

**Анісімов В.Ф.**

д.т.н., професор

Музичук В.І.

к.т.н., доцент

Любін М.В.

к.т.н., доцент

Рябошапка В.Б.

к.т.н.

**Вінницький національний
аграрний університет****Anisimov V.****Muzychuk V.****Lyubin M.****Ryaboshapka V.****Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 621.775****ДОСЛІДЖЕННЯ ГОЛОВКИ
ШАТУНА НАСОСА
ВИГОТОВЛЕНОЇ ХОЛОДНИМ
ШТАМПУВАННЯМ**

У статті досліджено сферичну головку шатуна із сталі 30ХЗМФА виготовлену холодним об'ємним штампуванням на спеціальному штампі. Напружено-деформований стан у процесі штампування сферичної головки досліджено експериментально-розрахунковими методами волокнистої макроструктури і вимірюванням твердості, розраховано використаний ресурс пластичності сталі.

Ключові слова: штампування, напружено-деформований стан, волокниста макроструктура, використаний ресурс пластичності.

Постановка проблеми. Традиційна технологія виготовлення головки шатуна аксіального роторно-поршневого насоса полягає в механічній обробці на верстатах із часовим програмним управлінням або обробкою фасонними різцями. Ця операція з наступною термообробкою забезпечує несприятливу технологічну спадковість, що призводить при експлуатації системи, а поршень – шатун до поломок у вигляді зломів на переході сферичної головки шатуна в циліндр (рис.1).

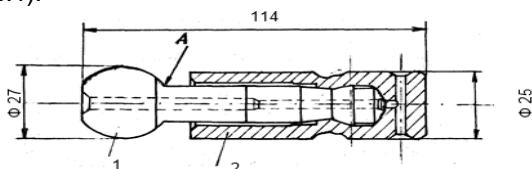


Рис. 1. Ескіз поршня із шатуном у складенні: 1 – шатун, 2 – поршень, А – місце очікуваного руйнування.

Застосування для виготовлення головки шатуна технології холодного об'ємного штампування дозволяє підняти коефіцієнт використання металу до 93-98 %, знизити загальну трудомісткість виготовлення і поліпшити механічні характеристики готового виробу.

Можливість здійснення зазначеної операції залежить від того, як витримає

деформована заготовка необхідний ступінь деформації без руйнування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Щоб визначити ступінь деформації заготовки шатуна, необхідне дослідження напружено-деформованого стану, який виникає у процесі штампування, а також формування технологічного паспорта матеріалу (сталь 30ХЗМФА) [1, 2]. Інформація про напружено-деформований стан процесу штампування, а також дані про паспорт матеріалу дозволять використовуючи феноменологічну теорію деформування металів, оцінити використаний ресурс пластичності [3].

Формулювання мети досліджень. Дослідити напружено-деформований стан, який виникає в процесі штампування головки шатуна аксіального роторно-поршневого насоса (сталь 30ХЗМФА), сформувати технологічний паспорт матеріалу і оцінити використаний ресурс пластичності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Послідовно розв'язуючи зазначені задачі, сформовано технологічний паспорт матеріалу. З цією метою для матеріалу шатуна (сталь 30ХЗМФА) побудовано криву течії, градувальний графік і діаграму пластичності [6].

Експерименти проводили на циліндричних заготовках діаметром 20 мм і



висотою 40 мм. Штампування проводили на спеціально виготовленому штампі, конструктивну схему якого показано на рис. 2.

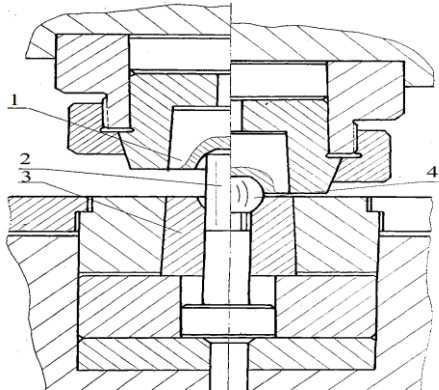


Рис. 2. Конструктивна схема штампа, призначеного для висадження сферичних заготовок: 1 – пуансон, 2 – заготовка до висадження, 3 – матриця, 4 – заготовка після висадження.

Після висадження шарових стовщень заготовки на її меридіональному перерізі проводили вимірювання твердості по Віккерсу за схемою, показаною на рис. 3. За результатами вимірювань побудовані ізолінії твердості HV , МПа, інтенсивності напружень σ_u , МПа і інтенсивності деформацій e_u у меридіональному перерізі сферичної заготовки (рис. 4).

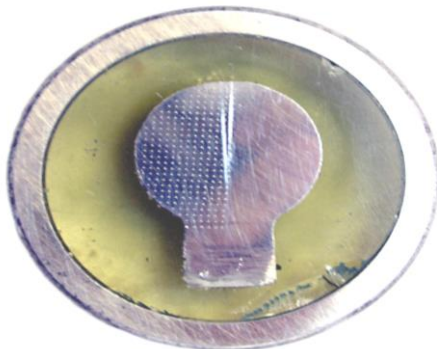


Рис. 3. Дослідження твердості на меридіональному перерізі головки шатуна

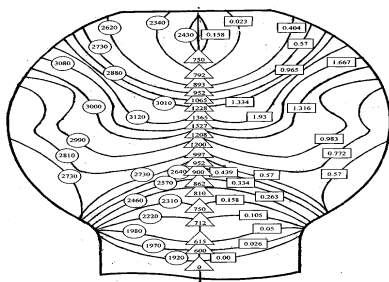


Рис. 4. Ізолінії у меридіональному перерізі сферичної заготовки(сталь 30Х3МФА):

- - твердість HV МПа,
- △ - інтенсивність напружень σ_u , МПа,
- - інтенсивність деформацій e_u

Напружено-деформований стан визначено за допомогою волокнистої макроструктури і вимірів твердості [3].

На підставі даних експериментів (рис. 4) про розподіл інтенсивності напружень σ_u , накопиченої інтенсивності деформацій e_u у меридіональному перерізі сферичного стовщення заготовки шатуна із сталі 30Х3МФА, подальший розрахунок напружено-деформованого стану проведений за методикою представленою у роботі Огородникова В.А. [4], де узагальнено результати дослідження напружено-деформованого стану при холодному висадженні сферичної заготовки зі сталі 45 шарових пальців автомобіля. Відзначимо, що геометрія заготовки шарового пальця близька до заготовки шатуна.

Використовуючи принцип подоби, а також положення про слабкий вплив властивостей матеріалу на деформований стан у процесі холодного об'ємного штампування за інших рівних умов (ступінь висадження, обтиснення і інші параметри), опираючись на результати оцінки деформованого стану [5], можна одержати механіку процесу формозміни сферичного стовщення шатуна.

Крім того, з'являється можливість оцінити використаний ресурс пластичності, опираючись на принципи моделювання, викладені в досліджуваних роботах [4, 5].

Напружено-деформований стан при висадженні сферичних стовщень шарового пальця автомобіля визначали згідно роботи [4] за допомогою волокнистої макроструктури і вимірів твердості.

Розрахунок компонентів тензора деформації викладений у роботі [3], проводили за допомогою методики, розробленої для випадку осесиметричної осадки циліндра, що дозволяє визначити деформований стан у пластичній області виявленням волокнистої макроструктури. Основною перевагою цієї методики є можливість визначення деформованого стану без порушення суцільності досліджуваної заготовки до деформування.

Під макроструктурою розуміють будову металу, що спостерігається неозброєним оком або при невеликих збільшеннях. Макроструктура є наслідком хімічної і фізичної



неоднорідності металу. Її виникнення обумовлене пластичною деформацією.

Для виявлення волокнистої макроструктури готується макрошліф, площина якого вибирається в напрямку волокон. Ця площина після стругання або фрезерування з наступним шліфуванням і поліруванням піддається глибокому травленню. На рис. 5 показано волокнисту макроструктуру в меридіональному перерізі сферичної заготовки.



Рис. 5. Волокниста макроструктура в меридіональному перерізі сферичної заготовки: а - поздовжні волокна; б - поперечні волокна.

Виявлення волокнистої макроструктури деформованого металу раніше використовували для якісного дослідження процесів пластичного деформування.

П.О. Пашков першим використав волокнисту макроструктуру деформованого металу для кількісної оцінки пластичних деформацій [7].

Для визначення деформацій при осесиметричному деформуванні було розроблено наступну методику [8].

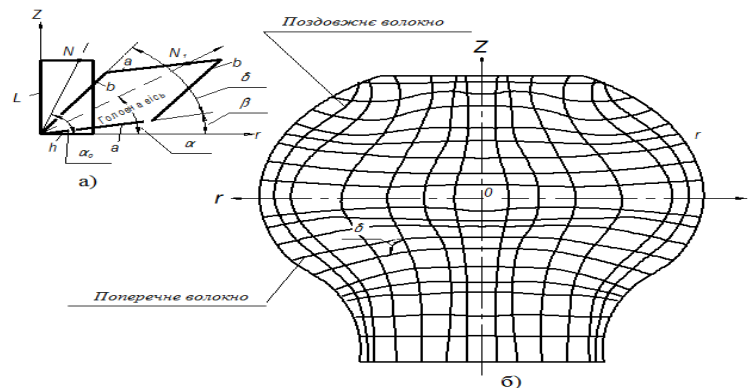


Рис. 6. Подільна сітка в меридіональному перерізі сферичної заготовки: а – параметри подільної сітки, б – викривлена подільна сітка.

Окружну деформацію e_φ розраховували на підставі вимірів радіусів волокон викривленої подільної сітки, показаних на рис. 6, б:

$$e_\varphi = \ln \frac{r_i}{r_0}, \quad (1)$$

де r_i - радіус волокон після деформації,

r_0 - радіус волокон до деформації,

Випробовуються дві моделі досліджуваного тіла, виготовлені таким чином, щоб при однаковій їхній установці волокна в одній з них були перпендикулярними волокнам іншої моделі. На поверхні моделей уздовж контуру розглянутого перерізу через рівні проміжки наносять позначки. Їх наносять на тій частині контуру, де волокна перетинають поверхню тіла. Для осесиметричного тіла моделями є циліндри, в одного з яких волокна орієнтовані вздовж осі, а в іншого – у перпендикулярному до осі напрямку. У першого зразка кернення наносяться в різних точках радіуса торця, а в другого – у різних точках твірної, яка лежить в площині, у якій волокна збігаються з радіусом циліндра.

Після деформування модель розрізають уздовж розглянутого перерізу, викладеними вище прийомами виявляють волокна. Сполучаючи потім на одному рисунку позначені керненнями волокна першої і другої моделі, одержуємо викривлену подільну сітку, по якій можна визначити деформації.

Для розглянутого випадку у роботі Огородникова В.А. [4] штампували два зразки, однакові по розміру і матеріалам, які мають взаємно перпендикулярне розташування волокон.

Макроструктуру зразків використовували для побудови подільної сітки в меридіональному перерізі сферичної заготовки (рис. 6).

вимірюваний у недеформованій зоні штампованого зразка.

Уздовж горизонтальної осі симетрії, де перерізи залишаються плоскими у процесі деформування, радіальну деформацію e_r визначали з рівняння нерозривності деформації

$$\frac{de_\varphi}{dr} = \frac{e_r - e_\varphi}{r}, \quad (2)$$



де r – радіус сферичного стовщення. Осьові деформації e_z визначали з умови нестисливості, а інтенсивність деформації e_u зі співвідношення

$$e_u = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{e_z^2 + e_\varphi^2 + e_z e_\varphi}. \quad (3)$$

$$e_{1,2} = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{2} \left(\frac{a^2}{h^2} + \frac{b^2}{L^2} \right) \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{a^2}{h^2} - \frac{b^2}{L^2} \right) + \frac{a^2}{h^2} \frac{b^2}{L^2} \cos^2 \delta}. \quad (4)$$

де a, b, h, δ – параметри подільної сітки. Головні напрямки, що відповідають деформації e_u утворюють з віссю r кут α , величину якого визначаємо з наступних міркувань. Кут, що визначає вихідне положення відрізка ON_1 позначимо через α_0 (рисунок 6, а). У даний момент деформування цей кут збігається

Надалі розрахунок напружень здійснювали за допомогою співвідношень деформаційної теорії пластичності.

При позначеннях, показаних на рисунку 6 а, головні логарифмічні деформації дорівнюють:

з напрямком головної вісі. У процесі деформації відрізок ON повертається і його дійсний напрямок після деформації визначається кутом α :

$$\alpha = \arctg \left\{ \frac{\frac{a}{h} \sin \beta + \frac{b}{L} \sin(\delta + \beta) \cdot \operatorname{tg} \alpha_0}{\frac{a}{h} \cos \beta + \frac{b}{L} \cos(\delta + \beta) \cdot \operatorname{tg} \alpha_0} \right\}. \quad (5)$$

Де

$$\alpha_0 = \frac{1}{2} \arctg \frac{\frac{a}{h} \cdot \frac{b}{L} \cos \delta}{\frac{a^2}{h^2} - \frac{b^2}{L^2}}. \quad (6)$$

Перевагою співвідношень (4), (5), (6) є та обставина, що при їхньому значенні умова нестисливості не використана, а це дозволяє надалі застосувати їх або для перевірки отриманих результатів, або для їхнього уточнення. Перевірку можна здійснити, підставляючи окружну деформацію, отриману з умови нестисливості ($e_\varphi = -e_1 - e_2$), розрахованої по співвідношенню (1).

Формули, аналогічні (5), (6), що дозволяють зменшити трудомісткість вимірів елементів викривленої подільної сітки, одержимо виключивши за допомогою умови нестисливості один із параметрів елемента сітки b/h з (4), (5):

$$e_{12} = \frac{1}{2} \ln \frac{\left(\frac{a^4}{h} \frac{r_i^2}{r_0^2} \sin^2 \delta + 1 \right) \pm \sqrt{\left(\frac{a^4}{h^4} \frac{r_i^2}{r_0^2} \sin^2 \delta - 1 \right) + \frac{a^4}{h^4} \frac{r_i^2}{r_0^2} \sin^2 \delta}}{2 \frac{a^2}{h} \frac{r_i^2}{r_0^2} \sin^2 \delta}, \quad (7)$$



$$\alpha = \arctg \frac{\frac{a}{h} \sin \beta + \frac{\sin(\delta + \beta) \operatorname{tg} \alpha_0}{\frac{r_i}{r_0} \frac{a}{h} \sin \delta}}{\frac{a}{h} \cos \beta + \frac{\cos(\delta + \beta) \operatorname{tg} \alpha_0}{\frac{r_i}{r_0} \frac{a}{h} \sin \delta}}, \quad \alpha_0 = \frac{1}{2} \arctg \frac{0,5 \frac{r_i}{r_0} \frac{a^2}{h^2} \sin 2\delta}{\frac{a^4}{h^4} \frac{r_i^2}{r_0^2} \sin^2 \delta - 1} \quad (8)$$

У співвідношеннях (7), (8) r_0 і r_i радіуси центра ваги ячейки до і після деформування, δ , α , h – параметри викривленої подільної сітки. Ці параметри вимірювали за збільшеною у шестиразовому розмірі фотографією волокнистої макроструктури (рисунок 5). Відзначимо, що число волокон на фотографії досить велике. Це дозволило вимірювати параметри a і h між сусідніми волокнами і між волокнами, що знаходяться на відстані порядку 0,5 мм. Результати вимірів параметрів r_i / r_0 ,

α / h , δ і β статистично обробляли за допомогою методу найменших квадратів. У

результаті отримано функції $\frac{r_i}{r_0} = \frac{r_i}{r_0}(r, z)$,

$\frac{a}{h} = \frac{a}{h}(r, z)$, $\beta = \beta(r, z)$, $\delta = \delta(r, z)$, за

допомогою яких визначали значення $\frac{r_i}{r_0}$, $\frac{a}{h}$,

δ і β у вузлах розрахункової сітки з базою 1 мм.

Подальший розрахунок компонентів тензора напружень проводили в наступній послідовності. Компоненти девіатора напружень розраховували, виходячи з деформаційної теорії пластичності:

$$\begin{cases} s_1 = \sigma_1 - \sigma = \frac{2}{3} \frac{\sigma_u}{e_u} e_1 ; \\ s_2 = \sigma_2 - \sigma = \frac{2}{3} \frac{\sigma_u}{e_u} e_2 ; \\ s_3 = \sigma_3 - \sigma = \frac{2}{3} \frac{\sigma_u}{e_u} e_3 , \end{cases} \quad (9)$$

де $s_3 = s_\varphi$, $e_3 = e_\varphi$.

Перехід до компонентів девіатора напружень s_r , s_z і τ_{rz} здійснювали за допомогою відомих формул перетворення:

$$\begin{cases} s_r = s_1 \cos^2 \alpha + s_2 \sin^2 \alpha ; \\ s_z = s_1 \sin^2 \alpha + s_2 \cos^2 \alpha ; \\ \tau_{rz} = \frac{s_1 - s_2}{2} \sin 2\alpha . \end{cases} \quad (10)$$

Результати розрахунку деформацій показані на рис. 7, 8.

Деформований стан при висадженні в сферичних матрицях, показаний на рисунках 7-8, відрізняється значною нерівномірністю.

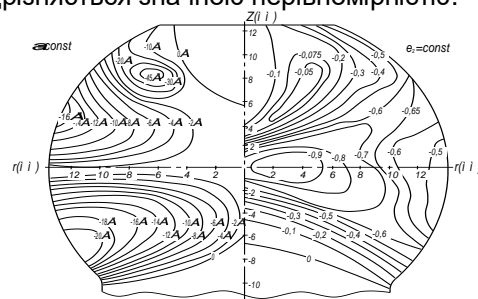


Рис. 7. Ізолінії деформації e_2 і кута α у меридіональному перерізі заготовки при холодному висадженні.

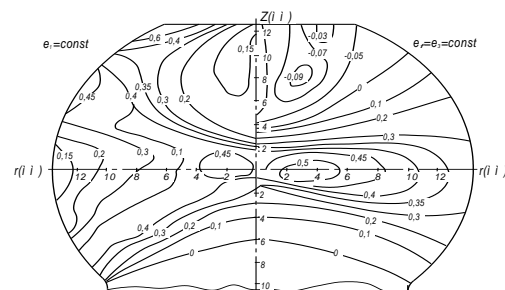


Рис. 8. Ізолінії головних деформацій у меридіональному перерізі заготовки при холодному висадженні.

Аналіз виміру компонентів тензора головних деформацій у пластичній області свідчить про наявність двох напрямів течії металу. В зоні, яка примикає до верхньої висадочної матриці, спостерігається явище видавлювання металу в напрямку, протилежному переміщенню повзуна преса.



Тангенціальні деформації e_3 і деформації e_2 тут від'ємні, а деформації e_1 позитивні. В зоні, де проходить осадження матеріалу, знаки при e_1 , e_2 і e_3 протилежні. В зоні, де переважає осадження, абсолютні значення деформацій наростають від периферії до центра. У зоні видавлювання – цей напрямок протилежний.

Знаючи дані про розподіл деформацій при холодному висадженні сферичних стовщень шарових пальців зі сталі 45, які наведені в роботі [4], подальший розрахунок компонентів тензора деформацій при висадженні сферичних стовщень головки шатуна зі сталі 30ХЗМФА проводили за наступною методикою [2, 6].

Уздовж будь-якого напрямку по радіусу маємо епюри інтенсивності деформацій e_u . Так як деформований стан слабо залежить від властивостей матеріалу то ці ж деформації

$$S_1 = \frac{2}{3} G e_1, \quad S_2 = \frac{2}{3} G e_2, \quad S_3 = \frac{2}{3} G e_3, \quad (13)$$

одержимо $\sigma_1 - \sigma = G e_1$, $\sigma_2 - \sigma = G e_2$, $\sigma_3 - \sigma = G e_3$, отже,

$$\sigma_1 = \frac{2}{3} G e_1 + \sigma, \quad \sigma_2 = \frac{2}{3} G e_2 + \sigma, \quad \sigma_3 = \frac{2}{3} G e_3 + \sigma, \quad (14)$$

де G – січний модуль пластичності рівний

$$G = \frac{\sigma_u}{e_u}.$$

Остаточно одержимо

$$\begin{cases} \sigma_r = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_z \sin^2 \alpha; \\ \sigma_z = \sigma_1 \sin^2 \alpha + \sigma_z \cos^2 \alpha; \\ \tau_{rz} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin^2 \alpha, \end{cases} \quad (15)$$

де α кут, що визначає головний напрямок деформації (рисунок. 7) і є функцією $\alpha=f(rz)$.

Контактні напруження розраховували за допомогою формул перетворень:

$$\begin{cases} \sigma_n = \sigma_r \cos^2 \gamma + \sigma_z \sin^2 \gamma + \tau_{rz} \sin^2 \alpha; \\ \tau_n = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin^2 \gamma + \tau_{rz} \cos^2 \gamma, \end{cases} \quad (16)$$

де кут γ , показаний на рис. 9.

Згідно викладеній методиці отриманий розподіл компонентів тензора напружень, а також контактних напружень при висадженні

мають місце при штампуванні заготовок сфер матеріалу шатуна. Тому, ввівши коефіцієнт K_σ ,

$$K_\sigma = \frac{(e_\varphi)_{\text{шатуна}}}{(e_\varphi)_{\text{шар. пальця}}} = 1,952, \quad (11)$$

перерахували деформації з врахуванням різних обтиснень шарового пальця і шатуна. Гідростатичне напруження σ визначали за допомогою співвідношення

$$\sigma = \frac{\sigma_u \eta}{3}, \quad (12)$$

де η - показник напруженого стану, який слабо залежить від властивостей матеріалу.

Додаючи до σ компоненти девіатора напружень

сферичних стовщень головки шатуна із сталі 30ХЗМФА.

Інформація про напружено-деформований стан при холодному висадженні шарових заготовок дозволяє зробити розрахункову оцінку деформованості заготовок при холодному висадженні заготовок сферичних головок шатуна із сталі 30ХЗМФА.

На рис. 10 показані ізолінії показника напруженого стану η і інтенсивності деформацій e_u у меридіональному перерізі сферичної головки шатуна.

Неоднорідність розподілу показника напруженого стану η , показано на рис. 10, для розглянутого випадку являється значним. Більш "жорстка" схема напруженого стану виявилася поблизу контуру заготовки. Тут ймовірно руйнування металу.

На рис. 11 побудовано діаграму пластичності сталі 30ХЗМФА, отриману випробуванням циліндричних зразків на спільне кручення і розтяг.

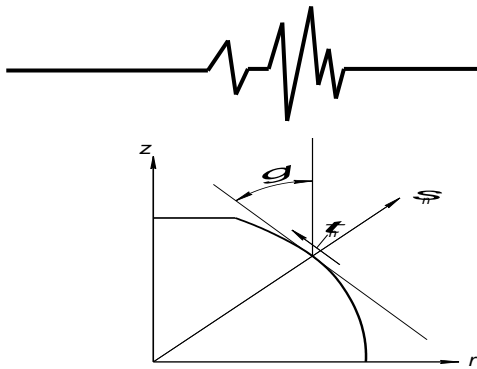


Рис. 9. Схема до визначення контактних напружень при висадженні сферичного стовщення шатуна

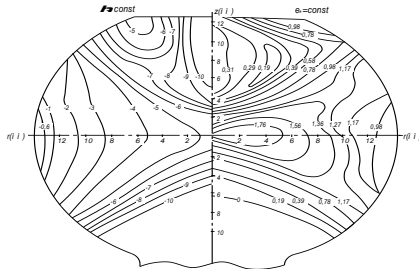


Рис. 10. Ізолінії показника η інтенсивності деформації ϵ_u у меридіональному перерізі сферичного стовщення шатуна.

Також на рис. 11 показано шлях деформування частки матеріалу на екваторі бічної поверхні, побудованої за результатами розрахунку показника η і інтенсивності деформації для трьох стадій висадження сферичної головки шатуна.

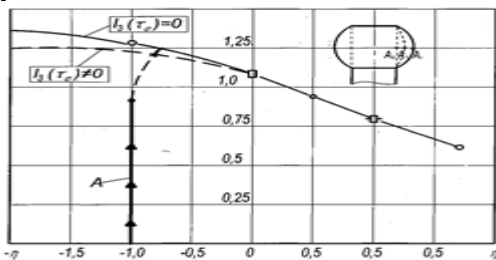


Рис. 11. Діаграма пластичності сталі 30X3MFA (● - стиск, □ - кручення, □ - розтяг, — - апроксимація, А- шлях деформування частинки А на екваторі бічної поверхні заготовки при висадженні)

Варто відмітити, що при висадженні сферичних заготовок шатуна в закритому штампі реалізується об'ємний напружений стан. У зв'язку з цим третій інваріант тензора напружень $I_3 (T_\sigma)$ у небезпечній області заготовки не дорівнює нулю. Для врахування впливу $I_3 (T_\sigma)$ на величину граничної деформації розраховували показник

$$\chi = \frac{\sqrt[3]{I_3(T_\sigma)}}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} \text{ і ввели}$$

поправку на діаграмі пластичності, яка обумовлена впливом показника χ . На рисунку

11 показано діаграму пластичності, побудовану з урахуванням впливу показника χ на величину граничних деформацій. З рисунку 11 випливає, що пластичність досліджуваної сталі виявилася достатньою для реалізації процесу висадження, тому що ступень деформації виявився меншим граничного.

Отримані результати про розподіл інтенсивності деформацій (рис. 7) наносили на діаграму пластичності, показану на рис. 11 у координатах $\epsilon_u = f(\eta)$, що дозволило розрахувати використаний ресурс пластичності за критерієм [3]:

$$\psi = \int_0^{\epsilon_u} \frac{\left(1 + 0.2 \arctg \frac{d\eta}{d\epsilon_u}\right) * e^{0.2 \arctg \frac{d\eta}{d\epsilon_u}} * d\epsilon_u}{\left[\epsilon_p(\eta(\epsilon_u))\right]^{1 + 0.2 \arctg \frac{d\eta}{d\epsilon_u}}} \leq 1 \quad (17)$$

Використаний ресурс пластичності виявився рівним $\Psi=0,7 < 1$.

Висновки. Досліджено сферичну головку шатуна із сталі 30X3MFA, виготовлену холодним об'ємним висадженням на спеціальному штампі. Напружено-деформований стан у процесі висадження сферичних стовщень досліджено експериментально-розрахунковими методами волокнистої макроструктури. Показано, що при холодному висадженні заготовок із сталі 30X3MFA ресурс пластичності становить 0,7, що менше одиниці, та дозволяє здійснювати процес висадження без руйнування з запасом пластичності рівним 0,3.

Список використаних джерел

1. Огородников, В.А. Технологический паспорт материала предназначенный для обработки давлением заготовок авиационного и автомобилестроения / Огородников В.А., Лебедева Г.А. // Вибрации в технике и технологиях. Всеукраинский научно-технический журнал. – 1995. – № 1 (3). – С. 24-25.
2. Муzychuk В.И. О возможности получения головки шатуна аксиально-роторного поршневого насоса методом пластического формоизменения / В.И. Муzychuk // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ: ДДМА. – 2004. – С. 345-349.
3. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В.А. Огородников – К.: Выща школа, 1983. – 175 с.
4. Огородников В.А. Деформации и напряжения при холодной посадке заготовок в



сферических матрицах / В.А. Огородников, И.К. Букин-Батырев, И.О. Сивак // Кузнечно-штамповочное производство. – 1977. – № 4. – С. 11-14.

5. Огородников В.А. Моделирование напряжённого состояния в процессах объёмного формоизменения на основании гипотезы о подобии путей деформирования / В.А. Огородников, М.А. Рвачёв, В.Д. Покрас, О.Л. Гайдамак // Кузнечно-штамповочное производство. – 1991. – №11. – С. 2-4.

6. Огородников В.А. Механіка процесів холодного формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації. Монографія. / В.А. Огородников, В.І. Муzychuk, О.В. Нахайчук – В.: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 179 с.

7. Пашков П.О. Пластичность и разрушение металлов / П.О. Пашков – Л. Судпромгиз, 1950. – 152 с.

8. Огородников В.А. Экспериментально аналитическое исследование осесимметричной пластической деформации. Кандидатская диссертация / В.А. Огородников – Томск, 1968. – 112 с.

9. Джонсон М., і Маталіс А. в машинобудуванні пластичності. Теорія процесів обробки металів тиском (вид. Г. Ліппман), Том. 2, 297. Курси та лекції CISM, № 139, Springer-Verlag (1977).

Reference

1. Ogorodnikov V.A. & Lebedeva G.A. (1995). Tekhnologicheskii pasport materiala prednaznachennyi dlya obrabotki davleniyem zagotovok aviastroyeniye i avtomobilestroyeniya [Technological passport of the material intended for processing by pressure blanks of aircraft industry and automotive industry]. *Vibrations in technology and technology. All-Ukrainian scientific and technical journal*, (Vol. 1, part 3), pp. 24-25 [in Russian].

2. Muzychuk V.I. (2004). O vozmozhnosti polucheniya golovki shatuna aksial'no-rotornogo porshneвого nasosa metodom plasticheskogo formoizmeneniya [On the possibility of obtaining the head of the rod of an axial-rotary piston pump by plastic forming]. *Favoring processes and possessing a vice in metal metallurgy and machine tools*. pp. 345-349, Kramatorsk: DGMA. [in Russian].

3. Ogorodnikov V.A. (1983). Otsenka deformiruyemosti metallov pri obrabotke davleniyem [Evaluation of metal deformability during pressure treatment]. *High school*. 175 p. [in Russian].

4. Ogorodnikov V.A., Bukin-Batyrev I.K. & Sivak I.O. (1977). Deformatsii i napryazheniya pri kholodnoy vysadki zagotovok v sfericheski matritsakh [Deformations and stresses during cold upsetting of workpieces in spherical matrices].

Forging and stamping production. (Part 4), pp. 11-14 [in Russian].

5. Ogorodnikov V.A., Rvachov M.A., Pokras V.D. & Gaydamak A.L. (1991). Modelirovaniye napryazhonno sostoyaniya v protsessakh ob'yomnogo formoizmeneniya na osnovanii gipotezy o podobiyu putey deformirovaniya [Modeling the stress state in the processes of volumetric change based on the hypothesis about the similarity of deformation paths]. *Forging and stamping production. (Part 11)*, pp. 2-4 [in Russian].

6. Ogorodnikov V.A., Muzychuk V.I. & Nahaychuk O.V. (2007). Mekhanika protsessov kholodnogo formoizmeneniya s odnotipnymi skhemami mekhanizma deformatsii [Mechanics of processes of cold form-modification with the same patterns of mechanism of deformation]. *Vinnitsia: UNIVERSUM-Vinnitsia* [in Ukrainian].

7. Pashkov P.A. (1950). Plastichnost' i razrusheniye metallov [Plasticity and destruction of metals]. *L. Sudpromgiz* [in Russian].

8. Ogorodnikov V.A. (1968). Eksperimental'no analiticheskoye issledovaniye osesimmetrichnoye plasticheskoy deformatsii [Experimentally analytical study of axisymmetric plastic deformation]. *Candidate's. Tomsk* [in Russian].

9. Johnson M. & Matalis A.G. (1977). In Engineering plasticity. Theory of metal forming processes (ed. H. Lippmann) [In Engineering plasticity. Theory of metal forming processes (ed. H. Lippmann)]. *CISM courses and lectures, Springer-Verlag (Vol. 139)* [in English].

ИССЛЕДОВАНИЯ ГОЛОВКИ ШАТУНА НАСОСА ИЗГОТОВЛЕННОЙ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКОЙ

В статье исследовано сферическую головку шатуна стали 30ХЗМФА изготовленную холодной объёмной штамповкой на специальном штампе. Напряженно-деформированное состояние в процессе формирования сферической головки исследовано экспериментально расчетным методом волокнистой макроструктуры и измерения твердости, рассчитано используемый ресурс пластичности.

Ключевые слова: штамповка, напряженно-деформированное состояние, волокнистая макроструктура, используемый ресурс пластичности.

RESEARCH HEAD ROD PUMPMANUFACTURED by COLD PUNCHING

In the article researched spherical head rod of steel 30H3MFA made cold volume punching on the special stamp. Stressed-strained state in the



process of forming spherical heads are investigated experimentally-settlement methods of fiber makrostrukturi and measurement of hardness, proportioned used resource of plasticity.

Keywords: punching of stressed-strained state, fibrous macrostructure used resource of plasticity.

Відомості про авторів

Анісімов Віктор Федорович – доктор технічних наук, професор кафедри двигунів внутрішнього згорання та альтернативних паливних ресурсів Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: anisimov@vsau.vin.ua).

Музичук василь Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри двигунів внутрішнього згорання та альтернативних паливних ресурсів Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: wasil@vsau.vin.ua).

Любін Микола Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв імені професора П.С. Берника Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: lubin@vsau.vin.ua).

Рябошапка Вадим Борисович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри двигунів внутрішнього згорання та альтернативних паливних ресурсів Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: vadyt@vsau.vin.ua).

Анісімов Віктор Федорович – доктор технических наук, профессор кафедры двигателей внутреннего сгорания и альтернативных топливных ресурсов Винницкий национальный аграрный университет (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: anisimov@vsau.vin.ua).

Музычук Василий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания и альтернативных топливных ресурсов Винницкий национальный аграрный университет (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: wasil@vsau.vin.ua).

Любин Николай Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры процессы и оборудование перерабатывающих и пищевых производств имени профессора П.С. Берника Винницкий национальный аграрный университет (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: lubin@vsau.vin.ua).

Рябошапка Вадим Борисович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры двигатели внутреннего сгорания и альтернативные топливные ресурсы Винницкий национальный аграрный университет (ул. Солнечная, 3, Винница, 21008, Украина, e-mail: vadyt@vsau.vin.ua).

Anisimov Victor – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Internal combustion engines and alternative fuel resources of the Vinnitsa National Agrarian University (Sonyachna St. 3, Vinnitsa, 21008, Ukraine, e-mail: anisimov@vsau.vin.ua).

Muzychuk Vasyl – PhD, Associate Professor of the Department of Internal combustion engines and alternative fuel resources of the Vinnitsa National Agrarian University (Sonyachna St. 3, Vinnitsa, 21008, Ukraine, e-mail: wasil@vsau.vin.ua).

Lubin Nikolai – PhD, Associate Professor of the Department of Processes and Equipment for Processing and Food Production named after Prof. P.S. Bernik of the Vinnitsa National Agrarian University (Sonyachna St. 3, Vinnitsa, 21008, Ukraine, e-mail; lubin@vsau.vin.ua).

Ryaboshapka Vadym – PhD, Senior lecturer of the Department of Internal combustion engines and alternative fuel resources of the Vinnitsa National Agrarian University (Sonyachna St. 3, Vinnitsa, 21008, Ukraine, e-mail: vadyt@vsau.vin.ua).