

УДК 621 7.043

DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-18-17

Пилипець М.І., д.т.н., Васильків В.В., д.т.н., Радик Д.Л., к.т.н., Пилипець О.М., к.т.н.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБЛЕННЯ КОМБІНОВАНИХ ОПЕРАЦІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ І ШНЕКОВИХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

У рамках системного підходу дано постановку задачі вдосконалення технологічних процесів отримання гвинтових і шнекових заготовок у виробництві гвинтових виробів на основі розробки і ефективного використання комбінованих операцій методу обробки металів тиском. Назва такої операції об'єднує назву кількох простих операцій, розміщених в порядку превалювання питомої ваги одного процесу над іншим. Наведено термінологічний опис відомих основних простих (осадження, висаджування, протягування ковальське, радіальне обтискування, гнуття, скручування, навивання, та інші) та окремих комбінованих процесів формоутворення гвинтових і шнекових заготовок методом обробки тиском. Структуризацію та розроблення термінологічного опису операцій здійснено згідно класифікатору 185151 технологічних операцій машино- і приладобудування на основі використання стандартів DIN 8580-DIN 8586, ДСТУ 2263-93. На основі використання показників технологічності дано характеристику та наведено межі використання відомих процесів. Рекомендовано матеріали, які використовуються для виготовлення гвинтових і шнекових заготовок. Отримані результати можуть бути використані для синтезу нових комбінованих процесів отримання гвинтових виробів. Їх впровадження дозволяє істотно збільшити продуктивність виробництва, зниження енерговитрат і матеріаломісткості, скорочення виробничих площ, створення можливості автоматизації і ефективного управління, підвищення якості продукції, поліпшити екологічну обстановку тощо.

Ключові слова: комбінована операція, гвинтова заготовка, шнекова заготовка, вальцьована гвинтова заготовка, секційна гвинтова заготовка, кільцева секторна заготовка, скручена гвинтова заготовка, розгортка витка гвинтової заготовки, зварна гвинтова заготовка, гофрована гвинтова заготовка.

Постановка проблеми. Технологічна операція виготовлення гвинтових (ГЗ) і шнекових (ШЗ) заготовок є однією із основних у виробництві гвинтових виробів - робочих органів екструдерів, шнекових транспортерів, грануляторів, змішувачів, циклонів, гвинтових паль та анкерів, гвинтових пресів, турбін, витих магнітопроводів тощо. Їх номенклатура та типорозміри постійно розширюється. При цьому у сучасному виробництві таких виробів існує необхідність розробки нових технологій, що базуються на розробленні і застосуванні комбінованих операцій, побудованих на поєднанні двох і більше базових (простих) процесів. Як відомо, базовим процесом називають такий, при якому під час прикладання навантаження зовнішній розподіл сили і її напрямок в зоні пластичної деформації (кристалізації) не змінюється. У комбінованих процесах відбувається інтегральне накладення навантажень в одному осередку деформації, іноді зі зміною напрямку течії металу, або розділенням базових процесів в часі або просторі. Назва такої операції об'єднує назву кількох простих операцій, розміщених в порядку превалювання питомої ваги одного процесу над іншим. Реалізація таких комбінованих операцій отримання ГЗ і ШЗ у виробництві гвинтових виробів забезпечує підвищення продуктивності праці, зниження енерговитрат і матеріаломісткості, скорочення виробничих площ, створення можливості автоматизації і ефективного управління, підвищення якості продукції, покращення екологічної обстановки тощо.

Аналіз відомих результатів досліджень. Аналіз окремих результатів практичної реалізації комбінованих процесів показав, що їх успішно застосовують і вони є перспективними [1, 2]. Базові операції та результати їх досліджень наведено в [1-16]. Незважаючи на певні успіхи в розвитку теорії і практики комбінованих процесів, теоретичні та практичні основи цих процесів розроблені недостатньо. Багатоманітність існуючих базових процесів обробки металів тиском вимагає їх термінологічного опису та класифікації, опису характеристик і визначення меж їх використання, оскільки вони є основою для синтезу ефективних комбінованих процесів, їх моделювання, розрахунку та оптимізації.

Мета роботи. Здійснити термінологічний опис основних простих процесів формоутворення ГЗ і ШЗ методом обробки металів тиском на базі методології системного аналізу. На основі використання показників технологічності дати характеристику і визначити межі використання згаданих процесів. Описати відомі базові та комбіновані процеси формоутворення таких деталей.

Постановка задачі. У рамках системного підходу існує необхідність у вдосконаленні технологічних процесів отримання гвинтових виробів на основі впровадження комбінованих процесів формоутворення ГЗ і ШЗ.

Структуризацію, кодування та розроблення термінологічного опису операцій здійснюємо згідно класифікатору 185151 технологічних операцій машино- і приладобудування на основі використання стандартів DIN 8580-DIN 8586, ДСТУ 2263-93. Кожна з операцій може бути реалізована різними технологічними способами залежно від схеми формоутворення, геометричною формою та закономірностями зміни контакту інструменту та заготовки з часом, температурою деформації тощо.

Виготовлення ГЗ і ШЗ методом обробки тиском здійснюють на таких операціях.

Осадження (2121). Операцію виконують двома групами способів: а) утворення ГЗ із відкритою навивкою витків шляхом зміни ширини початкової заготовки при збільшенні площі її поперечного перетину внаслідок направленої переміщення матеріалу за шириною заготовки. Сили діють на початкову заготовку в напрямку, перпендикулярному до її ширини, за допомогою інструменту, який не обмежує формування найбільшого поперечного розміру утвореної ГЗ; б) оброблення (зміна геометричних розмірів) багатовиткових ГЗ із закритою навивкою або секційних гвинтових заготовок (СГЗ) шляхом зменшення довжини такої спіралі при збільшенні висоти її витків.

Висаджування (2122) – операція утворення цільної ШЗ шляхом зменшення висоти циліндричної заготовки у відкритому штампі із гвинтовою щілиною роз'єму з одночасним збільшенням площі поперечного перетину її частини за рахунок заповнення деформованим матеріалом такої щілини та утворенням витка, який прилягає до циліндричного сердечника утвореної кованки.

Розганяння (2124). Можна виділити два види таких операцій: а) утворення нециліндричної ГЗ із циліндричної ГЗ внаслідок дії інструменту в напрямку, перпендикулярному до поздовжньої осі такої заготовки; б) утворення ГЗ внаслідок збільшення ширини початкової заготовки (розміру в плані) за рахунок асиметричного обтиснення її поперечного перетину (переважно з наданням її перетину клиноподібної форми).

Радіальне обтискування (2125) – зменшення площі поперечного перетину заготовки внаслідок її асиметричного обтискання співвісними інструментами (бойками) які здійснюють радіальні зворотно-поступальні рухи при одночасному відносному поступальному переміщенні заготовки відносно інструментів.

Передавання (2126) – це операція під час якої здійснюють зміщення (зсування) гвинтовою лінією однієї частини кільцевої секторної заготовки (КСЗ) або листової заготовки відносно іншої її частини при збереженні паралельності осей, площин чи поверхонь частин заготовки.

Гнуття (2129) – інкрементальна операція надання прямолінійній смуговій або кільцевій секторній заготовці просторової спіральної форми за рахунок місцевого пластичного деформування шляхом утворення або зміни кутів між частинами оброблюваної заготовки за декілька переходів за рахунок покрового одно-, двох- або багатокутового гнуття частин заготовки без попередньої фіксації кінців, без взаємодії за внутрішньою крайкою з опорним елементом у вигляді оправи з використанням штампів або профілезгинальних агрегатів. Операція забезпечує зміну напрямку головної осі початкової заготовки внаслідок впливу, інструменту який здійснює поступальне або колове переміщення в напрямку, перпендикулярному до такої головної осі.

Скручування (2131) – операція отримання скручених ГЗ із прямолінійних стрічкових заготовок та скручених СГЗ із КСЗ шляхом повертання частини заготовки відносно іншої її частини під певним кутом навколо спільної осі, яка перпендикулярна до профілю нормального поперечного перетину заготовки. Процес супроводжується зміною (для СГЗ) або без зміни (для скручених ГЗ) напрямку головної осі початкової заготовки.

Навивання (2134) – операція характеризується локальною зоною деформації, що переміщується і зумовлює згин в площині, перпендикулярній до руху вихідної заготовки, забезпечуючи зміну основної осі початкової заготовки (прутка, стрічки) з наданням їй

гелікоїдної форми внаслідок послідовного вигинання заготовки навколо оправки або шаблону (вигинної вставки), які здійснюють відносний обертовий рух.

Згідно класифікатора 185.151 операція навивання – це утворення спіральної заготовки послідовним згинанням. На нашу думку відмінність її від гнуття є неперервність переміщення зони деформації при утворенні НЗ.

Роздавання (2139) – операція утворення порожнистих ШЗ шляхом збільшення розмірів поперечного перетину порожнистої заготовки з одночасним утворенням профільованої поверхні у вигляді гвинтових виступів і впадин внаслідок одночасної дії інструменту по всьому периметру.

Формування (2142) – штампувальна операція отримання СГЗ між двома інструментами, при якій змінюється форма вихідної плоскої КСЗ з утворенням необхідного кроку за рахунок місцевого розтягу без зміни товщини матеріалу. Відомі комбіновані операції “Формування-осадження” та “Формування-вальцювання”.

Видавлювання (2145) – технологічна операція отримання цільних або порожнистих ШЗ (труб з гвинтовими ребрами та гвинтовими канавками) з одно або багато західними витками та ГЗ (переважно скрученими), яка характеризується локальним джерелом(ами) деформації, направленим гвинтовим витіканням матеріалу при його видавлюванні (витісненні) із загального "приймача" (контейнера) в канал, сукупність каналів (пазів) або щілин з гвинтовими поверхнями між цільними або роз'ємними частинами інструмента (матриці). Профіль, кількість і кут підняття спіралі гвинтових поверхонь матриці виконують відповідними конфігурації заготовок, які отримують.

Видавлювання (2145) зі скручуванням (2131) – суміщена операція отримання ГЗ та ШЗ шляхом штампування заготовки витісненням матеріалу через гвинтовий канал (рівчак) матриці з одночасним провертанням заготовки навколо її поздовжньої осі у зоні виходу із матриці за допомогою захвату, який здійснює обертовий рух та осьове переміщення вздовж осі заготовки (характерний приклад – Пат №US3337690).

Калібрування (2149) – операція підвищення точності форми та розмірів ГЗ, цільних і комбінованих ШЗ за зовнішнім та внутрішнім діаметрами, товщиною, кроком витків та зменшення шорсткості їх поверхонь (вигладжування) без використання механічної обробки зі зняттям стружки. Доцільно розрізняти калібрування на крок, калібрування бічних гвинтових поверхонь і калібрування поверхонь зовнішніх крайок витків ГЗ і ШЗ. Прикладом є технічне рішення (див. А.С. СРСР №751481), яке дозволяє виправляти форму ГЗ, що мають нагромаджену похибку кроку і викривлення в осьовому напрямку.

Калібрування (2149) зі зварюванням (9000) – комбінована операція утворення КШЗ, шляхом обтягування ГЗ навколо валу, до щільної посадки внутрішньої крайки витків на вал з наступним з'єднанням (зварюванням) внутрішньої кромки витка з валом.

Калібрування (2149) зі скручуванням (2131) та зварюванням (9000). Таку комбіновану операцію утворення комбінованих ШЗ здійснюють шляхом обтягування ГЗ навколо валу внаслідок розтягування заготовки з одночасним її поворотом навколо поздовжньої осі до щільної посадки внутрішньої крайки на вал з наступним її приварюванням до валу.

Волочіння (2152) зі скручуванням (2131) – це суміщена операція протягування заготовки (профілю або труби) крізь канал волоки за допомогою сили, яка спів направлена до напрямку руху виробу з одночасним провертанням частини заготовки навколо її поздовжньої осі.

Накочування (2153) – операція отримання цільних шнекових заготовок (ребристих труб) шляхом утворення на циліндричній заготовці гвинтових виступів, виконаних у вигляді різьби з кроком 1,5-2,5мм і кутом профілю від 40 до 300 висотою не більше 4,5 мм за рахунок неперервного кочення інструменту поверхнею деформованого матеріалу з видавлюванням інструменту в матеріал заготовки і видавлюванням частини матеріалу у впадини інструменту.

Профільювання (2154) – операція отримання гофрованих ГЗ шляхом згину суцільної чи гофрованої смугової заготовки в поперечній площині що супроводжується відповідно утворенням або зміною форми асиметричних гофрів.

Вальцювання (2172) характеризується локальним вогнищем пластичної деформації, яке переміщується та змінює за шириною заготовки ступенем деформації, а також обертальним рухом деформуючої частини інструменту, обертальним або поступальним рухом заготовки.

Штампування імпульсне (магнітно-імпульсне) (2175) – високошвидкісне формування тонковиткової СГЗ незначного діаметру із КСЗ зі сплавів Д16АМ, АМГ16М у штампі між пуансоном із гвинтовою робочою поверхнею за допомогою дії імпульсного магнітного поля.

Штампування рідиною (гідравлічне штампування) (2181) – це формування порожнистої

ШЗ шляхом осевого осаджування жорсткими пуансонами тонкостінної циліндричної порожнистої заготовки і утворення за допомогою впливу тиску рідини (гідростатичного тиску) на таку заготовку гвинтових виступів і впадин релевантних гвинтовим рівчакам матриці.

Відповідно до розробленої багатоваріантної структури операцій отримання ГЗ і ШЗ здійснювали аналіз характеристик і меж використання згаданих процесів на основі використання показників технологічності [1, 2]. Як відомо, основними параметрами ГЗ і ШЗ є діаметри (радіуси) $D(R)$ і $d(r)$ зовнішньої і внутрішньої крайок витка, кут $\tilde{\theta}$ нахилу твірної витка відносно поздовжньої осі спіралі, товщина зовнішньої h та внутрішньої H крайок, крок T і висота витка B , середній кут α_{cp} підняття гвинтової лінії. Для виготовлення ГЗ і ШЗ найчастіше використовують початкові заготовки у вигляді валу, смуги товщиною H_0 і шириною B_0 , кільцевої секторної заготовки (КСЗ), яка являє собою розгортку цілого або частини витка СГЗ на площині із зовнішнім D_0 і внутрішнім d_0 діаметрами крайок.

Ефективність технології виготовлення згаданих виробів визначають цілим рядом показників, до яких належить питома висота витка $b=B/H$, коефіцієнт ψ нерівномірності витягування стрічки за зовнішньою і внутрішньою крайками витка спіралі; коефіцієнт K_T кроку витка ГЗ: $K_T = T/D$; коефіцієнт K_{BM} використання матеріалу; комплексний показник F_m пластичності Гурвіча В.Є. [15] ($F_m = \sigma_B \delta_5 / \sigma_T$, де σ_B – границя міцності; σ_T – границя текучості; δ_5 – відносне видовження матеріалу); відносний радіус згину початкової заготовки r/B ; коефіцієнт $K_G = \delta_h / \psi$ технологічності витків ГЗ.

Результати дослідження. Виготовлення вальцьованих ГЗ і ШЗ доцільно здійснювати на спеціалізованих ділянках в умовах крупносерійного і масового виробництва. Застосування поздовжнього вальцювання забезпечує зниження трудомісткості на 40-50% і витрати металу на 50-60% порівняно зі способом виготовлення зварних ГЗ. Наприклад, при виготовленні зварної ГЗ довжиною 3 м. ($D=250$ мм, $T=250$ мм) затрачається 3,2 год. робочого часу, а вальцьованої того ж розміру – 0,4 год.

Вихідним продуктом для формоутворення вальцьованих гвинтових заготовок (ВГЗ) способом поздовжнього вальцювання можна використовувати: прості сортові профілі (коло, квадрат, шестигранник, холоднокатана і гарячекатана травлена смуга, стрічка); фасонні сортові профілі: а) профілі загального призначення (кутник, тавр); б) профілі спеціального призначення (спеціальний профіль для шнеків, кільцеві секторні заготовки). Початковими заготовками у виробництві ШЗ є холоднодеформовані труби згідно ГОСТ 550-75, ГОСТ 9567-75, ГОСТ 8734-75, ТУ 14-ЗР-55-2001.

Секційні ГЗ виготовляють із вуглецевих сталей FE360B (S235JR/1.0037), FE430B (S275JR/1.0044), FE510B (S355JR / 1.0045), 08кп (AISI 1008, AISI 1010), 08ЮА (A620), 10кп нержавіючих сталей AISI304 (1.4301), AISI316L (1.4404), AISI316Ti (1.4571), AISI310S (1.4845), зносостійких сталей HARDOX 450/500, CREUSABRO 4800/8000, ROC 321/400, NAXTRA, DILLIDUR 450 B/500 B; ВГЗ отримують переважно із вуглецевих низьковуглецевих високопластичних сталей (FE360B (S235JR/1.0037), DD11 (FeP11), DD12 (FeP12)) та нержавіючих сталей AISI304 (1.4301), AISI316L (1.4404). У виробництві магнітопроводів використовують електротехнічні рулонні сталі, наприклад, марок 2013 і 3413 згідно ГОСТ 21427.1-83. Шнекові заготовки, які отримують способами поперечного, поперечно-гвинтового і поздовжньо-гвинтового вальцювання використовують у виробництві моно- і біметалічних високо ребристих труб ($B>4,5$ мм), ходових гвинтів, черв'ячних валів, роторів компресорів, труб з гвинтовими гофрами. Тому для їх виготовлення використовують сталі 8ХФ ГОСТ 5950-2000 (62SiMnCr4), 50ХФА ГОСТ 14959-79 (AISI6145), 30ХЗВАТУ14-1-950-86, які піддають попередньому відпалу на зернистий перліт (сталь 8ХВ) або поліпшенню із стабілізуючим відпуском (сталі 50ХФА (6145) і 30ХЗВА), мають відповідно твердість НВ 150-179, НВ 196-223 і НВ 225-286. Вальцьовані ШЗ зі сталей 8ХФ, 50ХФА і 30ХЗВА мають твердість за профілем витків відповідно НВ 250-256, НВ 300-312 і НВ 308-320.

Основними способами формоутворення ВГЗ є: вальцювання (2172), комбіновані операції вальцювання (2172) зі скручуванням (2131), вальцювання (2172) з навиванням (2134), навивання (2134) з вальцюванням (2172), вальцювання (2172) з навиванням (2134) і калібруванням (2149).

Такі нормативні документи як ГОСТ 2705-73, ГОСТ 2037-82 регламентують

виготовлення ВГЗ в інтервалі $20\text{мм} < d < 121\text{мм}$, $60 < D < 320\text{мм}$ зі смуг із $B_0 < 100\text{мм}$. Вітчизняні стани дозволяють отримувати такі заготовки в інтервалі розмірів $1.2 \geq T/D \geq 0.7$, зокрема на станах X523 і X540 $0.8 \geq d/D \geq 0.1$; $5 \geq H/h \geq 1.2$, $20\text{мм} \geq B \geq 110\text{мм}$, $90\text{мм} \geq D \geq 700\text{мм}$, $90\text{мм} \geq T \geq 700\text{мм}$, $H_{\text{max}} = 4-6$ мм (матеріал заготовки сталь 08КП-0М ГОСТ503-81). На станах мод. ZL158-II та ZL258 фірми Shandong Tiema Machinery Co., Ltd можна отримувати ВГЗ в інтервалі параметрів відповідно: $H_{\text{max}} = 2-5$ мм і $H_{\text{max}} = 2-10$ мм; $B_{\text{max}} = 100$ мм і $B_{\text{max}} = 150$ мм; $d_{\text{max}} = 30$ мм і $d_{\text{max}} = 60$ мм; $D_{\text{max}} = 600$ мм і $D_{\text{max}} = 800$ мм. Використання стану вартістю 39 000 у.о. фірми "Harbin Qiheng Trade" забезпечує отримання ВГЗ з $D_{\text{max}} = 50-200\text{мм}$ із низьковуглецевих сталей зі смуг $B_0 = 20-100$ мм, $H_{0\text{max}} = 5,5\text{мм}$. Устаткування фірми "Теснофер" (Італія) забезпечує виготовлення ВГЗ з параметрами $H/h \approx 2$, $T = D$, $65\text{мм} < T < 200\text{мм}$, $22\text{мм} < d < 48\text{мм}$, $21\text{мм} < B < 76\text{мм}$, $1,8\text{мм} < h < 2,3\text{мм}$.

Оцінку можливостей виготовлення ГЗ методом холодного вальцювання на устаткуванні визначених модифікацій здійснюють за допомогою показника K_{pr} ($K_{pr} = D_B / T$, де D_B – діаметр робочої поверхні вальця) конструктивних особливостей прокатних станів.

Тонковиткові ВГЗ отримують, як правило, в холодному вигляді (із зменшенням перетину збільшується тепловіддача, тому гаряча обробка ускладнена). Отримання широкосмугових ВГЗ із вуглецевих сталей і кольорових сплавів з товщиною витка менше 0,5 мм неможливо через розрив витків зі сторони їх зовнішніх крайок.

Для виготовлення ВГЗ у виробництві навивних магнітопроводів із $d_{\text{min}} = 10\text{мм}$, $D_{\text{min}} = 150-180$ мм використовують установки УНС – 3, УНС – 4, ГГ – 2416, Ю 5.980, АО – 683.000, ГГ – 2347, НМ – 12, НМ – 13М, НМ – 5М, НМ – 4М та ін. На них навивають стрічки товщиною 0.05...0.8 мм і шириною 2,5...50 мм із електротехнічних рулонних сталей 2013 ГОСТ 21472.2-75 і 3413 ГОСТ 214271-75.

При використанні способу вальцювання з не катаною зоною деформуванню піддають зовнішню по відношенню до центру кривизни частину заготовки, яка не перевищує 75% її вихідної ширини (а.с. СРСР №429872). Для попередження гофроутворень внутрішню кромку необхідно гальмувати, шляхом зміни кутової швидкості, обертання відповідної частини складених вальців та одночасно обтискувати на 3-5%, що складає 0,1-0,2 мм при існуючій товщині заготовок. Загалом такий спосіб забезпечує отримання ВГЗ в діапазоні параметрів: $D/B_0 \leq 2,6$; $d/D \leq 0,5$, $0,5 \geq d/D$, $\psi < 2.5...2.7$, $0,8 < T/D < 1,2$, $B/H \geq 25\text{мм}$

$3,2\text{мм} < H_0 \leq 5\text{мм}$.

Виготовлення ВГЗ гарячим способом доцільно здійснювати наскрізне нагрівання не катаної частини смугової заготовки до температури, яка не перевищує нижню критичну точку (до 500-600°C) (а.с. СРСР № 548338). Для зменшення не ідентичності витків за кривиною при використанні індуктора щільного типу передній кінець смуги повинен мати температуру нижче решти частини на 30-50°. Наприклад, із початкової смугової заготовки при $H_0 = 2,5$ мм, $B_0 = 50$ мм можна отримати ВГЗ зі сталі 08КП з параметрами $D_{-8}^{+5} = 150$ мм; $T_{-10}^{+10} = 150$ мм; $d_{-2}^{+2} = 20$ мм; $h = 1$ мм, ширина не катаної частини дорівнює 10мм. Однак, необхідно враховувати, що використання способу гарячого у порівнянні з холодним вальцюванням характеризується більшою на 25% трудомісткістю.

Виготовлення ВГЗ можна здійснювати зі смуг із трапецеподібним профілем із $\psi < 1.8...2.2$ і $B/H > 20$, та із гіперболічним профілем $\psi > 1.8$. Для випадку $\psi < 2,6$, $B/H > 15$, $T/D < 1,3$; $0,007 \leq K_T < 0,005$, або $\psi < 1,8$ $B/H > 20$ $T/D < 1,3$; $0,007 \leq K_T < 0,005$. Загалом $\psi \leq 1,6$; $F \geq 0,36$; $H/B \geq 0,02$, ($B/H \leq 50$) коли $\psi \leq 2$; $F \geq 0,46$; $H/B \geq 0,02$; ($B/H \leq 50$), в іншому випадку $\psi \leq 2,3$; $F \geq 0,46$; $\psi \leq 2,6$; $F \leq 0,61$; $H/B \geq 0,02$ ($B/H \leq 50$).

Однак необхідно враховувати, що співвідношення між діаметром d і діаметром вала, на який встановлюють ГЗ не повинно перевищувати 1,1...1,01. Для $\psi = 2,8...1,6$ $0,9 < T/D < 1...1,06$, а коли $\psi \rightarrow \psi_{\text{max}} = 2,7$ необхідно проточувати або шліфувати зовнішні крайки на глибину 1,5...4мм через розрихлення зовнішньої крайки витка.

За умови діаметра вальців 320мм і обтискуванні за всією шириною початкової заготовки можна отримувати ГЗ з параметрами $H/h = 1,2...2,6$; $0,07 \leq K_T \leq 1,3$; $\psi_{\text{max}} \leq 2,7$;

$2,5\text{мм} \leq H < 6\text{мм}$; $0,3 < K_T < 1,56$; $H_0 / H < 1,015 \dots 1,04$, $B/H = 15 \dots 50$.

У випадку $K_T \geq 1,2$ кут відхилення перетину спіралі від перпендикуляра до осі валу завжди перевищує допустиме значення. Тому у цьому випадку для виготовлення якісних виробів доцільно використовувати початкові кільцеві секторні заготовки або неперервно-секційні смугові заготовки.

Необхідно відзначити, що при отриманні спіралей зі зменшеним коефіцієнтом технологічності витків K_G зростає складність формоутворення способом холодного вальцювання через можливість гофроутворень та руйнуванням заготовки. Допустима величина $K_G \geq 0,007$. Умова ймовірності виникнення розриву зовнішньої крайки спіралі при сталому процесі обчислена Гурвічом В.Є.: $K_G < 0,005$ [15].

Отримання секційної ВГЗ із $1,2 < K_T < 2$ доцільно здійснювати із початкової заготовки, виконаної у вигляді тіла обертання з катеноїдною або іншою поверхнею (витягнутою катеноїдною конічною). Таку заготовку розрізають в радіальному напрямку і вальцюють між кінчними одноопорними вальцями.

Однак при виборі такої технології необхідно враховувати, що вона характеризується на 40-50% більшою трудомісткістю і на 50-60% більшими витратами матеріалу у порівнянні зі способом вальцювання смугових заготовок.

Використання способу вальцювання з навиванням на оправу забезпечує отримання ШЗ ребристих труб із параметрами $0,4\text{мм} < H < 0,6\text{мм}$; $T > 2,5\text{мм}$; $B < 16\text{мм}$, $B/H = 32$, матеріал – алюміній та його сплави (наприклад, АД1 ГОСТ 4784 -97 та закордонні марки АА 1135, 1145, 1230, 1235, ENAW-1235). В умовах масового виробництва доцільно використовувати устаткування на зразок верстата моделі ГД-99А. Зі смуг із трикутними вирізами можна отримувати ВГЗ із $\psi_s < 2 \dots 2,2$, де $\psi_s = L_h/L_v$ – коефіцієнт нерівномірності витягування суцільної частини, L_v – довжина поздовжнього шару спіралі за вершинами вирізів; $T_e \leq 1,5 B_e$, де T_e і B_e – крок і висота вирізів; радіус округлень отворів $r_c > 0,6 H_0$.

Для вальцювання довжина смугової заготовки повинна перевищувати 2500мм. Крім цього до розрахункової довжини на кресленні додають довжину одного витка через необхідність обрізування спотворених деформуванням вхідного і вихідного кінців ВГЗ.

Способами поперечно-гвинтового вальцювання отримують ШЗ як з одно- так і багатозахідними спіралями з параметрами: $\alpha_{cp} \leq 13-15^\circ$, довжиною не більше 12...15мм, $B < 3,5-15\text{мм}$, $T = 1,5-6\text{мм}$, $H_c = 0,3-1,0\text{мм}$, $60\text{мм} \leq D \leq 120\text{мм}$; $K_{BM} = 98-99\%$.

На операції накатування виготовляють порожнисті ШЗ з низькими витками і $T = 1,5-2,5\text{мм}$ і кутом профілю від 40 до 30° . Для цього використовують матеріали, які характеризуються коефіцієнтом відносно видовження, який перевищує 4%. Спосіб дозволяє отримувати цільні ШЗ з порожнистими витками $D = 6-50\text{мм}$, $\alpha_{cp} \leq 6-10$ град. і товщиною стінки $0,25 - 0,8\text{мм}$ будь якої довжини. Формоутворення здійснюють на спеціальних верстатах (наприклад, типу ХРПТ), або у спеціальних пристосуваннях на токарних верстатах.

Операція 2131 "скручування" забезпечує утворення: а) скручених із прямолінійних стрічкових заготовок; б) скручених СГЗ із КСЗ; в) цільних ШЗ з великим кроком із труб із прямими поздовжніми ребрами; г) цільних профільованих заготовок. Такі заготовки доцільно використовувати для виготовлення стрічкових завихрювачів енергетичних установок, свердел, спіральних лез протяжок і гвинтових різців, робочих органів блендерів тощо.

Для отримання скручених ГЗ та СГЗ із $\alpha_{cp} \neq const$ доцільно використовувати спосіб поділянкового скручування. При $D = 150-200\text{мм}$ і $T = 130-220\text{мм}$ виток можна виготовити з листового матеріалу із $H_0 = 0,5-1,0\text{мм}$. Спосіб скручування із одночасним прикладенням до кінця заготовки зусилля осевого розтягу дозволяє зменшити величину кута пружного розкручування після розвантаження заготовки.

Способи скручування в штампах можна ефективно використовувати при деформуванні початкових заготовок у вигляді симетричних фігур, у яких довжина лінії симетрії, рівна довжині кроку витка скрученої ГЗ, а криволінійні бічні сторони – рівні довжині гвинтової лінії зовнішньої крайки витка. Параметри таких скручених ГЗ: $0,5\text{мм} \leq H \leq 1,0\text{мм}$; $130\text{мм} < T < 220\text{мм}$; $150\text{мм} < D < 200\text{мм}$.

Для виготовлення вузьковиткових ГЗ із $B/H < 2$, $d < 80\text{мм}$; $T < 200\text{мм}$, $\alpha_{cp} \leq 20 \dots 40^\circ$ та можливою

криволінійною повздожньою віссю такої заготовки з початкових профільованих прутків зі швидкоріжучих сталей (Р6М5, 3343, Т11302 та ін.) для попередження спотворення форми їх лезових частин доцільно використовувати спосіб скручування на оправі.

Отримання секційних ГЗ здебільшого здійснюють різними способами на операціях калібрування або формування. Вибір конкретного способу залежить від величини коефіцієнта кроку витка спіралі. Такий коефіцієнт є критерієм перпендикулярності перетину витка відносно до його осі. При $T/D = 1,3$ кут відхилення перетину витка вальцьованої спіралі від перпендикуляра до осі валу завжди перевищує допустиме значення [15]. У цьому випадку має місце так званий "завал витка", тобто відхилення твірної гелікоїдної поверхні від перпендикуляра до осі спіралі. При виготовленні штампозварних ГЗ для яких $K_T = 0,6 \dots 0,8$ вважають, що деформація відбувається без значного витягування металу. Якщо величина $K_T > 0,8$, то у розрахунках розгортки витка використовують формули Вернікова Р.М.

Необхідно відзначити, що для гвинтових виробів, розміри яких регламентовані ГОСТ2705-73 та ГОСТ2037-82 $K_T = 0,6 \dots 1,0$. При конструюванні ГЗ для шнекових робочих органів враховують умову $K_T \geq (0,5 \dots 0,6)$, тобто крок витка вибирають з таким розрахунком, щоб кут гвинта спіралі не перевищував $9 \dots 10^\circ$ щоб уникнути заїдання гвинта.

Отримання ГЗ з нелімітованим значенням показника K_T можливе у випадку виконання комбінованих СГЗ, які отримують способом зварювання між собою окремих СГЗ.

Недоліком такої технології є низький K_{BM} . Наприклад, при виготовленні СГЗ із параметрами $D=600 \pm 2$ мм; $H_o=1,5 \dots H_o=3$ мм; $d=300$ мм, $T=100 \pm 20$ мм, $K_{BM} < 0,3$. Тому її доцільно використовувати при отриманні СГЗ із $\psi = 2,6 \dots 3$; $\delta_5 < 0,12 \dots 0,15$; 22 мм $< B/H < 80$ мм; $K_T \leq 0,7$ (холодна формовка), або $H > 4$ мм, $B > 80$ мм (гаряча формовка).

Загалом коефіцієнт використання матеріалу у штампозварних спіралях у $1,3 \dots 2$ рази нижчий ніж у вальцьованих чи навивних спіралях. Приймавши матеріаломісткість штампованих СГЗ за одиницю, тоді відносна матеріаломісткість ВГЗ становить $0,3 \dots 0,4$, вальцьованих – $0,25 \dots 0,3$, навивних – $0,25 \dots 0,6$.

З метою зменшення нерівномірного затискування (закушування) листової заготовки штампом та реалізації формовки тільки деформацією зсуву доцільно між робочими гелікоїдними поверхнями пуансона та матриці виконувати щілину розбіжною до центру внутрішньої гвинтової лінії відповідно до залежності Оніщенка А.К. [245]:

$$\delta = H - h = H_0 \left((\sin \alpha_H)^{-1} - (\sin \alpha_h)^{-1} \right).$$

Операцію *навивання* використовують для виготовлення НЗ із закритою або відкритою навивкою витків способами безоправкового навивання, дискретного чи неперервного навивання на оправу. Для розширення діапазону параметрів таких заготовок доцільно використовувати комбіновані операції: волочіння з навиванням, безоправкове навивання з навиванням на оправу, навивання зі зварюванням, вальцювання з навиванням, накочування з навиванням, навивання з профілюванням, навивання з розгананням.

Технологію безоправкового навивання можна здійснювати на профілезгинальних машинах, спеціальних верстатах (пружино навивальних автоматах), або спеціальних установках в умовах серійного і масового виробництва, коли програма випуску перевищує 12-15 тис. шт. Виготовлення НЗ із $B/H \leq 2$ і $D/d < 8$ доцільно здійснювати на автоматах, оснащеними деформуючими елементами у вигляді не привідних роликів або штифтів (упорів).

Наприклад, для виготовлення двох- і трьохвиткових НЗ у виробництві дорожніх шайб із $d=25$ мм використовують автомат моделі АВ0624, який забезпечує продуктивність $35 \dots 50$ шт/хв., а для спіралей із $B/H < 2,5$, $D=62 \dots 103$ мм – верстат моделі СНС (швидкість подавання стрічки – $8 \dots 16$ м/хв.).

У виробництві ГЗ поршневих кілець освоєний виробництвом діапазон: 40 мм $< D < 150$ мм, $B/H \leq 6$, $0,5$ мм $< H < 5,36$ мм, $B < 8$ мм.

Виготовлення НЗ з дроту діаметром до 4 мм здійснюють на автоматах безоправковим методом. Спосіб гарячого деформування таких заготовок використовують якщо діаметр їх поперечних перетинів перевищує 8мм. Спосіб навивання на роликів профілезгинальних машинах доцільно використовувати у процесі виготовлення таких заготовок з параметрами $B/H \leq 5 \dots 6$ зі сталевих матеріалів та при $3,6 < B/H < 21$ і $2,9 < r/B < 7,5$ із кольорових сплавів.

Наприклад, на трьохроликовій машині стійкий процес навивання спостерігається при гнутті на ребро смуги (матеріал: сталі X18H10T, AISI321, 321H, S32100, S32109) з параметрами $B=30\text{мм}$, $H=8\text{мм}$, ($B/H=3,6$) на внутрішній радіус 177мм ($r/B=5,92$). У процесі виготовлення ГЗ зі сплавів АМг5, АА5056, 3.3555, АІМг5 із $B/H=21,15$, $r/B=7,52$; для $B/H=13,1$, $r/B=2,91$; для $B/H=17,8$ $r/B=3,27$.

Виготовлення НЗ з трапецеподібним профілем поперечного перетину витка можна ефективно здійснювати на профілезгинальних верстатах серій DS, DELTA, ALFA, РК, НРК. Нами виділено такі групи розмірних рядів таких заготовок, які характеризуються параметрами в інтервалах: для $B/H \leq 6$ перша група: $3,7 \leq R_{o\min}/B < 10$, друга група $10 \leq R_{o\min}/B < 17$; для $6 < B/H \leq 9$ перша група: $3,5 \leq R_{o\min}/B < 10$, друга група $10 \leq R_{o\min}/B < 15$, де $R_{o\min}$ – мінімальний радіус плоского витка. Трьохвалкові листозгинальні машини (наприклад машини серії MRM), які оснащені інструментами для згинання смуг, кутників, швелерів тощо дозволяють отримувати НЗ в діапазоні параметрів $B/H \leq 5$, $12 < R_{o\min}/B < 30$.

Виготовлення НЗ із L-подібним профілем поперечного перетину витка із ребром всередину та $300\text{мм} \leq d_0 < 1200\text{мм}$, $B/H < 2,5$, $H > 28\text{мм}$ можна ефективно здійснювати на фланцезгинальних машинах. Аналогічні заготовки із зовнішнім ребром можна отримувати на профілезгинальних верстатах в таких інтервалах розмірів: для $B_v/H \leq 4$ перша група: $4 < R_{\min}/B_v \leq 12$, друга група $12 \leq R_{\min}/B_v \leq 28$; для $4 < B_v/H \leq 12$ перша група: $4 < R_{\min}/B_v \leq 12$, друга група $12 \leq R_{\min}/B_v < 30$. Формули справедливі також для $B_v = B_h$, де B_v і B_h - розміри полиць кутового профілю.

Технологічні способи навивання з паралельним розміщенням осей ролика та оправи забезпечують утворення НЗ з параметрами $B/H=3\dots 4$, $d/B=2\dots 3,3$. У випадку використання алюмінієвих сплавів $B/H \approx 5$, $d/B=3,3$. При навиванні смуг на гвинтові оправи ширину і глибину розраховують відповідно за формулами $B_k=(1,16-1,2)H_0\text{мм}$, $B_c=(0,5-0,7)B_0\text{мм}$.

В окремих випадках можна використовувати способи, які реалізують кінематичну схему обертання натискного ролика навколо нерухомого опорного елемента. Область використання такого рішення обмежується параметрами НЗ: $D < 100\text{мм}$, $K_T \leq 0,6$.

Отримання НЗ із закритою навивкою забезпечуються: а) закручуванням заготовки навколо її осі в процесі навивання; б) осьовим зусиллям підтискування навитих витків у процесі згинання стрічкової заготовки; в) загинанням стрічки навколо обкочувального ролика.

Серед таких технологій найефективнішим є спосіб навивання стрічкових заготовок з перпендикулярним розміщенням осей ролика та оправи, який забезпечує отримання НЗ із закритою навивкою з параметрами: $K_T=0\dots 2$, $H > 1,5\text{мм}$, $d/B > 1\dots 1,6$; $\delta_5 > 0,5(\sqrt{\psi}-1)$; $B/H \leq 15-20$ $\psi < 2,7$ (при $\psi < 1,8$ процес деформації стійкий) $D > 320\text{мм}$. Відносною особливістю такої технології є те, що $h_n/h_{np} > 1,5\dots 3$, де h_n і $h_{n,p}$ товщини зовнішньої крайки відповідно НЗ і ВГЗ. Крім цього, відхилення отриманих НЗ за зовнішнім діаметром в діапазоні розмірів згідно ГОСТ 2705-73 в 2...2,5 рази менші ніж ВГЗ, а зміна кроку гвинтової стрічки в 2,5...3,2 рази менші. До техніко-економічних переваг такої технології також відноситься можливість отримання спіралей з мінімальним внутрішнім діаметром $d_{\min}=8\dots 12\text{мм}$, виготовлення яких вальцюванням не можливе. Однак для попередження втрати стійкості та гофроутворень при навиванні смуги ребром на оправу необхідно підтискати сформовану заготовку в осьовому напрямку із силою $P_{oc}=(0,7-1,1)P$, де P – сила згину смугової заготовки.

Найбільшого значення ψ ($\psi > 2,8$) можна досягнути шляхом згинання на ребро попередньо підготовленої профільної смуги з трикутними вирізами за внутрішньою крайкою, які в процесі формоутворення зникають.

У процесі навивання початкових смугових заготовок із трикутними вирізами можна отримувати широковиткові НЗ з параметрами $B/H=15\dots 30$; $\psi=25\dots 35$; $K_T=0\dots 1,5$. Відносною особливістю такої технології є те, що співвідношення між енергозатратами виготовлення гвинтових заготовок на операціях вальцювання і навивання не перевищує 3-7 одиниць. При цьому потужність електродвигуна установки для навивання вибирають залежно від параметрів початкової заготовки:

для холоднокатаної стрічки товщиною 1 мм – 4,5кВт, а гарячекатаної товщиною 1,5мм – 9кВт.

Навивні заготовки з не пружинних сталей, які виготовлені способом неперервного навивання смугових заготовок на оправи характеризуються параметрами: $B/H = 5 \dots 15$; $H > 2$ мм, $\psi < 2,5$ мм; $B/d < 0,4$; $K_T = 0 \dots 2,5$, $B/r < 0,6 \dots 0,8$.

Одним із способів отримання комбінованих шнекових заготовок (КШЗ) є навивання смуги на порожнисту заготовку з нагріванням струмом ВЧ і її осаджуванням під дією радіального зусилля P_{oc} . При цьому до вільного кінця смуги прикладають також зусилля натягу

$P_{нат} = (0,07 \dots 0,075) H_0 B_0 \sigma_s$. Наприклад, для навивання смуги із $H_0 = 1$ мм, $B_0 = 12$ мм зі сталі 20 на трубу діаметром 32мм і товщиною 5мм необхідно подавати струм високої частоти 0,44МГц ($U_A = 8 - 8,2$ кВ, $I_A = 11,5 - 12$ А) швидкість зварювання 9 м/хв., $P_{нат} = 250$ Н,

$\sigma_s = 280$ Н / мм², $P_{oc} = 400$ Н. У випадку навивання смуги 25x1,3 з трикутними просічками висотою 12мм та довжиною основи 4мм зі сталі 20 на трубу діаметром 42мм і товщиною 6мм з нагрівом генератором ВЧС 2-160/0,44 зусилля осаджування 1500-2000Н, швидкість зварювання 9,5 м/хв., потужність 110кВт.

Для виготовлення довгомірних КШЗ способом вальцювання з навиванням на оправу та приварюванням можна використовувати установки для спірального оребрення труб. Наприклад стан АСОТ-2 забезпечує отримання КШЗ із $D = 20 \dots 60$ мм і $H = 2 \dots 8$ мм, $B = 6 \dots 24$ мм; $T = 4 \dots 15$ мм; швидкість приварки стрічки до 27м/хв., а стан АСОТ-4 – $D = 73 \dots 168$ мм.

Операцію "Навивання із розганянням" доцільно використовувати при виготовленні вузьковиткових спіралей малого діаметру у яких $B/H \leq 2$. Наприклад, для виготовлення із молібдену марки МС ОСТ11021.004-76 ГЗ з параметрами $d = 20$ мм, $B = 1,35$ мм; $H_c = 0,42$ мм необхідно використовувати пруток діаметром 0,97 мм, та інструмент, у якому кут між калібруючими поверхнями бойків дорівнює 2,29°.

На операції 2145 видавлювання можна виготовляти ШЗ у виробництві бурильних штанг і роторів компресорів із вітчизняних вуглецевих сталей марок 20, 35, 45, 50 та закордонних 1020, 1023, 1.1151, 2С22, 1034, 1035, 1044, 1045, 1049, 1050, конструкційних сталей 30ХГСА, 40ХН та 30СhGSA, 30HGS, нержавіючих сталей 12Х18Н9Т, АІSІ321. Спосіб характеризується $K_{BM} = 75-90\%$. Способом прямого видавлювання можна отримувати порожнисті ШЗ і ГЗ, зворотним видавлюванням – порожнисті ШЗ із охоплюваними витками. Для виготовлення СШЗ перспективним є використання способу радіального видавлювання.

Прямим видавлюванням доцільно отримувати ШЗ із багатозахідними витками та $D = 30-200$ мм., $H_c = 3-40$ мм, $B < D/4$, $\alpha_{cp} \leq 60^\circ$ а також скручені ГЗ із $B/H < 12$. Матеріал заготовок – вітчизняні сплави Д1, Д16, АМц, АД31 та закордонні ENAW-1235, ENAW-A199.35, AA1135, 2024, AA2024, AA6060, AA6063. Швидкість витікання матеріалу 1-1,5 м/хв. (для сплаву АВ ГОСТ 4784- 97 та її закордонних аналогів AA6151, JIS6151) 6-15 м/хв., для Д1 2-8м/хв. При використанні сталі 45 для ШЗ $\alpha_{cp} \leq 25^\circ$.

Способом гідростатичного видавлювання дюралюмінію можна отримувати ШЗ із параметрами $B/H < 8$, $\alpha_{cp} \leq 50-60^\circ$. При видавлюванні ШЗ із алюмінієвих сплавів (наприклад, АД31) попередньо заготовку необхідно нагрівати до температури 450-500⁰С – вище температури рекристалізації матеріалу сердечника.

На операції видавлювання зі сталі і алюмінієвих сплавів також можна ефективно отримувати гелікоїдні та СГЗ з параметрами $D = 250 \dots 800$ мм, $H = 1,5 \dots 12$ мм, $B_{max} = 250 \dots 300$ мм; $B/H < 35$, так як відхилення радіуса кривизни від заданих величин не перевищує 3,5%. Швидкість видавлювання 3-6 м/хв. (вуглецеві і низьколеговані сталі), 1-2 м/хв. (високо леговані сталі). При використанні матеріалів АД31, Д1 та AA6060, AA6063, AA1145, AA1135 технологію можна використовувати при виготовленні скручених ГЗ з параметрами: $H = 2-4$ мм, $B = 20-50$ мм, кут закрутки 10-30 рад/м.

В умовах одиничного виробництва для виготовлення ГЗ доцільно використовувати операцію *гнуття*, яку можна реалізувати на універсальних листоштампувальних пресах, спеціальних згинальних пресах, горизонтальних і вертикальних згинально-штампувальних пресах та іншому устаткуванні.

Виготовлення ШЗ на суміщеній операції *волочіння зі скручуванням* здійснюють способами: а) скручування заготовки у зоні виходу із волоки за допомогою встановленого на

вагонетці волоочильного стану захвату, який здійснює обертовий рух та осьове переміщення; б) скручування заготовки за рахунок примусового обертання волоки з гвинтовим каналом без або з одночасною роздачею заготовки; в) скручування заготовки зі сторони її входження у волоку, наприклад, під дією колових зусиль, прикладених до заднього кінця заготовки; г) скручування заготовки між дистанційно розміщеними волоками, одна з яких є нерухомою, а інша, яка оснащена гвинтовим каналом, здійснює примусове обертання.

Швидкість волочіння 40-100 мм/хв. - 15м/хв., зусилля волочіння 50Н-1500кН. Матеріал ГЗ і ШЗ - алюмінієві сплави АД31, АД31Т1 і АА6060, АА6063 згідно EN 573, мідні сплави МЗ, С14200. Параметри заготовок – $D < 400$ мм, кут підняття гвинтової лінії 15-45°, $B/H < 6$. Початкові заготовки для волочіння – це суцільні (катані або пресовані) круглі і фасонні профілі, безшовні чи зварні труби.

На операції 2122 висаджування доцільно отримувати СШЗ, у яких $B < 15$ мм, $L_z/D \leq 2,5$. Для покращення вилучення заготовки із штапу, стінки отворів виконують з нахилом 1°30'-7°.

Калібрування застосовують як окрему операцію оброблення ГЗ і ШЗ, або як технологічний перехід операції отримання КШЗ. Можна виділити способи поверхневого та об'ємного калібрування, наприклад, в рівчачках штампів або зі застосуванням калібруючих втулок. Гвинтові заготовки, суцільні та КШЗ, які виготовлені із легованих і вуглецевих сталей з вмістом вуглецю понад 0.2% необхідно піддавати попередній термічній обробці (нормалізації, відпалу). А такі заготовки зі низьколегованих сталей, із вмістом вуглецю до 0.2%, а також із алюмінієвих сплавів D1 і АК6 калібрують без попередньої термічної обробки. Існуючі технологічні способи дозволяють отримувати каліровані НЗ з параметрами: $B/H = 5 \dots 20$; $\psi = 15 \dots 35$; $K_T = 0,4 \dots 3$.

Технологію штампування рідиною (гідравлічне штампування) (2181) доцільно використовувати при виготовленні ШЗ з порожнистими тонкостінними витками із заокругленими крайками при $K_{BM} < 96\%$. Матеріали заготовки – мідь, алюміній, вітчизняні сталі 12X18H10T, 10, 20 та закордонні AISI321, AISI1010, AISI1023. Область використання технології: $B/H < 4$, $D < 50$ мм, $L_z < 200$ мм.

Основною операцією виготовлення КШЗ із СГЗ та зварних ГЗ є комбінована операція формування, встановлення і закріплення багатовиткової ГЗ на валу. Часто її реалізують за допомогою вилкових, гребінкових та пальцевих пристроїв. Особливістю таких технологій є відсутність необхідності у використанні спеціального спорядження для кожного типорозміру КШЗ, та можливість виготовлення таких виробів зі змінним кроком. У виробництві використовують дві групи способів. Перший ґрунтується на тому, що встановлену на вал зварну ГЗ, піддають калібруванню з одночасним приварюванням. У другій групі способів здійснюють по чергове приварювання КСЗ або СГЗ з одночасним калібруванням на крок та приварюванням до валу.

Перспективними є розробка та реалізація комбінованих процесів отриманих на основі поєднання процесів обробки металів тиском з процесами технологічних методів лиття металів і сплавів, порошкової металургії, адитивних технологій, зварювання, формування з полімерних матеріалів, кераміки та гуми, складання та ін.

Висновки. У рамках системного підходу дано постановку задачі про вдосконалення технологічних процесів отримання гвинтових виробів на основі впровадження комбінованих процесів формоутворення гвинтових і шнекових заготовок. Наведено термінологічний опис основних простих процесів формоутворення гвинтових і шнекових заготовок методом обробки металів тиском. На основі використання показників технологічності визначено межі використання згаданих процесів. Наведено марки матеріалів, які використовують для виготовлення ГЗ і ШЗ у виробництві виробів різного функціонального призначення. Описано відомі комбіновані процеси формоутворення таких деталей. Отримані результати можуть бути використані для синтезу комбінованих процесів отримання гвинтових виробів.

Список використаної літератури:

1. Пилипець Михайло Ількович. Науково-технологічні основи виробництва навивних заготовок деталей машин: Дис... д-ра техн. наук: 05.02.08 / Тернопільський держ. технічний ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2002. - 445 арк.
2. Васильків, В.В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням уніфікації: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.02.08 / Василь Васильович Васильків; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів, 2015. – 312 с.

3. Rogatinskiy R., Hevko I., Gypka A., Garmatyk O., Martsenko S. Feasibility study of the method choice of manufacturing screw cleaning elements with the development and use of software. *Acta Technologica Agriculturae // Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae*, 2017. - № 2, P. 36-41.
4. Duraipandi R., Manikandan S. Ganesan S & Production team of Zone Eversendai construction private limited; Helicoidal screw fabrication in trichy factory. India. 12-06-2016
5. Jerry L. Straalsund; Samuel F. Harding; Dirk M. Nuernbergk; and Chris Rorres Experimental evaluation of advanced archimedes hydrodynamic screw geometries. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 2018.
6. Cheng C., Chen W., Yang J., Study on the reel mower helical blade by reverse engineering, 7th Int. Symp. Mach. Mecha. Agr. Biosystems Eng. (2014) Poster. (прокатка)
7. Jian Zhong Zhang, Lei Zhao, Fang Fang, Fei Yang Research on Cutting Methods for Conical Spiral Blade *Applied Mechanics and Materials (Volumes 341-342) July 2013*
8. Li Zheng Feng, Zhu Juan. Design and Calculation of Helical Blade Drawing Machine. *Coal Mine Machinery*, 2009 Vol. 30 No. 11, Nov.
9. Tan Chung Ming, Gin Yei Lin. An innovative compression mold design for manufacture of reel mower helical blades. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 851, Trans Tech Publications, Ltd., Aug. 2016, pp. 255–258.
10. Nkakini S. O., Yabefa B. E. Design, fabrication and evaluation of a spiral blade lawn mower, *Eur. Int. J. Sci. Technol.* 3(4) (2014) 165-172.
11. Li Zheng Feng, Li Qiang Jiang. Design of Combined Helical Blade Manufacturing Device. *Advanced Materials Research*, vol. 753–755, Trans Tech Publications, Ltd., Aug. 2013, pp. 1386–1390.
12. Zhou Zhe Bo, Tong Jie Zhang, Liang Chen, Chao Yin, and Jian Xu. Study on molding processing method of new type shotcrete machine helical blade. *Advanced Materials Research*, vol. 787, Trans Tech Publications, Ltd., Sept. 2013, pp. 572–576.
13. Zhang, JZ, Zhao, L., Fang, F., & Yang, F. Research on cutting methods for conical spiral blade. *Applied Mechanics and Materials*, (2013) 341–342, 482–484.
14. Гевко Б. М. (1986) – Технология изготовления спиралей шнеков. Вища школа, – 128 с., Львов.
15. Гурвич В.Е. Оценка технологичности изготовления холодной прокаткой спиралей шнековых транспортеров / В.Е. Гурвич // Тракторы и сельхозмашины. – 1987. - №10. - С. 51-54.
16. Feng Guang- liang¹, Bai Yin-shan. Some Moulding Ways of Spiral Vane. *Coal Mine Machinery*, 2006 Vol. 27 No. 9.

Mykhailo Pylypets, Vasyl Vasykiv, Dmitry Radik, Oksana Pylypets
Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

PREREQUISITES OF CREATING COMBINED OPERATIONS MANUFACTURING SCREW FLIGHTS AND HELICOID SCREW BY METAL FORMING

The problem of improving technological processes for obtaining screw flights and helicoid screws in the production of screw products based on the development and effective use of combined operations of the method of metal forming has been formulated. A terminological description of the main simple processes of shaping such blanks by the method of metal pressure processing is given. Based on the use of manufacturability indicators, the boundaries of the use of the mentioned processes are determined. The results obtained can be used for the synthesis of combined processes for the production of screw flights and helicoid screws.

Keywords: *combined operation, screw flight, helicoid screw, rolled helicoid flight (continuous auger flighting, helicoid flighting, helicoid flight, continuous flighting), sectional screw flight, screw flight blank, twisted tape, flat pattern of screw flight, screw flight welded, corrugated screw flight.*

Михаил Пилипец, Василий Васильков, Дмитрий Радык, Оксана Пилипец
Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Украина

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ СОВМЕЩЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАСТЕЙ И ГЕЛИКОИДАЛЬНОГО ВИНТА МЕТОДОМ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Сформулирована проблема совершенствования технологических процессов получения винтовых лопастей и геликоидальных винтов при производстве винтовых изделий на основе разработки и эффективного использования совмещенных операций метода обработки металлов давлением. Дано терминологическое описание основных простых процессов формовки таких заготовок методом обработки металла давлением. На основании использования показателей технологичности определены границы использования указанных процессов. Полученные результаты могут быть использованы для синтеза комбинированных процессов производства лопастей и геликоидальных винтов.

Ключевые слова: *комбинированный режим, винтовая лопасть, геликоидный винт, катанный геликоид (непрерывный лёт шнека, геликоидный лётный ход, геликоидальный лётный ход, непрерывный лётный ход), секционный винтовой лёт, заготовка лопасти винта, витая лента, плоскость лопастной лопасти, шнековая лопасть сварная, гофрированный винтовой вылет.*