УДК 621.983

Традиційне витягування та витягування з використанням деформуючого інструменту спеціального профілю при виготовленні вісесиметричних порожнистих напівфабрикатів із маловуглецевої сталі

Калюжний О.В.[1], Калюжний В.Л.[2], Трандасір П.Ю.[2]
1 – Академія ІТ освіти, м. Київ, Україна
2 - КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

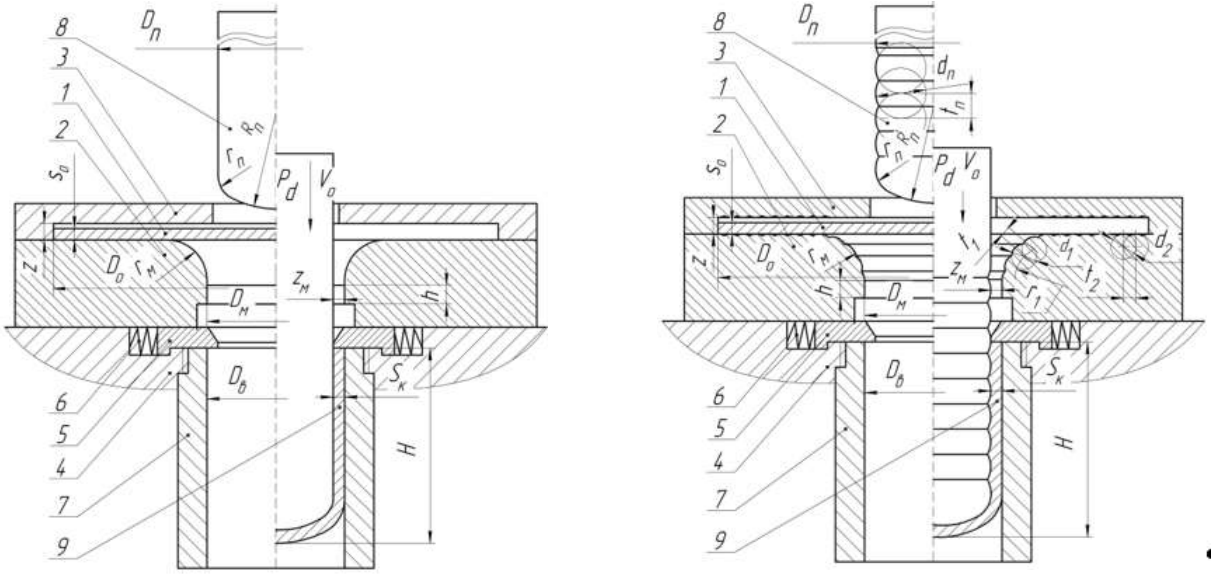
Анотація. Приведено результати моделювання за допомогою МСЕ і пружно-пластичної моделі металу традиційного витягування та витягування з використанням деформуючого інструменту спеціального профілю при виготовленні порожнистих напівфабрикатів із маловуглецевої сталі. Встановлено зусилля на пуансонах і притискачах та зусилля знімання напівфабрикатів з пуансонів. Показано розподіли напружень у деформованих заготовках при максимальному значенні зусилля витягування і кінцевих деформацій у напівфабрикатах. Визначено товщину стінки по висоті циліндричних частин та у донних частинах напівфабрикатів. Застосування деформуючого інструменту спеціального профілю дозволило зменшити величину зазору між матрицею і пуансоном, знизити різнотовщинність стінки у циліндричній частині напівфабрикату та усунути викривлення цієї частини. Проведені експериментальні дослідження підтвердили результати моделювання по товщині стінок напівфабрикатів.
Ключові слова: метод скінчених елементів, витягування, інструмент спеціального профілю, зусилля, деформації ,товщина стінки.

Метою роботи є підвищення геометричної точності за рахунок зниження різнотовщинності стінки по висоті напівфабрикатів та зменшення витрат металу при витягуванні.

Методом скінченних елементів (МСЕ) з використанням програми DEFORM 2D проведено дослідження двох варіантів витягування порожнистих напівфабрикатів з листових заготовок із маловуглецевої сталі. Розглянуто традиційне витягування та витягування із застосуванням притискачу, матриці і пуансону спеціального профілю.

На рис. 1 представлено схеми з позначеннями для традиційного витягування та витягування з використанням деформуючого інструменту спеціального профілю [1], при якому виникає тягнуче зусилля за стінку деформованої заготовки. Схему традиційного витягування показано на рис. 1а. Ліворуч від вісі симетрії наведено положення інструменту та заготовки на початку витягування, а праворуч – в кінці витягування. Заготовку 1 встановлено між матрицею 2 і притискачем 3. Матрицю 2 розміщено на плиті 4, в якій встановлено знімачі 5, що спираються на пружини 6. Також в плиту 4 вкручено обойму 7. При переміщені пуансону 8 отримують виріб 9, на торець стінки якого спираються знімачі 5 в кінці витягування. Знімання виробу 9 з пуансону 8 здійснюється при його зворотному переміщенні. Застосування обойми 7 сприяє хорошому направленню пуансону 8 відносно матриці 2 при витягуванні. Схему другого варіанту витягування з використанням деформуючого інструменту спеціального профілю представлено на рис. 1б. Листову заготовку 1 розміщено між матрицею 2 і притискачем 3. Поверхні матриці 2 на радіусі закруглення $r_м$ і плоскій частині, а також поверхня притискача 3 утворені відповідно перетином торів з діаметром перерізу d_1, центри яких розміщені на радіусі $r=r_м-d_1/2$ з кроком t_1 і перетином торів діаметром d_2, що розташовані з кроком t_2. Матрицю 2 з притискачем 3 встановлено на плиті 4. Під матрицею встановлено рухомі знімачі 5, які спираються на пружини 6. У плиту 4 вкручено обойма 7. Шляхом переміщення пуансону 8 відбувається процес витягування. Бічна поверхня

пуансону 8 утворена перетином торів з діаметром перерізу $d_п$ та розташованих з кроком $t_п$. При витягуванні в зазорі $z_м$ висотою h, який менше за товщину деформованої заготовки $S_к$, метал



а *б*

Рис. 1. Схеми традиційного витягування та витягування з використанням пуансону, матриці і притискачу спеціального профілю: *а* – схема традиційного витягування, *б* – схема витягування з використанням деформуючого інструменту спеціального профілю

заповнює впадини на бічній поверхні пуансону 8. За рахунок цього створюється додаткове тягнуче зусилля за стінку деформованої заготовки, на величину якого відбувається розвантаження донної частини цієї заготовки і знижується ймовірність її потоншення та відриву. При цьому здеформована заготовка зміщує в сторони підпружинені знімачі 5. Витягування закінчується, коли торець стінки виробу опуститься нижче знімачів 5 і вони за допомогою пружин 6 повернуться у вихідне положення (рис. 1б). Знімання виробу 9 з пуансону 8 і вирівнювання виступів на його внутрішній поверхні здійснюється при зворотному переміщенні пуансону 8. При цьому обойма 7 перешкоджає збільшенню зовнішнього діаметра $D_в$ виробу 9, а сам виріб виштовхується із обойми 7 при витягуванні наступної заготовки.

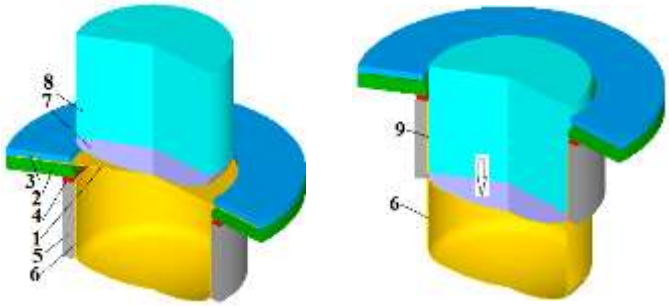
Розрахунковий аналіз процесів витягування проведено методом скінченних елементів з використанням пружно-пластичної моделі металу в програмі DEFORM. Така модель дозволяє встановити зусилля знімання напівфабрикатів з пуансонів після витягування та виявити кінцеві розміри напівфабрикатів. Тертя на контактуючих поверхнях враховано по Кулону з коефіцієнтом тертя μ=0,08. Швидкість деформування складала 2 мм/сек.

Для розглянутих варіантів витягування використано листову заготовку діаметром $D_о$=395 мм і товщиною $S_о$=1,5 мм із сталі AISI-1010 COLD. Розміри інструменту для традиційного витягування: пуансону - $D_п$=216,1 мм, $r_п$=22 мм, $R_п$=22 мм, $h_п$=220 мм; матриці - $D_м$=220 мм, $r_м$=15 мм, h=5 мм; зазори z=$z_м$=1,95 мм. Коефіцієнт витягування дорівнює $D_м/D_о$=0,56, що дозволяє отримати напівфабрикат за один перехід. Другий варіант витягування здійснювався пуансоном з розмірами $D_п$=216,6 мм, $r_п$=22 мм, $R_п$=22 мм, $h_п$=220 мм, $d_п$=6 мм, $t_п$=1 мм з використанням обойми діаметром $D_в$=220,1 мм та зазорів z=1,95 мм і $z_м$=1,7 мм.

Проведено моделювання витягування (традиційне витягування – перший варіант, витягування інструментом спеціального профілю – другий варіант), знімання напівфабрикатів з пуансонів з вилученням попереднього напівфабрикату із обойми.

Розрахункові схеми в розрізі на початку та в кінці другого варіанту витягування зображено на рис. 2. На рис. 2*а* показано схему на початку витягування другої заготовки. Заготовку 1

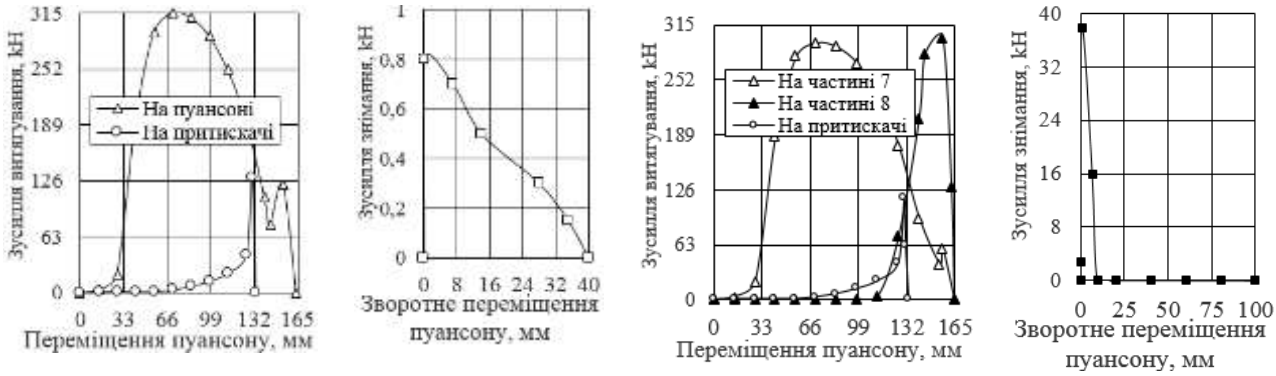
розміщено між матрицею 2 і притискачем 3. Під матрицею 2 встановлено знімачі 4 і обойма 5, в якій знаходиться напівфабрикат 6 після витягування першої заготовки. Для визначення величини тягнучого зусилля за стінку здеформованої заготовки та зусилля, яке прикладається до донної частини, пуансон розділено на нижню частину 7 та верхню частину 8 з бічною поверхнею спеціального профілю. При одночасному опусканні нижньої 7 і верхньої 8 частин пуансону отримано напівфабрикат 9 (рис. 2*б*). При витягуванні напівфабрикату 9 здійснюється видалення із обойми 5 попереднього напівфабрикату 6. Необхідно відмітити, що при одночасному зворотному переміщенні частин 7 і 8 пуансону відбувається вирівнювання виступів, які були утворені при затіканні металу у впадини на частині 8 пуансону. Використання другого варіанту витягування дозволило зменшити зазор між пуансоном і матрицею з $z_м$=1,9 мм до $z_м$=1,7 мм.



а *б*

Рис. 2. Розрахункові схеми в розрізі другого варіанту витягування: *а* – на початку витягування, *б* - в кінці витягування з вилученням першого напівфабрикату

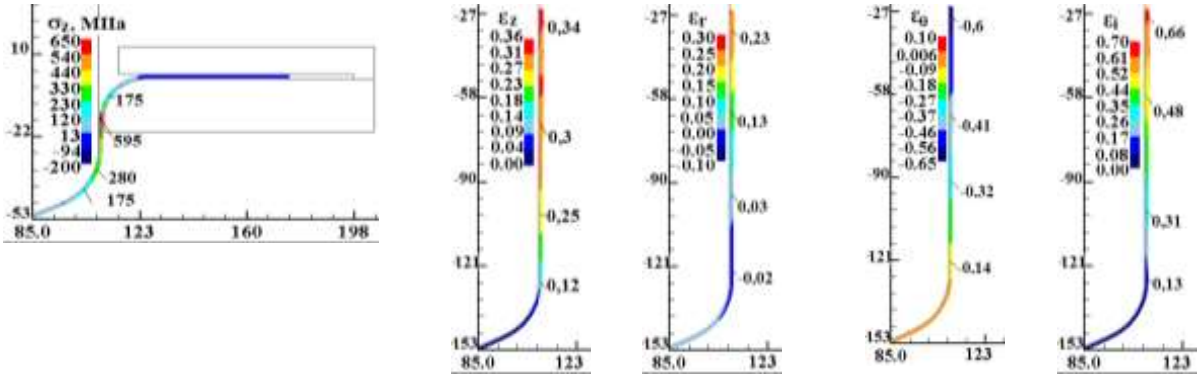
На рис. 3 представлено Залежності зусиль витягування на пуансоні і притискачі та зусиль знімання напівфабрикатів від зворотного переміщення пуансонів.



а *б* *в* *г*

Рис. 3. Залежності зусиль витягування на пуансоні і притискачі та зусиль знімання напівфабрикатів від зворотного переміщення пуансонів: *а і б* – для першого варіанту витягування; *в* і *г* – для другого варіанту витягування

Розподіл осьових напружень σ_z (а) та розподіли компонент деформацій ε_z (б), ε_r (в), ε_θ (г) і ε_i (д) для першого варіанту витягування показано на рис. 4.



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 4. Розподіл осьових напружень σ_z (а) та розподіли компонент деформацій ε_z (б), ε_r (в), ε_θ (г) і ε_i (д) для першого варіанту витягування

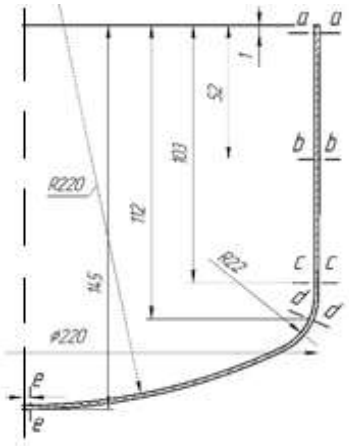
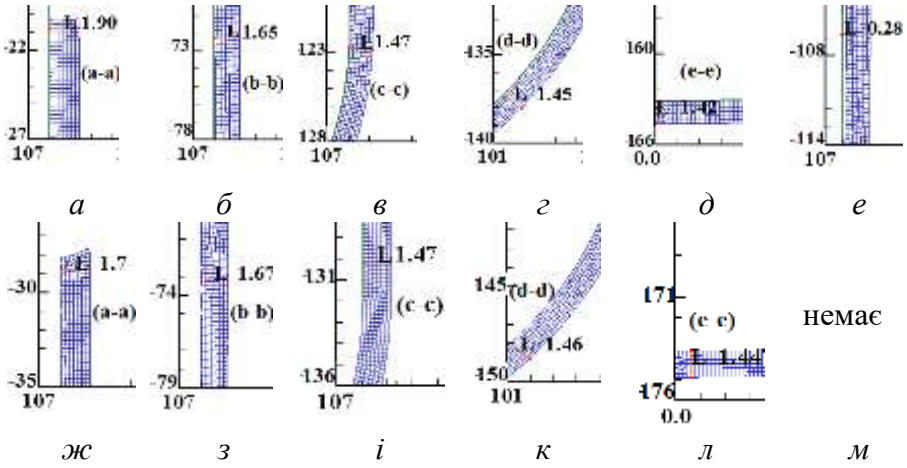


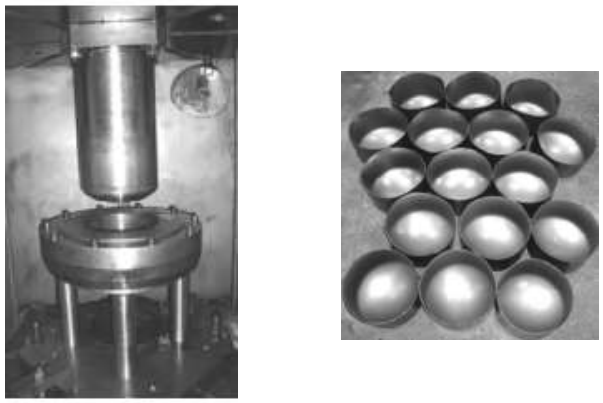
Рис. 5. Ескіз половини напівфабрикатів з місцями замірів товщини стінок



а *б* *в* *г* *д* *е*

ж *з* *і* *к* *л* *м*

Рис. 6. Результати замірів товщини стінок і викривлення для першого і другого варіантів витягування: а – е – для першого варіанту, ж – м – для другого варіанту



а *б*

Рис. 7. Фотографії штампу на пресі ДБ2432 (а) та напівфабрикатів (б)

На рис. 5 зображено ескіз половини напівфабрикату з розмірами перерізів, в яких замірювали товщини стінок при моделюванні. Результати замірів товщини стінок і викривлення для першого і другого варіантів витягування приведено на рис. 6.

Фотографії штампу на гідравлічному пресі ДБ2432 та напівфабрикатів після витягування зображено на рис. 7.

Traditional stretching and pulling using a deforming tool of special profile in the manufacture of axisymmetric hollow semi-finished products from mild steel

Kaliuzhnyi O., Kaliuzhnyi V., Trandasir P.

Abstract. The results of modeling with the help of FEM and elastic-plastic model of metal of traditional drawing and drawing using a deforming tool of a special profile in the manufacture of hollow semi-finished products from mild steel are presented. The forces on the punches and clamps and the forces for removing semi-finished products from the punches are determined. Stress distributions in deformed billets at the maximum value of the pulling force and final deformations in semi-finished products are shown. The wall thickness along the height of cylindrical parts and in the bottom parts of semi-finished products is determined. The use of a deforming tool of a special profile made it possible to reduce the size of the gap between the die and the punch, to reduce the wall thickness in the cylindrical part of the semi-finished

product and to eliminate the curvature of this part. Experimental studies have confirmed the results of modeling the wall thickness of semi-finished products.
Keywords: finite element method, drawing, special profile tool, forces, deformations, wall thickness.

Список літератури

1. Калюжный А.В., Калюжный В.Л. Интенсификация формообразующих процессов холодной листовой штамповки - *К:* ТОВ «Сик Груп Украина». 2015. 292 с.

УДК 621.7

Порівняльний аналіз з використанням методу скінчених елементів процесів холодного традиційного осаджування і осаджування обкочуванням

Проценко П.Ю., Тітаренко А.Є., Савченко Д. В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

Анотація. За допомогою методу скінчених елементів і програмного комплексу DEFORM було проведено моделювання та порівняння результатів для процесів традиційного осаджування і осаджування обкочуванням круглої заготовки із маловуглецевої сталі. Процес традиційного осаджування відбувається за допомогою двох інструментів пуансона та матриці, де підчас деформації пуансон рухається вертикально назустріч до матриці. При осаджування обкочуванням, використовується конусний пуансон та матриці, під час деформування конусний пуансон обертається відносно осі штампа під кутом, а матриця рухається вертикально в гору. Заготовки для деформування має однакові геометричні параметри та температурні параметри. Результатами моделювання для порівняння є залежність зусилля осаджування від переміщення деформуючого інструменту, інтенсивність деформування, для аналізу залишкових напруження в напівфабрикаті, величина нормальних напружений, для встановлення питомих зусиль між деформуючим інструментом та заготовкою.
Ключові слова: традиційне осаджування, осаджування обкочуванням, метод скінчених елементів, зусилля осаджування; інтенсивність деформацій, інтенсивність напружень.

В процесах холодного об’ємного штампування операція осаджування використовується для зменшення відношення висоти заготовки до діаметру і для калібрування заготовок по висоті [1]

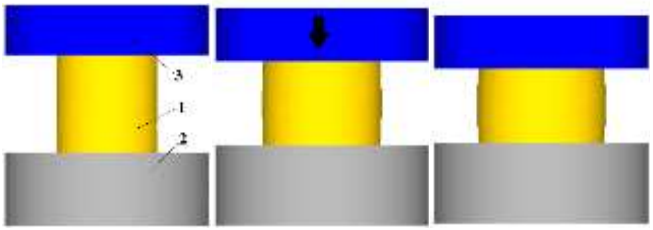
Метою дослідження є порівняння результатів моделювання методом скінченних елементів процесів холодного традиційного осаджування і осаджування обкочуванням.

Моделювання виконувалося в програмі DEFORM 3D з використанням пластичної моделі металу. Заготовка для із сталі AISI-1020 мала циліндричну форму діаметром 20 мм та висотою 20 мм. Ступінь деформації для двох варіантів осаджування склав 30%, а тертя враховано по Кулону з коефіцієнтом тертя μ=0,1.

Розрахункові схеми для традиційного осаджування зображено на рис. 1. На рис. 1*а* показано положення на початку осаджування. Заготовку 1 встановлено на нижній плиті 2. Деформування здійснюється верхньою плитою 3. Положення на проміжній стадії осаджування приведено на рис. 1*б*, а на рис. 1в в кінці осаджування. Швидкість переміщення верхньої плити 3 складала V_o= 0,1 мм/с.

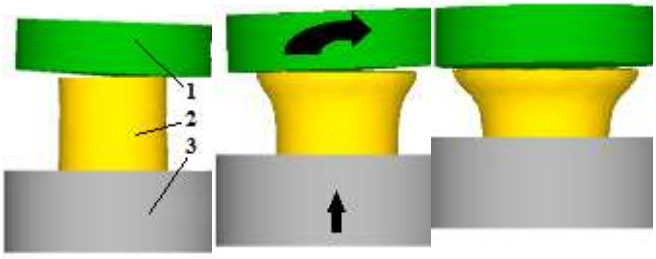
Розрахункові схеми для осаджування обкочуванням показано на рис. 2. На рис. 2*а* наведено положення на початку осаджування. Заготовку 1 встановлено на нижній плиті 2. Деформування здійснюється шляхом обертання зі швидкістю ω = 6 рад/сек верхньої плити 3 навколо вісі, яка нахилена під кутом 2°, з одночасним переміщенням нижньої плити 2 зі швидкістю V_o= 0,1 мм/с. Положення на проміжній стадії осаджування приведено на рис. 2*б*, а на рис. 2в - в кінці осаджування.

Таким чином при осаджуванні обкочуванням осередок деформації в деформованій заготовці знаходиться біля верхньої плити, яка обертається. Це пов’язано зі зменшенням питомих зусиль на контактуючій поверхні та зниженням впливу сил тертя на формоутворення.



а *б* *в*

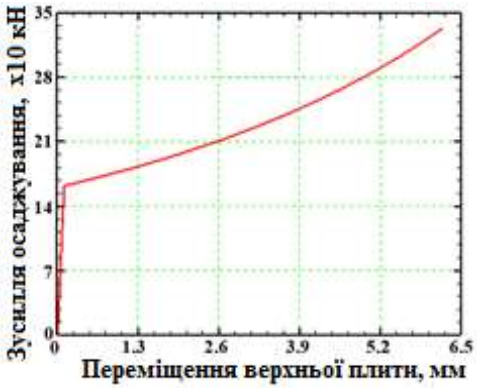
Рис. 1. Положення деформуючого при традиційному осаджуванні: *а* – на початку осаджування, *б* – в процесі осаджування, *в* – в кінці осаджування



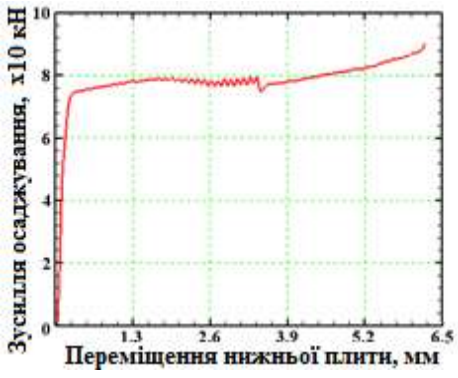
а *б* *в*

Рис. 2. Положення деформуючого при осаджуванні обкочуванням: *а* – на початку осаджування, *б* – в процесі осаджування, *в* – в кінці осаджування

Моделюванням встановлені залежності зусиль осаджування від переміщення деформуючого інструменту, які зображені на рис. 3. Для традиційного осаджування (рис. 3*а*) зусилля постійно зростає і досягає найбільшого значення 325 кН в кінці осаджування. При осаджуванні обкочуванням (рис. 3б) до переміщення нижньої плити 5 мм величина зусилля знаходиться у у межах 75÷80 кН. Потім іде зростання до величини 90 кН в кінці осаджування. Зменшення максимального значення зусилля при осаджуванні обкочуванням склало в 3,61 рази.



а

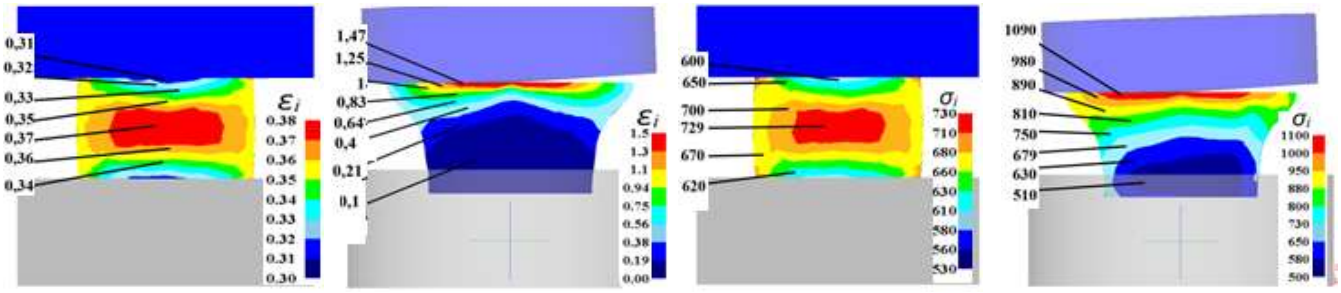


б

Рис. 3. Залежності зусиль осаджування від переміщення деформуючого інструменту: *а* – для традиційного осаджування, *б* – для осаджувані обкочуванням

На рис. 4 показано розподіли інтенсивності деформацій ε_i та інтенсивності напружень σ_i для двох варіантів осаджування. Найбільші значення інтенсивності деформацій у межах ε_i= 0,37÷0,38 при традиційному осаджуванні отримано по центру деформованої заготовки (рис. 4*а*). Далі при наближенні до бічної поверхні ці деформації зменшуються. Найменші величини у межах ε_i= 0,3÷0,31 мають місце у приконтактних областях деформованої заготовки. При штампуванні обкочуванням пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією в осередку деформації відбувається більш інтенсивно (рис. 4*б*). В шарах металу біль верхньої плити інтенсивність деформацій досягає величин у межах ε_i=1,3÷1,5. Далі по висоті заготовки ці деформації зменшуються до значень ε_i= 0,19÷0,38 в області посередині деформованої заготовки. При цьому зниження інтенсивності деформацій також здійснюється при наближенні до бічної поверхні заготовки в осередку деформації.

Вигляди розподілів інтенсивності напружень σ_i практично однакові з розподілами інтенсивності деформацій ε_i для обох варіантів осаджування. Для традиційного осаджування (рис. 4*в*) найбільші



а *б* *в* *г*

Рис. 4. Розподіл інтенсивності деформацій ε_i та інтенсивності напружень σ_i: *а* і *в*– для традиційного осаджування, *б* і *г*– для осаджування обкочуванням

величини інтенсивності напружень у межах σ_i=710÷730 МПа отримано в області середини деформованої заготовки. При наближенні до бічної поверхні і до контактуючих поверхонь ці напруження зменшуються.

При штампуванні обкочуванням максимальні значення інтенсивності напружень у межах σ_i=1000÷1100 МПа отримано в шарах металу біля верхньої плити, яка обертається (рис. 4*г*), з подальшим зменшенням по висоті осередку деформації (σ_i=580÷650 МПа) та при наближенні до бічної поверхні деформованої заготовки (σ_i=880÷950 МПа).

Comparative analysis using the finite element method of the processes of cold conventional deposition and deposition by rolling

Protsenko P., Titarenko A., Savchenko D.

Abstract. Using the finite element method and the DEFORM software package, the results of the traditional deposition and rolling deposition processes of a round billet of mild steel were modeled and compared. The traditional deposition process is carried out using two tools, a punch and a die, where the punch moves vertically toward the die during deformation. In the case of rolling deposition, a cone punch and dies are used, during deformation the cone punch rotates relative to the die axis at an angle, and the die moves vertically upward. The workpieces for deformation have the same geometric parameters and temperature parameters. The modeling results for comparison are the dependence of the deposition force on the movement of the deforming tool, the deformation intensity, for the analysis of residual stresses in the semi-finished product, the value of normal stresses, for establishing the specific forces between the deforming tool and the workpiece.

Keywords: conventional deposition, rolling deposition, finite element method, deposition force, strain intensity, stress intensity.

Список літератури.

1. В. Л. Калюжний, О. В. Калюжний, Холодне об’ємне штампування порожнистих і стержневих виробів, Навчальний посібник, Київ. КИТ, 2020. 248с

УДК 621.384.653.539.12.04.

Виготовлення біполярних пластин паливних елементів методами обробки тиском

Злочевська Н.К.[1], ЛавріненковА.Д.[1], Орел А.І.[1]
1-«КПІ ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна

Розглянуто різноманітні технології виготовлення біполярних пластин паливних елементів методами обробки тиском. Встановлено, що процес виготовлення біполярної паливної пластини залежить від багатьох факторів, основним з яких є матеріал. Для виготовлення графітових пластин використовуються методи лиття під тиском. Показано, що виготовлення пластин з нержавіючої сталі є набагато більше можливостей різних методів обробки, таких як: фрезерування, класичного штампування, гідроформування, гідро-еластичного штампування, застосовується метод прокатки, електромагнітного формування], поетапного мікроформування. Проаналізовано два способи отримання біполярної пластини – це класичне штампування та гідроеластичне штампування. Розглянуто переваги та недоліки процесів.

Ключові слова "паливний елемент", "біполярні пластини", "процеси обробки матеріалом тиском", "штампування", " гідроеластичне штампування".

Останнім часом, споживання енергії та промислове забруднення стають дедалі помітнішими, і розвиток нової чистої енергії стає надзвичайно актуальним. Надмірне використання традиційної викопної енергії не тільки викликає глобальну енергетичну кризу, а й посилює забруднення екосистеми. Тому необхідно терміново докласти великих зусиль до дослідження відновлюваних та чистих джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, воднева та інші, які могли б слугувати альтернативою невідновлюваним викопним видам палива. Серед них водень вважається найбільш перспективним відновлюваним джерелом чистої енергії через його визнані переваги погодного використання, розмаїття джерела, нульові викиди забруднюючих речовин і високу цінність згоряння. Ефективне використання водню вимагає розробки інноваційних технологій, а паливні елементи з протонообмінною мембраною широко визнані як найбільш ефективна технологія використання водню завдяки їхній високій ефективності, тривалому терміну служби, низьким витратам на технічне обслуговування та майже нульовому рівню викидів вуглецю, що робить їх більш комерційно вигідними [1,2].

Паливний елемент (рис.1.) складається з анодної основи, катодної основи, протонобмінна мембрана, шар каталізатору та біполярні пластини [3].

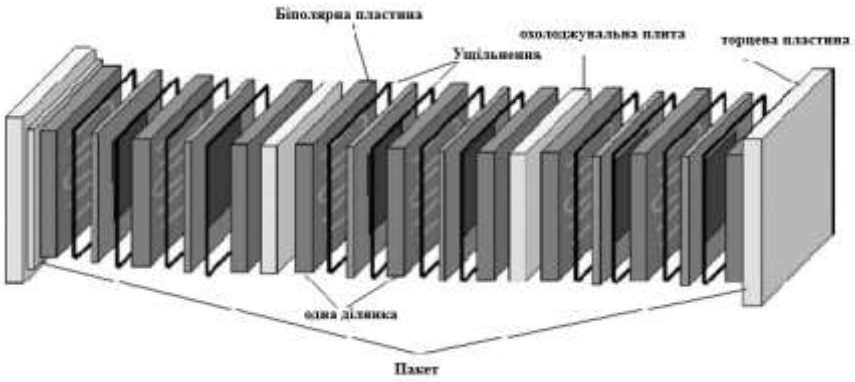


Рис 1. Будова паливного елементу

Біполярні пластини це найбільш важливий елемент, так як вони становлять близько 80% від маси паливного елементу, та 40-45% вартості. Вони відповідають за електропровідність між елементами, що послідовно з'єднані, подачу паливних газів (водень та кисень)які проходять по проточним каналам в середині пластини, до катоду і аноду, також відводять газ що не прореагував, воду, та передають тепло із зони перетворення енергії [3,4].

Біполярні пластини повинні відповідати таким певним критеріям і забезпечувати електропровідність на високому рівні, мати гарні механічні властивості, низьку газопроникність, бути стійкими до корозії та бути економічно вигідними [5,6].

Процес виготовлення біполярних паливних пластин складається з декількох етапів. Першим етапом є проектування поля потоку. Під час проектування можна розглянути безліч різних варіантів будови каналів потоків що можуть застосовуватись у виготовленні, порівняти їх, визначити переваги і недоліки, обрати матеріал з якого можна виготовити пластини та визначити найбільш оптимальний варіант. Другим етапом є формування окремої пластини для отримання каналу потоку. Для цього потрібно обрати метод виготовлення біполярної пластини, який найкраще підходить для виготовлення тієї чи іншої форми каналу, для забезпечення відповідної геометрії робочої зони паливного елемента. Розробити оснащення для виготовлення паливного елемента. Третій етап це процес з'єднання двох окремих пластин в біполярний паливний елемент. В елементі одна пластина буде слугувати анодом, інша- катодом, які будуть проводити струм що утворюється в елементі. Для забезпечення корозійної стійкості та підвищення електропровідності біполярні пластини паливних елементів піддаються четвертому етапу процесу створення, а саме процесу нанесення захисних покриттів [7]. Всі етапи процесів виготовлення показані на схемі на Рис. 2.

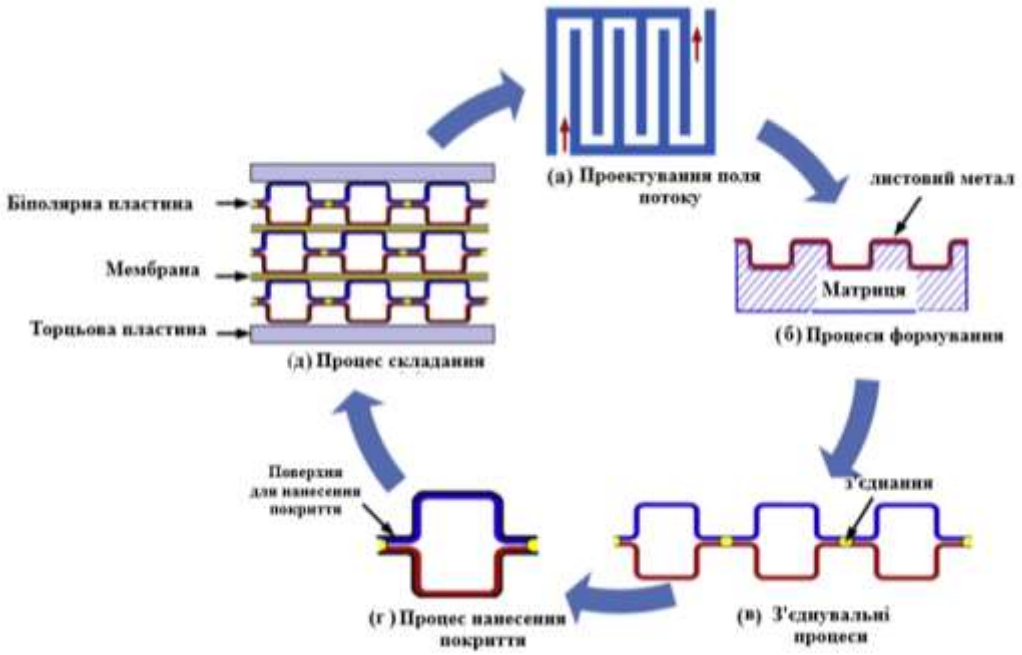


Рис. 2. Процеси виготовлення біполярних паливних пластин

Використання нержавіючої сталі пояснюється тим, що цей матеріал може забезпечити хороші характеристики теплопровідності, токопровідності, мають гарні механічні властивості, чудово формуються [9,16,20]. Розглянемо декілька технологій по виготовленню біполярних пластин.

Технології виготовлення біполярних пластин.

Процес виготовлення біполярної паливної пластини залежить від багатьох факторів, основним з яких є матеріал що використовується для виготовлення. Для виготовлення графітових

пластин використовуються методи лиття під тиском. Але під час ливарного процесу на пластині утворюється так звана «ливарна шкірка» яка збільшує електричний контактний опір біполярних пластин і, таким чином, різко знижує продуктивність паливного елемента. Щоб позбутися цього пластину потрібно додатково піддати плазмовій або механічно абразивній обробці. Це значно збільшує витрати часу на виготовлення, потребує додаткових матеріальних витрат, тощо [21]. Також можливо застосувати механічну обробку (фрезерування) для виготовлення пластини. Його зручно застосовувати для виготовлення одиничних дослідних зразків. Але для масового виробництва він не ефективний через те що є дороговартісним, займає багато часу на виготовлення, і має великий відхід матеріалу під час обробки.

При виготовленні металевих біполярних пластин є набагато більше можливостей різних методів обробки. Існує можливість застосування того ж фрезерування, класичного штампування, гідроформування [22], гідро-еластичного штампування [23-24], застосовується метод прокатки [25-26], електромагнітного формування [27-28], поетапного мікроформування [29].

У своїй роботі процес фрезерування я не буду розглядати через ресурсоефективність, також не розглядатиму процес поетапного мікроформування через те що він не рентабельний для застосування у масовому виробництві. Більш детально зупинимось саме на методі класичного штампування, штампуванні гідроеластичним середовищем та методі прокатки.

Класичне штампування

Метод класичного штампування полягає в тому що процес виготовлення біполярних пластин відбувається за допомогою класичного штампового оснащення (матриця, пуансон) див. рис. 3.

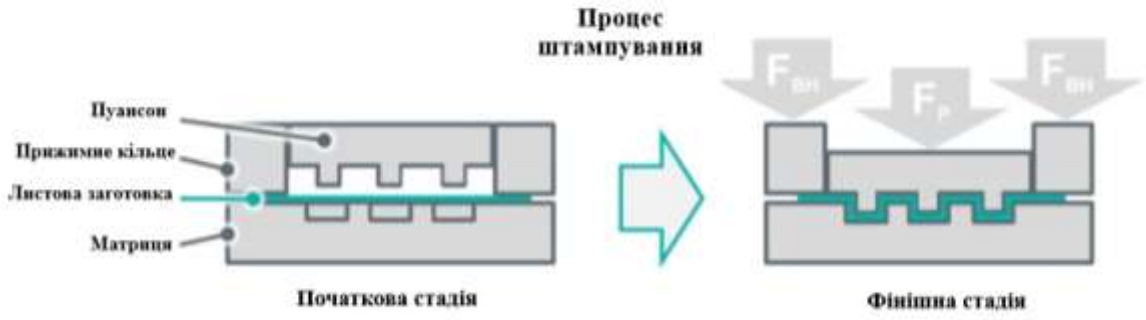


Рис. 3 Схема класичного штампування

Цей метод широко розповсюджений для біполярних пластин що виготовляються з нержавіючих сталей товщиною до 0.1 мм. Штампуванням можна отримати пластини з відповідною геометрією проточних каналів та відмінними механічними властивостями за рахунок відповідної геометрії спеціально виготовлених матриці та пуансона. Даний метод широко розповсюджений у масовому виробництві. Процес штампування забезпечує швидкість виготовлення, довговічність оснащення та низьку вартість виготовлення. Основні характеристики процесу штампування, такі як зусилля, спосіб навантаження, швидкість пуансона, змащення, забезпечують якість отримання правильної біполярної паливної пластини [30-31].

Багато досліджень було проведено різними вченими які розглядали у своїх роботах матеріали біполярних пластин, вплив типу навантаження, зусилля пуансону, швидкості процесу при формоутворенні тої чи іншої геометрії при різних товщинах матеріалів [32-33].

Однак класичний метод формоутворення біполярних пластин не є досить ефективним. Виникають проблеми з надмірним потоншенням стінки, зморшки, мікротріщини. Крім цього даний метод не гарантує отримання однакових розмірів каналів біполярних пластин через пружність матеріалу.

Гідроеластичне штампування

Під час даного процесу формування геометрії біполярної паливної пластини відбувається за рахунок використання жорсткого пуансона та гумової матриці (рис. 4). Процес забезпечує високу

якість поверхні та точність розмірів. Це відбувається за рахунок рівномірного розподілення навантаження на листовий метал. До переваг даного методу можна віднести низьку штампового оснащення, так як потрібно виготовити тільки один інструмент а не два, що також значно прискорює і час, та високу ефективність процесу [34].

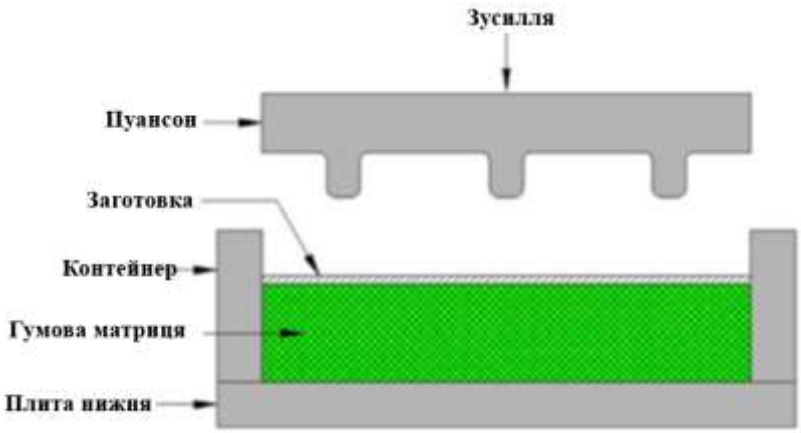


Рис. 4 Схема гідроеластичного штампування

Даний процес ідеально підходить для формування мікро каналів. Смуга листового матеріалу розташовується на гумовій прокладці. Коли жорсткий пуансон тисне на нашу смугу гумова прокладка пружно деформується і створює протитиск. Завдяки протитиску деформується смуга і затікає в порожнини пуансона повторюючи його контур [35]. Від твердості і товщини гумової прокладки напряму залежать розміри глибини каналу. Якщо гума буде дуже твердою заповнення каналу буде невеликим так як гума не зможе правильно здеформуватись і проникнути в канал. Недоліком даного методу є те що гумова прокладка швидко зношується і часто розривається при великих навантаженнях.

Production of bipolar plates of fuel cells by methods of pressure treatment

Zlochevska Nataliia, Lavrinenkov Anton, Orel Andriy

Various technologies for manufacturing bipolar plates of fuel cells by pressure processing methods are considered. It has been established that the process of manufacturing a bipolar fuel plate depends on many factors, the main of which is the material. For the production of graphite plates, injection molding methods are used. It is shown that the production of stainless steel plates has many more possibilities of various processing methods, such as: milling, classic stamping, hydroforming, hydro-elastic stamping, the method of rolling, electromagnetic forming], staged microforming is used. Two methods of obtaining a bipolar plate are analyzed - classical stamping and hydroelastic stamping. Advantages and disadvantages of processes are considered.

Keywords. "fuel cell", "bipolar plates", "pressure material processing processes", "stamping", "hydroelastic stamping".

Список літератури

1. Xiao Zi Yuan , Haijiang Wang , Jiujun Zhang , David P. Wilkinson, Bipolar Plates for PEM Fuel Cells - From Materials to Processing, Journal of New Materials for Electrochemical Systems 8, 257-267 (2005)
2. S. Porstmann, T. Wannemacher, W.-G. Drossel, A comprehensive comparison of state-of-the-art manufacturing methods for fuel cell bipolar plates including anticipated future industry trends, Journal of Manufacturing Processes 60, 366-383 (2020)
3. Allen Hermann, Tapas Chaudhuria, Priscila Spagnol, Bipolar plates for PEM fuel cells:A review, International Journal of Hydrogen Energy 30 (2005) 1297 – 1302
4. Kwang Il Jeong, Jaehyung Oh, Seung A Song, Dongyoung Lee, Dai Gil Lee, Seong Su Kim, A review of composite bipolar plates in proton exchange membrane fuel cells: Electrical properties and gas permeability, Composite Structures 262 (2021) 113617

5. C.A. Ramı´rez-Herrera, M.M. Tellez-Cruz, J. Perez-Gonzalez, O. Solorza-Feria, A. Flores-Vela, J.G. Cabanas-Moreno, Enhanced mechanical properties and corrosion behavior of polypropylene/multi-walled carbon nanotubes/carbon nanofibers nanocomposites for application in bipolar plates of proton exchange membrane fuel cells, International journal of hydrogen energy
6. Renato A. Antunes, Mara C.L. de Oliveira, Gerhard Ett, Volkmar Ett, Carbon materials in composite bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells: A review of the main challenges to improve electrical performance, Journal of Power Sources 196 (2011) 2945-2961
7. Antunes RA. Oliveira MCL, Ett G, Ett V. Corrosion of metal bipolar plates for PEM fuel cells: a review. Int J Hydrogen Energy 2010;35:3632-47.
8. Buzzell M. Canadians on the verge of having more electrified vehicle choices. 2018. Available, https://www.ford.ca/innovation/ford-electric-2020/.
9. Y. Nonobe, Development of the fuel cell vehicle mirai, IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng. 12 (1) (2017) 5–9.
10. T. Ohtani, M. Tsuji, M. Utsunomiya.Metal separator for fuel cell and production method therefor [P].U.S. Patent 7,049,022. 2006-5-23.
11. K. Jonghee, K. Jo, Y. Kim, et alStainless Steel for Polymer Fuel Cell Separator and Method for Preparing Same [P].U.S. Patent 9290845. 2016-3-22.
12. S. Ide, A. Honda, S. Ishikawa, et alStainless steel having good conductivity and ductility for use in fuel cell and method for producing the same [P].U.S. Patent 8,440,029. 2013-5-14.
13. N. Yamano, T. Kawamura, S. Goto, et alFuel cell [P].U.S. Patent Application 10/ 186,718. 2019-1-22.
14. I. W. Lyo, J. U. An, S. G. Ahn, et alMetallic Bipolar Plate for Fuel Cell and Method for Forming Surface Layer of the Same [P].U.S. Patent 7914948B2. 2011-3-29.
15. Y. M. Nam, Y. C. Yang, S. M. Baeck, et alMetal separator for fuel cell and surface treatment method thereof [P].U.S. Patent 8,636,947. 2014-1-28.
16. K. I. Han.Fuel cell stack with improved corrosion resistance [P].U.S. Patent 9,172,098. 2015-10-27.
17. M. K. Budinski, G. Vyas, A. O. K. Neto, et al Nitrided bipolar plates [P].U.S. Patent 7,687,177. 2010-3-30.
18. D. R. Sigler, Y.-L. Chen, X. Gayden.Bipolar plate fabrication [P].U.S. Patent 7,258,263. 2007-8-21.
19. D.P. Davies, P.L. Adcock, M. Turpin, et al., Stainless steel as a bipolar plate material for solid polymer fuel cells, J. Power Sources 86 (2000) 237–242.
20. H. Wang, Stainless steel as bipolar plate material for polymer electrolyte membrane fuel cells, J. Power Sources 115 (2) (2003) 243–251.
21. Renato A. Antunes, Mara C.L. de Oliveira, Gerhard Ett, Volkmar Ett, Carbon materials in composite bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells: A review of the main challenges to improve electrical performance, Journal of Power Sources, 2011, 2945-2961
22. C. Bell, J. Corney, N. Zuelli, D. Savings, A state of the art review of hydroforming technology, Int J Mater Res, 2019, 151, p. 237.
23. K. Zheng, J.-H. Zheng, Z. He, G. Liu, D.J. Politis, L. Wang, Fundamentals, processes and equipment for hot medium pressure forming of light material tubular components, Lightweight Mater Manuf, 3 (2020), pp. 1-19.
24. N. Mohammadtabar, M. Bakhshi-Jooybari, S.J. Hosseinipour, A.H. Gorji, Feasibility study of a double-step hydroforming process for fabrication of fuel cell bipolar plates with slotted interdigitated serpentine flow field, Int J Adv Manuf Technol, 85 (2016), pp. 765-777.
25. A. Bauer, S. Härtel, B. Awiszus, Manufacturing of metallic bipolar plate channels by rolling, JMMP, 3 2019.
26. Buddhika Abeyrathna, Peng Zhanga, Michael P.Pereira, Daniel Wilkosz, Matthias Weiss, Micro-roll forming of stainless steel bipolar plates for fuel cells, 2019, pp. 3861-3875.
27. G.S. Daehn, S. Hatkevich, J. Shang, L. Wilkerson, Commercialization of fuel cell bipolar plate manufacturing by electromagnetic forming, 4th International Conference on High Speed Forming 2010/
28. Linnemann, M.; Scheffler, C.; Psyk, V. Numerically Assisted Design For Electromagnetically Driven Tools. Cottbus.
29. Entwicklung der inkrementellen Mikroumformung zur Funktionsmusterherstellung metallischer Bipolarplatten. Abschlussbericht_inkrem_Microumf_P1247_14EWN, 2019 (IGF-Projekt Nr. 14 EWN, der Forschungsvereinigung FOSTA).
30. T.L. Smith, A.D. Santamaria, J.W. Park, et al., Alloy selection and die design for stamped proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) bipolar plates, Procedia CIRP 14 (2014) 275–280.
31. M.F. Peker, O.N. Є Cora, M. Koç, Investigations on the variation of corrosion and contact resistance characteristics of metallic bipolar plates manufactured under long-run conditions, Int. J. Hydrogen Energy 36 (23) (2011) 15427–15436.
32. J.-Y. Koo, Y.-P. Jeon, C.-G. Kang, Effect of stamping load variation on deformation behaviour of stainless steel thin plate with microchannel, Proc. Inst. Mech. Eng. B: J. Eng. Manuf. 227 (8) (2013) 1121–1128.
33. Q. Hu, D. Zhang, H. Fu, et al., Investigation of stamping process of metallic bipolar plates in PEM fuel cell—numerical simulation and experiments, Int. J. Hydrogen Energy 39 (25) (2014) 13770–13776.

34. Yu Leng, Pingwen Ming, Daijun Yang, Cunman Zhang, Stainless steel bipolar plates for proton exchange membrane fuel cells: Materials, flow channel design and forming processes, Journal of Power Sources 451 (2020) 227783.
35. Yanxiong Liu, Lin Hua, Fabrication of metallic bipolar plate for proton exchange membrane fuel cells by rubber pad forming, Journal of Power Sources, 2010, Pages 3529-3535.