рішенням вихідної задачі.

Висновки.

1. Відновлення поршневого пальця гарячим пластичним деформуванням дозволяє відновити 95% пальців, що надійшли в ремонт.

2. Поршневі пальці відновлені гарячим пластичним деформуванням по своїм технічним параметрам на поступаються новим, що досягається - «заліковуванням» мікротріщин, створенням внутрішніх напруг стискання, та подрібненню зерна, що

сприяє зміцненню матеріалу поршневого пальця, зокрема підвищенню його втомної міцності на 15...20%.

3. В результаті проведення теоретичних досліджень опору металу пластичному деформуванню були отримані залежності питомого зусилля на пуансоні в залежності від співвідношення діаметрів заготовки.

Список літератури

1. Бисикенов А.Б. Анализ способов восстановления автотракторных шестерен. *Ремонт сельскохозяйственной техники и ее надежность: сб. научных трудов*. 1976. Вып. 76. С. 58-70.
2. 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.
3. Пашин Ю.Д., Кириллов А.В. Восстановление цилиндрических зубчатых колес. *Степные просторы*. 1982. № 9. 52 с.
4. 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.
5. Кузьменков О.И. Теоретические основы восстановления формы и механических свойств твердых тел ротационным пластическим деформированием. *Современное оборудование и технологические процессы для восстановления изношенных деталей машин*: тезисы докл. на НТК стран-членов СЭВ и СФРЮ. ("Ремдеталь-83"). М.: ЦНИИТЭИ. Ч. 2. С. 20-22.
6. Ковальчук Ю.М., Климин В.И., Брусенцов А.И. и др. Технология и установка для восстановления валов-шестерен гидронасосов типа НШ. *Современное оборудование и технологические процессы для восстановления изношенных деталей машин*: тезисы докл. на НТК стран-членов СЭВ и СФРЮ ("Ремдеталь-83"). М.: ЦНИИТЭИ, Ч. 2. С. 19-20.
7. Климин В.И., Гребельник М.П., Савчук С.А. и др. Восстановление шестерен гидронасосов методом пластической деформации. *Технология и организация производства*. 1985. № 3. С. 50-51.
8. Томсен З., Янг И., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов. М.: Машиностроение, 1969. 504 с.
9. Стопанский Л.Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1979. 215 с.
10. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
11. Теория обработки металлов давлением (Вариационные методы расчета усилия и деформаций) / И.Я.Тарновский, А.А.Поздеев О.А.Ганаго и др.; под ред. И.Я.Тарновского. М.: Металлургия, 1963. 672 с.
12. 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.
13. Хензель А., Шпигель Т. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением: справ.изд. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1982. 360 с.
14. Филимонов В. И., Мищенко О. В. Теория обработки металлов давлением: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2012. 208 с.
15. Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов. Москва: Металлургия, 1972. 408 с.

References

1. Bisikenov, A.B. (1976). Analiz sposobov vostanovleniy avtotraktornuh shesteren [The analysis of the methods of recovery of automotive gears]. *Remont selskhozystvennoy tehniky i nadezhnost – Agricultural Machinery Repair and Reliability*. Vol. 76. 58-70. [in Russian].
2. Kirillov, A.B. (1982). Analiz tehnologicheskikh processov vostanovleniy zubchatuh kolyos s neravnomernum iznosom po dline zuba [Analysis of technological processes for restoring gears with uneven wear along the length of the teeth]. *Remont traktorov i s/h mashin – Repair of Tractors and Agricultural Machines*. Saratov. 78-830. [in Russian].
3. Pashin, U.D. & Kirillov, A.B. (1982), Vosstovlenie culindricheskikh zubchatuh kolyos [Restoration of cylindrical gears]. *Stepnue prostoru – Steppe Expanses*. 9. 52 [in Russian].
4. Kuzmenkov, O.I. & Karabanov, F.F. (1980). Progressivnuyue metodu vosstanovleniy zubchatuh kolyos

- [Progressive gear recovery methods]. Obzornay informaciy. Seriy: Mashinostroenie I metaloobrobtka Belorusskiy NIINTI i TEI Gosplana BSSR MinskS 22. [in Russian].
5. Kuzmenko O.I. Tetoreticheskie osnovu vosstanovleniy formu i mehanocheskikh svoystv tvurduh tel rotacionnum plasticheskim deformirovaniem [Theoretical foundations of restoring the shape and mechanical properties of solids by rotational plastic deformation]. *Sovremennoe oborudovanie i tehnologicheskie processu dly vosstanovleniy iznoshenuh detaley mashin: tezisu dokladov na NTK stran – chlenov SEV i SFRU ("Remdetal-83")*, 2. pp. 20-22. [in Russian].
 6. Kovalchuk U.M., Klimin B.I., Brusencov A.I. Tehnologiy i ustanovka dly vosstanovleniy valovshesteren gidronasosov tipy NSh [Technology and installation for restoring the gear shafts of hydraulic pumps of the NSH type]. *Sovremennoe oborudovanie i tehnologicheskie processu dly vosstanovleniy iznoshenuh detaley mashin: tezisu dokladov na NTK stran – chlenov SEV i SFRU ("Remdetal-83")*, Moscow.: CNIITEI, 2. pp. 19-20. [in Russian].
 7. Klimin, B.I., Grebelnik, M.P. & Savchuk, S.A. (1985). Vosstanovlenie shesteren gidronasosov metodom plasticheskoy deformacii [Restoration of hydraulic pump gears by plastic deformation method]. *Tehnologiy i organozciy proizvodstva – Technology and Organization of Production*. Moscow CIITEI Goskomcelhoztehniki. 3. 50-51. [in Russian].
 8. Tomsen Z., Yang I. & Kobayashi Sh. (1969). *Mehanika plasticheskikh deformaciy pri obrabotke metallov [Mechanics of plastic deformations in metal processing]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
 9. Stopanskiy, L.G. (1979). *Raschet processov obrabotki metallov davleniem [Calculations of metal forming processes]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
 10. Storozhev, M.V. & Popov, E.A. (1977). *Teoriy obrabotki metallov davleniem [Theory of metal forming]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
 11. Taranovskiy, I.Y., Pozdeev, A.A. & Ganago, O.A.. (1963). *Theory of metal forming*. I.Y.Taranovskogo (Ed.). Moscow: Metalurgizdat [in Russian].
 12. Unksov, E.P., Dzhonson, U. & Kolmogorov, V.L.. (1983). *Teoriy plasticheskikh deformaciy metallov [Theory of plastic deformations of metals]*. E.P. Unksov, A.G.Ovchinnikova (Ed.). Moscow. Mashinostroenie [in Russian].
 13. Henzel A. & Shpigel T. (1982). *Raschet energosilovuh parametrov v processah obrabotki metallov davleniem [Calculation of energy-power parameters in metal forming processes]*: Sprav. izd. Moscow. Metalurgiy [in Russian].
 14. Fillimonov, V. I. & Fillimonov, O. V. (2012). *Teoriy obrabotki metallov davleniem [Theory of metal forming]: uchebnoe posobie . Ulianovsk : UIGTU [in Russian]*.
 15. Tomlenov, A.D. (1972). *Teoriy plasticheskogo deformirovaniy metallov [Theory of plastic deformation of metals]*. Moscow: Metalurgiy [in Russian].

Yuriy Kuleshkov, Prof., Dsc., **Timofey Rudenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mikhail Krasota**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ruslan Osin**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasyl Reva**, master
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Restoration of Piston Pins by Hot Plastic Deformation

The aim of the study is to create a theoretical basis that allows to calculate the forces of hot plastic deformation of the piston pin.

One of the promising methods of restoring the piston fingers of the connecting rod - piston group of internal combustion engines is the method of hot plastic deformation. The process of restoring the piston fingers by hot plastic deformation can increase their strength and, in particular, fatigue strength. When developing the technological process of restoration of piston fingers using the method of hot plastic deformation by distributing it with a punch in the stamp, there is a problem of determining the effort required for high-quality deformation process. The article offers the theoretical basis for calculating the deformation forces. The result was obtained on the basis of the selected scheme of formation.

As a result of the calculations we can conclude:

1. Restoration of the piston finger by hot plastic deformation allows to restore 95% of the fingers which have arrived in repair.

2. Piston fingers restored by hot plastic deformation in their technical parameters are not inferior to the new, achieved - "healing" of microcracks, creating internal compressive stresses, and grinding grain, which strengthens the material of the piston finger, in particular increasing its fatigue strength by 15... 20% .

3. As a result of theoretical studies of the resistance of the metal to plastic deformation were obtained dependences of the specific force on the punch depending on the ratio of the diameters of the workpiece.

hot plastic deformation, punch, deformation force

Одержано (Received) 24.01.2021

Прорецензовано (Reviewed) 05.02.2021

Прийнято до друку (Approved) 26.04.2021