

УДК 621.73.016

С.П. Гожій, к.т.н., доц.

НТУ України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ ЯК САМОСТІЙНИЙ ВИРОБНИЧИЙ МЕТОД ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Стаття посвячена аналізу особливостей локального деформування, которые определяют штамповку обкатыванием как самостоятельный вид обработки давлением. Приведены примеры наиболее полной реализации достоинств штамповки обкатыванием, что обеспечивает эффективность промышленного использования. Намечены направления дальнейшей деятельности.

Article is devoted the analysis of features of local deformation which define rotary forming обкатыванием as an independent kind of processing by pressure. Examples of the fullest realization of advantages of rotary forming are resulted, that provides efficiency of industrial use. Directions of the further activity are planned.

Сучасне машинобудування, приладобудування та інші металообробні виробництва масово використовують і виготовляють деталі з великим співвідношенням розмірів перетину, виробництво яких існуючими методами обробки металів тиском або малоефективно, або неможливо. Відносна кількість таких деталей велика і постійно зростає, що пов'язано з тенденцією зниження матеріалоемності машин та використання нових матеріалів з підвищеними механічними властивостями. Виготовлення цієї групи деталей вимагає або обладнання значного зусилля, або методів, які засновані на значних витратах матеріальних і сировинних ресурсів. Такі підходи неекономічні і вимагають значних капітальних (дороге і різноманітне устаткування) та поточних (підвищені витрати матеріалів, енергоносіїв і інших ресурсів) витрат. А так як більшість традиційних способів обробки металів тиском спрямована на обробку в гарячому стані, то крім економічних витрат (на безпосереднє нагрівання, нагрівальне устаткування та ін.), необхідно враховувати і соціальні проблеми (тяжкі умови праці, забруднення навколишнього середовища, безповоротні відходи).

Існують способи обробки металів тиском, засновані на дії технологічного навантаження в умовах локалізованого пластичного осередку. Суть цих методів полягає в тому, що формозміна в кожен момент часу виконується тільки над часткою об'єму заготовки і при переміщенні осередку деформування охоплює увесь об'єм. Це добре вивчені і широко застосовувані у виробництві операції вільного кування, ротаційного кування, прокатування та ін. (див. рис. 1) [1, 2]. До порівняно нових, що мають незначний рівень застосування, можна віднести



Рис.1. Засоби пластичного формоутворення та розтину з локалізованою дією технологічного зусилля

технологічні процеси торцевого розкочування, штампування обкочуванням, розкочування кілець і дисків та ін. Витоком останньої групи методів є вільне кування плоскими або фігурними бойками, а саме такі операції, як кувальне витягування, роздача, розрізка, секційне осаджування. Усі похідні локальні методи відрізняються переходом від поетапної силової дії до прогресивного переміщення локалізованого осередку за кінематично чи в інший спосіб запрограмованою траєкторією [1, 3]. Холодним торцевим розкочуванням можна одержувати деталі складної форми з товщиною елементів 1...3 мм зі сталей ШХ15, 40Х, 12Х18Н10Т та ін [4]. Штампуванням обкочуванням виготовляють фланцеві деталі діаметром до 172 мм і товщиною торцевої частини 9 мм [5].

Проблема незначного рівня виробничого застосування локальних методів пов'язана з тим, що кожний з перелічених технологічних процесів має свій ряд притаманних для нього за формою деталей, при виготовленні яких

процес має найвищу ефективність. Одночасно, порівняльний аналіз зазначених методів дає змогу впевнитися у тому, що кожний з них характерний тим чи іншим ступенем рухомості заготовки. Єдиним винятком є штампування обкочуванням. Значну увагу створенню і розвитку ресурсозберігаючих процесів металообробки приділяють вітчизняні та закордонні науковці [6, 7]. Ці роботи мають відносно вузький спектр визначення критеріїв та рекомендацій промислового використання штампування обкочуванням. Тому існують проблеми наявності доступних методик типового технологічного проектування та вітчизняного промислового устаткування. Завданням цієї роботи є аргументація і демонстрація саме тих особливостей цього процесу, який, внаслідок удосконалення технології деформування обкочуванням та створення спеціалізованого обладнання, поступово формується у самостійний виробничий метод обробки металів тиском [8]. Метою статті є визначення критеріїв ресурсозбереження від застосування процесів з локалізованим пластичним осередком на прикладі технологічних процесів, що ефективні для конкретних за формою деталей, а також напрацювання шляхів створення промислового обладнання для реалізації ресурсозберігаючих технологічних процесів.

Наведені вище способи виготовлення деталей в умовах локалізованого осередку деформації роблять можливим обробку виробів типу тіл обертання. Особливу групу такого роду заготовок складають вісесиметричні деталі з великим співвідношенням розмірів у плані до висоти як суцільні циліндричні, так і кільцеві. Для одержання подібних деталей використовуються способи, у яких формозміна здійснюється інструментом, який обкочується по поверхні заготовки. Основні труднощі при виготовленні таких деталей традиційними способами полягають в різкому зростанні зусилля деформування, в наслідок змикання зон утрудненої течії металу [9].

Виготовлення деталей при локальному навантаженні дозволяє досягти пластичного стану в зоні деформації при меншому значенні технологічного зусилля. Це дає можливість здійснювати процес на устаткуванні меншого зусилля чи перейти на обробку в холодному стані.

На користь одержання деталей у холодному стані говорить той факт, що загальні витрати при гарячому штампуванні 1,5...2,5 рази перевищують витрати в порівнянні з напівгарячим (теплим) і у 2...3 рази в порівнянні з холодним штампуванням. При гарячому штампуванні середні відходи металу складають 20%, при напівгарячому 6% [10]. При порівнянні чотирьох способів виготовлення: холодним об'ємним штампуванням, напівгарячим, гарячим і механічною обробкою різанням, коефіцієнт використання металу (КВМ) складає 85%; 85%; 75...80%; 40...45%, відповідно. Виготовлення деталей холодним об'ємним штампуванням дозволяє зменшити наступну механічну обробку різанням до мінімуму й одержувати деталі з готовими функціональними поверхнями. Порівнюючи такі переваги холодного штампування як економія металу і заробітної плати, економія допоміжних пристроїв і штампів [10], можна зробити висновок, що навіть в умовах середньо- і дрібносерійного виробництва, холодне об'ємне штампування набуває ефективності.

Одним з наведених методів локального деформування, що має найбільш широкі технологічні можливості при виготовленні деталей з великим співвідношенням розмірів у плані до висоти і високі економічні показники, є штампування обкочуванням.

Сутність методу полягає у тому, що інтегральне формування здійснюється шляхом прогресивного переміщення по торцевій поверхні заготовки, або тільки по її частині, належним чином сформованого локалізованого пластичного осередку деформації.

Звичайно обробка здійснюється двома інструментами, що взаємно зближуються зі швидкістю u – активним, осцилюючим з циклічною частотою $\omega = \pi \cdot n / 30$, та пасивним, здебільшого нерухомим відносно власної осі. При цьому заготовка в процесі обробки залишається відносно нерухомою, що вирізняє штампування обкочуванням серед інших локальних способів деформування і саме за рахунок цього забезпечується підвищена точність виробів.

Рух активного інструмента характеризується параметром гвинта

$$P = dh / d\varphi = u(t) / \omega(t),$$

де: h - осьове переміщення інструмента;

φ - кут повороту інструмента навколо осі прецесії Z , що співпадає з віссю заготовки;

n - кількість обертів водила активного інструмента на хвилину.

За усталеного гвинтового руху параметр P визначається наступною умовою:

$$P = h / \varphi = u / \omega = \text{const.}$$

Цикловий обтиск виражається через параметр гвинта формулою $S = 2 \cdot \pi \cdot P$.

Рух проекції довільної точки поверхні інструмента на площину перпендикулярну Z представляється круговими векторними функціями

$$\left. \begin{aligned} \vec{e}(\varphi) &= \vec{i} \cdot \cos \varphi + \vec{j}(\varphi) \cdot \sin \varphi; \\ \vec{g}(\varphi) &= -\vec{i} \cdot \sin \varphi + \vec{j} \cdot \cos \varphi, \end{aligned} \right\}$$

де: \vec{i}, \vec{j} - орти осей правої прямокутної системи координат, а $\vec{e}(\varphi), \vec{g}(\varphi)$ - одиничні вектори, що утворюють з OX кути φ та $\varphi + \pi / 2$ відповідно.

Точка, що знаходиться на відстані ρ від Z , рухається по колу $\vec{r} = \rho \cdot \vec{e}(\varphi)$, причому вектор $\vec{g}(\varphi) = d\vec{e} / d\varphi$ дотичний до цього кола.

Враховуючи сказане, рух довільної точки, що знаходиться на конічній поверхні інструмента, можна представити рівнянням

$$\vec{r} = \rho \cdot \vec{e}(\varphi) + \vec{k} \cdot \rho \cdot \varphi,$$

де: $\rho \cdot \varphi = u$, а \vec{k} - орт осі Z координатної системи $OXYZ$.

У такому випадку останній вираз можна представити векторним рівнянням у вигляді

$$\vec{r} = \vec{i} \cdot \rho \cdot \cos \varphi + \vec{j} \cdot \rho \cdot \sin \varphi + \vec{k} \cdot \rho \cdot \varphi,$$

або у параметричній формі

$$\left. \begin{aligned} X_0 &= \rho \cdot \cos(\phi + \omega_1 \cdot t); \\ Y_0 &= \rho \cdot \sin(\phi + \omega_1 \cdot t); \\ Z_0 &= \rho \cdot \omega_1 \cdot t + Z(\phi) + h_0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де: ρ , ϕ та Z - координати точки, яка розглядається, а t - час.

Одержана система у загальному вигляді описує деформовану активним інструментом поверхню заготовки за вісесиметричного обкочування.

Локальний пластичний осередок формується у зоні контакту з активним кінцевим інструментом, рівняння робочої поверхні якого у координатній системі OXYZ однозначно визначається кутом прецесії γ .

$$Z^2 + 2 \cdot Z \cdot X \cdot \frac{\text{tg}\gamma}{1 - \text{tg}^2\gamma} - Y^2 \cdot \frac{\text{tg}^2\gamma}{1 - \text{tg}^2\gamma} = 0. \quad (2)$$

Розв'язуючи сумісно (1) та (2), можна записати рівняння проекції контуру контактної плями локалізованого осередку пластичної деформації за усталеного режиму обробки [4]

$$r \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) + \omega_1 \cdot t - \sqrt{r^2 - 1} - \arcsin \frac{1}{r} = 0. \quad (3)$$

В одержаному виразі прийнято позначення $\gamma = \rho/\Pi$, де Π розмірний параметр обробки, що зв'язує кінематичні параметри навантаження з геометричними характеристиками інструмента, у даному випадку кругового конуса, причому

$$\Pi = \frac{30 \cdot u}{\pi \cdot n \cdot \gamma} = \frac{S}{\pi \cdot n \cdot \gamma}. \quad (4)$$

Площа, обмежена кривою (3) і зовнішнім радіусом заготовки R , визначає зону контакту. Відношення площі контакту до площі торця, що обкочується, визначається коефіцієнтом λ . Якщо прийняти рівними усереднені питомі зусилля за звичайного осадження і деформування обкочуванням, то λ буде являти собою показник ефективності дії обкочування. Показник λ зв'язаний з параметром Π емпіричною залежністю [1]

$$\lambda \approx 0,7 \cdot \sqrt{\Pi/R}.$$

В свою чергу наявність позаконтактних зон наближає схему навантаження в локалізованому пластичному осередку до всебічного стиснення, що забезпечує усталеність технологічного процесу. З тієї ж причини виникають умови для підвищення запасу пластичності, що сприяє розширенню технологічних можливостей цього методу деформування. За рахунок локалізації осередку знижується потрібне осьове зусилля. Це дозволяє реалізувати процес на менш металоемному обладнанні, або перейти з гарячої обробки на теплу чи холодну. Схема навантаження і деформування при штампуванні обкочуванням приводить до ряду позитивних ефектів:

- зниження зусилля деформування в порівнянні з традиційними методами в 5...30 разів [11].;
- зменшення впливу контактної тертя [12];
- досягнення рівномірності деформації, обумовленої тим, що осередок пластичної деформації при багаторазовому повторенні рівномірно охоплює весь об'єм деталі [13]. Це особливо стосується виробів з великим співвідношенням розмірів діаметра до висоти;
- збільшення граничного ступеня деформації в порівнянні зі звичайним штампуванням на 10...15% [14], а також можливість виготовлення деталей, які неможливо отримати іншими методами обробки металів тиском через небезпеку руйнування деталі чи інструмента або надмірних напружень деформування. На рис.2 надано зображення мідних деталей потужних напівпровідникових приладів отриманих штампуванням обкочуванням в холодному стані за технологічним процесом і на обладнанні створеним на кафедрі механіки пластичності металів та ресурсозберігаючих процесів Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" (МГІМ та РП НТУУ "КПІ"). Діаметр фланцевої частини 52 мм, товщина 0,5 мм;
- збільшення стійкості штампового оснащення за рахунок зниження впливу контактних сил тертя і питомих зусиль на інструменті [15];
- можливості обробки в холодному стані деталей, які виготовляються гарячою і напівгарячою обробкою на устаткуванні такого ж технологічного зусилля;

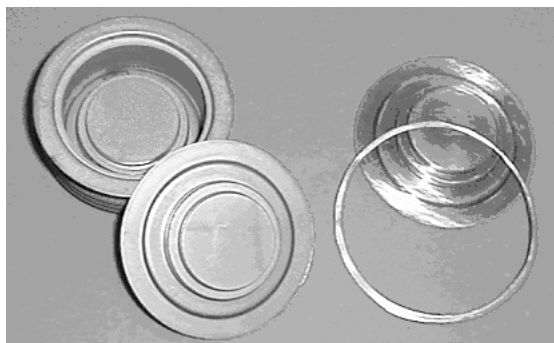


Рис.2. Деталі потужних напівпровідникових приладів

- можливості виготовлення деталей у холодному стані дозволяє позбутися наступної механообробки різанням. Шорсткість поверхні при холодній обробці відповідає $R_z 0,63 \dots 1,25$, точність зовнішніх розмірів у межах $0,04 \dots 0,08$ мм. На рис. 3 зображено заготовки деталей мілкомодульних шестерень, які отримані в холодному стані за технологічним процесом розробленим кафедрою МПМ та РП НТУУ «КПІ»;
- створення технологічних процесів і устаткування, що відповідають високим вимогам безпеки і умов праці, тому що процес штампування обкочуванням відрізняється безшумністю, протіканням у холодному стані, можливістю механізації і автоматизації;
- зменшення розмірів, ваги і вартості обладнання і штампового оснащення. Зниження вартості інструменту обумовлена підвищенням його стійкості і тим, що одна з половин штампа виготовляється з простою (плоскою чи конічною) поверхнею. За даними фірми Bethlehem Steel вартість штампової сталі для штампування обкочуванням на $30 \dots 50\%$ нижче вартості високоміцних штампових сталей, які використовують при холодному штампуванні [11];

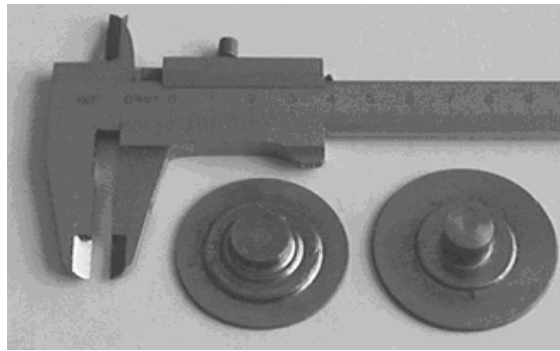


Рис.3. Деталі заготовок мілкомодульних шестерень

- можливості отримання при обробці в холодному стані не тільки деталей з попередньо сформованими функціональними поверхнями, але і використання переваг холодного зміцнення, одержання оптимальної передбаченої структури. У зоні локальної деформації йде інтенсивний розвиток дислокаційних процесів, що супроводжуються утворенням і розвитком удосконаленої комірчастої структури [17];

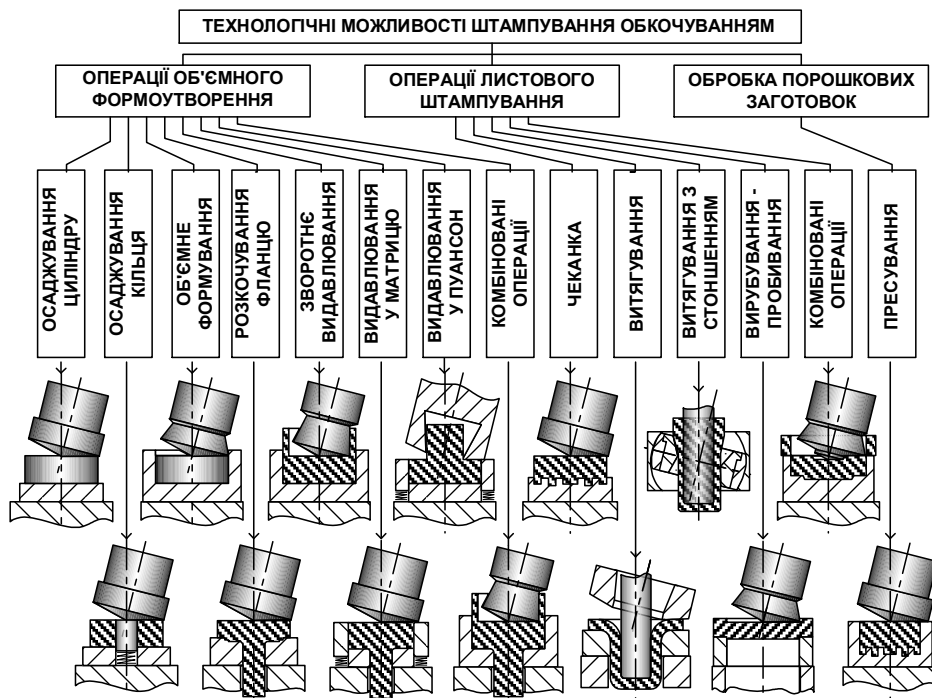


Рис.4. Технологічні можливості штампування обкочуванням

- можливості реалізації штампуванням обкочуванням широкого спектру операцій об'ємного і листового штампування (див. рис.4), а також застосування цього процесу для отримання деталей, які виготовлялись зовсім іншими методами. На рис. 5 приведений ескіз вузла нерухомого контакту сучасної вакуумної дугогасильної камери високовольтної комутаційної апаратури. Звичайно вузол складається з чотирьох спаяних деталей (рис.5 ліворуч). Штампуванням обкочуванням з малими витратами на підготовку виробництва можна одержати стержневу деталь с фланцем, що об'єднує основу і стійку, як це показано на рис.5 праворуч. За цієї умови з'являється можливість замінити декілька глухих отворів з плоским дном одним, причому з конічною донною частиною. Таким чином, усувається необхідність у координатному розточуванні і зменшується товщина опорного фланця. За рахунок цього суттєво економиться вакуумна мідь і зменшується об'єм механічної обробки. У новій конструкції замість трьох спаїв

залишається тільки один, який не потребує вакуумної щільності, що надзвичайно важливо, оскільки зі зменшенням кількості спаювань виникає можливість безштнгельного складання.

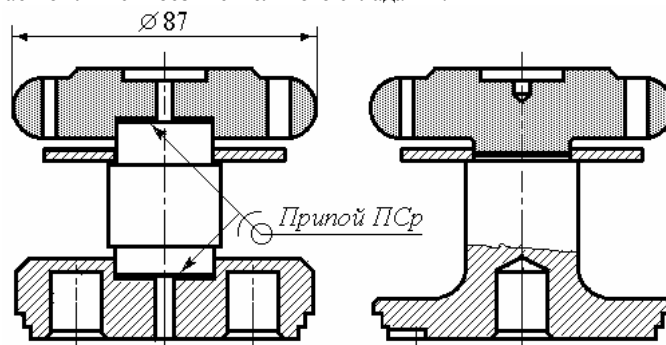


Рис.5. Стара (ліворуч) та нова конструкція контакту

■ можливості застосування адаптованої, зокрема кільцевої та відносно тонкої циліндричної, заготовки, що дозволяє отримати максимальну ефективність при комплексному застосуванні локальних видів деформування [18, 19].

Поряд з перерахованими перевагами штампування обкочуванням має і недоліки:

○ більш низьку продуктивність в порівнянні з традиційними ковальсько-пресовими машинами. Час штампування сталевих деталей коливається в межах 6...24 с [20], що більше обробки на КГШП. Однак, порівнюючи витрати циклового часу на виготовлення деталей на традиційних ковальсько-пресових машинах, які йдуть на нагрівання, штампування й видалення облою, і час обробки на устаткуванні для штампування обкочуванням, можна переконатися в їхній незначній різниці. Для надання достатньої продуктивності штампування обкочуванням використовують спеціальні пристрої, які одночасно забезпечують роботу пресу в автоматичному режимі та розширюють технологічні можливості за рахунок обробки кільцевих деталей [21]. У складі автоматичної лінії продуктивність устаткування для штампування обкочуванням складає 600 штук у годину, при масі деталі 0,5...4,5 кг [11];

○ деяку обмеженість форми оброблюваних деталей. Процес не забезпечує інтенсифікації радіального видавлювання в нерухому матрицю й одержання деталей, що мають складний двосторонній торцевий рельєф. У ряді випадків ці проблеми вирішуються підбором форми вхідної заготовки, а для одержання деталей зі складною в плані конфігурацією чи виступами на торцевій поверхні застосовуються пристрої зі складним видом коливального руху інструмента.

Наведені особливості штампування обкочуванням дають можливість зробити однозначний висновок, що цей процес ресурсозберігаючий, причому в комплексному розумінні. Це стосується і матеріальних витрат на обладнання та матеріали, і енергетичних та сировинних ресурсів, і якості отриманих деталей, які мають відповідний ресурс експлуатації.

Завдяки особливостям схеми навантаження при штампуванні обкочуванням, своєрідній геометрії контактної плями та характеру плину метала можлива реалізація таких технологічних процесів пластичного деформування, які не мають альтернативи.

Але, не дивлячись на позитивні якості технологічного процесу штампування обкочуванням, він не зайняв в сучасному вітчизняному металообробному виробництві достойного місця. В першу чергу це пов'язано з відсутністю доступного для вітчизняного виробника обладнання. Преси для штампування обкочуванням фірми SCHMID (прес Т-200 силою 2,0 МН; прес Т-400 силою 4,0 МН; прес Т-630 силою 6,3 МН) мають унікальні високі технологічні можливості, але вони мають і відповідну високу ціну. Пропозиції російського обладнання (прес П2440 силою 1,0 МН; прес конструкції ВНИИМЕТМАШ силою 1,6 МН; прес ПГСШ силою 2,0 МН) більш доступні за ціною, але не мають таких розгалужених можливостей як преси SCHMID. Нажаль, на теперішній момент повністю відсутні на ринку обладнання преси для штампування обкочуванням вітчизняного виробництва.

Для створення вітчизняного обладнання є всі передумови. З однієї сторони ціла низка вітчизняних підприємств має можливість виробляти преси для штампування обкочуванням, які в своїй основі мають гідравлічний привод. З другої, кафедра МПМ та РП НТУУ "КПІ" має багаторічний досвід створення ресурсозберігаючих технологічних процесів та високоєфективного спеціалізованого обладнання для штампування обкочуванням. Серед доробок такого обладнання:

- прес ПСШО-500 силою 5,0 МН, що створений для виготовлення заготовок зубчастих коліс коробки передач вантажних автомобілів КамАЗ;
- прес С82.201 силою 1,6 МН, виготовлений для виробництва піввісі автомобіля ВАЗ 2121 "Нива";
- прес 108К силою 2,5 МН для розкочування заготовок дискових фрез;
- прес ПГШО-30/280 силою 0,3 МН для моноблочного виробництва мідних деталей потужних тиристорів і діодів пігулкового типу та інші.

Зазначені розробки спеціалізованого обладнання мають індивідуальне впровадження, тобто не серійні. Тому особливим завданням є налагодження серійного виробництва гами пресів для штампування обкочуванням. Важливою є обставина, що витрати на розробку і створення пресу для штампування обкочуванням складають у середньому 25% від вартості звичайного преса аналогічних можливостей [13]. Маса пресу для штампування обкочуванням зусиллям 1,6 МН складає 8,2 т проти 135 т пресу, що працює за традиційною схемою навантаження [11].

Список літератури

1. Гожій С.П. Штампування обкочуванням як засіб ресурсозбереження // С.П. Гожій, Л.Т. Кривда; Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». 2006. - № 2(46). – С. 55-60.
2. Гожій С.П. Засади і проблеми використання ресурсозберігаючих технологій обробки металів тиском // С.П. Гожій; Технологические системы. 2006. -№2 (34). – С. 64-68.
3. Войцеховский В.А. Производство заготовок дисковых фрез торцевой прокаткой. // В.А. Войцеховский, В.В. Наговицын: Кузнечно-штамповочное производство. -1986. - № 3. С. 7.
4. Богоявленский К.Н. Холодная раскатка заготовок сложного профиля. // К.Н. Богоявленский, Н.М. Елкин: Кузнечно-штамповочное производство. -1986. - № 7. С. 22 - 25.
5. Пшенишнюк А.С. Процесс штамповки обкатыванием, специализированное оборудование и методика проектировочных и технологических расчетов. // А.С. Пшенишнюк, Л.Т. Кривда: Кузнечно-штамповочное производство. -1985. - № 3. С. 26 - 28.
6. Пшенишнюк А.С. Установление области рационального использования процессов штамповки обкатыванием. // А.С. Пшенишнюк; Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. 1998. – № 32. – С. 136-141.
7. Наговицын В.В. Технология и оборудование торцевой раскатки заготовок. // В.В. Наговицын: Кузнечно-штамповочное производство. – №12. – 1994. – №12. – С. 15-17.
8. Кривда Л.Т. Теорія і практика штампування обкочуванням (Монографія) / Л.Т. Кривда; - К.: Аванпост, 1998. - 179 с.
9. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением (Ученик) / М.В. Сторожев, Е.А. Попов: - М.: Машиностроение, 1977. - 424 с.
10. Steel bar forging: hot, cold or warm? // Des. Eng. (Can.). - 1982. - V. 23. - № 2. - P. 42-43.
11. Standring P.M., Appleton E. // Chartered Mech. Eng. - 1979. - V. 26. - № 4. - P. 44 - 50.
12. Hirai Y., Nakamura M., Kubo K. / Repts. Gov. Ind. Res. Inst. - Nagoya, 1986. - V. 35. - № 1. - P. 34 - 39.
13. Nakamura M., Kubo K., Hirai Y. / Repts. Gov. Ind. Res. Inst. - Nagoya, 1984. - V. 33. - № 6. - P. 217 - 223.
14. Капорович В.Г. Состояние и перспективы развития локальных методов обработки металлов давлением. // Кузнечно-штамповочное производство. -1985. - № 7. С. 5 - 7.
15. Donald R. Preger. // Machine Design Jap. - 1974. - V. 16. - № 1. - P. 107 - 109.
16. Cold R. // Press Metal. - 1974. - V. 32. - № 9. - P. 28 - 31.
17. Самойлович М.С. // М.С. Самойлович и др.; Физ. и электрон. тверд. тела. - Ижевск, 1982. - № 5. - С. 122 - 128.
18. Пат. 15241 Україна, МПК В21D 37/00. Спосіб виготовлення кільцевих деталей: Пат. 15241 Україна, МПК В21D 37/00 Л.Т. Кривда, С.П. Гожій (Україна); Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". - №u20512818; Заявл. 29.12.2005; Опубл. 15.06.2006, Бюл. №6. – 7 с.
19. Пат. 30822 Україна, МПК В21D 37/00, В23D 23/00. Спосіб відокремлення заготовок обкатуванням: Пат. 30822 Україна, МПК В21D 37/00, В23D 23/00 Л.Т. Кривда, С.П. Гожій, Є.О. Кривда (Україна); Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". - №u2007133371; Заявл. 30.11.2007; Опубл. 11.03.2008, Бюл. №5. – 7 с.
20. Marciniak Z., Chj dakowski A. // Shahl und Eisen. - 1970. - V. 90. - № 20. - P. 1077 - 1080.
21. Кривда Л.Т., Гожій С.П. Технологічний процес і обладнання для виготовлення кільцевих деталей штампуванням обкочуванням в автоматизованому режимі. // Л.Т. Кривда, С.П. Гожій; Вестник Киевского политехнического института. Серия Машиностроение. - 2005. - № 46 - С. 31-33.