

**IV. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА**

УДК 621.77.01

**РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ
СКЛАДНО ПРОФІЛЬНИХ ЗАГОТОВОК**

Матвійчук Віктор Андрійович, д.т.н., професор
Колісник Микола Анатолійович, аспірант,
Любін Микола Володимирович, к.т.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет,

V. Matviychuk, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
M. Kolisnyk, Postgraduate Student
M. Lyubin, PhD, Associate Professor
Vinnytsia National Agrarian University

В статті проведено розробку і дослідження різних технологічних схем процесу штампування обкочуванням циліндричним і конічним валками для отримання складно профільних заготовок. Показано, що досягнення значних розмірів різних елементів заготовки можливе за рахунок забезпечення направленої плинності металу шляхом зміни взаємного положення валка і заготовки. Найбільш ефективними операціями штампування обкочуванням є висаджування, осаджування та зворотне витискування. Встановлені зони заготовок, які деформуються в умовах «жорсткого» напруженого стану, тому для визначення технологічних можливостей для них слід проводити оцінку деформовності металів. Виготовлення тонкостінних елементів заготовки з використанням операції зворотного витискування супроводжується появою значних контактних напружень, тому для запобігання відтискуванню валка від заготовки слід передбачати ролики підпору.

Ключові слова: складно профільна заготовка, штампування обкочуванням, циліндричний і конічний валки, деформовність.

Рис. 11. Літ. 3.

1. Постановка проблеми

Виготовлення складно профільних заготовок є особливо важливим напрямом металообробки, оскільки дозволяє суттєво економити матеріальні і трудові ресурси. Разом з тим, виготовлення складно профільних заготовок прогресивними методами обробки тиском пов'язане зі значними труднощами. Основними проблемами при цьому є: небезпека руйнування матеріалу заготовки в силу його недостатньої деформовності, небезпека руйнування матеріалу інструменту внаслідок значних контактних напружень, а також втрата стійкості елементами заготовки, особливо тонкостінними.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

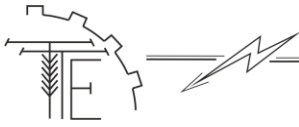
Значною мірою вирішувати проблеми виготовлення складно профільних заготовок дозволяє процес штампування обкочуванням (ШО) [1], і особливо ефективним інструментом такого вирішення є розроблені в роботі [2] шляхи управління плинністю металу через зміну взаємного положення валка і заготовки. Разом з тим, процеси ШО є не достатньо вивченими.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є розробка і дослідження процесів штампування обкочуванням для виготовлення складно профільних заготовок.

4. Основні результати дослідження

Для реалізації поставлених завдань нами була розроблена конструкція обкочувальних інструментальних блоків (рис. 1) з циліндричним а) та конічним б) валками. Особливостями даних інструментальних блоків є те, що матричний вузол отримує примусове обертання від електроприводу, а вузол обкочувального валка має вільне обертання, яке реалізується при його



контакті із заготовкою, що обертається. Прийнятна для обкочування швидкість обертання становить $60-120 \text{ хв}^{-1}$.

Силове навантаження може здійснюватися на гідравлічному пресі, до плит котрого кріпляться обкочувальні інструментальні блоки. Обмеження по навантаженню визначається стійкістю підшипникових вузлів.

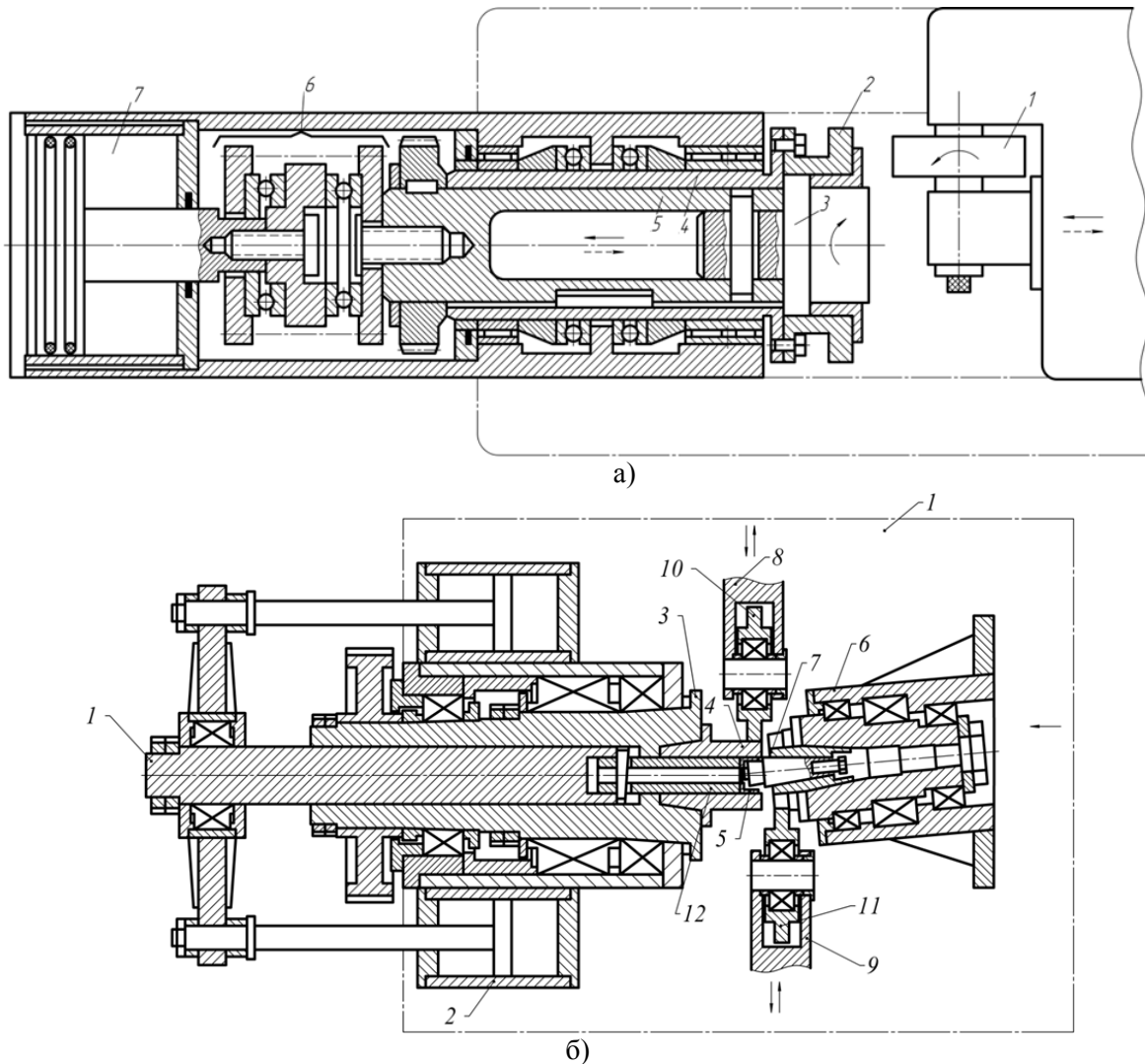


Рис. 1. Обкочувальні інструментальні блоки для виготовлення складно профільних заготовок:
а) з циліндричним валком, б) з конічним валком

Використовуючи дані інструментальні блоки і відповідне інструментальне оснащення можна формувати окремі елементи профілю заготовки за тими чи іншими схемами деформування. На рис. 2 показані типові технологічні схеми, використовуючи які нами досліджувалася можливість формувати елементи складно профільних заготовок.

Схема на рис. 2, а дозволяє здійснювати комбіноване деформування, яке полягає у зворотному витискуванні вертикального тонкостінного елемента, прямому витискуванні вертикального нижнього елемента та висаджуванні фланця. Інтенсивність течії металу у тому чи іншому напрямі залежить від положення плями контакту валка з заготовкою по відношенні до меридіонального перерізу заготовки [3].

Схема на рис. 2, б забезпечує висаджування фланця та зворотне витискування тонкостінного елемента і реалізується при додатному зміщенні вершини валка (див рис. 1, б). При послідовному зміщенні вершини валка за вісь заготовки можна забезпечити течію матеріалу фланця всередину заготовки.

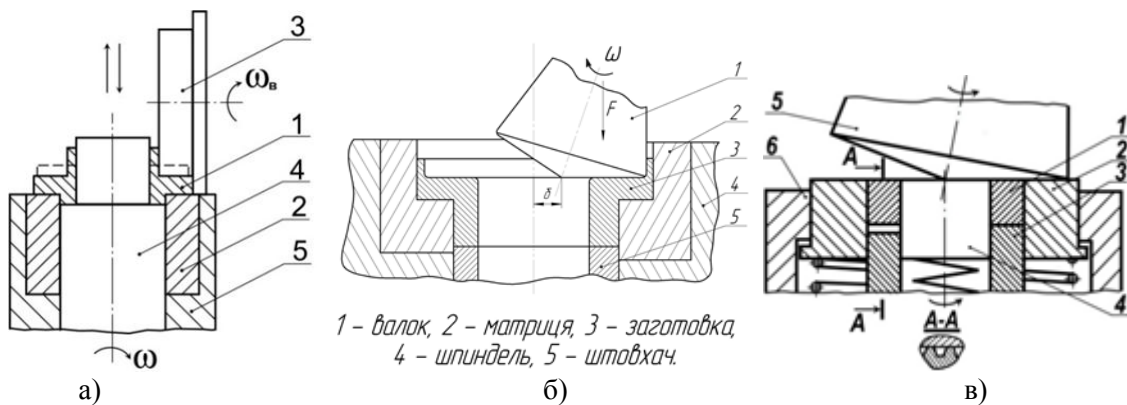
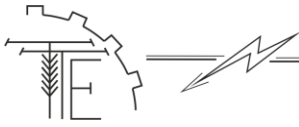


Рис. 2. Схеми штампування обкочуванням кільцевої заготовки циліндричним і конічним валками: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – валок; 4 – оправка-штовхач; 5 – шпиндель

Реалізація обкочування за схемою на рис. 2, в забезпечує операцію осаджування заготовки та прямого витискування або калібрування зі сторони, протилежної валку.

В роботі проведено дослідження можливості використання відзначених технологічних схем для формування складно профільних заготовок.

На рис. 3 приведена заготовка із сталі 14X17H2 та фрагменти заготовки із міді М0б, отримані обкочуванням за схемою рис. 1, а.



Рис. 3. Заготовки, виготовлені за технологічною схемою рис. 1, а.

Для оцінки технологічних можливостей даної схеми деформування були побудовані для міді М0б градувальний графік рис. 4 і діаграма пластичності, рис. 5, де $\eta = I_1(T_\sigma) / \sqrt{3I_2(D_\sigma)}$ - показник напруженого стану, $I_1(T_\sigma)$ і $I_2(D_\sigma)$ - перший інваріант тензора і другий інваріант девіатора напружень. Використання мідних заготовок обґрунтовано можливістю достатньо точно визначити до значних степенів деформації за результатами вимірювання твердості HV не лише інтенсивність напружень (σ_u), але і інтенсивність деформацій (ε_u).

На рис. 6. представлені ізолінії розподілу інтенсивності напружень $\sigma_u = const$ і деформацій $\varepsilon_u = const$ в перерізах заготовки на різних стадіях обкочування, отримані методом вимірювання твердості.

Таким чином, в сформованому на першій стадії обкочування перерізі заготовки (рис. 6, а) можна виділити наступні характерні зони розподілу напружено-деформованого стану (НДС):

- найбільш деформована зона тонкостінного елемента 1, яка формується у результаті плину металу із зони 2. Незначне подальше деформування зони 1, при збільшенні висоти тонкостінного елемента, (рис. 7, залежність 1) відбувається за рахунок послідовних циклічних зсувів в осьовому напрямі, обумовлених особливостями локального навантаження при обкочуванні, та посиленні опору плину металу в зазор між валком і оправкою;

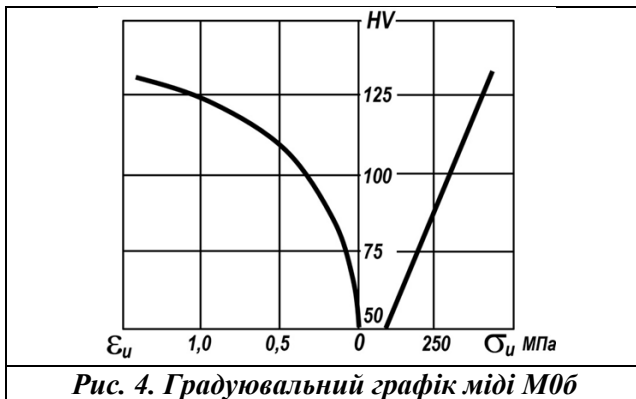
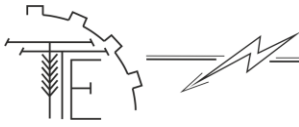


Рис. 4. Градувальний графік міді M06

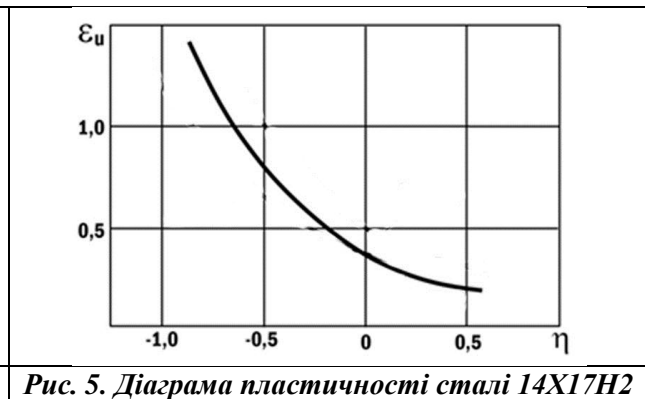


Рис. 5. Діаграма пластичності сталі 14X17H2

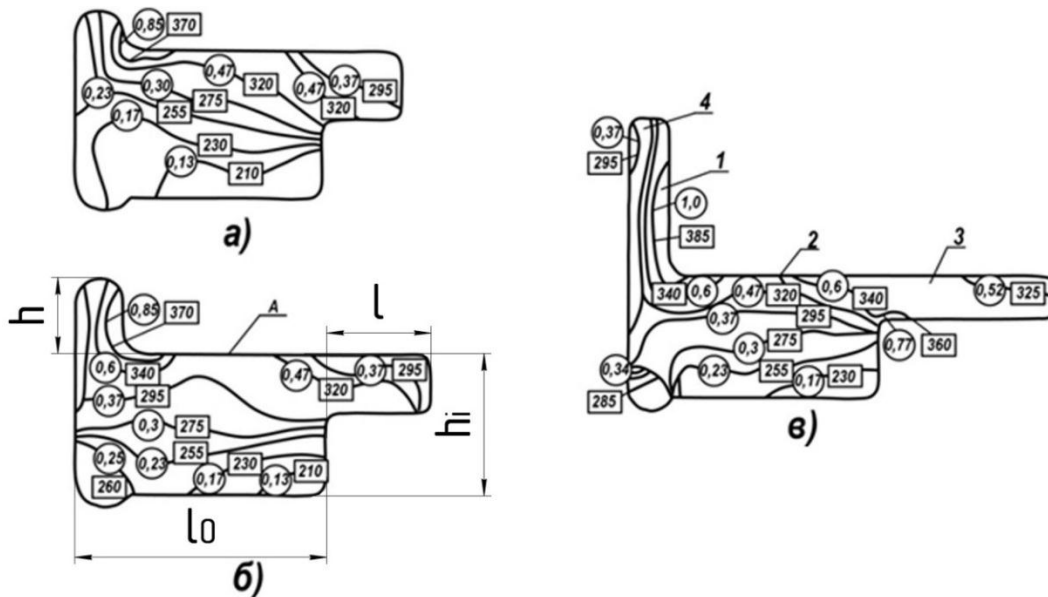


Рис. 6. Розподіл ізоліній $\epsilon_u = const$ (O) і $\sigma_u = const$ (□) в перерізах обкочених кільцевих заготовок з міді M06

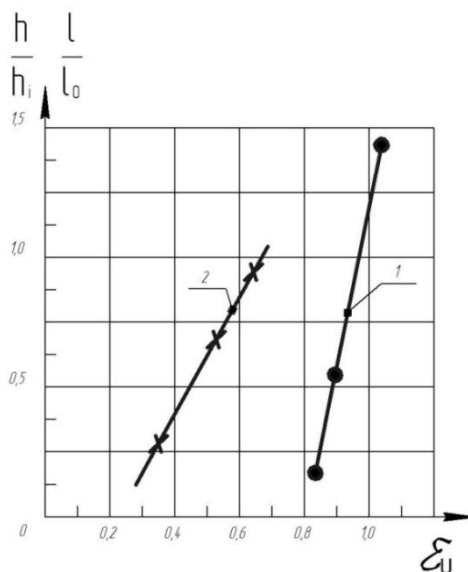


Рис. 7. Залежність відносної зміни висоти тонкостінного елемента h/h_i від максимальної інтенсивності деформації (1) та відносного розміру фланця l/l_0 від інтенсивності деформації на його периферійній ділянці (2) відповідно рис. 6



- зона 2, де найбільша степінь деформації спостерігається на контакті з валком (поверхня А), поступово зменшуючись в міру віддалення від контактної поверхні. Метал при цьому із зони 2 поступає в зони 1 і 3, а інтенсивність його плину у тому чи іншому напрямку залежить від взаємного розташування валка з заготовкою;

- зона 3 – фланцева частина заготовки, є зоною відносно рівномірної деформації. Зростання інтенсивності деформацій на периферії фланця, в залежності від відносного збільшення його довжини, приведена на рис. 7 лінією 2.

Розподіл показника η по довжині дуги контакту в середній частині фланця і вздовж контуру заготовки, що формується валком, представлено на рис. 8. Таким чином, в зоні з найбільшою інтенсивністю деформацій спостерігається схема напруженого стану, що приблизно відповідає двовісному стиску ($\eta \approx -2$).

Використання металів з більш високим опором пластичному деформуванню σ_s , а також збільшення одиничного обтискування Δh приводить до зростання рівня напружень, проте не чинить помітного впливу на показник η .

Найбільш несприятливий напружений стан спостерігається на вільній поверхні фланця, у випадку його відходу від контакту з валком. При цьому осьове і радіальне напруження на вільній поверхні фланця становитиме $\sigma_z = 0$; $\sigma_\rho \cong \sigma_n = 0$. Колове напруження є напруженням розтягу, яке дорівнює σ_u . Таким чином, показник напруженого стану на вільній поверхні фланця $\eta = +1$, що відповідає одноосному розтягу.

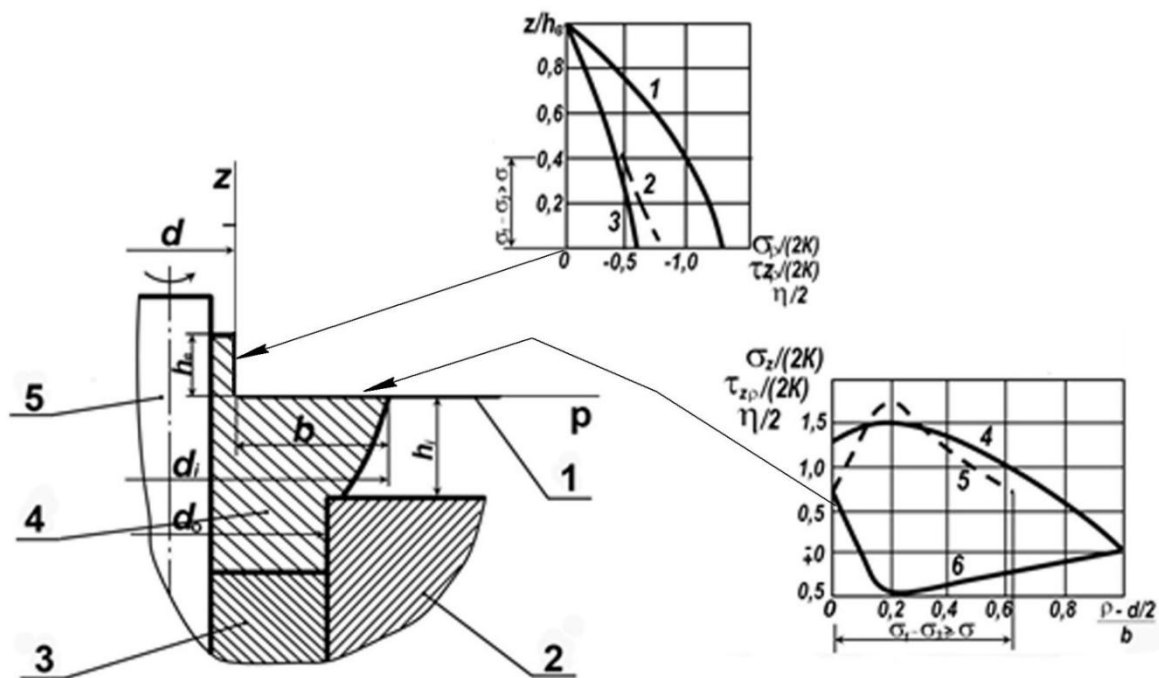


Рис. 8. Розподіл контактних напружень і показника напруженого стану по висоті тонкостінного елемента і по ширині фланця: 1 - $\sigma_\rho/(2K)$; 2 - $\eta/2$; 3 - $\tau_{z\rho}/(2K)$; 4 - $\sigma_z/(2K)$; 5 - $\eta/2$; 6 - $\tau_{z\rho}/(2K)$; ($K = \sigma_s/\sqrt{3}$)

Слід відзначити, що в зоні формування максимальних деформацій в тонкостінному елементі має місце «м'ягка» схема напруженого стану ($\eta < -1,5$), тому, виходячи з рис. 5, для деформацій приведених на рис. 7, наприклад для сталі 14X17H2, немає небезпеки руйнування. Більш жорстка



схема напруженого стану має місце у фланцевій частині заготовки (рис. 6), де слід проводити оцінку деформованості матеріалу заготовки.

На рис. 9, а показана заготовка, отримана обкочуванням за схемою рис. 2,б, а на рис. 9,б – мікроструктура фланця до моменту утворення вертикального тонкостінного елементу.

Процес утворення елементів заготовки характеризується таким же НДС, як і відповідних елементів заготовки, представленої на рис. 3. При цьому формування тонкостінних елементів супроводжується появою значних контактних напружень, які спричиняють відтискування валка від заготовки. Для запобігання цьому в конструкції обкочувальних інструментальних блоків (рис. 1, б) передбачені ролики підпору 10 і 11.

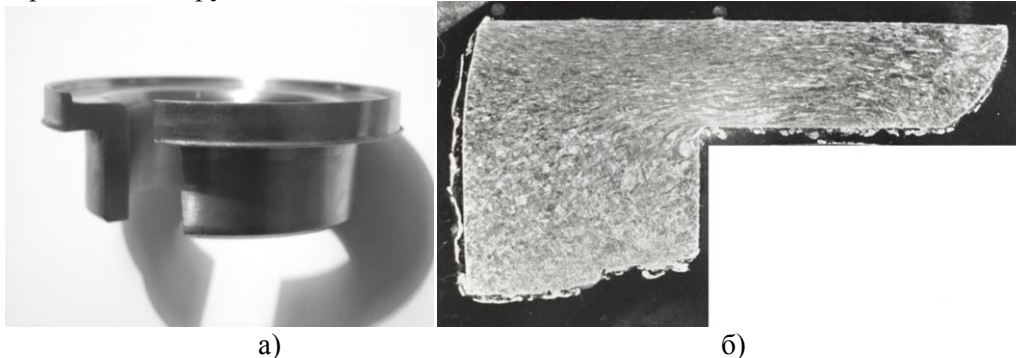


Рис. 9. Вид заготовки: а) заготовки, отриманої обкочуванням за схемою рис. 2, б; б) мікроструктура фланця до моменту утворення тонкостінного елементу

Процес осаджування і прямого витискування (рис. 2, в) досліджувався нами при виготовленні деталей кулачкової муфти, рис. 10.

На рис. 11, а приведено вигляд деформованої сітки, а на рис. 11, б та мікроструктура матеріалу зуба кулачкової муфти.

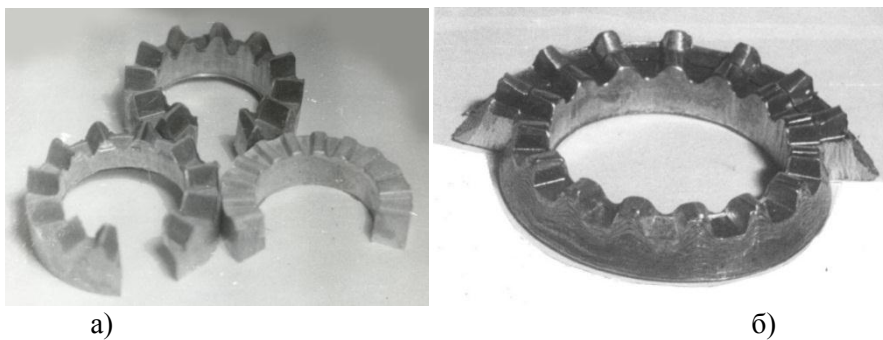


Рис. 10. Деталі кулачкової муфти, виготовлені штампуванням обкочуванням: а) загальний вигляд заготовок; б) спосіб нанесення ділильної сітки

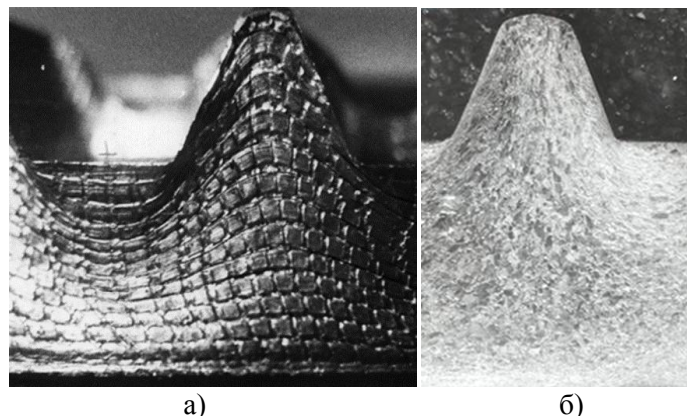
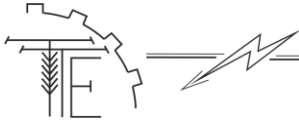


Рис. 11. Вигляд zdeформованої ділильної сітки і мікроструктури елемента кулачкової муфти, отриманої методом штампування обкочуванням



Аналіз НДС матеріалу заготовок показав, що в зоні максимальних деформацій мають місце значні напруження стиску і великі контактні напруження. Ці умови роблять відносно безпечною деформовність матеріалу заготовки, проте несуть небезпеку руйнуванню і стійкості інструментального оснащення. Матеріал заготовки у вершини зуба підлягає відносно невеликим деформаціям, проте показник напруженого стану тут $\eta > +1$, що вимагає проведення оцінки деформовності матеріалу.

5. Висновки

1. В роботі проведено розробку і дослідження різних технологічних схем процесу штампування обкочуванням, в результаті чого доведено, що даний процес дозволяє отримувати складнопрофільні заготовки високої якості.

2. Цілеспрямоване взаємне розташування обкочувального валка і заготовки забезпечує направлений плин матеріалу, сприятливий напружено-деформований стан матеріалу і можливість досягнення значних розмірів різних елементів заготовки.

3. Найбільш ефективними операціями ШО є висаджування, осаджування, зворотне витискування, які супроводжуються сприятливим напружено-деформованим станом і дозволяють отримати геометрично розвинуті елементи заготовки, в т.ч. і тонкостінні. Можливості прямого витискування обмежені складністю передачі зусилля від валка на протилежну торцеву частину заготовки, та значними контактними напруженнями. Тому дана операція підходить більш для здійснення калібрування або формування незначних за розміром елементів заготовки.

4. Виготовлення тонкостінних елементів заготовки з використанням операції зворотного витискування супроводжується появою значних контактних напружень, які спричиняють відтискування валка від заготовки. Для забезпечення жорсткості інструментального блоку слід передбачати ролики підпору.

Список використаних джерел

1. Богоявленский К. Н. Оборудование и технология раскатки прецизионных заготовок / К. Н. Богоявленский, М. Т. Селин, В. В. Лапин. – М.: НИИМаш, 1981. – 82 с.
2. Краєвський В. О. Вплив технологічних параметрів на кінематику холодного торцевого розкочування / В. О. Краєвський, В. А. Матвійчук, В. М. Михалевич // Збірник наукових праць Донбаської державної машинобудівної академії «Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні». – Краматорськ-Слов'янськ: ДДМА, 2003. – С. 286 – 291.
3. Матвійчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: Монография / В. А. Матвійчук, И. С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 268 с.

References

- [1]. Bogoyavlensky, K. N., Selin, M. T., Lapin, V. V. (1981). *Oborudovanie i tehnologija raskatki precizionnyh zagotovok [Equipment and technology of rolling of precision blanks]*. Moscow : NIIMash [in Russian].
- [2]. Krayevsky, V.O., Matviychuk, V.A., Mikhalevich, V.M. (2003). *Vplyv texnologichny`x parametriv na kinematy`ku xolodnogo torcevoogo rozkochuvannya [Influence of technological parameters on the kinematics of cold face rolling]*. Zbirny`k naukovy`x prac` Donbas`koyi derzhavnoyi masy`nobudivnoyi akademiyi «Udoskonalennya procesiv i obladnannya obrobky` ty`skom v metalurgiyi i masy`nobuduvanni» - Collection of scientific works of the Donbas State Machine-Building Academy "Improvement of Processes and Equipment for Pressure Processing in Metallurgy and Machine-Building". Kramatorsk-Slavyansk: DDMA [in Ukrainian].
- [3]. Matviichuk, V. A., Aliyev, I. S. (2009). *Sovershenstvovanie processov lokal'noj rotacionnoj obrabotki davleniem na osnove analiza deformiruемости metallovo: Monografija [Improvement of processes of local rotary pressure treatment on the basis of the analysis of metal deformability: Monograph]*. Kramatorsk: DGMA [in Russian].



РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ ОБКАТУВАННЯМ СЛОЖНО ПРОФИЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

В статье проведена разработка и исследования различных технологических схем процесса штамповки обкатываниям цилиндрическим и коническим валками для получения сложно профильных заготовок. Показано, что достижение значительных размеров различных элементов заготовки возможно за счет обеспечения направленного течения металла путем изменения взаимного положения валка и заготовки. Наиболее эффективными операциями штамповки обкочуваниям является высадка, осаждения и обратное выдавливание. Установлены зоны заготовок, которые деформируются в условиях «жесткого» напряженного состояния, поэтому для определения технологических возможностей для них следует проводить оценку деформовности металлов. Изготовление тонкостенных элементов заготовки с использованием операции обратного выдавливания сопровождается появлением значительных контактных напряжений, поэтому для предотвращения оттеснения валка от заготовки следует предусматривать ролики подпора.

Ключевые слова: сложно профильная заготовка, штамповки обкочуваниям, цилиндрический и конический валки, деформовность.

Рис. 11. Літ. 3.

DEVELOPMENT AND STUDY OF PROCESSES STOPPING BY CURRENT COMPOSITION OF PROFESSIONAL PACKAGES

In the article the development and research of various technological schemes of the process of stamping by screwing with cylindrical and tapered rolls for obtaining difficult profile blanks has been carried out. It is shown that achievement of significant sizes of various elements of the work piece is possible by providing a directed flow of metal by changing the mutual position of the roll and work piece. The most effective stamping operations are landing, deposition and retrieval. The zones of work pieces which are deformed in the conditions of a "hard" stress state are established, therefore, for the determination of technological possibilities for them, an assessment of the deformability of metals should be made. The manufacture of thin-walled elements of the work piece using a reverse extrusion operation is accompanied by the appearance of significant contact stresses, therefore, for preventing the roll off of the work piece, the rollers of the support should be provided.

Key words: difficultly profiled work piece, stamping by obliteration, cylindrical and conical rolls, deformability.

Fig. 11. Lit. 3.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Матвійчук Віктор Андрійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Електротехнічних систем, технологій та автоматизації в АПК» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail:).

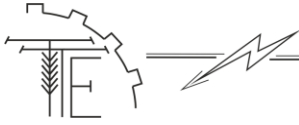
Колісник Микола Анатолійович – аспірант Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: kolisnik30@gmail.com).

Любин 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, email:).

Матвійчук Віктор Андреевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электрических систем, технологий и автоматизации в АПК» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email:).

Колесник Николай Анатольевич – аспирант Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: kolisnik30@gmail.com).

Любин Николай Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств имени профессора П.С.Берника» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email:).



Matviychuk Viktor – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Electric Power Stations and Systems of the Vinnytsia National Agrarian University (3 Solnechna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email:

Kolisnyk Mykola – Postgraduate Student of Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: kolisnik30@gmail.com).

Lyubin Mykola – PhD, Associate Professor of the Department of Processes and Equipment for Processing and Food Productions Named After Prof. P.S. Bernik of the Vinnytsia National Agrarian University (3 Solnechna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: .