

УДК 621.81.001.66(075.8)

В.В. Васильків, доц., канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Технології виготовлення секційних гвинтових заготовок

Робота присвячена питанням підвищення ефективності виробництва гвинтових секційних заготовок деталей машин за рахунок обґрунтованого вибору раціональних схем їх формоутворення та розроблення ресурсозберігаючих технологічних процесів їх виробництва. Представлено багатоваріантну структуру і класифікацію схем формоутворення гвинтових секційних заготовок штампованим методом (штампування розрізних шайб з листового прокату та їх розтягування на крок). Запропоновано нові способи виготовлення таких заготовок. Визначено умови доцільного використання таких технологій.

гвинтові секційні заготовки, формоутворення

Деталі машин, одержаних із секційних гвинтових заготовок (СГЗ) набувають усе більшого використання у різних галузях промислового виробництва. Підтвердженням цього є помітна тенденція до зростання обсягу та номенклатури таких деталей, які використовують в якості: робочих органів гвинтових змішувачів, подрібнювачів, грануляторів, шнекових транспортерів у будівельній, харчовій та переробній промисловості, сільськогосподарському машинобудуванні; гвинтових елементів теплообмінних апаратів (холодильні установки, апарати повітряного охолодження, калорифери, радіатори, теплоенергонагрівачі тощо) в нафтохімічній, газовій, енергетичній промисловості, в холодильному машинобудуванні та інших галузях, які використовують теплообмінні процеси; витих (стрічкових) магнітопроводів роторів електричних машин, трансформаторів в енергетичному та електротехнічному машинобудуванні тощо.

Виготовлення деталей типу шнеків із СГЗ здійснюють шляхом вирізування або вирубування з листового прокату початкових заготовок, виконаних у вигляді кільцевих секторів (секторних заготовок). Такі заготовки є розгортками витків на площину. Потім здійснюють формування крокової спіралі (надають їм форму випка) у штампі, або за допомогою спеціальних пристосувань до утворення СГЗ з наступним збиранням витків на валу, або з одночасним калібруванням на крок та зварюванням один з одним або попереднім зварюванням витків один з одним з наступним калібруванням на крок одержаної багатовиткової гвинтової заготовки. Далі здійснюють приварювання витків по внутрішній або зовнішній крайках до опорних елементів.

Розробці та дослідженню технологій виготовлення СГЗ присвячені праці Гевка Б.М., Бродського І.Л., Кравченка А.В., Вернікова Р.М., Гергета О.Д., Рогатинського Р.М., Маковкіна А.Ф., Пилипця М.І., Пилипаки С.Ф., Балдіної Є.М., Рябінова Д.Л., Мотико А.С., Гервасьєва А.М., Железкова В. Н., Даніеля Бен-Натана, Kamegawa Masayasu, Sasaki Shinji та ін. вчених. Незважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячені виробництву таких заготовок, відсутня класифікація способів виготовлення таких заготовок, яка дозволить здійснювати синтез та обґрунтований вибір таких технологій. Крім цього рівень технологічного забезпечення їх виробництва в нашій державі та за її межами залишається недостатньо високим, а наукова база для його створення не завжди відповідає сучасним вимогам. Тому вирішення наукового завдання, яке полягає в розробці нових технологій виготовлення СГЗ з листових заготовок є актуальним, доцільним, значущим і перспективним для машинобудівної галузі України та інших держав.

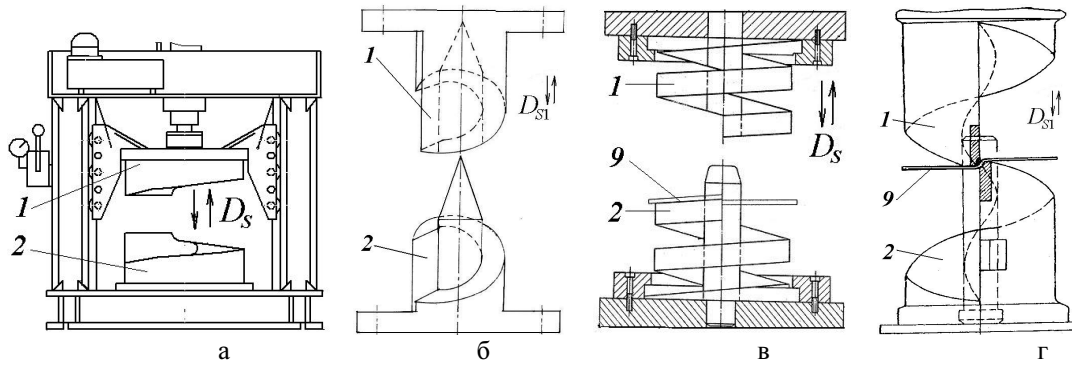
Тому метою роботи є системний аналіз та класифікація способів виготовлення СГЗ.

В результаті проведених досліджень розроблена узагальнена класифікація сучасних методів формоутворення СГЗ (рис. 1). Окремі способи виготовлення секційних гвинтових заготовок представлено на рис. 2 - 12. Основними структурними елементами схем формоутворення розглянутих заготовок є: формуючі або опорні елементи: валки, ролики, планки, матриці, пуансони, калібри (на рисунках позначено п. 1, 2); оправа (вал), направляюча труба; гофро- або фаскоформувальні елементи (валки, матриці, пуансони) (на рисунках позначено п. 4); калібрувальні гофроформувальні елементи; початкова заготовка (секторна заготовка, смуга) (на рисунках позначено п. 9); гвинтова заготовка (на рисунках позначено п. 10); направляючі елементи спіралі; елементи формування кроку; проміжна заготовка (на рисунках позначено п.14); пристрій для кріплення витків до опорного елемента (на рисунках позначено п. 15); додаткові накладні елементи.

Поширеним способом формоутворення СГЗ є витяжка в штампі на пресі за допомогою пуансона і матриці з гвинтовими робочими поверхнями (рис. 2). Використання такого способу пов'язано з необхідністю вирішення питань центрування та фіксації заготовки (розтягування витка на великий кут викликає спотворення форми і розмірів витка, оскільки заготовка в процесі розтягування (формування) нічим не утримується від зміщення). Крім цього, при виготовленні СГЗ з тонкостінних матеріалів має місце значне пружинення. Тому для компенсації такого пружинення та фіксації заготовки на рухомій і нерухомій опорних частинах штампа можуть встановлюватись гнучкі інструменти, які можуть бути виконані у вигляді звернених один до одного циліндричних пружин стиску (рис. 2 в). У конструкції, яка представлена на рис. 2 г передбачені ножі, що мають поздовжні пази на різучій кромці для утворення заусенця, що втримує при розтягуванні заготовку. При русі траверси преса вниз заготовка розрізається по радіусі верхнім та нижнім ножами, що мають поздовжні пази, які утворюють заусенці і утримують заготівлю від зсуву. При подальшому русі траверси преса вниз, матрицею 1 і пуансоном 2 відбувається розтягування кільцевої заготовки (формування гвинтової поверхні витка), при цьому заусенці, утримуючись на виїмках ножів, не дозволяють заготовці зміщуватись, зберігаючи правильну форму окружності за зовнішнім та внутрішнім діаметрами. Після зняття витка здійснюють обрізування заусенців. Часто у матриці передбачають бурти для попередження зміщення заготовки у процесі її деформації.



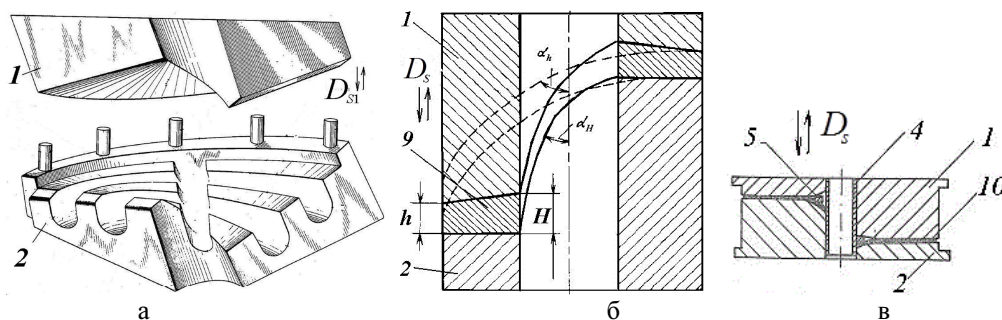
Рисунок 1 - Узагальнена класифікація основних способів формоутворення СГЗ



а – ОАО «Институт «Севзапэнергопроект» [1]; б – фірми "GU YIFENG" (Китай); в – автори - Потапенков М.А., Щекальов Н.А., Бер В.І., Горев Д.Н. (А.С. СРСР №963604); г – автори - І.С. Катков, Н.И. Бахтеев, В.М. Манаев, В.Н. Захаров, М.С. Кальнієнков, Н.Ф. Рудалев і В.М.Максіменко (А.С. СРСР №733784)

Рисунок 2 - Схеми формоутворення СГЗ на штампах

Формування крокових спіралей може здійснюватись шляхом холодного або гарячого штампування. Перший спосіб є менш енергомісткий та продуктивніший у порівнянні з другим. Так, наприклад, за даними німецької фірми "Lutz Kurth Bohrund Brunnenaustrustungen GmbH" формування витка в гарячому стані здійснюється в спеціальній матриці за тридцять хвилин, а в холодному стані - за одну-півтори хвилини. Для покращення умов деформування металу одну із робочих поверхонь штамп виконують профільованими за допомогою передбачених складно орієнтованих канавок (рис. 3 а).



а – автор – Joseph D. Christian (Пат. №US1748206 (А)); б – Пат. Росії №2080234С2; в - фірми "TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA CO" (Румунія)

Рисунок 3 - Схеми формоутворення СГЗ на штампах із профільованими робочими поверхнями пуансона і матриці

З метою зменшення нерівномірного затиску (закушування) листової заготовки штампом та реалізації формовки тільки деформацією зсуву винахідники Оніщенко А.К., Пополітов М.П., Тімохін В.С., Шілков В.Б. (Пат. Росії №2080234С2) запропонували між робочими гелікоїдними поверхнями пуансона та матриці виконувати щілину розбіжною до центру внутрішньої гвинтової лінії у відповідності із залежністю:

$$\delta = H - h = a \left((\sin \alpha_H)^{-1} - (\sin \alpha_h)^{-1} \right), \quad (1)$$

де H і h - щілини відповідно по внутрішній і зовнішній гвинтових лініях;

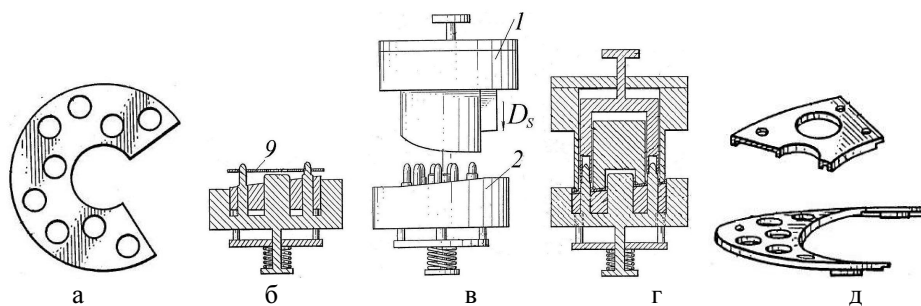
a - товщина листової заготовки;

α_H і α_h - кути підйому відповідно внутрішньої і зовнішньої гвинтових ліній.

Щілина може бути виконана розбіжною у верхній частині, в нижній частині або в обох частинах.

Інженери Filip Stefan Gheorghe, Luru Minela, Gheorghe Ion із фірми “TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA CO” (Ромунія) запропонували встановлювати на робочу поверхню штампа гвинтову вставку 5, виконану із високоміцного матеріалу (рис. 3 в). Вставка формує ребро жорсткості на внутрішній країці витка і тим самим знижує пружинення і підвищує жорсткість витка.

Зменшенню зусиль деформування сприяє спосіб виконання витків перфорованими. Такі витки часто використовують як каркас для кріплення секторних пластин, або як елементи армування полімерних ГЗ. Виготовлення перфорованих СГЗ здійснюють із перфорованих (рис. 4) або суцільних початкових кільцевих секторних заготовок (рис. 5). В першому випадку перфорація здійснюється як другий етап після формування крокової заготовки в штампі.



а – перфорована початкова секторна заготовка, б – схема встановлення заготовки у матриці; в – схема формоутворення; г – кінцеве положення матриці та пуансона у процесі формоутворення; д – гвинтова заготовка

Рисунок 4 - Структурна схема процесу формоутворення перфорованих СГЗ фірми “KAMUI COMPANY LTD” (США) із перфорованих початкових секторних заготовок

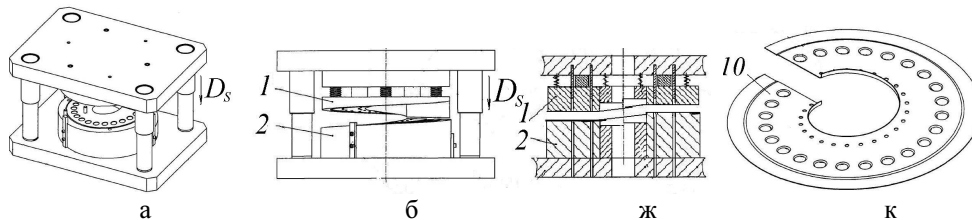
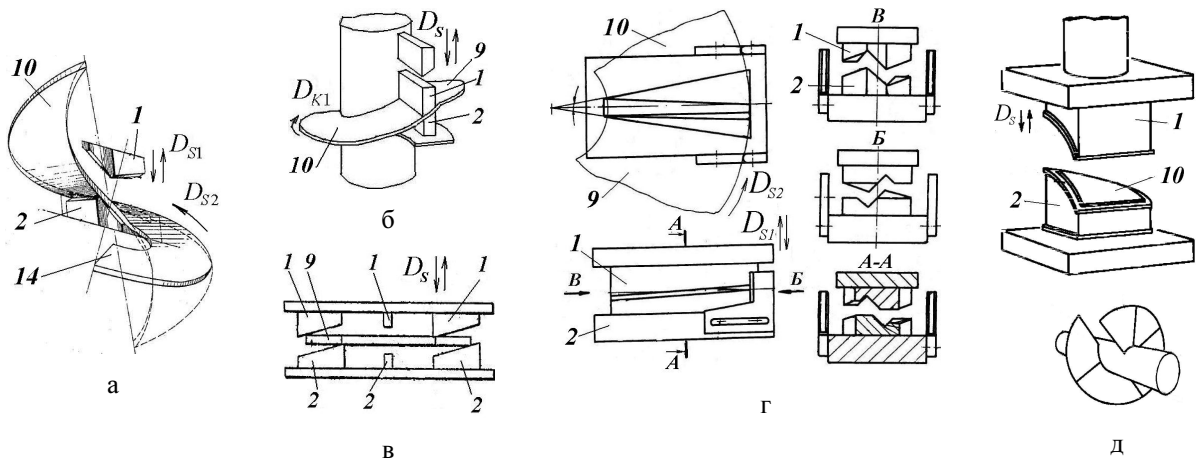


Рисунок 5 - Структурна схема процесу формоутворення перфорованих СГЗ фірми “713TH RES INST OF CHINA SHIPBU” (Китай) із суцільних початкових секторних заготовок

Для підвищення точності формоутворення СГЗ із високоміцних матеріалів часто здійснюють покрокову деформацію сегментних ділянок кільцевої заготовки за допомогою сегментних пуансона і матриці з робочими гелікоїдними поверхнями (рис. 6). Таку технологію, наприклад, використовують такі відомі фірми як “Industrial Screw Conveyors, Inc.” (США), “Pengo” (США), “Muttersgesellschaft Herzing & Schroth” (Німеччина). Схему, яка представлена на рис. 6 в, рекомендується використовувати для заготовок з центральним кутом приблизно 180 град. Робочі поверхні пуансона і матриці мають нахил, який враховує наявність пружинення. Розміщення робочих елементів зумовлює кручення поперечного перерізу витка. Для покращення умов деформування металу польські винахідники Stefan Biela та Czeslaw Brzeźniak (Пат. №№PL295433, PL168281В(В1)) запропонували виконувати робочі поверхні штампу профільованими за допомогою передбачених складно орієнтованих канавок (рис. 6 г). У багатьох випадках в якості початкових заготовок використовують сегментні (кільцеві секторні) заготовки із незначними

центральною кутами (рис. 6 д). Відповідно після деформації таких заготовок одержують короткі СГЗ, які потім зварюють між собою. Така технологія дозволяє використовувати більш міцні матеріали.



а – заводу “PET ARN ALTENA” (м. Remscheid-Hasten, Німеччина); б - автори - Kameyama Mei, Kawashima Takeo (Пат. №JP62060170); в - фірми “LEE NORSE CO” (Великобританія); г - автори - Stefan Biela та Czeslaw Brzeźniak (Пат. №№PL295433, PL168281B (B1)); д - фірми “ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND” (Японія)

Рисунок 6 - Схеми формоутворення СГЗ шляхом покрокового деформування початкових заготовок

У процесі виготовлення коротких СГЗ таким матеріалам легше надати необхідної форми. Крім цього, з окремих секційних елементів із високоміцних матеріалів можна утворити гвинтову заготовку будь-кого кроку та діаметру. Для покращення умов деформування таких початкових заготовок у процесі формування крокової спіралі польські винахідники Zwolinski Janislaw, Zatyka Henryk, Pawlicki Jakub (Пат. №PL181471 (B1)) запропонували використовувати виготовляти СГЗ із послідовно з’єднаних секторних заготовок із різними центральними кутами. Іншим технічним рішенням покращення процесів деформації при формоутворенні ГЗ із високоміцних матеріалів є використання плоских кільцевих заготовок із надрізами зі сторони внутрішнього діаметра або прорізи у секторах (рис. 7).

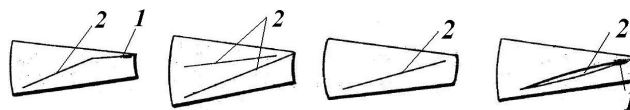


Рисунок 7 - Види початкових заготовок у формі секторів із прорізами: 1 – зварний шов; 2 - прорізь

При виготовленні широковиткових гвинтових заготовок витки роблять складеними із зовнішнього та внутрішнього СГЗ. Це покращує профілювання витка на крок.

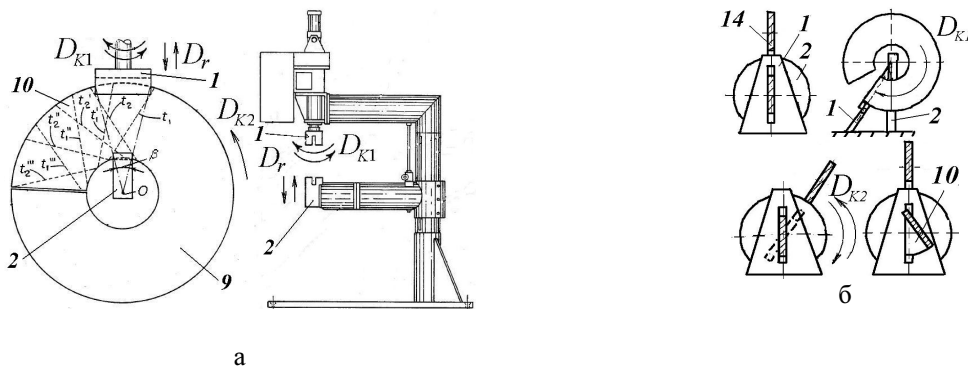
Прикладом спеціальної технології виготовлення СГЗ є витяжка витка в штампі, що містить матрицю і пуансон, які виготовленні з матеріалу з ефектом пам’яті форми. Матриця і пуансон являють собою дві секторні ділянки плоского диску. Потім нагрівають штамп, в результаті чого робочі поверхні матриці і пуансона набувають гвинтової форми і надають гвинтової форми заготовці (Пат №RU2008125).

Окрему групу способів виготовлення СГЗ складають технології, що базуються на деформаціях покрокового скручування початкових заготовок (дискретного розтягування заготовки в осьовому напрямку) (рис. 8).

У способі, наведеному на рис. 8 а, заготовка встановлюється між верхнім та нижнім штампами. Ділянка верхньої крайки кільцевої секторної заготовки вставляється

в паз верхнього штампа, а внутрішня – в паз нижнього штампа. Значення центрального кута $\beta = 14...20^\circ$. У процесі формоутворення нижній штамп залишається нерухомим, а верхній повертається на кут, різниці кутів нахилу зовнішньої та внутрішньої крайок витка ШГЗ (t_1, t_1', t_1'' і т. д. – лінії деформації);. Потім верхній штамп піднімається а заготовку повертають відносно її осі O . Після цього верхній штамп опускають і цикл деформації повторюється.

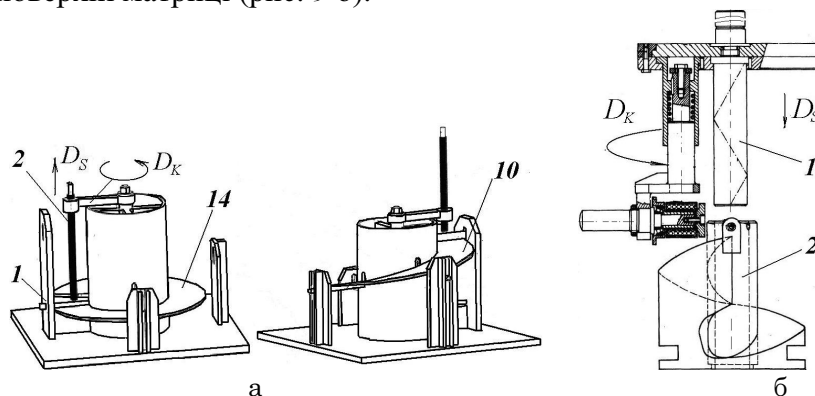
Згідно схеми, поданої на рис. 8 б розтягування здійснюють дискретно і покроково за секторами, на які попередньо поділено початкову заготовку. Завдання вдосконалення таких технологій пов'язані із автоматизацією процесу та покращення умов подачі заготовки в зону деформації (Пат. №АТ354829, А.С. СРСР №667282А). Такий спосіб, наприклад, використовується фірмою “OESTREICHER PURATOR” (Австрія).



а – фірми “KOPPERS CO INC” (США); б – автор – Золотухін С.В. (Пат. України №53522)

Рисунок 8 - Схеми формоутворення СГЗ способом покрокового скручування початкових заготовок

Можливість корекції в процесі гнуття геометричних параметрів витка гвинтової заготовки та підвищену точність забезпечують технології, що ґрунтуються на схемах плавного деформування початкових заготовок (рис. 9). При опусканні пуансона, завдяки гвинтовому русі формуючого елемента відбувається плавне осьове розтягування (рис. 9 а) або обкатування формувальним роликом заготовки, розміщеної на гвинтовій поверхні матриці (рис. 9 б).



а – фірми “TIANJIN BORUIKANG MACHINERY MF” (Китай); б – винахідники - Frydrych Milan і Dobesch Otto (Чехія, Пат. №CS8706986)

Рисунок 9 - Схеми формоутворення СГЗ способами обкатування

Одним із поширених способів формування крокових спіралей в одиничному виробництві є згинання витків по лініях, кожні дві суміжні із яких утворюють трикутні

сегменти (рис. 10). Такий спосіб використовується також для деформації початкових секторних заготовок із незначними центральними кутами (Пат. №US2437259).

У виробництві часто використовують так звану схему “вільного розтягування”, яка полягає в деформації заготовки шляхом осевого переміщення її кінців. Схему подану на рис. 11 а використовують для розтягування кільцевих заготовок із секторним вирізом, а схеми рис. 11 в, е, г, д - для розтягування кільцевих заготовок із радіальною проріззю. Для реалізації таких схем використовують різне обладнання (Пат. №№JP4105715, US4693861 (A1)), JP60259422 (A), EP0161787 (A3), EP0161787 (B1), JP2005052851). Схема 11 б використовується для калібрування на крок початкової заготовки та одночасного закріплення одержаної СГЗ на валу для одержання деталі типу шнек.

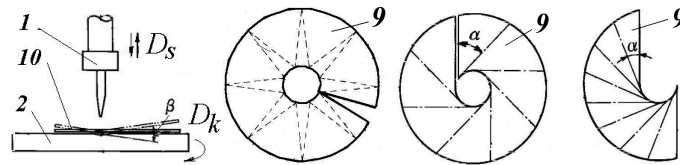
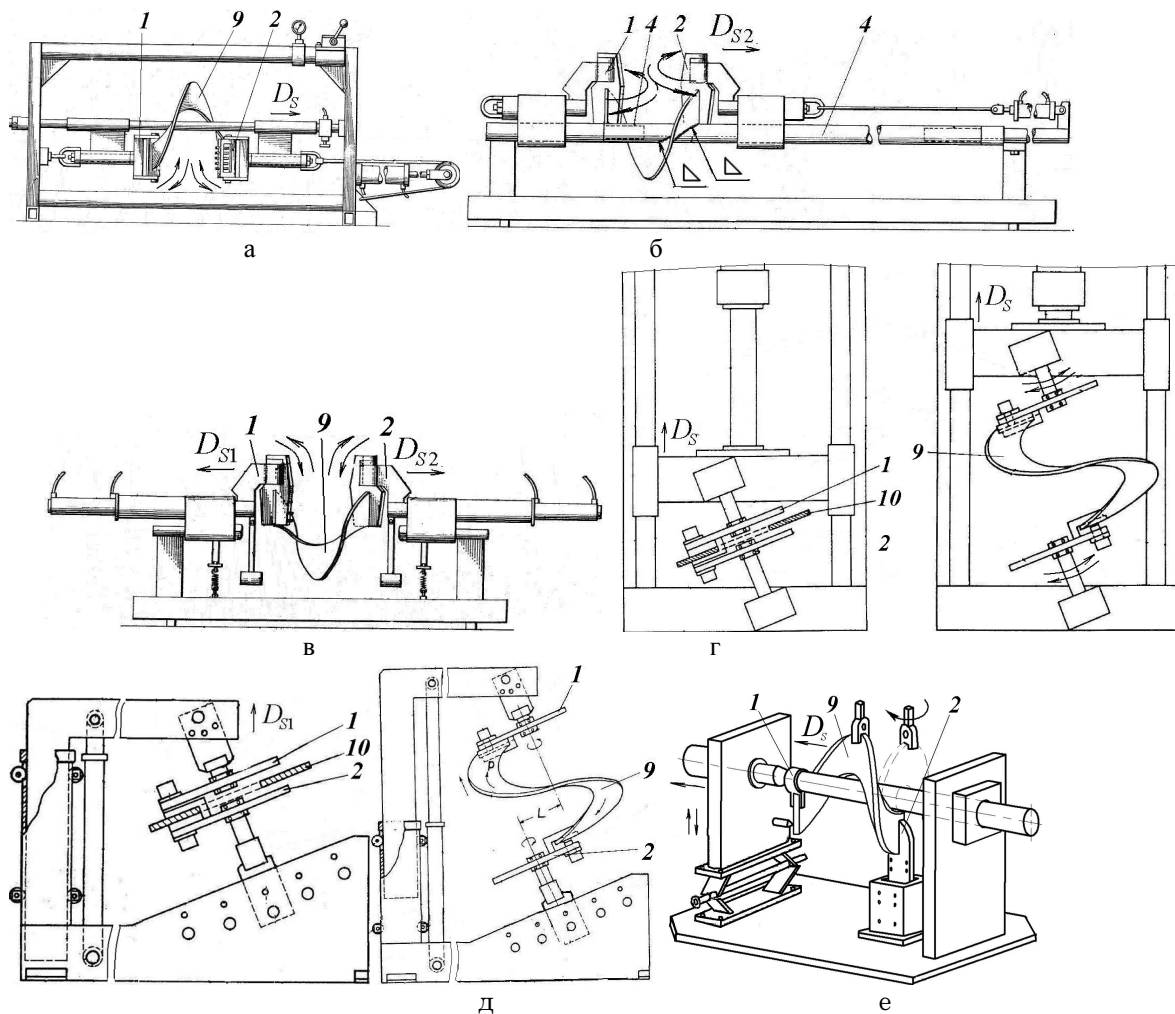


Рисунок 10 - Схема формоутворення СГЗ способом згинання фірми “ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND” (Японія) та конструкції кільцевих секторних заготовок з лініями згину, які утворюють трикутні сегменти із центральним кутом α (штрих пунктиром позначено лінії згину витка)

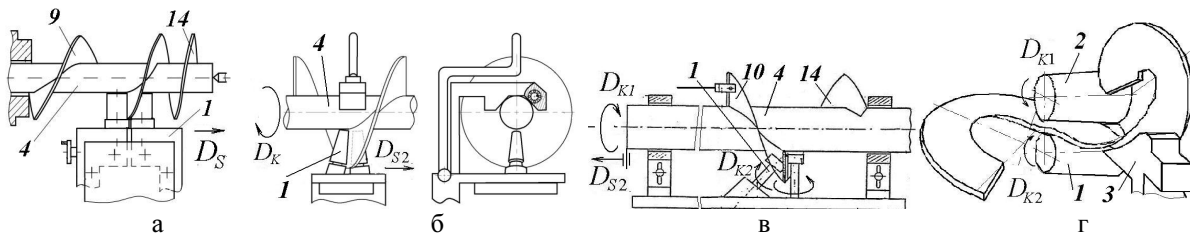


а, б, в – автор - Трасу Т. Fender (Пат. №US3485116); г, д - компанії “ISHIFUKU KENSETSU KK” (Японія); е – фірм “HOSHIN SANGYO KK” і “NIPPON STEEL CORP” (Японія)

Рисунок 11 - Схеми формоутворення СГЗ способами вільного розтягування:

Загалом, процеси калібрування на крок, об'єднані із операцією встановлення і закріплення спіралі на валу, знайшли широке використання як в масовому, так і одиничному виробництві. Схеми формоутворення реалізуються здебільшого за допомогою вилкових, гребінкових та пальцевих пристроїв, встановлених на токарних верстатах (рис. 12 а, б). Особливістю таких способів є відсутність необхідності використання спеціального оснащення для кожного типорозміру шнека, та можливість виготовлення шнеків зі змінним кроком. Для підвищення точності і жорсткості СГЗ фірма "AGROMAT KFT" (Угорщина) впровадила у виробництво технологію калібрування на крок, шляхом прокатування витків у спеціальному пристосуванні (рис. 12 в). В результаті цього змінюється профіль поперечного перерізу витка.

До одних із спеціальних способів виготовлення СГЗ належить прокатування. Таку технологію вперше запропонували інженери із інструментального заводу PET ARN ALTENA із міста Remscheid-Hasten (Німеччина) ще в 1927 році. В 1930р. вони одержали патент №509251.



а – [2]; б – автори - Макаліш А.М. і Горемикін В.П. (А.с. СРСР №609567); в - компанії "MITSUBISHI HEAVY IND LTD" (Японія); г – [2]

Рисунок 12 - Схеми формоутворення СГЗ способом осиметричного обтискання

Згідно такого способу смугову заготовку прямокутного перерізу пропускають між конічними вальцями, які утворюють між собою клиноподібну щілину. Внаслідок зміни січення з прямокутного на трапецеподібне збільшується ширина смуги, і вона скручується до утворення плоского витка. Потім одержану кільцеву заготовку піддають послідовному деформуванню ділянок кільцевої заготовки в штампі з гвинтовими робочими поверхнями пуансона та матриці. Вдосконаленням такого способу є використання в якості початкової заготовки кільцевих секторних заготовок, а також використання у механізмі прокатування у зоні виходу деформованої заготовки із валків клинового механізму, тобто пристрою для формування крокової спіралі (рис. 12 г).

Основними шляхами вдосконалення способів виготовлення СГЗ є використання оригінального обладнання (ротаційних штампів (пристроїв для торцевого обкатування) для штампування шляхом обкатування роликком по гвинтовій робочій поверхні матриці) та пошук нових схем: а) одержання плоских кільцевих секторних заготовок шляхом використання в якості початкових заготовок смугових, трубних, неперервно-секторних заготовок (у формі кільцевих секторів, з'єднаних пазовими перемичками) тощо; б) деформування секторних заготовок. Наприклад, вдосконаленням способу виготовлення СГЗ, при якому одержують кільцеву секторну заготовку та деформують її в штампі між пуансоном, з гвинтовою робочою поверхнею, та матрицею шляхом їх змикання по товщині заготовки, є деформування секторної заготовки шляхом проникнення пуансона з кільцевою секторною заготовкою в пружну матрицю з плоскою робочою поверхнею. Іншими прикладами є вібраційне, магнітно-імпульсне, статико-імпульсне штампування тощо.

Перевагами СГЗ у порівнянні із прокатними і навивними гвинтовими заготовками є невибагливість до матеріалу, можливість виготовлення на універсальному обладнанні з використанням типових штампів або обладнання для газового або повітряно-плазмового різання і відпрацьованою технологією виготовлення; їх область застосування поширюється на всі спіралі із коефіцієнтом видовження спіралі $2,6 \dots 3$; на заготовки спіралі у яких виготовляється із матеріалу з коефіцієнтом видовження $\delta_s < 0,12 \dots 0,15$; на всі спіралі, відношення ширини B до товщини H витка яких $b = B / H > 100$; на спіралі також з $b > 20$ і кроком $T < 0,7D$, а також коли одночасно $H > 4 \dots 5$, $B > 20$, чи $H > 4 \dots 5$, $B > 80$ мм (гаряче витягування на крок спіралі).

Висновки. В результаті проведених пошукових досліджень розроблена класифікація способів формоутворення СГЗ, висвітлені області їх застосування, а також відмічені шляхи їх вдосконалення.

Список літератури

1. Железков В. Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства. Монография. / В. Н. Железков. – СПб.: изд. Дом Прагма, 2004. – 128 с.
2. Технологічні основи формотворення різнопрофільних гвинтових заготовок /Б.М. Гевко, М.І. Пилипець, В.В. Васильків, Д.Л. Радик. – Тернопіль: Вид-во ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. – 457 с.

В.Васильків

Технологии изготовления секционных винтовых заготовок

Работа посвящена вопросам повышения эффективности изготовления винтовых секционных заготовок деталей машин за счет обоснованного выбора рациональных схем их формообразования и разработки ресурсосберегающих технологических процессов их производства. Предоставлено многовариантную структуру и классификацию схем формообразования винтовых секционных заготовок штамповочным методом (штамповка разрезных шайб из листового проката и их растяжения на шаг). Предложены новые способы для изготовления таких заготовок. Определены условия целесообразного использования таких технологий.

V. Vasylykiv

Technologies producing screw flight billets

The article deals with problems of effective increase in making of machine part of sectional screw flights billets due to the informed choice of rational schemes for their shaping and development of rational progressive technological process for their manufacturing. The multivariant structures and classification of schemes shaping of sectional screw flight billets by stamp welding method (punching of cut washers out of a rolled metal and their step stretch) are presented. The new ways manufacturing such billets are proposed. The conditions of the appropriate use of such technologies are determined.

Одержано 21.09.12