

Politechnika Warszawska

WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI



Zakład Obróbki Plastycznej i Odlewnictwa

Instytut Technik Wytwarzania

Praca dyplomowa inżynierska

na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn
w specjalności Techniki wytwarzania

Konstrukcja zespołu narzędziowego do kształtowania metalowych półwyrobów

numer pracy według wydziałowej ewidencji prac 110B-MSP-MB/258774/1076023

Katarzyna Kulikowska

Numer albumu 258774

promotor

dr hab. inż. Lech Olejnik, prof. PW

konsultacje

dr hab. inż. Lech Olejnik, prof. PW

WARSZAWA 2018

Karta pracy dyplomowej

Dyplomant: Katarzyna Kulikowska

Numer albumu: 258774

Temat pracy dyplomowej: Konstrukcja zespołu narzędziowego do kształtowania metalowych półwyrobów

Cel pracy: Skonstruowanie odpowiednich narzędzi, czyli stempla i matrycy, do wyciskania współbieżnego celem przekształcenia wstępniaków o przekroju poprzecznym kwadratowym, na przekrój poprzeczny kołowy, który jest najbardziej oczekiwany w obrocie handlowym metali ultradroboziarnistych, np. uzyskiwanych metodą ECAP.

Główne zadania do wykonania:

- Branie udziału w wykonaniu operacji wyciskania współbieżnego dla podobnego wyrobu (analiza wyników)
- Dobranie odpowiednich elementów do oprawy uniwersalnej dla typowego przyrządu do wyciskania
- Analiza procesu technologicznego dotyczącego metali UFG
- Skonstruowanie na bazie uzyskanych danych odpowiednich narzędzi do transformacji przekroju kwadratowego na kołowy metodą wyciskania współbieżnego

Oczekiwany efekt:

- Skonstruowany zespół narzędziowy do wyciskania wstępniaków prostopadłościennych i przekształcania je w wypraski o przekroju kołowym

Miejsce wykonania pracy:

Pracę dyplomową wykonywano w Instytucie Technik Wytwarzania w Zakładzie Obróbki Plastycznej i Odlewnictwa. Wykorzystywano stanowisko badawcze WWkn zbudowane przez pracowników Zespołu Obróbki Plastycznej i użytkowane w pracowni grupy badawczej **UFGbySDD**, której kierownikiem jest dr hab. inż. Lech Olejnik, prof.PW.

Praca dyplomowa zawiera:

34 stron, **22** rysunków, **3** tablic, **15** bibliografii, **3** załączników

Uzyskany rezultat:

- skonstruowany zespół wkładki matrycowej do wyciskania współbieżnego

- skonstruowany stempel do wyciskania współbieżnego



Streszczenie pracy inżynierskiej

„Konstrukcja zespołu narzędziowego do kształtowania metalowych półwyrobów”

Temat pracy jest związany z zagadnieniem konstrukcji narzędzi do wytwarzania wyrobów bryłowych metodami obróbki plastycznej. Celem pracy jest skonstruowanie zespołu narzędziowego do wyciskania współbieżnego prętowego półwyrobu walcowego ze wstępniaka o przekroju kwadratowym. Konstrukcja narzędzi nie jest łatwa, gdyż oprócz redukcji przekroju poprzecznego przy planowanym wyciskaniu ma zachodzić transformacja kształtu przekroju poprzecznego wypraski celem uzyskania przekroju kołowego. Konstruowany zespół narzędziowy planowany jest do obsadzenia na prasie hydraulicznej ZD40. Praca dyplomowa składa się z dwóch wydzielonych części.

Pierwsza część pracy dotyczy opisu procesu technologicznego, w którym jedną z głównych operacji kształtowania jest wyciskanie współbieżne. Oszacowano wartości parametrów określających ruch i siły jakie występowały podczas oglądanego wyciskania współbieżnego na istniejącym już przyrządzie WWko20#8, który pracował na prasie hydraulicznej ZD40 – docelowej dla konstruowanego zespołu narzędziowego. W wyniku przeprowadzonej operacji uzyskano 6 wyprasek, z czego 4 były reprezentatywne dla wyciskania współbieżnego.

Druga część pracy miała charakter technologiczno-konstrukcyjny. Przygotowania do konstrukcji docelowego zespołu narzędziowego rozpoczęto od przeanalizowania konstrukcji przyrządu do podobnej operacji, czyli także zmieniającej kształt wyciskanego wyrobu, lecz o mniejszym rozmiarze. Znalaziono szereg niezgodności, szczególnie w zakresie obsadzenia zespołu narzędziowego w dostępnej w handlu oprawie uniwersalnej. Konstrukcję tego przyrządu poprawiono, gromadząc przy tym wytyczne do sporządzenia konstrukcji przyrządu dużego dla docelowego wyrobu. Skupiono się przy tym jedynie na opracowaniu konstrukcji zespołu narzędziowego. Przeprowadzono w tym celu obliczenia technologiczne potrzebne do skonstruowania takich narzędzi dla dużego rozmiaru wstępniaka, mianowicie o poprzecznym przekroju kwadratowym 26×26 mm. W obliczeniach uwzględniono, że planowane wyciskanie będzie przeprowadzane dla nowej klasy materiałów metalowych, należących do grupy metali UFG. Następnie, zgodnie z zaleceniami konstrukcyjnymi w pozycjach literaturowych dotyczących konstrukcji silnie obciążonych narzędzi do wyciskania, skonstruowano matrycę oraz stempel dla planowanego wyciskania współbieżnego.

W wyniku pracy zaproponowano konstrukcję zespołu narzędziowego do przyszłego przyrządu, który proponuje się nazwać WWko#26o20, oraz sporządzono odpowiednią dokumentację wykonawczą.

Abstract of BSc thesis

„Die set design for bulk metal forming of rod-type preforms”

The subject of BSc thesis is related to construction of the most important tool elements of a die set for bulk metal forming, namely extrusion. The purpose of the work is to design a die set for forward extrusion of rod-type semi-finished product with application of appropriate strain for both reduction and transformation of cross-section. It depends on reduction of a concurrent square-shaped insert and transforming it into a circular cross-section. The die set is planned to be mounted on a hydraulically driven press with a load capacity of 400 kN (ZD40). The work consists of two separate parts.

The first part of the work concerns the description of the technological process of concurrent extrusion. The values of the parameters determining the motion and forces that are available during the similar extrusion were estimated. For this purpose, the technological process of 6 washers was carried out, of which 4 were representative on the already existing WWko20 # 8 extrusion tooling, operated on the ZD40 hydraulic press.

The second part of the work was of a technological and construction nature and deals with bulk metal forming processing and tool design for extrusion. For this purpose, process design calculations were needed to construct tools for the size of the pre-graft with a 26x26 mm square section. The calculations were carried out for materials from the UFG metals group. Then, in accordance with the recommendations in the literature for metal forming practice (mostly for die engineering), an armored die and a punch for extrusion die were constructed.

As a result of the work, a die set capable for forward extrusion was proposed for the future extrusion die set, of WWko #26o20. The documentation for making the pre-stressed die assembly and appropriately cooperating punch was prepared as well as hints for purchasing of components for assembled extrusion die set were proposed.

OŚWIADCZENIE

Ja, niżej podpisana

Katarzyna Kulikowska (nr albumu 258774)

Student Wydziału Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej świadomy odpowiedzialności oświadczam, że przedłożona do obrony praca dyplomowa na temat :

Konstrukcja zespołu narzędziowego kształtowania metalowych półwyrobów

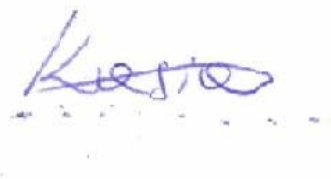
wykonana pod kierunkiem: **dr inż. Lech Olejnik, prof. nzw. PW** została napisana przeze mnie samodzielnie.

Jednocześnie oświadczam, że ww. praca:

- Nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. Nr 24, poz. 83) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym,
- Nie zawiera danych i informacji, które uzyskałem w sposób niedozwolony,
- Nie była podstawą nadania dyplomu uczelni wyższej lub tytułu zawodowego ani mnie ani innej osobie

Oświadczam także, że treść pracy, zapisanej na przekazywanym przeze mnie nośniku elektronicznym, jest zgodna z treścią zawartą w wydrukowanej wersji pracy, przedstawionej do obrony.

Warszawa, dnia. 07.03.2018



Podpis studentki / studenta

Spis treści

1.Wstęp	2
2.Proces technologiczny metalu UFG	3
2.1.Plan operacyjny	3
2.2.Prezentacja procesu technologicznego	6
3.Przebieg operacji wyciskania prętów	7
3.1.Charakterystyka operacji	7
3.2.Przebieg operacji	9
3.2.1.Przygotowanie przyrządu	10
3.2.2.Wyciskanie partii wyprasek.....	10
3.3.Rezultaty wyciskania.....	10
3.3.1.Prace wstępne i zakończeniowe.....	12
3.3.2.Przebiegi sił wyciskania.....	13
4.Oprawa uniwersalna do przyrządu WWkn	13
4.1.Dobór elementów normalnych	14
4.2.Projekt elementów specjalnych.....	15
5.Przyrząd WWko#26-o?	17
5.1.Obliczenia technologiczne dla rozmiaru #26.....	18
5.1.1.Metodyka obliczeń.....	18
5.1.2.Wyniki obliczeń.....	23
5.1.3.Zestawienie wyników	25
6.Ogólne założenia dla przyrządu WWko#26o20.....	26
6.1.Założenia do konstrukcji matrycy.....	26
6.2.Propozycja konstrukcji matrycy.....	29
6.2.1.Zespół matrycy	29
6.2.2.Konstrukcja obsadzenia w oprawie uniwersalnej	31
6.2.3.Konstrukcja matrycy wzmocnionej.....	32
6.3.Założenia do konstrukcji stempla.....	33
6.4.Propozycja konstrukcji stempla.....	35
6.5.Konstrukcja obsadzenia stempla	36
7.Podsumowanie.....	37
Spis ilustracji.....	38
Spis Tablic	40
LITERATURA.....	40

Załączniki

- Za1.** Wykresy zmiany siły wyciskania w funkcji przemieszczenia stempla przy wyciskaniu wyprasek cynkowych rozmiar #8 z pręta $\varnothing 20$ w przyrządzie WWKn [*FOWZOC0 wyciskanie Zn99 ZD40 06.xls*]
- Za2.** Lista części składowych przyrządu WWko#26o20 [*WWko#26o20 Titleblock & assembly 01.doc*]
- Za3.** Dokumentacja projektowa matrycy obciskanej do przyrządu WWko#26o20 [*WWko#26o20 Wcisk 01.doc*]
- Za4.** Karta instrukcyjna obróbki dla wyciskania współbieżnego

1.Wstęp¹

Tematem niniejszej pracy dyplomowej jest konstrukcja elementów oprzyrządowania technologicznego do wyciskania współbieżnego kołowo symetrycznych wyprasek prętowych ze wstępniaków prostopadłościennych. Wstępniaki będą pochodziły ze specyficznego procesu technologicznego, którego celem jest transformacja mikrostruktury metalu przez zastosowanie odkształcenia plastycznego, toteż ich właściwości mechaniczne będą wysokie. Dlatego planowane wyciskanie będzie musiało być prowadzone zarówno w temperaturze otoczenia jak i w temperaturze podwyższonej. Celem wyciskania jest uzyskanie półwyrobów prętowych o kołowym przekroju poprzecznym wykonanych z nowoczesnych metali o mikrostrukturze ultradrobnoziarnistej (UFG²).

Wspomniane wysokie właściwości mechaniczne metal UFG uzyskuje wskutek zastosowania silnego odkształcenia plastycznego techniką SPD³ wywodzącą się z objętościowej obróbki plastycznej. Metodą o największym potencjale aplikacyjnym jest przeciskanie przez kanał kątowy, które najczęściej jest wykonywane jako proces stacjonarny (ECAP⁴) prowadzony w warunkach płaskiego odkształcenia. Z powodu takiego charakteru stanu odkształcenia przeciskane wypraski prętowe mają kształt prostopadłościaków. Półwyroby prętowe najczęściej w handlu są sprzedawane pod postacią prętów walcowych. Dlatego uzasadnione jest przekształcenie kwadratowego przekroju poprzecznego w przekrój kołowy sposobem bezodpadowym. Możliwości takie oferuje objętościowa obróbka plastyczna.

We wprowadzającej części pracy opisano proces technologiczny uzyskiwania ultradrobnoziarnistych półwyrobów prętowych, w którym główną operacją jest przeciskanie przez kanał kątowy, czyli operacja ECAP. Proces technologiczny chociaż typowy dla techniki SPD jest jednak w szczególny sposób wyjątkowy. Zastosowano w nim bowiem wydajną operację ECAP. Podwyższenie wydajności uzyskano przez użycie kanału o dwóch zakrętach i dużej wielkości jego przekroju poprzecznego [1]. Jest to osiągnięcie technologiczne pracowników grupy badawczej **UFGbySPD**, którzy chcą zachować wysoką wydajność produkcji półwyrobów z metali UFG również oferowanych w postaci prętów walcowych. Postanowili więc przekształcać prostopadłościenne wypraski używane w operacji ECAP w odcinki pręta walcowego metodą bezodpadową.

W kolejnym rozdziale pracy postanowiono przedstawić jak przebiega bezodpadowe przekształcenie przekroju poprzecznego. W przypadku krótkich odcinków prętów najważniejszą operacją umożliwiającą zmianę wielkości i kształtu przekroju poprzecznego pręta bez straty materiału jest wyciskanie współbieżne

¹ Wytyczne i przykład przygotowania WSTĘPU zapisano w dokumencie [*MSc WstepExample 08.doc*], który można uzyskać od prowadzącego pracę dyplomową

² UFG = Ultra Fine Grained: metal jest uważany za ultradrobnoziarnisty gdy wielkość ziaren jest poniżej 1 μm

³ SPD = Super Plastic Deformation; technika stosowana w celu dużego odkształcenia plastycznego

⁴ ECAP = Equal-Channel Angular Pressing; metoda przeciskania przez kanał kątowy

[2] realizowane sposobem przelotowym. W celu zebrania informacji o wykonywaniu takiej operacji uczestniczący w przygotowaniu i przeprowadzeniu wyciskania na prasie hydraulicznej przy użyciu przyrządu [3] przystosowanego do pracy w podwyższonej temperaturze.

Główny przedmiot pracy dyplomowej scharakteryzowano w rozdziale 6. Ogólne założenia dla przyrządu WWko#26o20. Jest nim zespół narzędziowy przeznaczony do przekształcania prostopadłościanu w wałek przez wyciskanie. Do prezentacji oprzyrządowania do operacji wyciskania współbieżnego użyto zestawu narzędziowego, który zaprojektowano w ramach wcześniej wykonanej pracy dyplomowej [4]. Zestaw zaprojektowano celem przekształcania małych wyprasek prostopadłościennych ze stopu EN AW-5483 [5] (**mały rozmiar #8**) w walcowe przygotówki o średnicy ok. 5 mm przeznaczone do kształtowania nitów do zaklepywania [6]. Powodem takiej decyzji było podobieństwo technologiczne wspomnianego zestawu narzędziowego do zespołu narzędziowego, który jest przedmiotem niniejszej pracy dyplomowej. Różnica polega tylko na wielkości przekroju poprzecznego, który w obecnie rozważanym przypadku jest ponad 10 krotnie większy (**duży rozmiar #26**).

Oba zestawy narzędziowe, tzn. dla niewielkich wyprasek (**mały rozmiar #8**) i zestaw obecnie rozważany dla masywnych wyprasek (**duży rozmiar #26**) przewidziano do obsadzenia w uniwersalnych oprawach słupowych. W ramach praktyki dyplomowej zajęto się doбором elementów normalnych takiej oprawy i sporządzono kompletną dokumentację konstrukcyjną jej wykonania. Autor pracy dyplomowej [4] przedstawił konstrukcję oprawy w wyjątkowo niechlujnie i przed przekazaniem wykonawcy należało ją gruntownie przerobić. Ten etap pracy konstrukcyjnej opisano w rozdziale 4. Oprawa uniwersalna do przyrządu WWkn.

W dwóch końcowym rozdziałach pracy zaprezentowano 2 modele 3D zespołu narzędziowego, stempla oraz matrycy, do wyciskania współbieżnego walcowych odcinków prętów z prostopadłościennymi wypraskami ECAP pochodzących z procesu technologicznego opisanego w rozdziale 5. Przyrząd WWko#26-o?. Modele te powstały przez wyskalowanie w górę zestawu narzędziowego zaprojektowanego w pracy [4] i dostosowanie do długości masywnej wypraski (**duży rozmiar #26**).

Pracę kończą wnioski i zalecenia dla osób prowadzących dalsze prace konstrukcyjne

2. Proces technologiczny metalu UFG

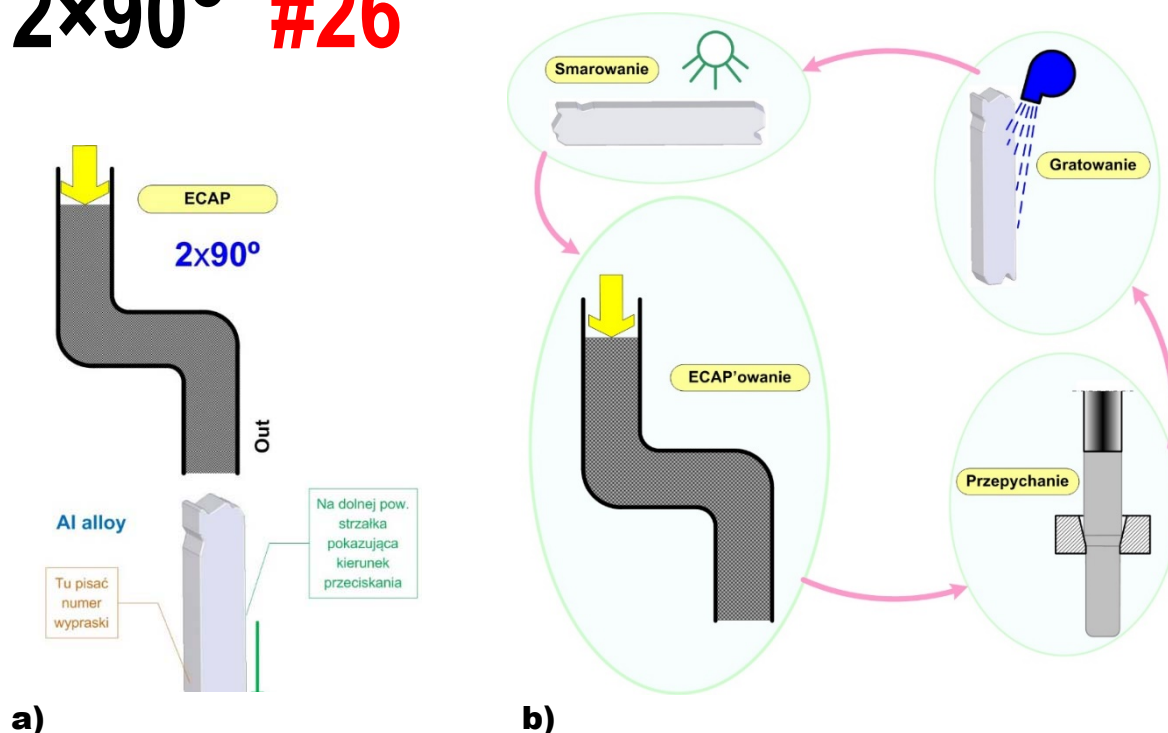
W niniejszej pracy celem jest konstrukcja oprzyrządowania do operacji wspomagającej proces technologiczny wytwarzania materiału o strukturze ultradrobnoziarnistej. Dlatego właściwym jest zaprezentowanie tego procesu technologicznego, aby można było wyraźnie wskazać miejsce wspomnianej operacji wspomagającej, do której oprzyrządowanie jest właśnie przedmiotem niniejszej pracy. Wspomniane materiały noszą nazwę metali UFG. Dążymy do uzyskania skali nano. Do uzyskania owej struktury przez odkształcenie plastyczne stosuje się metodami SPD. Jedną z nich jest metoda ECAP czyli przeciskanie przez kanał kątowy, opisaną szczegółowo w pozycji literaturowej [7]. W tej pracy użyto metody pokrewnej zwanej wyciskaniem współbieżnym, ponieważ nie mamy kanału kąтового.

2.1. Plan operacyjny

Schemat operacji głównej, która ma doprowadzić do uzyskania mikrostruktury ultra drobnego ziarna pokazano na Rys. 1a. Relacje zaś zachodzące między istotnymi dla procesu operacjami pokazano na Rys. 1b. Jak widać operacje umożliwiające rozdrobnienie ziarna są kolejno wykonywane w pętli, którą należy przejść kilkakrotnie.

mtECAP

2×90° #26



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie sprawdzonego w praktyce procesu technologicznego uzyskania długich prostopadłościennych wyprasek rozmiar #26 (opracowanie wg informacji z prac wykonanych przez pracowników grupy badawczej **UFGbySPD**)⁵

Dla procesów technologicznych, w których główną operacją kształtowania plastycznego jest operacja ECAP, typowy plan technologiczny przedstawiono na stronie 68 w opracowaniu [7]. Szczegółowa prezentacja procesu technologicznego polega oczywiście na podaniu listy operacji. W tabelicy Tab. 1 przedstawiono listę wszystkich operacji, które zaplanowano do wykonania w celu uzyskania prostopadłościennych odcinków o dużej objętości o rozmiarze przekroju #26 z metalu UFG. Listę sporządzono na podstawie danych pobranych z raportów technologicznych grupy badawczej **UFGbySPD** oraz prac dyplomowych wcześniej wykonanych w ramach technologicznych prac rozwojowych w pracowniach tej grupy. M.in. pracy dyplomowej [8] zajmowano się operacją główną procesu technologicznego, tj. przeciskaniem mtECAP przez kanał kątowy 2×90°. W pracy dyplomowej [9] zajmowano się przepychaniem krótkich wyprasek o różnych wielkościach przekroju poprzecznego. Zaproponowany plan operacyjny opracowano na podstawie prób wstępnych wykonanych z użyciem tzw. materiałów modelowych, z których najczęściej używano miękkie stopy aluminium EN AW-1070 i EN AW-1350A.

Tab. 1. **Lista operacji** procesu technologicznego zmniejszania średniej wielkości ziarna w prętach rozmiar #26 z modelowych materiałów metodą stacjonarnego przeciskania mtECAP przez kanał kątowy 2×90°

Nr	Nazwa operacji	Przeznaczenie operacji	Narzędzia / przyrządy /	Stanowisko
----	----------------	------------------------	-------------------------	------------

⁵ Modele 3D wykorzystane w prezentacji schematu procesu na tym rysunku nie odpowiadają rzeczywistym wypraskom, które są przedmiotem analizowanego procesu mtECAP 2×90° dla DUŻEGO rozmiaru #26. Do prezentacji na Rys. 1 użyto modeli wyprasek aluminiowych (EN AW-1070) MAŁEGO rozmiaru #8, które przeciskano na zimno przez kanał 2×90° w przyrządzie „140°2”

			materiały	
1	Cięcie pręta	Porcjowanie materiału dostarczonego w postaci pręta wyciskanego $\varnothing 35$	Taśma tnąca	Przecinarka taśmowa
2 [^]	Smarowanie	Przygotowanie warstwy smarnej do operacji wstępnego odkształcenia (redukcja przekr.)	Stearynian cynku	Bęben rotacyjny
3 [^]	Wyciskanie ⁶ prętów	Konwersja przekroju poprzecznego pręta walcowego na kształt kwadratowy #26	Narzędzia do wyciskania $\varnothing 35 \# 26$ / przyrząd WWok	Prasa PYS250 hydrauliczna
4 [^]	Prostowanie wyprasek #26	Usuwanie krzywizny dla umożliwienia włożenia wypraski do kanału w TD2	Podpory do gięcia trójpunktowego	Zrywarka 50kN
5 [^]	Obcinanie końca	Usuwanie jamy usadowej na końcu prostopadłościowej wypraski	Taśma tnąca	Przecinarka taśmowa
6	Wykonanie ⁷ wstępniaka	Uzyskanie wymiarów przekr. poprzecznego odpowiedniego do kształtu kanału ECAP	Frez palcowy (bez użycia wyciskania)	Frezarka (bez wyciskania)
6 [^]	Ważenie	Wyznaczenie masy początkowej wstępniaków dla określenia strat materiału	Waga	Stanowisko metrologiczne
7	Załamywanie krawędzi	Fazowanie czół, załamywanie krawędzi wzdłużnych, usuwanie śladów prostowania	Papier ścierny na krążku i w taśmie oraz pilnik	Szlifierka warsztatowa
8	Znakowanie	Oznaczenie końcówki wypraski dla celów identyfikacji partii wsadów	Numeratory	Stanowisko warsztatowe
9	Mierzenie ⁸	Kontrola wymiarów	Suwmiarka	Stanowisko warsztatowe
10 [^]	Czyszczenie chemiczne	Usunięcie z pow. wsadu trwałych zanieczyszczeń	Benzyna / denaturat	Stanowisko chemiczne
11 *	Smarowanie ⁹ chemiczne	Wytworzenie chemicznej warstwy nośnej i nasączenie jej środkiem poślizgowym	Akcesoria wannowe do procesów chemicznych	Łażnie i wanny galwanizerskie
12 *	Przeciskanie mtECAP¹⁰	Odształcenie postaciowe wstępniaka ¹¹ przez przeciskanie przez kanał kątowy $2 \times 90^\circ$	Przyrząd do przeciskania TD2 (@RT)	Prasa MPH hydrauliczna
13 *	Czyszczenie	Usuwanie pozostałości warstwy smarnej	Benzyna	Stół warsztat.
14 *	Mierzenie ¹²	Kontrola wymiarów przekroju poprzecznego, długości – wytyczne do skracania	Suwmiarka	Stanowisko metrologiczne

⁶ Przebieg operacji wyciskania współbieżnego prętów z redukcją $\varnothing 35 \rightarrow \# 26$ wg. [[Karta InstrObr FORM-AI w WWok 14.doc](#)]

⁷ Rysunek wykonawczy wstępniaka ze stopu 1350 podano na rysunku [[Visio-Dimension 26x26square AI&Cu 1035Ao35.pdf](#)]

⁸ Wyniki odnotowywane w arkuszach kalkulacyjnych [[msmnt TD_wypraski 1350A & M1E 12 + wstepniaki.xlsx](#)]

⁹ Sposób przygotowania smaru i jego nanoszenie opisano w [[Glinianowanie Procedura12.doc](#)]

¹⁰ Opis przebiegu operacji zapisano w [[ECAP2-przeciskanie08.doc](#)]; operacja prowadzona wg. [[Karta InstrObr ECAP-AI@RT w TD2 04.doc](#)]; stosuj arkusz pomiarowy [[karta wyników-ECAPdataSheet2D-33*TD2 MPH AI 25.pdf](#)]

¹¹ Zdjęcia dokumentujące wykonane przeciskanie są przechowywane w { [D:\F70\works\IMG\ECAP img\przeciskane stacjonarnie\2D\TD2\1350-2014](#) }

¹² Stosuj arkusz pomiarowy [[??????](#)], wyniki odnotowywać w [[msmnt TD_wypraski 1350A & M1E 12 + wstepniaki.xlsx](#)]

15 *	Znakowanie ¹³	Oznaczenie końcówki wypraski dla wyznaczenia położenia przekroju poprzecznego wypraski w kanale	Numeratory	Stanowisko warsztatowe
16 *	Planowanie czół	Wyrównywanie zakończeń wyprasek po ich przeciskaniu oraz skracanie (gdy potrzeba)	Papier ścierny na krążku i w taśmie	Szlifierka warsztatowa
17 *	Smarowanie	Przygotowanie warstwy smarnej na wyprasce do operacji redukowania przekroju	Pędzel / lanolina + suchy MoS ₂	Stanowisko warsztatowe
18 *	Przepychanie EXTR ¹⁴	Redukcja przekroju poprzecznego wyprasek przed kolejnym przeciskaniem	Przyrząd TP (@RT)	Prasa PH12 hydrauliczna
19 *	Czyszczenie chemiczne	Usuwanie z powierzchni wsadu pozostałości smaru i trwałych zanieczyszczeń	Benzyna	Stanowisko chemiczne
20 *	Gratowanie	Planowanie czół i fazowanie krawędzi czół, załamywanie ostrych krawędzi wzdłużnych	Papier ścierny na krążku oraz w taśmie	Szlifierka warsztatowa
21 *	Mierzenie ¹⁵	Kontrola wymiarów przekroju poprzecznego, długości i wygięcia	Suwmiarka + miara zwijana	Stanowisko warsztatowe
22 [^] *	Prostowanie wyprasek #26	Usuwanie krzywizny dla umożliwienia włożenia wypraski do kanału w TD2	Podpory do gięcia trójpunktowego	Zrywarka 50kN
23 [^] *	Ważenie	Wyznaczenie masy dla określenia strat materiału	Waga	Stanowisko metrologiczne
24 *	Kontrola	Ocena stanu powierzchni, selekcja wyprasek, poprawienie znakowania (pom. twardości)	Suwmiarka MAUa, twardościomierz	Stanowisko metrologiczne
[^] - operacje opcjonalne, które mogą być pominięte w procesie SPD * - operacje ponawiane przy realizacji wielooperacyjnego procesu SPD				

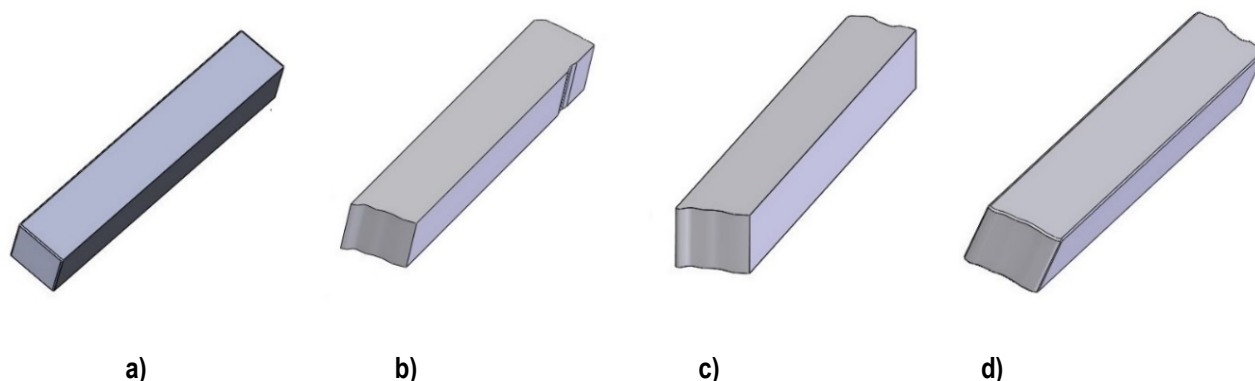
2.2. Prezentacja procesu technologicznego

Na Rys. 2 zilustrowano proces technologiczny z tablicy Tab.1 przez pokazanie charakterystycznych kształtów wyprasek. Używając modeli 3D zaprezentowano wygląd wstępniaka (Rys. 2a) oraz wyprasek po wykonaniu operacji wcześniej pokazanych na schemacie na Rys. 1b. Modele zaczerpnięto z pracy [13]. Rysunek ilustruje tylko te etapy procesu technologicznego, w których następuje istotna zmiana kształtu. Jak widać proces technologiczny zasługuje na miano procesu SPD. Wypraski zachowują prostopadłościenny kształt wstępniaka a zmiany ich przekroju są nieznaczne. Istotne różnice występują tylko w wyglądzie krawędzi przy czółach (Rys. 2b i Rys. 2c) oraz krawędzi wzdłużnych (Rys. 2d).

¹³ W przypadku braku możliwości wybicia znaku na wypraskach z powodu silnego zdeformowania powierzchni czołowych zastosować tymczasowe oznaczenie i najpierw wykonać operację planowania czóła

¹⁴ Wg. karty instrukcyjnej obróbki [[Karta InstrObr EXTR-AI w TP 04.doc](#)] oraz [[ECAP4-przepychanie 30.doc](#)]

¹⁵ Stosuj arkusz pomiarowy [[wypraska ECAP 1x90 wmr dlugosci.jpg](#)], wyniki odnotowywać w [[msrmtt 1x90_wypraski_5083 prety #8....xls](#)]



Rys. 2. Wynik operacji procesu technologicznego ECAP schematycznie przedstawionego na Rys. 1b: a) wstępniak, b) wypraska po operacji ECAP, c) wypraska po przepychaniu (operacja nr_18), d) wypraska po gratowaniu (rysunki zapożyczone z prac dyplomowych uprzednio wykonanych w grupie badawczej **UFGbySDD**)¹⁶

3.Przebieg operacji wyciskania prętów

W tym rozdziale przedstawiono przebieg bezodpadowego przekształcenia przekroju poprzecznego krótkich odcinków prętów. Operacja o podobnym charakterze występuje w planie operacyjnym przedstawionym w tablicy Tab.1. Ponieważ mamy do czynienia z krótkimi odcinkami prętów to najwłaściwszą operacją umożliwiającą zmniejszenie wielkości przekroju poprzecznego bez straty materiału pręta jest wyciskanie współbieżne [2, str.83 Tablica 3.14]. W tej operacji można również zmienić kształt przekroju poprzecznego, co właśnie wykorzystano w operacji nr_3 „Wyciskanie prętów” planu operacyjnego z tablicy Tab.1.

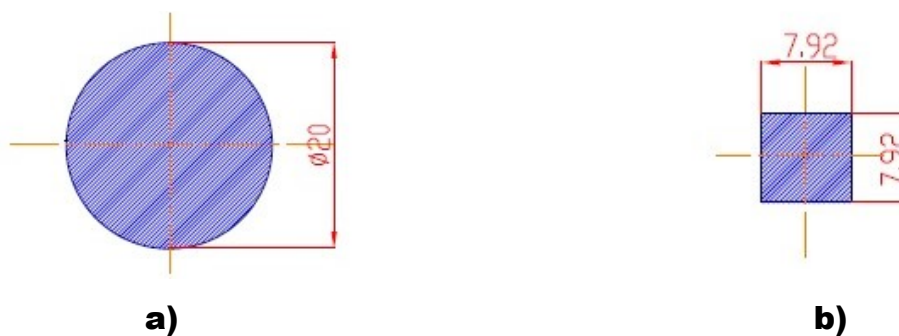
Zawartość rozdziału jest zapisem informacji, które udało się zebrać w czasie przygotowania podobnej operacji „Wyciskania prętów” i jej przeprowadzenia. Podczas uczestniczenia w tych pracach przyjąłem rolę technologa, który miał ocenić prawidłowość przygotowania stanowiska i poprowadzić wykonanie operacji według zapisów karty instrukcyjnej obróbki. W oglądanej operacji wyciskano współbieżnie prętowe wypraski ze stopu cynku. Za przygotowanie stanowiska był odpowiedzialny inny dyplomant. Głównym jego zadaniem było zapewnienie odpowiedniej stabilizacji temperatury narzędzi i temperatury wsadu, gdyż oglądana operacja – w odróżnieniu od operacji nr_3 z tablicy Tab.1 – odbywała się w podwyższonej temperaturze.

Poniżej podano opis sporządzony na podstawie notatek robionych podczas prowadzenia oglądanej operacji wyciskania, analizy parametrów technologicznych rejestrowanych w czasie operacji i oglądu wyniku tej operacji, tj. wyprasek wyciskanych współbieżnie w podwyższonej temperaturze.

3.1.Charakterystyka operacji

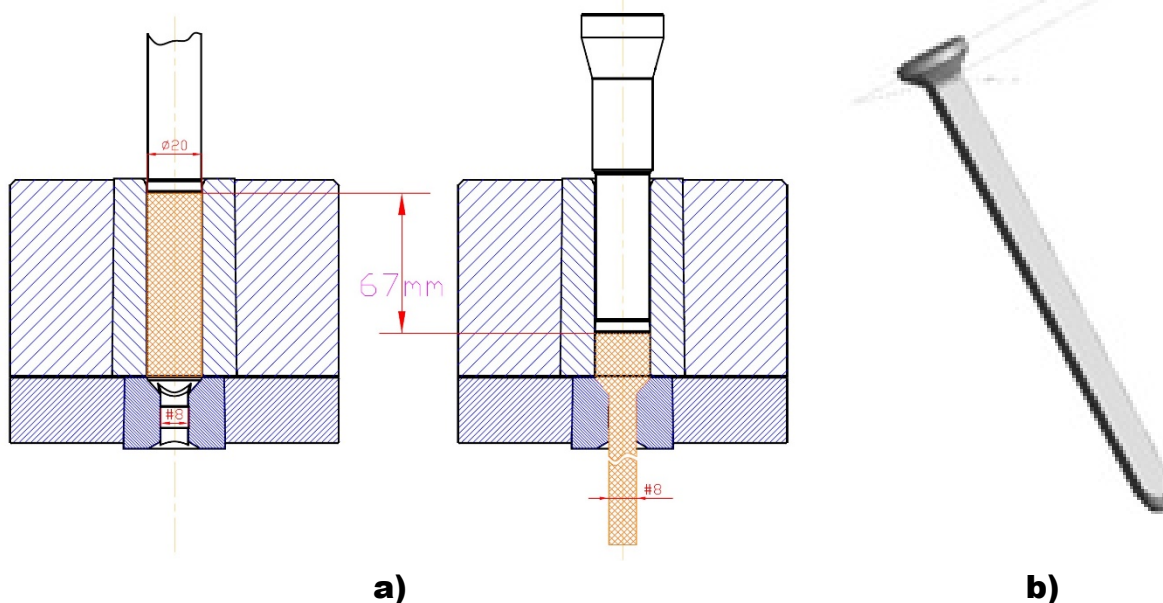
Wyciskanie współbieżne wypraski prętowej prowadzono na prasie hydraulicznej przy użyciu przyrządu oznaczonego symbolem WWKn. W matrycy tego przyrządu dokonuje się zmiany kształtu przekroju poprzecznego wypraski z kształtu kołowego na kwadratowy, co pokazano na Rys. 3.

¹⁶ Modele 3D wykorzystane w prezentacji wyglądu wstępniaka i wyprasek nie odpowiadają rzeczywistym wypraskom, które są przedmiotem analizowanego procesu technologicznego SPD z operacją główną mECAP 2×90° dla DUŻEGO rozmiaru #26. Do prezentacji na Rys. 2 użyto modeli wyprasek ze stopu aluminium 6060, mających MAŁY rozmiar #8, które przeciskano na ciepło przez kanał 2×110° w przyrządzie „11zet”



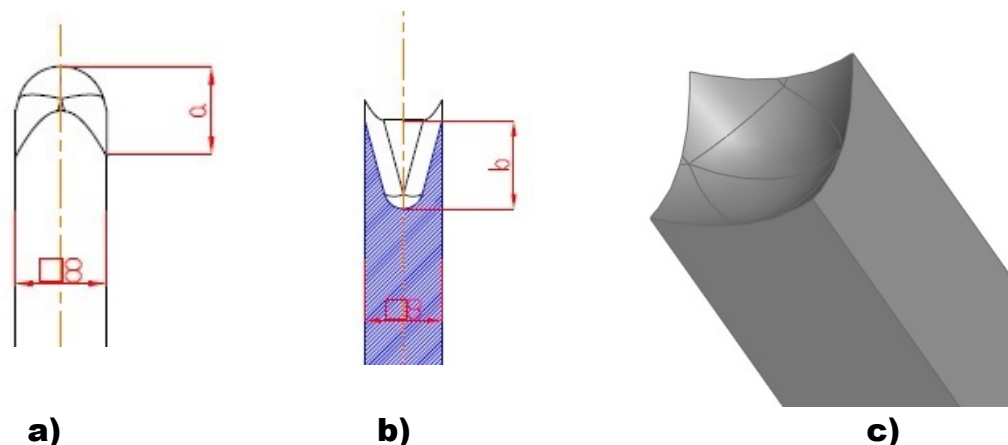
Rys. 3. Kształt i wymiary przekroju poprzecznego pręta zmieniającego się bezodpowiednio w narzędziach przyrządu WVKn: a) przekrój wstępniaka, b) przekrój wyciśniętej wypraski

Zmiana wymiarów i kształtu przekroju poprzecznego następuje przy użyciu odpowiednio skonstruowanego stempla oraz matrycy. Żeby wytłumaczyć jaka relacja występuje między stemplem i matrycą na Rys. 4a pokazano schemat operacji wyciskania współbieżnego, wg. którego zazwyczaj prowadzona jest taka operacja. Na Rys. 4b natomiast pokazano rzeczywisty kształt wypraski wyciśniętej w przyrządzie WVKn, która pozostaje w matrycy po zakończeniu operacji. Jak widać wymiary części powiększonej wypraski (chodzi o górną część wypraski) zależą od wymiarów części kontenerowej matrycy i dolnego położenia czoła stempla w stosunku do dna otworu matrycy. Zaznaczono to na Rys. 4a.



Rys. 4. Operacja wyciskania współbieżnego wypraski prętowej (wyciskanie przelotowe/posobne): a) schemat technologiczny operacji, b) kształt wypraski do zakończeniu pierwszej operacji wyciskania przelotowego)

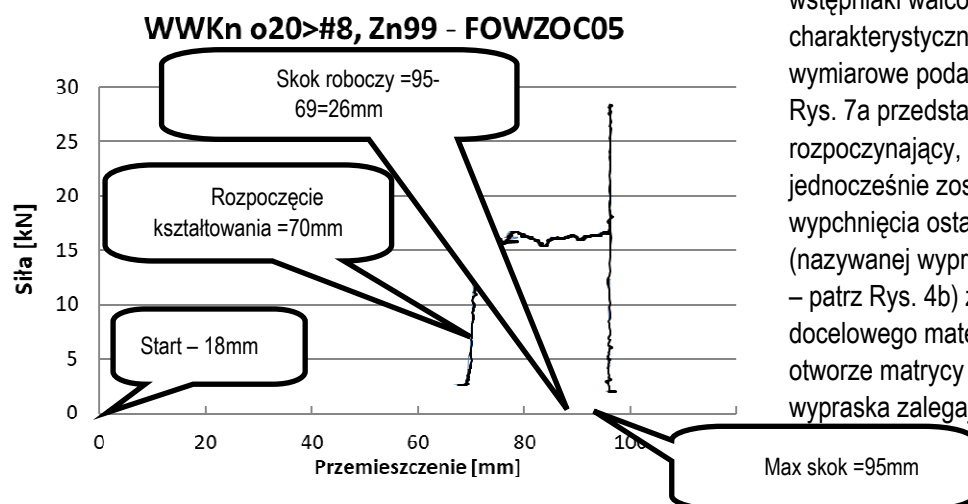
Wstępniaki poddawano wyciskaniu kolejno po sobie. Skutkiem takiego przebiegu operacji nie trzeba było troszczyć się o usunięcie z otworu matrycy wypraski zalegającej (to ta wypraska pokazana na Rys. 4b). Kolejna bowiem wypraska, będąc naciskana w części kontenerowej matrycy przez stempel, wypychała zalegającą na zewnątrz otworu matrycy. Po opuszczeniu otworu wypraska jest odprowadzana grawitacyjnie na zewnątrz przyrządu i może być odebrana spod spodu przyrządu. Skutkiem „posobnego” wyciskania wyprasek prętowych ich czoła i końcówki doznają deformacji. Charakterystykę tej deformacji podano na Rys. 5.



Rys. 5. Cechy geometryczne wyprasek prętowych wyciskanych współbieżnie po sobie: a) kształt i charakterystyczne wymiary czół wyprasek, b) kształt i charakterystyczne wymiary końcówek wyprasek, c) model spodziewanego wklęsnięcia powstającego na końcówce prostokątnej wypraski wyciskanej w przyrządzie WWKn z walcowego pręta

3.2.Przebieg operacji

Operację wyciskania współbieżnego przyrządzie WWKn prowadzono zgodnie ze schematem technologicznym pokazanym na Rys. 4a. Dane do narysowania tego schematu pobrano z karty instrukcyjnej obróbki¹⁷ oraz dokumentacji konstrukcyjnej. Przewidywana wartość skoku roboczego dla wyciskania cynku jest mniejsza i wynosi ok. 26mm. Wynika to z wysokości wstępniaka przygotowanego ze stopu cynku pokazano go na Rys. 7b. Wysokość wstępniaka właśnie jest równa 26mm, a jak wynika z Rys. 4b część tego wstępniaka „pozostaje” niewyciśnięta, gdyż tworzy główkę wypraski. Do wyciskania przygotowano



wstępniaki walcowe, których charakterystyczne cechy wymiarowe podano na Rys. 7. Rys. 7a przedstawia wstępniak rozpoczynający, który jednocześnie zostanie użyty do wypchnięcia ostatniej wypraski (nazywanej wypraską zalegającą – patrz Rys. 4b) z partii docelowego materiału i zostanie w otworze matrycy jako nowa wypraska zalegająca.

Rys. 6 Reprezentatywny wykres Siły od przemieszczenia wyciskania cynku.

¹⁷ Kartę instrukcyjną obróbki dla operacji wyciskania współbieżnego w przyrządzie WWKn zapisano w dokumencie [[Karta InstrObr FORM-Zn w WWKn 09.doc](#)]

3.2.1. Przygotowanie przyrządu

Zgodnie z zapisami w karcie instrukcyjnej obróbki wyciskanie ma być przeprowadzone w temperaturze podwyższonej. Zatem wcześniej należało nagrzać przyrząd do temperatury, którą technolog projektujący proces technologiczny ustalił na 150 °C. Nagrzewanie zimnego przyrządu WWKn do temperatury stabilizowanej przez układ termoregulacji na poziomie 150 °C trwało ok. 3 godziny.

Operację rozpoczęto od wyciskania wypraski wstępnej. Była to miedź zalegająca w matrycy po poprzednim procesie technologicznym. Wypraskę rozpoczynającą przygotowano w następujący sposób: przed włożeniem w otwór matrycy nasmarowano wypraskę smarem. Wstępne wyciskanie zrobiono w celu usunięcia zalegającej wypraski zostawionej w matrycy z poprzedniej serii prób wyciskania.



Rys. 7. Wstępniaki dla wyciskania w przyrządzie WWKn: a) wstępniak rozpoczynający i wypychający, b) wstępniak właściwy

3.2.2. Wyciskanie partii wyprasek

Właściwemu wyciskaniu były poddane wstępniaki wykonane ze stopu cynku Zn99 wg. modelu bryłowego przedstawionego na Rys. 7b. Zalecane było nagrzanie wstępniaków do temperatury ok 150 °C, jednak dokładniejsza temperatura wyniosła 135 °C – uzyskano te informacje dopiero po opracowaniu wyników rejestracji parametrów operacji, które monitorowano w czasie wyciskania. Wstępniaki wymagały również wcześniejszego przygotowania, które dotyczyło stanu powierzchni i nasmarowania. Wstępniaki smarowano smarem stałym na przygotowaną powierzchnię. Powierzchnie wstępniaków były uprzednio piaskowane. Jako smar stały użyto smaru LB8009. Na powierzchnie wstępniaków smar наносzono ręcznie.

Przed każdym wyciskaniem wstępniak nagrzewano do temperatury obróbki. Wg. karty technologicznej powinna to być temp. ok 150 °C. Ponieważ taką temperaturę miała osiągnąć matryca, dlatego nagrzewanie prowadzono w matrycy przez ok 2min. po włożeniu zimnego wstępniaka do jej kontenerowego otworu.

Każdy wstępniak był wyciskany przez 20 sekund. Podczas operacji wyciskania rejestrowano przemieszczenie stempla i siłę, którą wywierał na materiał odkształcany w otworze matrycy. W czasie wyciskania całej partii wyprasek nieprzerwanie rejestrowano również temperaturę w wybranych miejscach matrycy.

W sumie wyciśnięto 8 wyprasek, spośród których 2 było rozpoczynających, 4 właściwych i 2 wypychających. Wykonanie wymaganej partii wyprasek trwało 13 min. co stanowi 7,2 % czasu pracy stanowiska poświęconego na produkcję założonej partii wyrobów.

3.3. Rezultaty wyciskania

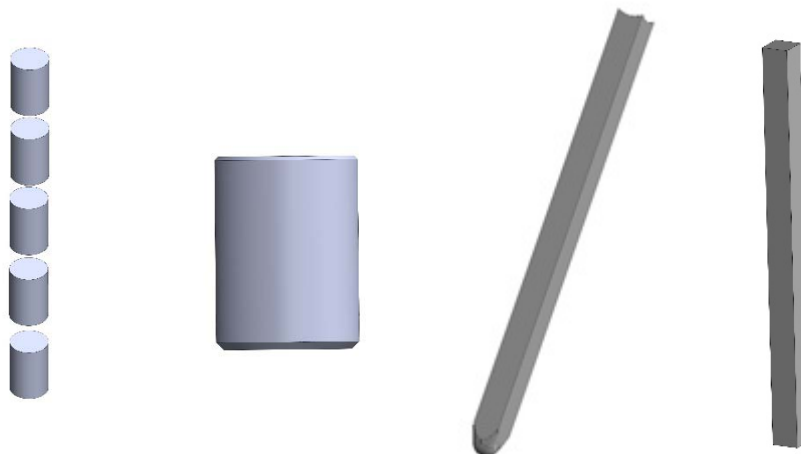
Śledzenie realizacji procesu technologicznego, który zwykle jest przedstawiany w postaci listy operacji, jest utrudnione. Znacznie łatwiej jest zrozumieć istotę procesu oglądając jego graficzną interpretację. Dlatego krótki proces technologiczny kształtowania plastycznego, zmieniającego kształt przekroju poprzecznego pręta zaprezentowano jako kolekcję wyprasek uzyskiwanych po wykonaniu poszczególnych operacji.

Omawiany proces technologiczny składa się z następujących operacji:

1. **Przygotowanie** długiego odcinka pręta walcowego o średnicy dostępnej w handlu ($\varnothing 19,2$ dla Zn99)
2. **Cięcie** pręta na odcinki (przygotowanie wstępniaków do spęczania)
3. **Spęczanie** w celu uzyskania średnicy odpowiedniej do wymiaru części kontenerowej matrycy WWKn
4. **Toczenie** w celu uzyskania średnicy odpowiedniej do wymiaru części kontenerowej matrycy WWKn
5. **Fazowanie** krawędzi wstępniaków; przy czołach (większe), przy końcówkach (mniejsze)
6. **Piaskowanie** w celu przygotowania powierzchni wstępniaka pod smar
7. **Smarowanie**
8. **Grzanie**
9. **Wyciskanie**
10. **Czyszczenie**
11. **Mierzenie**
12. Obcięcie zdeformowanych końców
13. Ciecie na wymiar wg. rysunku wykonawczego wyrobu gotowego

W czasie pomagania w przeprowadzaniu tego procesu technologicznego – i jednocześnie poznawania istoty operacji wyciskania, dla której będę projektowała przyrząd – miałam okazję własnoręcznie wykonać operacje od nr_7 do nr_11. Na liście operacji wymieniono je tylko hasłowo, gdyż ich opis jest rozwijany właśnie w tym rozdziale pracy.

Wypraski zazwyczaj prezentowane są w kolejności wykonywania i ustawiono je zgodnie z kierunkiem przerobu plastycznego. Brakuje tam tylko samego pręta walcowego, od którego proces technologiczny się zaczyna, gdyż dla uproszczenia w prezentacji procesu technologicznego pominięto etap dostawy zakupionego materiału. Na Rys. 8 w sposób graficzny przedstawiono proces technologiczny, który powyżej przedstawiono jako listę 13 operacji. Na rysunku tym pokazano zmianę kształtu jakiej w omawianym procesie technologicznym podlega pręt od kształtu dostępnego w handlu do końcowego wyrobu, którym jest prostopadłościan o nominalnych wymiarach $8 \times 8 \times 46$ [mm]. Rysunki modeli 3D pokazują tylko wynik tych operacji, w których nastąpiła wyraźna zmiana kształtu materiału. Odnosi się to szczególnie do operacji cięcia, w których następuje zmiana długości i operacji wyciskania, w której zachodzi zmiana przekroju poprzecznego.



a)

b)

c)

d)

Rys. 8. Proces technologiczny kształtowania plastycznego z pręta walcowego prostopadłościennej wstępniaków do operacji ECAP: a) porcjowanie pręta walcowego (operacja nr 2), b) wstępniak walcowy do wyciskania w przyrządzie WWKn (rezultat wykonania operacji nr 3, 4 i 5 - uwaga nie zachowano proporcji wymiarowych przy prezentacji modelu tego wstępniaka), c) wypraska wyciśnięta w przyrządzie WWKn (rezultat operacji nr 9), d) gotowy wyrób (prostopadłościenne wypraska do operacji ECAP uzyskana z wypraski wyciskanej w przyrządzie WWKn przez obcięcie zdeformowanych końców – wynik operacji nr 12 i 13)

3.3.1. Prace wstępne i zakończeniowe

Matryca przyrządu WWKn nie była pusta. Otwór roboczy matrycy wypełniała wypraska zalegająca zostawiona po wykonaniu poprzedniej serii produkcyjnej wyprasek prostopadłościennych. Nie wiadomo było z jakiego materiału wykonano tą wypraskę zalegającą. Wiadomo zaś z jakiego materiału przygotowano wstępniak, za pomocą którego postanowiono wypchnąć wypraskę zalegającą. Była to miedź w gatunku M1Ez4 dostarczona w postaci pręta walcowego ciągnionego na zimno.

Wyciskanie wyprasek o różnej twardości skutkuje powiększeniem zakresu deformacji końców wyprasek wyciskanych współbieżnie jedna po drugiej. Ponieważ jest to ciekawe zagadnienie, z którym autor wcześniej się nie spotkał postanowiono je opisać. Opis zamieszczono poniżej.

Wyciskanie wyprasek kolejno po sobie ze wstępniaków o tej samej twardości i tego samego materiału (docelowym materiałem jest stop cynku) nie zmienia kształtu oraz wymiarów czół i końcówek wyprasek uzyskanych w trakcie takiej operacji wyciskania współbieżnego. Jednak przy rozpoczęciu operacji wyciskania najpierw wyciskano wypraskę zalegającą w matrycy. Użyto wstępniak rozpoczynający (wypychający), który był wykonany z miedzi, czyli zapewne materiału o niższej twardości niż wypraska zalegająca. Dopiero potem kolejno wyciskano przygotowane wstępniaki z materiału Zn99. Oczywiście pierwszy wstępniak musiał wypychać wcześniej wyciśniętą miedzianą wypraskę rozpoczynającą, która stała się teraz zalegającą, gdyż zamykała otwór roboczy matrycy przyrządu WWKn. Ponieważ zalegająca wypraska była wykonana z miększego materiału (okazało się, że miedź była miększa od stopu cynku), to przy wyciskaniu wstępniaka o twardszym materiale poskutkowało to znaczną deformacją czola pierwszej wypraski z materiału Zn99. Zatem przy analizowaniu wymiarów wykonywanej partii 6 wyprasek z Zn99, ta pierwsza nie była brana pod uwagę. Na Rys. 9 przedstawiono dwie pierwsze wypraski uzyskane przy wyciskaniu partii 6 wyprasek z Zn99. Celem jest prezentacja dla porównania zmian deformacji czola każdej z nich. Na Rys. 9a przedstawiono pierwszą wypraskę z Zn99, która służyła jako wypychająca zalegającą wypraskę miedzianą. Zaś na Rys. 9b przedstawiono jedną z 5 pozostałych wyprasek wyciskanych w partii produkowanych wyprasek z Zn99 kolejno po sobie, czyli z tego samego materiału. Dla lepszego wykorzystania miejsca wypraski zaprezentowano poziomo, chociaż wyciskanie w przyrządzie WWKn było prowadzone przy pionowym ustawieniu.



Rys. 9. Przedstawienie różnic w deformacji wyciskanych wyprasek a) wypraska Zn99 służąca za wypraskę wypychającą zalegającą wypraski miedzianej b) prawidłowa wypraska Zn99 (reprezentuje serię pięciu wykonanych wyprasek)

3.3.2. Przebiegi sił wyciskania

Odształcenie plastyczne wyprasek kolejno wyciskanych posobnie wymaga przyłożenia siły. Wartość maksymalna i przebieg w czasie siły wyciskania posobnego zależy od stosu utworzonego z wypraski zalegającej i wypraski właściwej. Z tego powodu jest to także interesujące zagadnienie, któremu poniżej poświęcono trochę uwagi.

W trakcie wykonywania operacji wyciskania każdej wypraski rejestrowano dane, które umożliwiają

Zn99		siła maksymalna operacji [kN]	siła średnia na odc. pomiarowym [kN]
Wartość oczekiwana		30	-
1.	FOWZOC03	17,62	16,37
2.	FOWZOC04	17,76	16,43
3.	FOWZOC05	17,93	16,29
4.	FOWZOC06	18,30	16,56
ŚREDNIA		17,9	16,4
MAX		18,3	16,6
MIN		17,6	16,3
ODCHYLENIE STANDARDOWE		0,294	0,116
Zakres zmienności		0,7	0,3
statystyczny wsp. zmienności		2%	1%

sporządzenie wykresów zmiany siły wyciskania w funkcji przemieszczenia stempla. Szczegółowe nastawy i wyniki tej operacji w postaci wykresów przedstawiono w załączniku **Za1**.

Rys. 10. Zbiorcze zestawienie wyników operacji wyciskania współbieżnego stopu cynku Zn99¹⁸

Na wykresie siły od przemieszczenia przedstawionym na Rys. 6 widać nagły wzrost siły przy styku stempla z wstępniakiem i to jest siła maksymalna operacji. Następnie przy przejściu złączenia wyprasek następuje spadek siły, która stabilizuje się i w wazie stacjonarnej ma stałą wartość aż do momentu zamknięcia przyrządu w którym siła ponownie wzrasta. Wypraski uzyskane są metodą zmiany swój przekrój z kołowego na kwadratowy. Nastąpiła także zmiana długości. Proces przebiegał bez zakłóceń, jednak jak się okazało później na tym przyrządzie możemy uzyskiwać wypraski o ograniczonej długości, w przeciwnym razie możemy jakaś jej część może pozostać w matrycy i przez to nie usuniemy jej dla zrobienia miejsca następnej. Przy konstrukcji zespołu narzędziowego do transformacji materiału z przekroju kwadratowego na kołowy będzie trzeba brać to pod uwagę.

4. Oprawa uniwersalna do przyrządu WWkn

Tematem niniejszej pracy dyplomowej jest konstrukcja narzędzi do docelowej operacji kształtowania plastycznego. Narzędzia są osadzone w oprawach uniwersalnych. Dlatego niezbędnym etapem prac konstrukcyjnych jest zaprojektowanie takiej oprawy. Elementy opraw można skompletować z katalogów tzw. „normaliów do budowy tłoczników.

¹⁸ Jest to zrzut fragmentu ekranu oglądanego przy przeglądaniu arkusza kalkulacyjnego, w którym prowadzono statystyczną analizę danych dotyczących przebiegu sił wyciskania w przyrządzie

4.1. Dobór elementów normalnych

W tym rozdziale zatem zajęto się doбором elementów oprawy uniwersalnej, stosownej do przyrządu WWkn. Autor pracy dyplomowej [4] wykonał to już wcześniej, jednak zrobił to tak nieporządnie, że większość elementów trzeba było zweryfikować, a nawet poprawić (wspomniano o tym we wstępie). Dlatego w niniejszej pracy dyplomowej musiano wykonać owe zadanie, co odbyło się w ramach praktyki dyplomowej¹⁹. Autor pierwotnej wersji oprawy nie sporządził też żadnej dokumentacji zakupowo-konstrukcyjnej, zatem taką należało stworzyć od nowa. Wszystkie części dla nowej uniwersalnej oprawy zostały wybrane z katalogu FCPK Bytów²⁰.

Zdecydowano się na dwupłytkową oprawę dwusłupową. Rozstawienie słupów jest skośne, co daje łatwiejszy dostęp do narzędzi. Co do poszczególnych części tej oprawy, dobrano słupy prowadzące z kołnierzem (oznaczenie katalogowe FK). Na słupy zostaną „nawleczone” specjalne tuleje dystansowe ograniczające skok. Słupy są osadzone w płycie dolnej oprawy pasowaniem mieszanym H5/js4 (co wynika z katalogu FCPK Bytów oraz mocowane od spodu za pomocą pierścienia mocującego (oznaczenie katalogowe FPM) oraz śruby z łbem walcowym z gniazdem sześciokątnym. Dwa słupy jak i ich pierścienie mocujące mają różną średnicę, co zabezpiecza przed pomyłką przy montażu z górną płytą, w której osadzono tuleje.

Natomiast wspomniane tuleje prowadzące (oznaczenie katalogowe FT), są osadzone w płycie górnej oprawy także pasowaniem mieszanym H5/js4 (co wynika z katalogu FCPK Bytów. Tuleje dobrano jak najdłuższe, co umożliwi lepsze prowadzenie górnej płyty na słupach prowadzących. Ze względu na różną średnicę słupów prowadzących, tuleje także mają różną średnicę otworu. Razem z tulejami jest zamawiany zestaw zaczepów mocujących tuleje do płyty górnej wraz ze śrubami z łbem walcowym i gniazdem sześciokątnym. W płycie górnej są do tych śrub wywiercone odpowiednie gwintowane otwory. Na Rys. 11 przedstawiono planowaną oprawę w rozłożeniu z przypisami części.

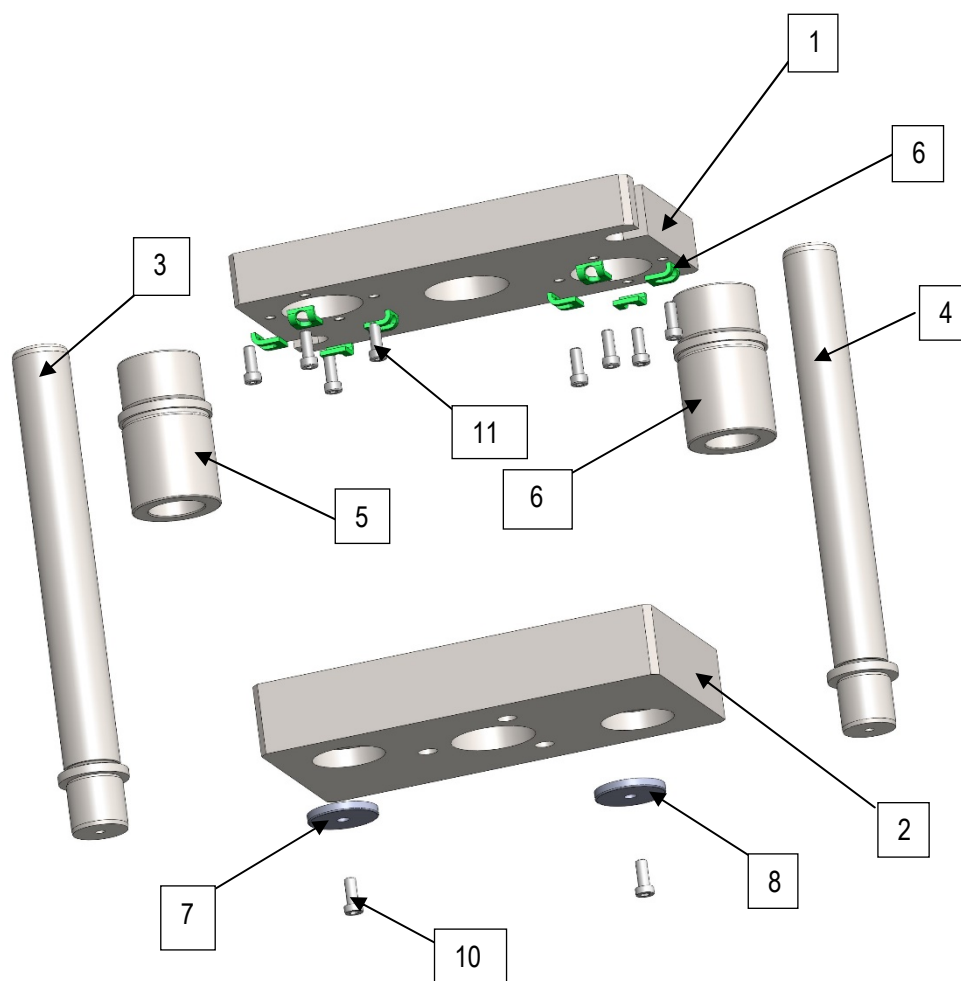
W tabelicy Tab.1 podano zestawienie części, które mogą być użyte do złożenia zamówienia u dostawcy. W ostatniej kolumnie tabelicy Tab.1 podano numerację części, którą użyto do oznaczenia kupionych elementów oprawy na zestawieniu przyrządu WWko#8o5.

Tab. 1. Spis części potrzebnych do zakupu oprawy uniwersalnej do przyrządu WWko – pełne zestawienie zapisano w [WWWko_8o5_FCPK_zakup_oprawy_03.xlsx]

L.p.	Nazwa potrzebnego elementu konstrukcyjnego do oprawy dla przyrządu WWko#8o5	Numer katalogowy zamawianego elementu oprawy wg. FCPK	Potrzebna ilość	Nr cz. wg. zestawienia WWko#8o5
1	Płyta słupowa(dolna)	PT-156x296x51/1.1730	1	21
2	Płyta tulejowa(górna)	PT-156x296x37/1.1730	1	22
3	Słup prowadzący a	FK-38355	1	23a
4	Słup prowadzący b	FK-40355	1	23b
5	FT - Tuleja prowadząca a	FT-38107	1	24a
6	FT - Tuleja prowadząca b	FT-40107	1	24b
7	Zaczep mocujący tuleje	ZMI	8	25
8	Pierścień mocujący słup a	FPM-38	1	26a
9	Pierścień mocujący słup b	FPM-40	1	26b

¹⁹ Praktykę dyplomową 4 tygodniową odbyto w firmie Nerło sp. j. narzędziownia

²⁰ Firma FCPK Bytów (<http://fcpk.pl/>) jest producentem okrągłych elementów znormalizowanych i specjalnych do form i tłoczników (słupy,tuleje,wypychacze,stemple)



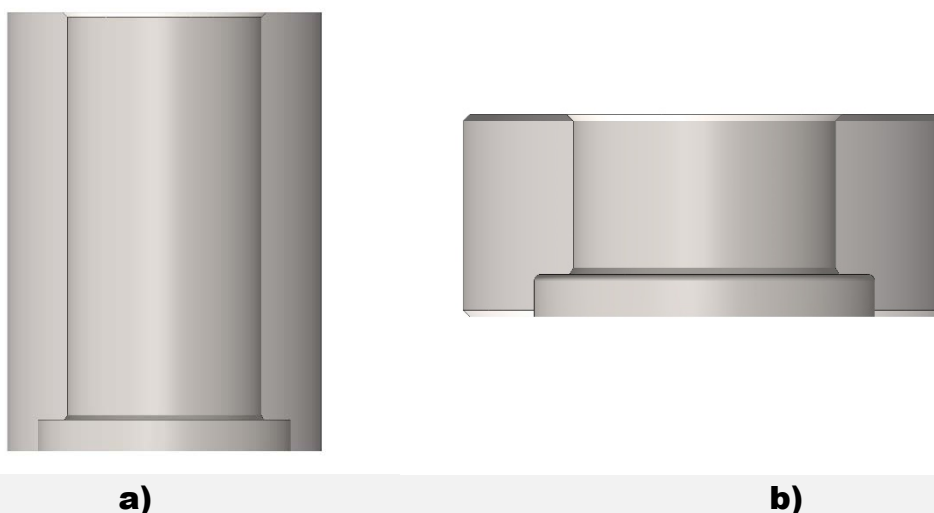
Rys. 11 Oprawa uniwersalna FCPK Bytów: 1 – płyta górna, 2 – płyta dolna, 3 – słup prowadzący a, 4 – słup prowadzący b, 5 – tuleja prowadząca a, 6 – tuleja prowadząca b, 7 – pierścień mocujący a, 8 – pierścień mocujący b, 9 – zaczep mocujący, 10 – śruba z łbem walcowym z gniazdem sześciokątnym M8x20 mocująca słup, 11 – śruba z łbem walcowym z gniazdem sześciokątnym M8x20 mocująca tuleję prowadzącą.

4.2. Projekt elementów specjalnych

Jak widać z tablicy Tab. 1 nie można u dostawcy opraw uniwersalnych zamówić niektórych elementów konstrukcyjnych oprawy, które są potrzebne do planowanego jej zastosowania. Jednym z takich elementów jest wspomniana wcześniej tuleja dystansowa ograniczająca skok. Jest jednak ta tuleja istotnym elementem składowym oprawy uniwersalnej gdyż na niej „zamyka się” - przyrząd WWKn. Dlatego także należy brać ją pod uwagę, jako część składową oprawy. Poprzednik nie zaprojektował jej należycie, dlatego należało tuleję przeprojektować w taki sposób, by spełniała stawiane jej warunki przy pracy przyrządu na planowanej prasie. Prasą tą jest prasa hydrauliczna ZD40, której nacisk maksymalny wynosi 400 kN i taką siłą będą mogły być obciążane zastosowane dwie tuleje dystansowe. Na Rys. 12 przedstawiono model 3D owej tulei w przekroju wzdłużnym. Zamiast jednej tulei planuje się zastosować stos tulei dystansowych, składający się z trzech elementów, mianowicie tulei stałej, uzupełniającej i wymiennej. Na Rys. 12b pokazano propozycję dla pierwszego z trzech elementów dystansowych celem ustalania wielkości skoku, tzn. tulei stałej.

W pierwotnym rozwiązaniu, oprócz kłopotliwego użytkowania, dają się zauważyć również wady konstrukcyjne. Wynikają one ze specyficznej konstrukcji dobranej słupa prowadzącego, który ma kołnierz oddzielający część prowadzącą (współpracującą z tuleją prowadzącą) od mocującej (osadzonej w płycie dolnej oprawy). Przede wszystkim czołowa powierzchnia dolnej części kołnierza, gdzie tuleja styka się z

plytą dolną oprawy, jest zbyt mała, aby mogła przenieść naciski występujące przy zamykaniu przyrządu. Przypomnijmy, że tuleja dystansowa ma służyć do wyznaczenia dolnego położenia stempla przez zamknięcie przyrządu, które może zachodzić pod działaniem znacznej siły. Tuleja dystansowa nie jest elementem narzędziowym, więc powinna być wykonana ze stali zwykłej jakości. Musi jednak wytrzymać przeniesienie pełnego nacisku prasy. Planuje się użycie prasy hydraulicznej ZD40, której nacisk maksymalny wynosi 400kN. Zatem każda z dwóch tulei może być obciążana naciskiem wynoszącym 200 kN. Dlatego konieczne jest powiększenie powierzchni styku z płytą podstawową, na której tuleja jest stawiana. Wdrożono to w drugim wariantcie, czyli już przeprojektowanej tulei, której model 3D pokazano na Rys. 12b. Nie można jednak dowolnie powiększać średnicy, aby nie dopuścić do kolizji z matrycą. Średnica zewnętrzna została dobrana po przeprowadzeniu obliczeń, w których wykorzystano konwencjonalne wzory na obliczenie siły i nacisków działających na dany przedmiot. Przede wszystkim ustalono siłę nacisku działającą na tuleję. Wartość całkowita tej siły jest sumą siły nacisku prasy, powodującej obciążenie przenoszone od płyty górnej oprawy przez tuleję prowadzącą. Trzeba też obliczyć pole najmniejszej powierzchni dolnej tulei dystansującej skok, ponieważ na tej podstawie będzie dobierana średnica danego elementu. Ze wzoru $\sigma = \frac{P}{A}$ obliczono naprężenie (nacisk jednostkowy) działające na powierzchnię styku tulei dystansującej skok z płytą dolną oprawy, celem sprawdzenia zasadności doboru aktualnej średnicy tulei jeszcze przed przeprojektowaniem. Tuleja będzie wykonana ze zwykłej stali niestopowej konstrukcyjnej i maszynowej St5 (... nowe oznaczenie zgodne z PN-EN to E295). Znajac wytrzymałość na naciski tego materiału dokonano sprawdzenia poprzedniej średnicy i wynioskowano, że nie wytrzyma takiego nacisku jednostkowego. Dlatego dobrano odpowiednio większą średnicę, przy której tuleja o kształcie pokazanym na Rys. 12b wytrzyma nacisk przy zamknięciu przyrządu WWko#8o5. Omawiane obliczenia prowadzono w arkuszu kalkulacyjnym²¹.



Rys. 12. Tuleja dystansująca skok: a) przed przeprojektowaniem b) po przeprojektowaniu

Ale można dostrzec inną kwestię. Chodzi o wysokość tulei dystansowej, której wielkość ma zapewnić odpowiednie zamknięcie rozpatrywanego przyrządu. Praktycznym rozwiązaniem jest stosowanie stosu kilku tulei, zamiast jednej tulei. Tak więc stała tuleja z Rys. 12b zostanie uzupełniona środkową – także na stałe nawlekaną na słupy – oraz łatwo wymienną podkładką zakładaną na tuleję te dwie stałe. Aby można było wymieniać podkładkę dystansową łatwo, a więc bez zdejmowania płyty górnej przyrządu ze słupów uzyska ona kształt podkowy. Takich elementów nie znajdziemy w katalogu FCPK Bytów. Konstruując specjalne tuleje/podkładki dystansowe trzeba też pamiętać o zachowaniu różnych średnic otworów wewnętrznych ze względu na odmienne średnice słupów prowadzących. Ponieważ jest to powszechnie stosowany sposób

²¹ Wyniki obliczeń przedstawiono w arkuszu kalkulacyjnym EXCEL pod nazwą [[Obliczenia technologiczne dla rozmiaru 26.xlsx](#)] w zakładce „tuleja dystansująca skok”

wyznaczania dolnego położenia stempla w przyrządach budowanych na bazie słupowych opraw uniwersalnych, dlatego można użyć podkładek dystansowych znajdujących się na wyposażeniu innych przyrządów użytkowanych w pracowni. Na Rys. 13 przedstawiono dwie omawiane wyżej podkładki, które będą służyć do uzupełnienia wysokości brakującej do prawidłowego zamknięcia przyrządu. Na Rys. 13a pokazano podkładkę środkową uzupełniającą, która także będzie nawlekana na słupy podczas montażu przyrządu WWko#8o5. Natomiast na Rys. 13b zaprezentowano podkładkę dystansową wymienną. Ma ona kształt podkowy, dzięki któremu będzie można w łatwy sposób zdejmować ją ze słupa prowadzącego. Aby odzwierciedlić jak najwyraźniej kształt obu omawianych elementów dystansowych, przedstawiono je w sposób pochyły.



Rys. 13. Dwie podkładki dystansowe regulujące wysokość odpowiedniego zamknięcia przyrządu (uzyskanie efektu twardego zderzaka w dolnym punkcie operacji): a) podkładka środkowa uzupełniająca, nawlekana na stałe na słup prowadzący, b) wymienna podkładka dystansowa w kształcie podkowy

5.Przyrząd WWko#26-o?

We wstępie wspomniano, że kształt półwyrobu metalowego, wytwarzanego przez przemysł metalurgiczny, ma najczęściej postać pręta walcowego. Natomiast pręty z materiału UFG wytwarzane przez grupę **UFGbySPD** mają kształt rzadziej występujący w handlu, czyli kwadratowy. Jest to częsty przypadek w procesach technologicznych, że jest konieczna zmiana przekroju poprzecznego pręta z kwadratowego na walcowy. W pracy dyplomowej proponuje się wykorzystać do tego operację wyciskania współbieżnego. Dzięki temu proces zmiany kształtu będzie bezwiórowy, czyli taki, gdzie nastąpi zmiana wymiarów obrabianego przedmiotu bez usuwania nadmiaru materiału w postaci wiórów. W tym celu trzeba zaprojektować odpowiedni zestaw narzędziowy, składający się z matrycy i stempla.

Kluczowym elementem każdego przyrządu do wyciskania jest konstrukcja matrycy, gdyż właśnie w niej będzie przebiegał proces przekształcania odcinka pręta z kwadratowego na walcowy. Przy wyciskaniu występują duże naciski i z tego względu konstrukcja przyrządu nie jest prosta. Właściwości materiału UFG, który będzie poddawany wyciskaniu nie są jeszcze dokładnie znane, co dodatkowo utrudnia zadania obliczeniowe konstruowanej matrycy. Znane są tylko wymiary pręta kwadratowego uzyskane wcześniej w innym procesie technologicznym (**mały rozmiar #8**), czyli wyciskania współbieżnego na prasie hydraulicznej ZD40 oraz planowany wymiar średnicy pręta po operacji wyciskania. Ponieważ nie jest znany konkretny wymiar to dla przypadku masywnych wyprasek (**duży rozmiar #26**) występuje większa swoboda w dobieraniu wymiaru pręta walcowego.

Rozpatrywane zagadnienie doboru średnicy walcowego półwyrobu nie może być jedynie traktowane jako zagadnienie czysto geometryczne. Przy zastosowaniu wyciskania współbieżnego materiału UFG oczekuje się kontynuacji korzystnych zmian w mikrostrukturze, które zostały zapoczątkowane przez ścinanie w operacji ECAP. Zakres tych zmian makrostrukturalnych zależy od zastosowanego odkształcenia przy wyciskaniu. A wytycznych dla doboru wielkości tego odkształcenia na razie nie mamy. Dlatego z konieczności można głównie prowadzić rozważania natury geometrycznej.

W przypadku wyciskania współbieżnego małych wyprasek walcowych chodziło o uzyskanie przygotówki do wykonania nitów z metalu UFG (**mały rozmiar #8**). Dla masywnych wyprasek (**duży rozmiar #26**) można zastosować przy wyciskaniu podobne odkształcenie do tego, które stosowano w przyrządzie

WWko#8o5. Jednakże wartość odkształcenia będzie wtedy duża. Korzystniej będzie prowadzić wyciskanie z mniejszą wartością odkształcenia. Można zatem rozważyć czy nie lepiej będzie uzyskać z wyprasek UFG (**duży rozmiar #26**) półwyrobów walcowych o możliwie największej średnicy. Można również zastosować podejście praktyczne polegające na zaproponowaniu najbliższej średnicy „normalnej”, która da się uzyskać z wypraski (**duży rozmiar #26**) przez wyciskanie, a która występuje w programie dostaw prętów walcowych. Z powyższego wynika, że dobrze by było rozważyć TRZY wartości odkształcenia dla planowanej operacji wyciskania. W Tab. 2 zestawiono obliczenia dla omówionych TRZECH propozycji. Zaproponowano średnicę walcowego półwyrobu, obliczono odkształcenie i długość walcowej wypraski uzyskanej z prostopadłościennego wstępniaka (**duży rozmiar #26**). Dla tych trzech wartości będą dalej prowadzone obliczenia technologiczne celem określenia parametrów planowanego wyciskania współbieżnego.

Celem prowadzenia obliczeń technologicznych jest zebranie danych do opracowania konstrukcji matrycy, tj. w pierwszym rzędzie ustalenia ogólnych wymiarów matrycy. Kształt otworu roboczego matrycy będzie się składał z trzech części. Górnego odcinka o poprzecznym przekroju kwadratowym, do którego będzie wkładany wstępniak o przekroju kwadratowym ok 26 mm. Środkowej strefy, gdzie zachodzi odkształcenie wstępniaka czyli przekształcenie przekroju poprzecznego kwadratowego na kołowy. Ponieważ planujemy wyciskanie posobne, umożliwimy grawitacyjne pozbycie się wypraski wychodzącej z matrycy. Ze względu na znacznie lepsze właściwości mechaniczne metali UFG spodziewamy się sporych nacisków jednostkowych działających na matrycę. Więc jej wkładka robocza powinna być odpowiednio wzmocniona obciskaniem jednego pierścienia. Takie rozwiązanie zostało przedstawione w pracy inżynierskiej poprzednika [4]. Jak będzie wyglądało wzmocnianie matrycy zależy od wyników obliczeń technologicznych dla wartości podanych w tabelicy Tab. 4. Do wyciskania współbieżnego potrzebny jest także stempel. Należy go zaprojektować z uwzględnieniem odpowiedniego luzu względem otworu roboczego matrycy z jakim robocza część stempla powinna wchodzić w otwór wejściowy matrycy

5.1. Obliczenia technologiczne dla rozmiaru #26

Ze względu na nieznaną właściwość materiałów poddawanych planowanej operacji wyciskania współbieżnego, przedstawione obliczenia będą miały charakter obliczeń wstępnych. Należy zauważyć, że sposób podwyższania właściwości mechanicznych metali przez rozdrobnienie ziarna jest znany od prawie 50 lat. Zatem odpowiednie dane materiałowe, umożliwiające podniesienie dokładności przewidywań technologicznych można znaleźć w literaturze. Na tym etapie jednak zrezygnowano z uszczegóławiania danych materiałowych,. Skupiono się natomiast na metodyce obliczeń technologicznych.

W rozdziale tym opisano metodykę obliczeń i przedstawiono zastosowane narzędzia. W celu ułatwienia wielokrotnego powtarzania tych samych obliczeń (teraz będziemy zmieniać tylko wartość średnicy końcowej wyciśniętego pręta) opracowano arkusz kalkulacyjny²². Jest to arkusz roboczy, w którym nie wstawiono opisów używanych w nim zmiennych ani też wskazówek metodycznych. Dlatego poniżej dokładnie opisano tą metodykę i zaprezentowano wyniki uzyskane z użyciem wspomnianego arkusza. Później – tj. po przeanalizowaniu uzyskanych wyników wstępnych i wyciągnięciu wniosków – powrócimy jeszcze raz do tych obliczeń, aby powtórzyć je dla urealnionych właściwości materiału. Właściwości te zostaną ustalone na podstawie studiów literaturowych, których przeprowadzenie odkładamy na później.

5.1.1. Metodyka obliczeń

Tu przedstawiono krok po kroku, jak zostały przeprowadzone obliczenia. Na początku ustalono TRZY wartości średnic pręta wyciskanego współbieżnie. Postąpiono w następujący sposób.

²² Arkusz do obliczeń technologicznych dla przyrządu WWko#26-o? zapisano w [*Obliczenia technologiczne dla rozmiaru #26*]

5.1.1.1 Pierwsza średnica

W pierwszym przypadku dobrano maksymalną możliwą średnicę walca, jaki można uzyskać po wyciskaniu współbieżnym przekroju kwadratowego na kołowy. Biorąc pod uwagę jedynie aspekty geometryczne z kwadratu o boku 26 mm można „przejść” na koło o średnicy 26 mm. Trzeba jednak również sprawdzić, czy taka zmiana wymiaru jest możliwa ze względów technologicznych. Zmiana przekroju poprzecznego ma się odbyć przez wyciskanie współbieżne. Z opisu przebiegu tej operacji, zamieszczonego w [12] na str. 254 wynika, że proces wyciskania poprzedza przepychanie i spęczanie. Szczególnie ważne jest zajście spęczania, dzięki któremu wstępniak wypełni otwór wejściowy matrycy do wyciskania współbieżnego. To wypełnienie gwarantuje, że wstępniak uplastyczni się w całej swojej objętości. Tylko w ten sposób uzyskamy pewność technologiczną, że uzyskamy pełny kołowy przekrój walcowej wypraski. Gdy wypraska uzyska niekołowy przekrój poprzeczny, czyli z błędami kształtu, odbiorca za taki niepełnowartościowy półwyrob nie zapłaci.

Z powyższego wynika, że aby uzyskać pełny kołowy przekrój poprzeczny przy zmianie wymiarów kwadratu na koło powinien być spełniony następujący warunek. Odształcenie dla operacji wyciskania musi być tak dobrane, aby była pewność, że wyciskanie poprzedzi spęczanie. Sprawdzenie opisanego warunku jest łatwe, ponieważ wybrano do realizacji wyciskanie współbieżne. Z opisu siły tej operacji, który zamieszczono w [12] na str. 255 wynika, że maksymalna wartość siły wyciskania występuje w początkowej fazie operacji wyciskania. Wystarczy zatem, aby siła potrzebna do spęczania była mniejsza od siły wymaganej do wyciskania wypraski z określonego materiału.

Obliczenie siły spęczania jest łatwe, gdyż wiadomo, że spęczanie zakończy się z chwilą zetknięcia się powierzchni bocznej wstępniaka ze ściankami matrycy (dokładniej ściankami otworu wejściowego matrycy do wyciskania). Wstępniak jest wkładany do tego otworu wejściowego z luzem. Wystarczy zatem znać wymiary poprzeczne wstępniaka i wymiary poprzeczne otworu wejściowego matrycy, aby obliczyć wartość maksymalnego odształcenia zastępczego przy spęczaniu. Obliczoną siłę spęczania należy następnie przyrównać do siły wyciskania. Z tej równości sił należy obliczyć minimalną wartość odształcenia dla wyciskania współbieżnego. Z kolei na podstawie minimalnej wartości odształcenia można dopiero wnioskować o wartości średnicy walcowej wypraski możliwej do uzyskania w planowanej operacji wyciskania współbieżnego dla pierwszej średnicy, czyli tej o największej wartości.

W celu wyznaczenia prawidłowej średnicy maksymalnej sporządzono wykresy pokazane na Rys. 15. Obliczenia potrzebne do wykonania tych wykresów sporządzono w arkuszu kalkulacyjnym²³. Do wyznaczania przebiegu linii wykresów użyto następujących wzorów:

- 1) Zgodnie z pozycją literaturową [12] na str. 256 wzór na siłę wyciskania przybiera postać:

$$P = \frac{\lambda}{\eta} * A_0 * \sigma_{pk} * \varepsilon$$

Gdzie λ to współczynnik wypełniania wykresu liczony ze wzoru $\lambda = \frac{1}{n+1}$, η jest współczynnikiem sprawności procesu, który dla uproszczenia obliczeń na razie zaniedbamy, a więc przyjmujemy jego wartość równą 1, A_0 jest polem przekroju otworu matrycy, którego wymiary zostały dobrane z odpowiednim luzem, σ_{pk} jest naprężeniem uplastyczniającym, które przy znanych wartościach krzywej umocnienia materiału liczy się ze wzoru

$$\sigma_{pk} = C * \varepsilon^n$$

Natomiast ε jest odształceniem zastępczym, którego będziemy szukać i którego wzór można znaleźć w pozycji literaturowej [10] na str. 22. Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe złożenia, po podstawieniu tych warunków do pierwszego wzoru, ostatecznie przybierze on postać następującą:

²³ Arkusz sporządzono w programie Excel. Wykorzystano plik do obliczeń technologicznych dla przyrządu WWko#26-o? [*Obliczenia technologiczne dla rozmiaru #26...XLS*], w którym dodano odpowiednią zakładkę

$$P = \frac{A_0}{n+1} * C \varepsilon^{n+1}$$

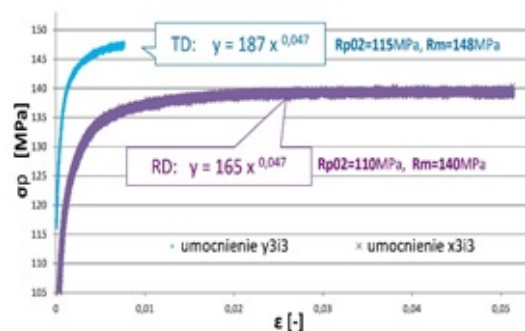
- 2) Wzór na spęczanie, zgodnie z pozycją literaturową [12] na str. 266 jest przedstawiony następująco:

$$P = A * \frac{\sigma_{pk}}{\eta}$$

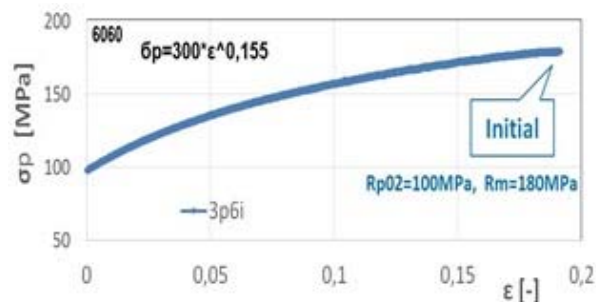
Wzór na naprężenie uplastyczniające σ_{pk} oraz wartość przyjęta współczynnika sprawności procesu η zostało podane już wcześniej przy omawianiu wzoru na wyciskanie. Jednak wartość odkształcenia ε w tym wzorze jest kompletnie inną zależnością, gdyż wartości A oraz A_0 we wzorze na to odkształcenie przyjmują całkiem inne wartości niż dla wyciskania. A jest przekrojem poprzecznym matrycy, natomiast A_0 jest polem przekroju wstępniaka, którego planujemy odkształcać w operacji wyciskania współbieżnego. Wymiary tego wstępniaka po operacji głównej ECAP można znaleźć w pozycji literaturowej [13], czyli w pracy inżynierskiej Pana Gawryszewskiego. Z jego pracy wynika, że po operacji ECAP wypraska ta nie jest idealnym prostopadłościanem.

Wartość odkształcenia przy spęczaniu nie zależy od średnicy wyjściowej matrycy do wyciskania współbieżnego a więc jest stała, dlatego wykres – zbudowany w funkcji odkształcenia zmieniającego się przy wyciskaniu – także będzie reprezentowany przez poziomą linię o stałej wartości na osi rzędnych.

Do przedstawionych powyżej wzorów potrzebne są wartości obliczane z krzywych umocnienia materiałów. Jednak na obecnym etapie nie znamy ich wartości, a planujemy operację wyciskania dla materiałów o ultradrobnyim ziarnie. Ponieważ w tym momencie zajmujemy się tylko doбором największej średnicy jaką możemy uzyskać do wyciskania współbieżnego, to postanowiono wykorzystać krzywe umocnienia dla materiałów konwencjonalnych nie przerobionych w operacji ECAP. Ich wartości krzywych umocnienia znamy. Tak więc postanowiono do tego wykorzystać dwa stopy aluminium: EN AW-6060A (twardy) oraz EN AW-1050A (miękki). Na Rys. 14a przedstawiono wykresy krzywej umocnienia materiału EN AW-1050A (do obliczeń przyjęto krzywą wartości oznaczonej symbolem TD). Natomiast na Rys. 14b przedstawiono krzywą umocnienia dla materiału mocniejszego EN AW-6060A.



a)



b)

Rys. 14. Znane krzywe umocnienia dla materiałów o zwykłej strukturze krystalograficznej: a) wykresy krzywej umocnienia materiału EN AW-1050A (do obliczeń przyjęto krzywą wartości oznaczonej symbolem TD) b) wykres krzywej umocnienia dla materiału mocniejszego EN AW-6060A

Na Rys. 15 Rys. 15a zamieszczono wykres dla wyciskania współbieżnego poprzedzonego spęczaniem uzyskany w przypadku miękkiego materiału. Zaś na Rys. 15b analogiczny wykres dla materiału twardego. Z obu odczytano wartości odkształcenia koniecznego dla prawidłowego przebiegu operacji wyciskania współbieżnego przyjętych materiałów. Korzystając z definicji logarytmu naturalnego wzór na odkształcenie zastępcze będzie można przekształcić do postaci:

$$e^\varepsilon = \frac{A_0}{A_n}$$

Po odstawieniu wzoru na A_n otrzymujemy równanie

$$e^\varepsilon = \frac{A_0 * 4}{\pi * d^2}$$

Po przekształceniu powyższego równania otrzymamy wzór do obliczenia średnicy wypraski w pierwszym przypadku (największa średnica):

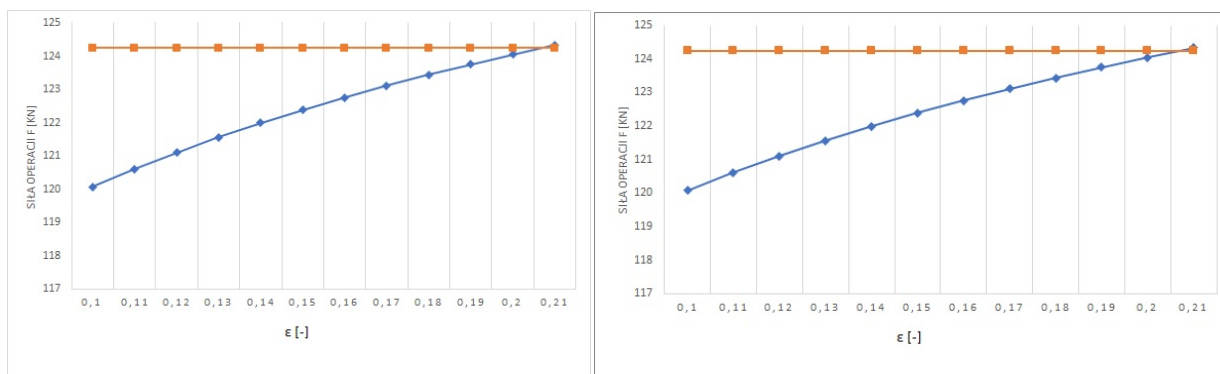
$$d = \sqrt{\frac{A_0 * 4}{\pi * e^\varepsilon}}$$

Mając już wzór na średnicę, przy znanym nam już odkształceniu, wyznaczonym na podstawie wykresów z Rys. 15, dla większego z tych dwóch materiałów obliczono minimalną wartość dla pierwszej średnicy. Wartość tą zaokrąglono do wartości, która występuje w programie walcowania/wyciskania, a więc jest dostępna w handlu. Z wykresu zamieszczonego na Rys. 15b odczytano, że potrzebne odkształcenie do wykonania wypraski o największej średnicy w operacji wyciskania współbieżnego wynosi $\varepsilon = 0,2$ (jego położenie określa punkt przecięcia linii wykresów). Trzeba jednak pamiętać, iż przyjęliśmy do obliczeń tej wartości materiały konwencjonalne, czyli o słabszych właściwościach mechanicznych. W przyszłości zamierzamy poddać operacji wyciskania współbieżnego znacznie twardsze materiały. Mowa tu o materiałach UFG o strukturze utradobnoziarnistej. Tak więc tak małe odkształcenie może trochę martwić, gdyż nie wiemy czy nie jest wystarczające dla tej grupy materiałów. Dlatego na potrzeby dalszych obliczeń przyjęto współczynnik bezpieczeństwa o wartości 2. Wtedy odkształcenie dla największej średnicy będzie wynosić $\varepsilon = 0,4$.

W wyniku analiz przyjęto, że wartość pierwszej średnicy powinna być nie większa niż 25 mm. Wartość tą obliczono po podstawieniu do wzoru (c) następujących wartości: $A_0 = 693$ [mm²] oraz $\varepsilon = 0,4$. Uzyskany wynik 24,33 [mm] zaokrąglono do pełnego [mm], stąd wynika podana wartość 25 [mm].

Obliczenia wysokości wypraski – uzyskanej po wyciskaniu współbieżnym przy przyjętym z analizy wykresów na Rys. 15 odkształceniu zastępczym oraz przyjętej średnicy – wyliczono z prawa równej objętości wstępniaka oraz wypraski. Przyjęte do tego wyliczenia wyprowadzenie wzoru wygląda następująco:

$$\begin{aligned} V_0 &= V_n \\ V_0 &= A_n * h_n \\ h_n &= \frac{V_0}{A_n} \end{aligned}$$



a)

b)

Rys. 15. Wykresy pomocnicze do wyznaczenia pierwszej (tej o największej wartości) średnicy wypraski wyciskanej w przyrządzie WWko#26-o?: a) dla materiału słabszego EN AW-1050A b) dla materiału mocniejszego EN AW-6060A

Po podstawieniu do wyprowadzonego wzoru wartości $V_0 = 693 \text{ [mm}^3\text{]}$ i $A_n = 491 \text{ [mm}^2\text{]}$ uzyskujemy $h_n = 56 \text{ [mm]}$. Zatem przewidywana wypraska o największej średnicy będzie po wyciskaniu współbieżnym miała nominalne wymiary $\varnothing 25 \times 56 \text{ [mm]}$.

5.1.1.2. Druga średnica

Od producenta wyrobów hutniczych (na potrzeby tej pracy dyplomowej prętów walcowych)²⁴ pobrano informację o możliwości kupna prętów walcowych. Zgodnie z wcześniej wspomnianą rekomendacją średnic (maksymalna, średnia i możliwie najmniejsza) wynikających z odkształcenia zastosowanego w przyrządzie WWko#8o5 do rozpatrzenia dla wykonania planowanej operacji przyjęto zbiór średnic: $d_n = (d_1, d_2, d_3)$. Wcześniej przyjęto, że $d_1 = 25 \text{ mm}$. Teraz zajmiemy się średnicą d_2 . Poniżej opisano metodykę postępowania, a wynik zostanie podany w podsumowaniu po przyjęciu średnicy najmniejszej, czyli d_3 .

- 1) Na początku obliczono pole przekroju kwadratowego wstępniaka A_0 o boku a oraz objętość wstępniaka V przy podanej planowanej wysokości przedmiotu h_0 oraz boku kwadratu a stosując następujące wzory:

$$A_0 = a^2$$

$$V = A_0 \cdot h_0$$

- 2) Następnie obliczono pole przekroju kołowego A_n wypraski dla każdego z trzech analizowanych przypadków d_n , gdzie $n=1, 2$ i 3 , korzystając ze wzoru:

$$A_n = \pi \frac{d_n^2}{4}$$

- 3) Dla każdego przypadku n obliczono odkształcenie korzystając z poniższego wzoru (który można znaleźć w pozycji literaturowej [10] na str. 22):

$$\varepsilon_n = \ln \left(\frac{A_0}{A_n} \right)$$

- 4) Z zależności na równą objętość wstępniaka V_0 (co wynika z prawa równej objętości) i każdej z TRZECH wyprasek V_n obliczono wysokość h_n powstałej wypraski dla każdego z TRZECH analizowanych przypadków:

$$V_0 = V_n$$

$$V_0 = A_n \cdot h_n$$

$$h_n = \frac{V_0}{A_n}$$

5.1.1.3. Trzecia średnica

W trzecim przypadku rozpatrujemy wariant, gdzie znamy odkształcenie zastępcze, które jest zbliżone do odkształcenia w przypadku WWko#8o5, ale nie znamy średnicy d_3 . Można ją jednak obliczyć wychodząc ze wzoru na odkształcenie zastępcze podanego już w podpunkcie 3) w opisie drugiej średnicy d_2 . Korzystając z definicji logarytmu naturalnego wzór na odkształcenie zastępcze będzie można przekształcić do postaci:

$$e^\varepsilon = \frac{A_0}{A_n}$$

Po odstawieniu wzoru na A_n otrzymujemy równanie

²⁴ Firma Konsorcjum stali S.A. zajmuje się produkcją zbrojeń budowlanych i konstrukcji oraz handlu wyrobami hutniczymi [http://www.konsorcjumstali.com.pl/kategorie/prety_okragle_gladkie]

$$e^\varepsilon = \frac{A_0 * 4}{\pi * d^2}$$

Po przekształceniu powyższego równania otrzymamy wzór do obliczenia średnicy d_3 wypraski w trzecim przypadku:

$$d = \sqrt{\frac{A_0 * 4}{\pi * e^\varepsilon}}$$

5.1.2. Wyniki obliczeń

Obliczenia technologiczne prowadzono w przygotowanym arkuszu kalkulacyjnym, sporządzonym w programie Excel²⁵. Wyniki uzyskanych obliczeń zamieszczono w tablicy Tab. 2, która jest zrzutem ze wspomnianego arkusza kalkulacyjnego. Jak widać w arkuszu zastosowano uproszczone oznaczenia wielkości geometrycznych i odkształceń. Dlatego wymagane jest dodatkowe wytłumaczenie. Tak więc a jest bokiem przekroju kwadratowego wstępniaka użytego do wyciskania współbieżnego, a h_0 jest planowaną jego wysokością h_0 . Wartości d_1 , d_2 , d_3 są zaproponowanymi TRZEMA średnicami wypraski d_1 , d_2 i d_3 , które w postaci pręta walcowego mamy uzyskać po wyciskaniu. Dla tych trzech wartości obliczono kolejno odkształcenie zastępcze ε_1 , ε_2 , i ε_3 (w tablicy Tab.2 reprezentują je ε_1 , ε_2 , ε_3) oraz uzyskaną wysokość wypraski po operacji wyciskania h_1 , h_2 , h_3 (w tablicy Tab.2 reprezentują je h_1 , h_2 , h_3). Odkształcenie liczy się ze wzoru podanego w pozycji literaturowej [10] na str.22 (patrz wcześniejsze wyprowadzenia wzorów). Ponieważ wyciskanie to operacja obróbki plastycznej, a więc nie występuje ubytek materiału, i odnosi się do nieściśliwego metalu co za tym idzie, objętości planowanego wstępniaka oraz wypraski będą sobie równe. Tak więc z tej zależności jest obliczana wysokość dla każdego przypadku podanego w tablicy Tab. 2

Tab. 2. Wyniki obliczeń odkształcenia oraz wysokości dla trzech przypadków średnic (maksymalna, handlowa i wynikająca z odkształcenia zastosowanego w przyrządzie WWko#8o5) prętów walcowych do rozpatrzenia do

Obliczenia technologiczne dla rozmiaru #26					
h0	40				
A0	693				
V	27720				
średnica max		średnica handlowa		średnica dla ε w WWko#8o5	
d1	25	d2	20	d3	16
A1	490,625	A2	314	A3	200,96
A0/A1	1,412484	A0/A2	2,207006	A0/A3	3,448447452
ε_1	0,4	ε_2	0,791637	ε_3	1,16
h1	56,49936	h2	88,28025	h3	137,9378981

dalszej części obliczeń technologicznych

²⁵ Arkusz do obliczeń technologicznych dla przyrządu WWko#26-o? zapisano w [*Obliczenia technologiczne dla rozmiaru #26*]

Celem analizy uzyskanych wyników zebrano je w uporządkowany sposób w tablicy Tab. 3. Zwróćmy uwagę, że oceniając wartość odkształcenia zastępczego dla wyciskania współbieżnego materiałów 1050 UFG i 6061 UFG podano wartości, które przyjęto na podstawie. Przy obliczaniu siły wyciskania należy podać smukłość wstępniaka (stosunek wysokości początkowej do średnicy). Ponieważ wstępniak nie jest walcowy postanowiono wprowadzić średnicę zastępczą²⁶, która dla wstępniaka pochodzącego z procesu ECAP dla przypadku masywnych wyprasek (**duży rozmiar #26**) wynosi .29 mm.... Mamy zatem $h_0/d_0 = 1,36$ ²⁷. Wartość stosunku h_0/d_0 będzie potrzebna do odczytania współczynnika sprawności w procesie wyciskania współbieżnego. Wartości tego współczynnika dla określonego h_0/d_0 oraz określonej wartości odkształcenia są uporządkowane w tabeli nr 5.3 przedstawionej w pozycji literaturowej [12] na str. 256.

Tab. 3. Porównanie odkształceń dopuszczalnych dwóch wybranych materiałów z każdym z trzech rozpatrywanych przypadków wyciskania współbieżnego prostopadłościanu #26 na walec o różnych średnicach d_1 , d_2 i d_3

Analizowana średnica wypraski [mm]			Niezbędne odkształcenie	Odształcenie dopuszczalne dla 1050 UFG	Odształcenie dopuszczalne dla 6061 UFG
d_1	Średnica maksymalna	25	$\varepsilon_1 = 0,4$	$\varepsilon = 1,15$	$\varepsilon = 1,2$
d_2	Średnica handlowa	20	$\varepsilon_2 = 0,7$	$\varepsilon = 1,15$	$\varepsilon = 1,2$
d_3	Średnica dla ε w WWko#8o5	16	$\varepsilon_3 = 1,16$	$\varepsilon = 1,15$	$\varepsilon = 1,2$

Czas przeprowadzić obliczenia technologiczne dla rozmiaru #26. Do tej pory przeprowadzane były obliczenia o charakterze geometrycznym, gdyż właściwości materiałów nie są znane, a do określenia całego procesu technologicznego, czyli wyliczenia siły procesu oraz nacisków jest to niezbędne, ponieważ celem niniejszej pracy dyplomowej jest zaprojektowanie narzędzi do wyciskania współbieżnego. Dlatego w tym celu postanowiono zestawić ze sobą dwa materiały, które w przyszłości mogą być poddane temu procesowi. Informację dotyczące wartości odkształcenia oraz właściwości dla typowych stopów do wyciskania współbieżnego są znane i ogólnie dostępne w pozycjach literaturowych. Natomiast dla tej pracy dyplomowej wybrano stopy o mikrostrukturze ultradrobnoziarną. Informacje na temat ich struktury oraz właściwości nie są łatwo dostępne, ponieważ prace cały czas jeszcze trwają. W dodatku nie jest znana krzywa umocnienia dla tych materiałów, ponieważ nikt jej nie wyznacza dla tych materiałów. Jednak z podanych wzorów w pozycji literaturowej [10] można ją spokojnie wyznaczyć. Mając te dane, można je wykorzystać do obliczenia nacisków jednostkowych działających wewnątrz matrycy oraz siły procesu. Z pozycji literaturowej [11] ze str. 24 można jednak wywnioskować że brakuje nam do obliczenia tych wartości pewnych danych, mianowicie współczynnik wypełnienia wykresu λ , wartości odkształcenia równoważnego w operacji wyciskania ε_w , oraz współczynników towarzyszących wyciskaniu współbieżnemu k_1 i k_3 . Wzory na te wartości można znaleźć we wspomnianej książce, z czego wartość współczynnika k_3 jest dobierana z tabeli w danej pozycji literaturowej na podstawie znanego współczynnika tarcia μ oraz obliczonego wcześniej stosunku wysokości do średnicy przyjętego wstępniaka h_0/d_0 . Przy obliczonych naciskach jednostkowych siłę procesu wyznaczamy w następujący i prosty sposób $P = \rho * A_0$. Tak więc wystarczą informacje o właściwościach mechanicznych tych dwóch materiałów, które można uzyskać z artykułów naukowych. Obliczenia zostaną przeprowadzone dla trzech przypadków średnic celem ustalenia, która z nich będzie średnicą wypraski uzyskanej w danym procesie wyciskania, które zamieszczono w [Obliczenia technologiczne dla rozmiaru 26.xlsx]. To nam pozwoli w dalszej części pracy przeprowadzić proces

²⁶ Obliczając wartość średnicy zastępczej zastosowano warunek stałości przekroju poprzecznego dla pręta kwadratowego rozmiar #26 i walcowego o poszukiwanej średnicy zastępczej, która wynosi ok. 676 mm²

²⁷ Obliczając wartość stosunku h_0/d_0 zastosowano warunek stałości objętości wstępniaka prostopadłościennego rozmiar #26 i walcowego o przyjętej średnicy zastępczej, która wynosi ok. 264074 mm³

technologiczny dla konkretnej już wartości średnicy wypraski i dla konkretnego odkształcenia, a co za tym idzie zaprojektowania narzędzi do procesu, czyli wspomnianej już matrycy i stempla.

5.1.3. Zestawienie wyników

Dwa wybrane materiały to stopy Aluminium 1050-UFG oraz 6061-UFG. Jak wynika z Tab. 3. Porównanie odkształceń dopuszczalnych dwóch wybranych materiałów z każdym z trzech rozpatrywanych przypadków) w przypadku pierwszego materiału da się wykonać proces technologiczny w dwóch rozpatrywanych średnicach natomiast w trzecim wariancie już z trudnościami, ponieważ odkształcenie dopuszczalne dla tego materiału jest niższe niż wymagane dla obróbki ostatniej średnicy. Jeśli chodzi o drugi materiał to wszystkie proponowane średnice można uzyskać przeprowadzając zamierzone wyciskanie. Same te informacje nie wystarczą. Potrzebne jest sprawdzenie parametrów dla wszystkich trzech propozycji średnic. Te zbiorcze dane zostały zamieszczone w Tab. 4.

Obliczając naciski jednostkowe przyjęto następujące wartości naprężenia uplastyczniającego σ_{pk} odpowiednio dla 1050-UFG $\sigma_{pk} = 189$ MPa i 6061-UFG $\sigma_{pk} = 426$ MPa. Wartości te zostały obliczone zgodnie ze wzorem podanym metodyce obliczeń w przypadku pierwszej średnicy. Wykorzystano opis właściwości plastycznych w funkcji odkształcenia równaniem postaci $\sigma_{pk} = C * \epsilon^n$. Wartości uzyskano prowadząc obliczenia dla dwóch materiałów w sporządzonym specjalnie w tym celu arkuszu kalkulacyjnym²⁸.

Tab. 4. Zestawienie wyników parametrów procesu technologicznego wyciskania współbieżnego dla wszystkich trzech przypadków średnic d_1 , d_2 i d_3 oraz dla dwóch rozpatrywanych materiałów

Parametry wyciskania współbieżnego		Rozważane przypadki wyciskania dwóch materiałów					
		Największa średnica $d_1 = 25$ [mm]		Średnica handlowa $d_2 = 20$ [mm]		Średnica odpowiadająca odkształceniu w WWko#8o5 $d_3 = 16$ [mm]	
		1050 - UFG	6061-UFG	1050-UFG	6061-UFG	1050-UFG	6061-UFG
Odształcenie zastępcze	ϵ [-]	0,4		0,7		1,16	
Odształcenie względne	ϵ [%]	21,6		53,5		70,3	
Naciski na stempel	p_s [MPa]	122	273	260	582	401	901
Naciski na matrycę	p_m [MPa]	122	273	260	582	401	901
Siła stempla	F [kN]	82	185	176	394	271	609

Jednak oprócz parametrów siłowych trzeba brać pod uwagę również wielkości geometryczne, np. wysokość uzyskanych wyprasek. Na prasie hydraulicznej ZD40 stanowi to pewne ograniczenie, gdyż stół tej prasy nie ma otworu umożliwiającego odprowadzanie wyprasek. W dodatku siła wyciskania dla 6061- UFG jest zdecydowanie za wysoka w stosunku do maksymalnej siły, którą można uzyskać na prasie ZD40 (siła nominalna wynosi tylko 400 kN). Można wyciskanie przeprowadzić w przypadku materiału 1050 – UFG gdyż da się przy wyliczonej sile wykonać operację, ale w przyszłości dążymy do tego by przeprowadzać wyciskanie dla dużej gamy materiałów, ponieważ zależy nam na jak najlepszych właściwościach mechanicznych przyszłych wyrobów. Dlatego przypadek ze średnicą d_3 tj. dla odkształcenia zbliżonego do

²⁸ Wyniki zapisano w pliku [Obliczenia technologiczne dla rozmiaru 26.xlsx]

odkształcenia dla WWko#8o5, porzucamy. W przypadku pierwszej średnicy $d_1 = 25$ mm, czyli maksymalnej jaką możemy uzyskać dla wstępniaka kwadratowego #26, da się przeprowadzić wyciskanie obu materiałów, gdyż przynajmniej siła procesu w obu tych przypadkach na to pozwala.

Ze względów ekonomicznych korzystniej jest przeprowadzić wyciskanie dla rozważanej średnicy handlowej $d_2 = 20$ [mm]. Jak wynika z wyników obliczeń zestawionych w Tab. 4 siła operacji dla mocniejszego materiału czyli 6061-UFG jest wystarczająca dla prasy hydraulicznej ZD40. Tak więc dalej będziemy się zajmować tylko tą średnicą. Porównując dwa wcześniej podane materiały do rozważania oraz idąc tropem powyższych rozważań, będzie nas najbardziej interesował ten drugi, gdyż występuje w nim większa siła procesu, w porównaniu do pierwszego, co wynika z Tab. 4, gdzie zestawiono parametry technologiczne dla tych dwóch materiałów.

Ogólne dane wytrzymałościowe tego materiału 6061-UFG są przedstawione poniżej:

$R_m = 460$ MPa

$R_{p0,2} = 380$ MPa

$A = 8$ %

$Z = 40$ %

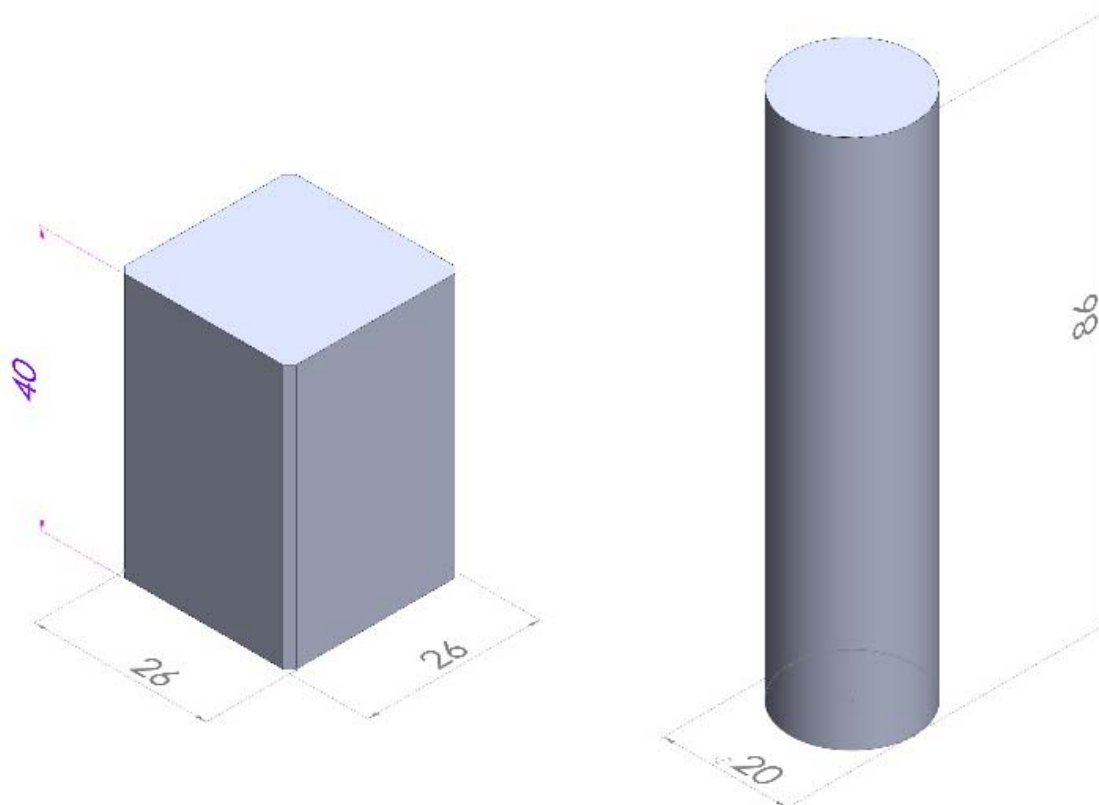
6. Ogólne założenia dla przyrządu WWko#26o20

Celem niniejszej pracy dyplomowej jest skonstruowanie stempla oraz matrycy do wyciskania współbieżnego przelotowego. W tym celu trzeba ustalić warunki początkowe co do samej matrycy, ponieważ w przypadku stempla będziemy tylko dopasowywać jego kształt do otworu roboczego matrycy. Przede wszystkim pierwotnym założeniem do konstrukcji matrycy jest zmiana przekroju wstępniaka z kwadratowego 26 mm na kołowy 20 mm. Na Rys. 16 przedstawiono planowane wymiary przedmiotów, które będą poddawane obróbce plastycznej o operacji wyciskania współbieżnego przelotowego. Na Rys. 16a przedstawiono wstępniak o przekroju kwadratowym 26mm i planowaną wysokością 40mm (wysokość ta została dobrana po przeanalizowaniu warunku $h_1 \geq 0,5 \cdot d_0$ przy projektowaniu elementu wyciskanego. Wysokość h_1 jest tu oczywiście wysokością wstępniaka nieprzetworzonego wypraski zalegającej, która w naszym przypadku ma być większa bądź równa 19 mm. Biorąc to pod uwagę, aby była mowa o wyciskaniu, należy przyjąć znacznie większą wysokość. Lecz nie można przesadzić, gdyż wysokość wypraski powstałej po wyciskaniu też nie może być zbyt duża. Zatem przyjęto do obliczeń nominalną wysokość wstępniaka 40 mm), który będzie wkładany do odpowiednio ukształtowanego otworu matrycy. Natomiast na Rys. 16b przedstawiono nominalne wymiary walcowej wypraski uzyskanej w omawianej operacji wyciskania, mianowicie o przekroju kołowym 20mm oraz wyliczoną wcześniej wysokością.

6.1. Założenia do konstrukcji matrycy

Do określenia długości otworu wejściowego matrycy potrzebujemy ogólnych założeń co do konstrukcji wyciskanego przedmiotu. W przypadku zmiany przekroju z kwadratu na koło, dochodzi ustalenie kąta pochylenia tworzącej na powierzchni, na której zachodzi zmiana przekroju prostopadłościennego wstępniaka przechodzącego w walcową wypraskę. Trzeba też ustalić wysokość wstępniaka nieprzekształconego w wypraskę walcową, która pozostanie w części kontenerowej matrycy po wykonaniu skoku roboczego. Takie założenia można znaleźć w pozycji literaturowej [12]. Wspomniano na wstępie o potrzebie obciskania wkładki roboczej pierścieniem, ponieważ spodziewano się sporych nacisków działających na matrycę i stempel. Jednak jak wynika z Tab. 4. wykonywanie matrycy dwupierścieniowej nie jest konieczne, ponieważ naciski wywierane na stempel i matrycę nie są aż tak duże, jak zakładano wcześniej. Dlatego można by zastosować matrycę jednolitą. Ale ze względu na oczekiwane wykorzystywanie przyrządu do wyciskania bardziej wymagających materiałów zdecydowano się na wzmocnienie jednym pierścieniem obciskającym. Na Rys. 17 przedstawiono właściwy schemat operacji wyciskania współbieżnego przelotowego. Sporządzono, go przy założeniu użycia stempla i matrycy do

wyciskania przedmiotów o wymiarach scharakteryzowanych na Rys. 16. Zaplanowano stempel i matryce, o których będzie mowa w dalszej części niniejszej pracy dyplomowej.



a)

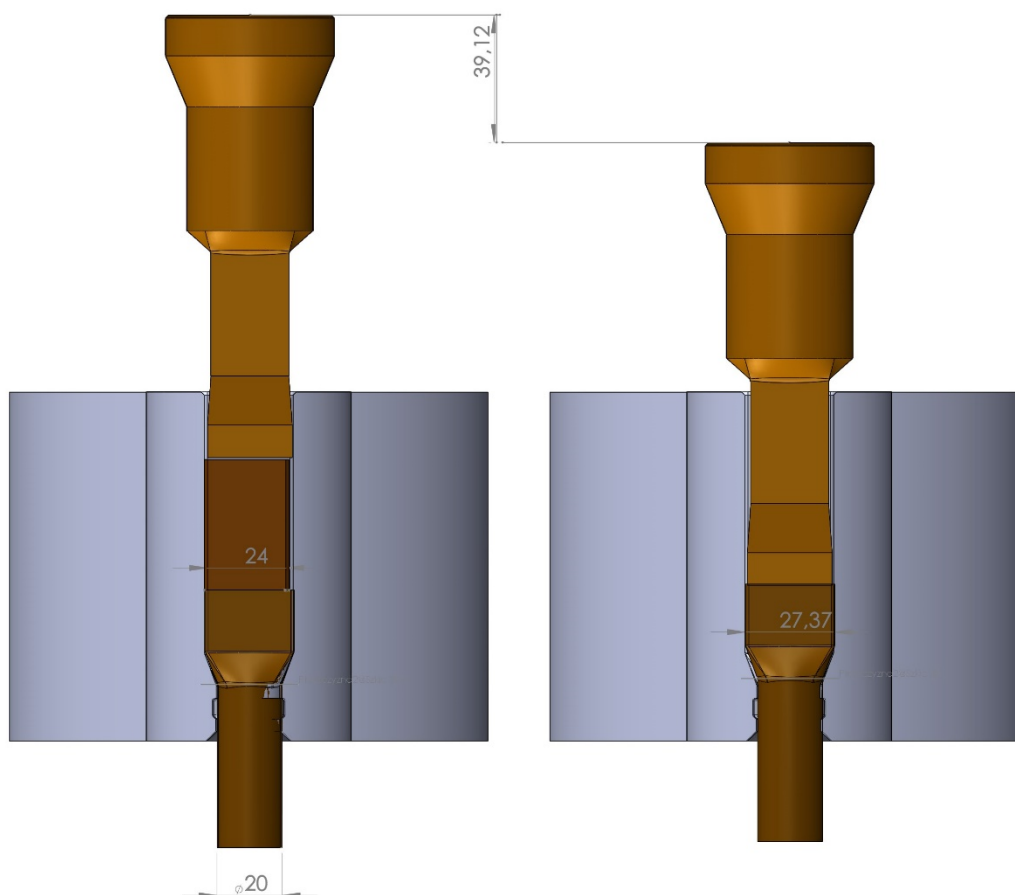
b)

Rys. 16. Przedmioty kształtowane w przyrządzie WWko#26-o20: a) planowany prostopadłościenny wstępniak, b) walcowa wypraska po wyciskaniu

Zatem ogólne założenia co do konstrukcji matrycy dla przyrządu WWko#26-o20 są następujące:

- 1) Naciski jednostkowe działające na matrycę wynoszą $p=1000$ MPa. Wynika to z obliczeń przedstawionych w Tab. 4. i uwzględnieniu współczynnika pewności 1,6 (przyjmuje się go, ponieważ w rozpatrywanym przypadku otwór roboczy matrycy jest kwadratowy, a nie kołowy)
- 2) Znane są wymiary otworu roboczego matrycy, który ma kształt kwadratu o wymiarze $a_0 = 27,37$ mm (przyjęto taką wartość przy uwzględnieniu odpowiedniego luzu, aby planowany wstępniak mógł wejść swobodnie w otwór matrycy. Trzeba też brać pod uwagę fakt, że wstępniak nie ma przekroju kwadratowego, lecz raczej prostokątny, co wynika z pozycji literaturowej [13]). Dla ustalenia ogólnych warunków przyjęto średnicę zastępczą otworu $d_0 = 29$ mm. Na podstawie założonych w punkcie (1) nacisków jednostkowych oraz zaleceń do konstrukcji matryc wg. pozycji literaturowej [11] przy przyjętej średnicy roboczej, ogólne rozmiary matrycy będą następujące: średnica zewnętrzna $D=(4 : 5) d_0$ oraz średnica podziału zespołu matrycy wzmacniającej $d_1=0,9 \sqrt{D * d_0}$. Dzięki temu można sprawdzić czy wyliczone rozmiary matrycy, na podstawie podanych wzorów, zmieszczą się w oprawie uniwersalnej przyszłego przyrządu (jeżeli taka oprawa jest już zaplanowana).
- 3) Z tych samych powodów czyli małej wartości nacisków wewnętrznych można rozważyć wykonanie odpowiednio wysokiej części kontenerowej, aby pomieściła jak najwyższy wstępniak. W najbardziej ekonomicznie korzystnym przypadku wysokość otworu kontenerowego powinna pomieścić całą wysokość wypraski, którą uzyskuje się w procesie technologicznym ECAP. Wypraska po zakończeniu procesu technologicznego ECAP jest prostopadłościannem o podstawie kwadratu

25,5×25,5 [mm] i długości ok. 120 mm. Po obcięciu nierównych końcówek zazwyczaj wysokość sięga ok. 90 mm. Przy tej wysokości krotność wynosi $90 / 25,5 = 3,5$. Jest to wartość, która umożliwia prowadzenie wyciskania współbieżnego. Według [11] powinno być $h_0/d_0 < 10$. Decyzja końcowa o całkowitej wysokości matrycy zostanie podjęta po przeanalizowaniu dostępnego miejsca na osadzenie przyrządu w przestrzeni prasy. Należy pamiętać, że im wyższy wstępniak tym dłuższa będzie wypraska.



Rys. 17. Schemat technologiczny operacji wyciskania współbieżnego przyszlęgo przyrządu WWko#26o20

- 4) Szczególnie duże obciążenia przenosi górna część matrycy. To właśnie tu matryca doznaje znacznie większych odkształceń sprężystych niż część dolna, co prowadzi do powstania dużych naprężeń między nimi. To może prowadzić do zmęczeniowego pęknięcia matrycy. By temu zaradzić stosuje się poziomy podział matrycy, oddzielający część kontenerową od roboczej. Taki sposób podziału umożliwi łączenie jednej części kontenerowej z wieloma częściami roboczymi, których otwory wyjściowe byłyby dostosowane do potrzeb odbiorcy, oczekującego różnych średnic walcowych prętów. Chociaż jest to atrakcyjny sposób wykonania użytecznej matrycy to jednak poprzestaniemy na wykonaniu jednolitej wkładki matrycowej, która będzie wzmocniana dodatkowym, ale tylko jednym pierścieniem.
- 5) Wkładka matrycowa wykonana będzie z narzędziowej stali stopowej, w której po zahartowaniu jej twardość wyniesie 60 HRC, a granica plastyczności tej stali wyniesie $R_e = 2000$ MPa. Przy wyliczonych wcześniej naciskach to w zupełności wystarczy.
- 6) W matrycy będą występować naprężenia promieniowe oraz obwodowe. W przypadku dużych nacisków działających na matrycę, najbardziej narażona jest jej górna część i może to prowadzić do zmęczeniowego pęknięcia materiału matrycy. Dlatego stosuje się wzmocnienie matrycy dodatkowym

- pierścieniem, by nie dopuścić do występowania tych naprężeń. Nie można do nich dopuścić także przez niekołowość otworu roboczego matrycy.
- 7) Według zaleceń [11] kąt środkowy 2α części roboczej matrycy do wyciskania stopów aluminium i miedzi nie powinien być większy niż 160° . Uważa się, że dla zakresu odkształceń $\varepsilon = 0,7 \div 1,4$ $2\alpha_{\text{opt}} = \sim 70^\circ$. Trzeba jednak pamiętać, że mały kąt 2α skutkuje podwyższeniem oporów tarcia i nacisków jednostkowych – patrz następne założenie (8). Zwróćmy uwagę, że zaprojektowanie odpowiedniego przejścia między prostopadłościennym otworem części kontenerowej a walcowym otworem wyjściowym nie będzie łatwe, gdyż powierzchnia łącząca te dwa otwory nie jest osiowosymetryczną powierzchnią stożkową. Wręcz przeciwnie będzie to powierzchnia asymetryczna. Dlatego proponuje się skrócenie wysokości tej części otworu roboczego przez zastosowanie dość dużego kąta środkowego 2α w granicach $120 - 150^\circ$.
 - 8) Z zaleceń podanych w pozycji literaturowej [14], gdzie zastosowano przykład matrycy z częścią kształtującą z odciążeniem, w celu obniżenia tarcia i nacisków jednostkowych przenoszonych przez narzędzia wysokość pierścienia kalibrującego przyjmuje się w granicach 3 do 7 mm w zależności od średnicy pierścienia ($L_k = 0,2 D_k$)
 - 9) W odcinku wyjściowym otworu roboczego jest planowane zastosowanie „odciążenia”, tzn. lokalnego powiększenia przekroju poprzecznego, które umożliwi chwilowe całkowite sprężynowanie materiału wypraski zaraz po wyjściu z części „stożkowej”. Średnica podtoczenia d_1 powinna być tylko nieznacznie większa od średnicy planowanej wypraski d o tolerancję wykonania wyrobu. Najczęściej przyjmuje się wartość zgodnie z pozycją literaturową [11] $d_1 = d + (0,05 \div 0,20)$. Wykonanie takiego podtoczenia zapobiegnie krzywieniu się wypraski. Taką średnicę podtoczenia będzie miała matryca, którą należy zaprojektować w ramach niniejszej pracy dyplomowej.
 - 10) Pierścień roboczy (tj. wkładka matrycowa) zespołu matrycy będzie jednolity. Pozwala na to następujący warunek $A_0/A \leq 3$ przedstawiony w pozycji literaturowej [11] oraz względ na nietypowy kształt części kontenerowej matrycy. Pamiętajmy, że otwór wejściowy matrycy ma przekrój poprzeczny kwadratowy, a wyjście jest kołowe.

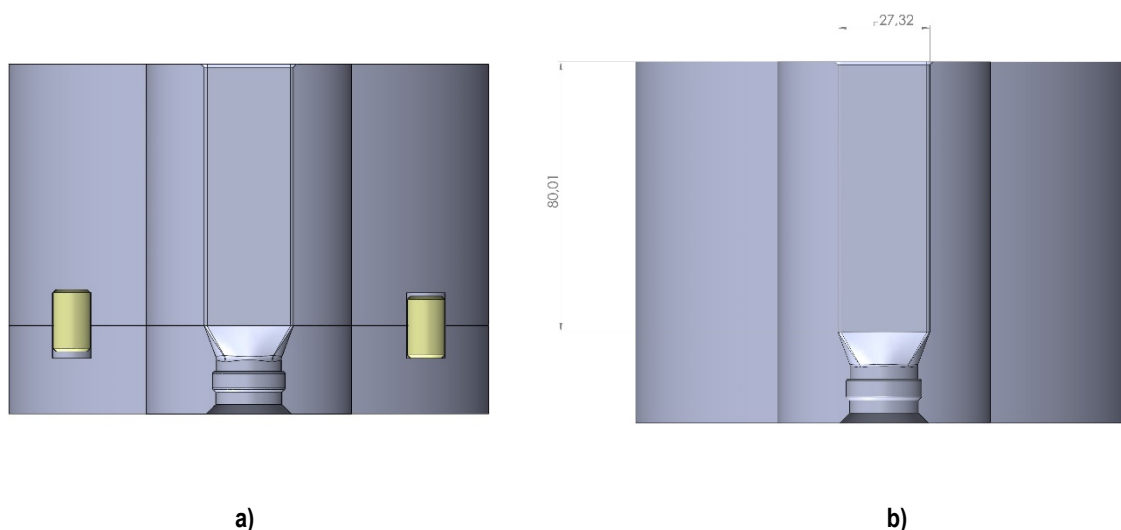
6.2. Propozycja konstrukcji matrycy

6.2.1. Zespół matrycy

Biorąc pod uwagę powyższe założenia co do konstrukcji matrycy do przyrządu WWko#26o20 zdecydowano się jednak na przedstawienie dwóch rozwiązań konstrukcyjnych. Matrycę można wykonać na dwa sposoby: dzieląc matrycę poprzecznie (poziomo) w miejscu pomiędzy częścią górną (kontenerową) a kształtującą (roboczą). Dzięki temu część górna, czyli kontenerowa matrycy oraz część robocza (kształtująca i dolna jednocześnie), będą wzmacniane przez obciskanie oddzielnym, własnym pierścieniem. Drugie rozwiązanie to pozostawić pierścień roboczy matrycy (wkładkę matrycową) jednolity. Wtedy część górna (kontenerowa), kształtująca (robocza) oraz dolna (wyjściowa) matrycy będą w obrębie jednej całości i będą wzmacniana jednym wspólnym pierścieniem obciskającym. Na Rys. 18 przedstawiono oba wymienione rozwiązania. Na Rys. 18a przedstawiono pierwsze z rozwiązań, czyli matrycę dzieloną poprzecznie. Natomiast na Rys. 18b pokazano rozwiązanie, przy którym zakłada się projekt wkładki matrycowej jednolitej obciskanej jednym pierścieniem.

Pierwszy przypadek wydaje się być korzystnym dla konstrukcji wspomnianej części przyrządu z następujących powodów. Wykonanie dwóch osobnych części matrycy jest łatwiejsze przy wykorzystaniu do każdej innej obróbki, co może powodować, że takie wykonanie będzie również tańsze. Pierwsza część wyjściowa to część kontenerowa matrycy, tam gdzie będzie wkładany wstępniak, z przelotowym otworem o przekroju kwadratowym. Teoretycznie taki otwór można wykonać techniką wycinania elektroerozyjnego

WEDM, w którym to przeciąga się elektrodę o niewielkiej średnicy (4 krotnie grubsza od grubości ludzkiego włosa) w wywiercony otwór mniejszy od boku kwadratu w detalu i drażnić elektroerozyjnie do uzyskania odpowiedniego kwadratowego kształtu. Trzeba jednak pamiętać, że wspomniany otwór kwadratowy ma służyć do prowadzenia stempla, którego ze względów na pewne warunki musi być odpowiedni długo. Przede wszystkim trzeba brać pod uwagę wymiary wstępniaka podawanego operacji wyciskania współbieżnego, a w szczególności jego wysokość, która ze względów na oczekiwaną znacznie wyższą wysokość wypraski względem wstępniaka, musi być odpowiednio duża. Bierze się też pod uwagę wspomniane już w rozdziale 6. Ogólne założenia dla przyrządu WWko#26o20 oraz w pozycji literaturowej [11] oraz [12] wysokość wstępniaka nieprzerobionego wypraski zalegającej, gdyż po każdej operacji wyciskania wypraska zawsze będzie w matrycy. W dodatku część głowy stempla przed operacją wyciskania powinna wejść w otwór. Wnioskują z powyższych rozważań, otwór wejściowy matrycy powinien być znacznie dłuższy od wysokości planowanego wstępniaka do operacji wyciskania. Metodą drażenia elektroerozyjnego takiego otworu przekroju o niezmiennym kształcie nie jest łatwe.



Rys. 18. Dwa z rozważanych rozwiązań konstrukcyjnych zespołu wkładki matrycowej pokazane w przekroju wzdłużnym: a) matryca dzielona poprzecznie, z czego każda z części jest wzmocniana oddzielnym pierścieniem, b) projekt wkładki matrycowej jednolitej wzmocnianej jednym pierścieniem

Część druga matrycy dzielonej łączy w sobie część właściwą kształtującą oraz powierzchnię kalibrującą i dolną część wyjściową. Ta część również będzie wzmocniana przez obciskanie, ale własnym pierścieniem obciskającym. W teorii taki otwór można wywiercić, wytoczyć i wyszlifować. Należy jednak zauważyć że przed częścią kształtującą w tym szczególnym przypadku mamy otwór o przekroju kwadratowym, co wymaga zastosowania obróbki specjalnej. Jednak w przypadku tej części matrycy mamy niewielką wysokość części kształtującej, cylindrycznej oraz wyjściowej. Dlatego można zastosować elektrodrażenie wgłębne co w tym przypadku nie jest trudne i drogie.

Rozważane pierwsze rozwiązanie ma jednak swoje wady. Przede wszystkim jest to szczególnie przypadek kiedy chcemy wykonać transformację wstępniaka z przekroju kwadratowego na kołowy. To sprawia że otwór części kontenerowej matrycy oraz początek części kształtującej będzie miał przekrój kwadratowy. W takim przypadku obie części trzeba ze sobą odpowiednio zestawić, co zmusza nas do odpowiedniego ustalenia pożądanego położenia kąтового względem obu części matrycy. W przypadku odwrotnym gdyby w obu częściach miały otwór o przekroju kołowym nie stanowiłoby to żadnego problemu, gdyż bez względu na ustawienie odpowiednie przejście z części kontenerowej do części kształtującej matrycy byłoby zachowane. Ale w naszym przypadku odpowiednie ustawienie jest niezbędne. Przy zmontowaniu zespołu jest to duże utrudnienie. W dodatku, ponieważ matryca jest dzielona poprzecznie oraz obydwie części matrycy mają własny pierścień obciskający, jest ryzyko obsunięcia się ich w trakcie planowanej operacji, do czego nie można dopuścić. Dlatego obie części trzeba solidnie skręcić. Jednym z rozwiązań są kołki ustalające łączące oba detale na wcisk. Jednak otwory pod takie kołki w obu częściach

matrycy będą nieprzelotowe, a w przypadku obróbki cieplnej materiału twardego, z którego wykonana jest wkładka matrycowa może dojść do pęknięć, czego za wszelką cenę chcemy uniknąć, gdyż matryca ma nam posłużyć przez lata. Dlatego takie rozwiązanie jest nie jest najlepsze dla zastosowania planowanej operacji wyciskania współbieżnego. Jednym z rozwiązań jest zatem zastosowanie śrub z łbem walcowym, co solidnie przymocowałyby do siebie obie części matrycy. Otwory pod takie śruby trzeba jednak wykonać w jednej części przelotowo a w drugiej nieprzelotowo. Więc biorąc pod uwagę powyższe przemyslenia mamy w zasadzie podobny problem, co wcale nie poprawia naszej sytuacji oraz dla materiałów twardych obrabianych cieplnie jest wręcz niedopuszczalne.

W drugiej propozycji konstrukcji matrycy przedstawiono wkładkę jednolitą zawierającą w obie jednocześnie część wejściową (kontenerową) matrycy, część kształtującą, część kalibrującą, oraz dolną część wyjściową. Na potrzeby przyrządu WWko#26o20 jest to rozwiązanie korzystne, gdyż znika tutaj problem przemieszczenia się obu części w trakcie operacji wyciskania współbieżnego. Jest trudniejsza do wykonania jednak przy montażu zespołu jest, łatwiej ponieważ jest to typowe dla matryc wzmacnianych. By wykonać jednolitą wkładkę matrycowa, należałoby w stanie miękkim materiału wywiercić i wytoczyć otwór zostawiając przy tym naddatek na obróbkę wykańczającą. Następnie w stanie wyważonym już materiału wydrążyć elektroerozyjnie otwór (zastosować metodę EDM). Można dostrzec jeszcze jedną zaletę tego rozwiązania. Przede wszystkim nie wymaga wiercenia dodatkowych otworów, przez co znika problem pęknięć w trakcie wykonywania operacji wyciskania, przez co wkładka matrycowa jest wytrzymała i odporna na zużycie.

Ponieważ zdecydowano się na matrycę dwupierścieniową, czyli wzmacnianą przez obciskanie jednym pierścieniem, należałoby wykonać pod tym względem dodatkowe obliczenia dotyczące wyznaczenia wartości wcisku. Jednak biorąc pod uwagę wcześniej obliczone szacunkowe wymiary matrycy na podstawie wzorów wspomnianych już w ogólnych rozważaniach co do konstrukcji matrycy w punkcie 2), sprawdzono średnicę zewnętrzną matrycy. Zestawiając ją z całym zespołem części i przyrównując do dolnej płyty oprawy uniwersalnej, niestety zauważono że z powodów tej zewnętrznej średnicy cały zespół jest za duży by się zmieścić w oprawie. Zatem dolna oraz w konsekwencji górna płyta wspomnianej oprawy wymaga gruntownej przebudowy, co nie zostało wykonane w ramach niniejszej pracy dyplomowej.

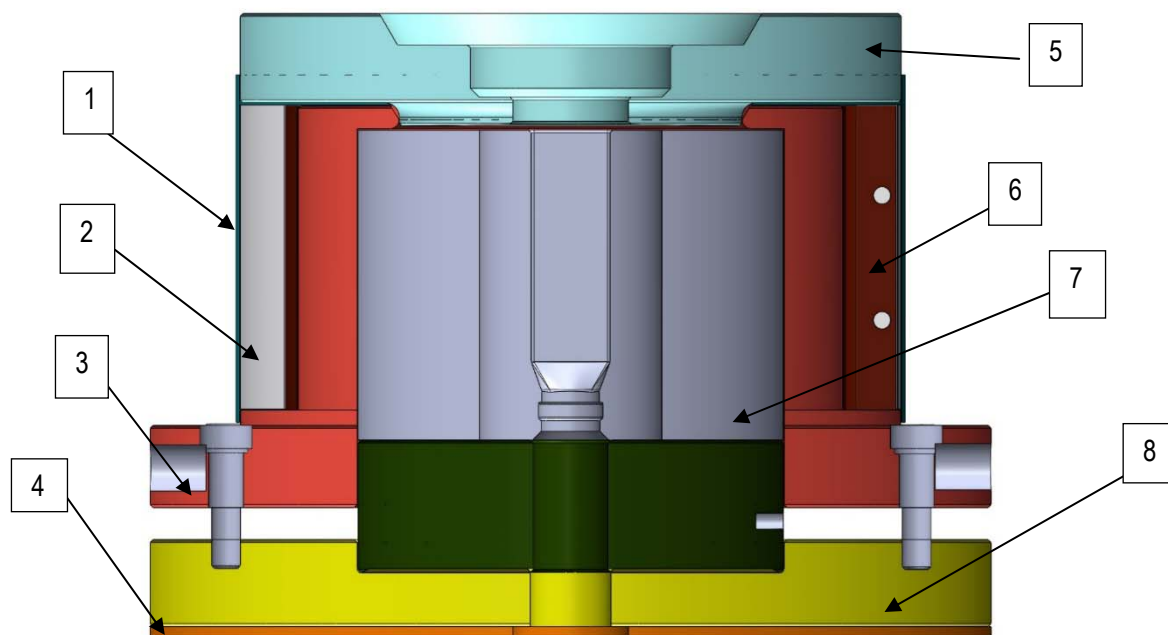
6.2.2. Konstrukcja obsadzenia w oprawie uniwersalnej

W tym podrozdziale został przedstawiony zespół matrycy przeznaczony do zabudowy w przyrządzie WWko#26o20. Jak wynika z rozważań dotyczących matrycy, rozmiary matrycy, a w szczególności średnica zewnętrzna pierścienia wzmacniającego, są za duże ze względu na duży rozmiar otworu roboczego matrycy. Zgodnie z założeniem (2) średnica zewnętrzna $D=(4 : 5) d_0$. Przy założeniu, że $d_0 = 29\text{mm}$ istnieje więc konieczność powiększenia innych części zespołu matrycy, co w takich przypadkach zazwyczaj wpływa na decyzję o doborze oprawy uniwersalnej, a w szczególności na doborze płyty dolnej i górnej oprawy. Dlatego wspomniany tutaj zespół matrycy jest tylko propozycją oraz został przedstawiony bez obsadzenia w wcześniej dobranej oprawie.

Trzeba jednak określić w jakich warunkach przewidujemy pracę tego zespołu przy wykonywaniu operacji wyciskania współbieżnego. Kształtowanie plastyczne może być przeprowadzone na zimno lub na gorąco. W pierwszym przypadku, jak wynika z pozycji literaturowej [12] na str. 114, przy wyciskaniu na zimno mamy do czynienia z istotnymi zmianami w strukturze oraz własności obrabianego materiału co rzutuje na właściwości mechaniczne kształtowanego plastycznie elementu konstrukcyjnego. Jak wiadomo, np. z [15] projektowane narzędzia do obróbki plastycznej dostosowuje się do warunków kształtowania przez dobór materiału na narzędzia, a nie przez poszukiwanie stosownego rozwiązania konstrukcyjnego. Dlatego wprowadzono podział na stale narzędziowe do obróbki na zimno, narzędziowe stale do obróbki na ciepło, stale narzędziowe szybko tnące. Te ostatnie mają takie właściwości, że znakomicie nadają się na narzędzia (stemple i matryce), które zarówno dobrze pracują przy kształtowaniu zarówno na zimno, jak i na gorąco. Zatem aby przyrząd WWko#26o20 mógł służyć do wyciskania w dowolnej temperaturze sięgniemy po stale szybko tnące. Konstrukcja zaś – jako, że nie zależy od temperatury wyciskania – będzie taka sama

niezależnie od zastosowanej temperatury kształtowania. Jak wcześniej założono matryca będzie wzmocniana pierścieniem obciskającym. Dlatego w następnym punkcie zajmiemy się szczegółami konstrukcji matrycy.

Z powodu zastosowania stali szybko tnących operacja wyciskania współbieżnego będzie mogła być prowadzona zarówno na zimno jak i na gorąco. Aby przedstawiona propozycja zespołu matrycy mogła służyć do wyciskania w podwyższonej temperaturze trzeba do otoczenia narzędzi dodać elementy grzejne i ciepłochronne. Na Rys. 19. przedstawiono właśnie taką rozbudowaną propozycję z objaśnieniami poszczególnych części zabudowanego zespołu matrycy.



Rys. 19. Zaproponowany zespół matrycy do pracy na gorąco bez obsadzenia w oprawie uniwersalnej: 1- płaszcz ochronny, 2-wata szklana, 3-obejma zespołu matrycy, 4-przekładka termoizolacyjna, 5-płyta termoizolacyjna, 6-grzałka opaskowa, 7-zespół wkładki matrycowej wzmocnionej pierścieniem obciskającym, 8-płyta podmatrycowa

W tej propozycji zaprojektowany zespół matrycowy (7) zawiera zespół wkładki matrycowej (ze stali szybko tnącej) wzmocniony przez odsadzenie w obejmie z odpowiednio dużym wciskiem. Obejma jest otoczona grzałką opaskową (6) oraz otulona watą szklaną (2). Na górze znajduje się płyta izolacyjna (5), która ma odpowiedni kształt do zagłębienia się w niej zespołu stempla (będzie omówiony w dalszej części). Zespół jest pokryty płaszczem ochronnym (1). Dolna płyta (8) – podmatrycowa – służy jako podstawa wiążąca zespół matrycy w jedną całość. Pod spodem płyty znajduje się przekładka termoizolacyjna (4). Obejma (3) zwiiera otwory na śruby walcowe z łbem z gniazdem sześciokątnym. Dzięki czemu dolna część zespołu będzie odpowiednio zamontowana.

6.2.3. Konstrukcja matrycy wzmocnionej

Najważniejszym elementem narzędziowym przyrządu do wyciskania jest matryca. Zgodnie z założeniami elementem kształtującym przy wyciskaniu będzie jednolita wkładka ze stali szybko tnącej. Wkładka zostanie obciśnięta pierścieniem wzmocniającym (obejma). Konstrukcja tego dwuelementowego zespołu matrycowego (patrz Rys. 18b) została opracowana zgodnie z zaleceniami [16]. Dokumentację konstrukcyjną matrycy przyrządu WWko#26o20 zapisano²⁹ razem z elementami składowymi przyrządu

²⁹ Dokumentacja konstrukcyjna elementów narzędziowych przyrządu WWko#26o20 znajduje się w pliku [[WWko_8o5 czesci 24.dwg](#)]

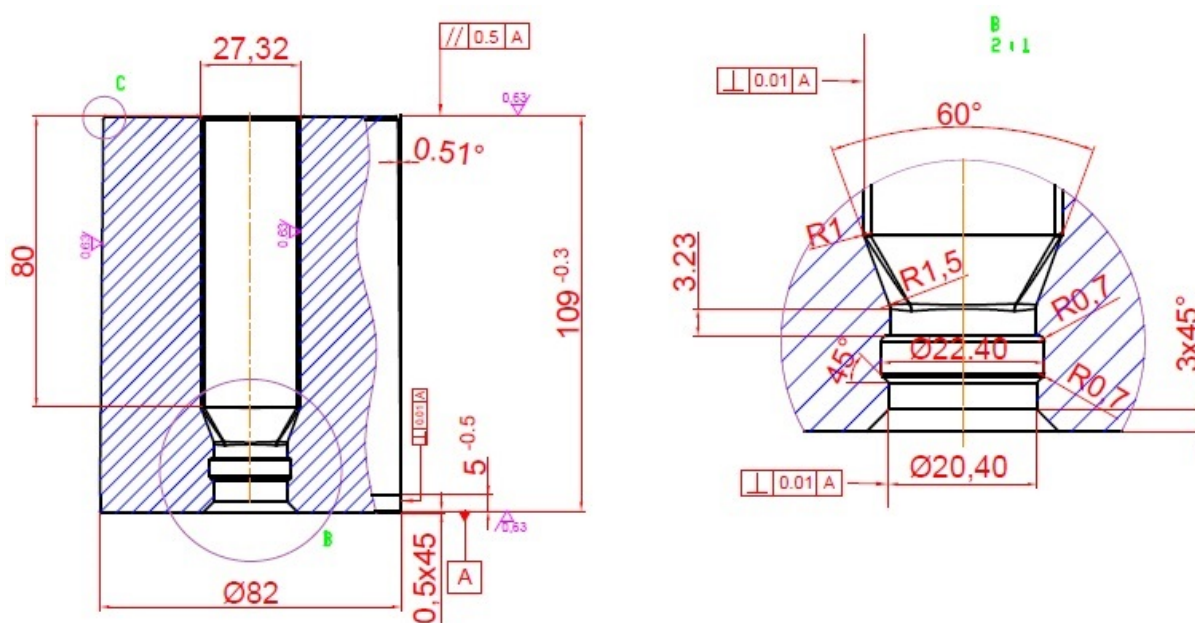
WWko#8o5, którego konstrukcję w pracy szczegółowo analizowano, a który też służy do wyciskania współbieżnego ze zmianą kształtu przekroju poprzecznego wypraski z kwadratowego na okrągły. Dokumentacja zawiera rysunek zestawieniowy matrycy wzmocnionej #26o20, rysunek wykonawczy wkładki tej matrycy, rysunek wykonawczy obejm i rysunek instrukcyjny obciskania oraz rysunek konstrukcyjny stempla (będzie omówiony w następnym rozdziale). Utworzono natomiast wydzielony dokument, który zawiera listę części składowych przyrządu WWko#26o20. Wspomniany wydzielony dokument, w którym znajdują się wszystkie szczegóły charakteryzujące konstrukcję przyrządu WWko#26o20 zapisano w załączniku **Za2**.

Poniżej przedstawiono charakterystykę konstrukcyjną wkładki (Rys. 20) przeznaczonej do obciśnięcia i obejm (Rys. 21), w którą wkładka zostanie włożona. Rysunki są uproszczone, gdyż zawierają tylko te wymiary, które są potrzebne do obliczenia prawidłowości dobranego wcisku. Dobór wcisku, wspomniane obliczenia projektowe i prezentacja sposobu wykonania obciskania została zapisana w załączniku **Za3**.

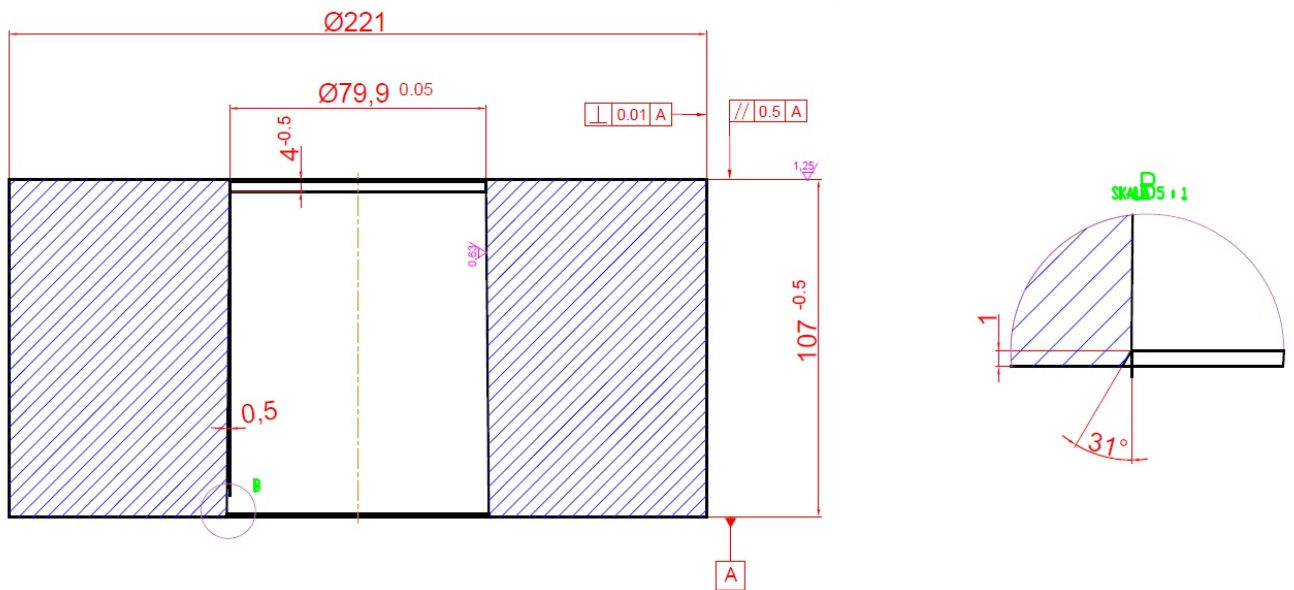
Planuje się wykonać obciskanie wkładki (Rys. 22) przez włożenie jej na zimno w obejmę (Rys. 21). Właczanie może być wykonane zgodnie z instrukcją zaprezentowaną w postaci rysunku instrukcyjnego na Rys. 22.

6.3. Założenia do konstrukcji stempla

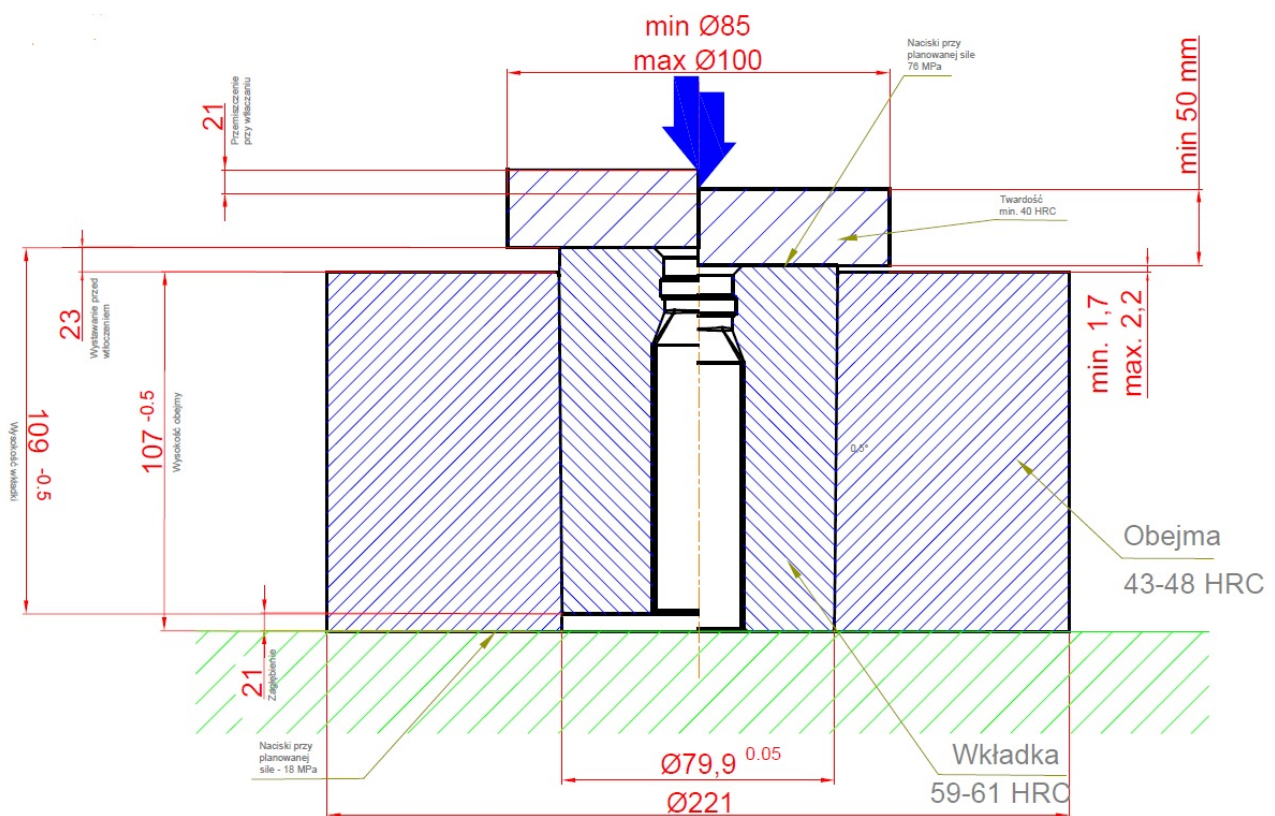
Operacja wyciskania współbieżnego wymaga skonstruowania nie tylko matrycy. Potrzebny jest także stempel, który w trakcie przewidzianej operacji będzie działał na wstępniak z określoną siłą. Przewiduje się, że zespół narzędziowy matryca+stempel będzie pracował na prasie hydraulicznej ZD40. Przy rozważaniach dotyczących matrycy, trzeba było brać wiele czynników technologicznych pod uwagę, między innymi siłę i naciski działające na ten element, zależne od właściwości materiałów poddawanych w przyszłości operacji wyciskania współbieżnego. Natomiast konstruowanie stempla ogranicza się w zasadzie do odpowiedniego kształtu głowy tego narzędzia oraz dobrania odpowiedniego materiału na tą część przyrządu WWko#26o20. Jedynym ograniczeniem jest długość trzonu stempla (str. 130 w [11]). Zatem samych założeń co do projektowania stempla nie jest wiele, a mianowicie:



Rys. 20. Rysunek konstrukcyjny jednolitej wkładki matrycowej



Rys. 21. Rysunek konstrukcyjny obejmy wzmocniającej wkładkę



Rys. 22. Rysunek instrukcyjny włączania na zimno wkładki w obejme

- 1) Naprężenia ściskające działające na głowę stempla wynoszą 2500 MPa . Jest to wartość odczytana z wykresu zamieszczonego w pozycji literaturowej [11] na str. 130 z wyliczonej zależności stosunku l/d

- 2) Zależność przedstawiona w pozycji literaturowej [11] na str. 132 czyli $d_5 = (1,3 \div 1,5) d$ da nam wymiary części chwytowej stempla, co za tym idzie wymiary otworu w jednej z części zespołu obsady stempla. Przy okazji można sprawdzić czy przez to cały zespół zmieści się w płycie górnej oprawy uniwersalnej, gdy ta została dobrana już wcześniej.
- 3) Długość części roboczej stempla będzie zależeć od ustalonej wysokości otworu roboczego matrycy oraz wstępniaka nieprzetworzonego wypraski zalegającej, która została obliczona zgodnie z zaleceniami w pozycji literaturowej [12], czyli z zależności $h_1 \geq 0,5 \cdot d_0$.
- 4) Część chwytowa stempla będzie po części miała postać stożka. Dzięki temu będzie zapewniona większa powierzchnia podparcia. Kąt pochylenia tej części stożkowej części chwytowej stempla powinien mieć 30° zgodnie z zaleceniami podanymi w pozycji literaturowej [14]. Powierzchnię tą ustalono, uwzględniając siłę nacisku działającą na stempel oraz dobrany jego materiał i obróbkę cieplną. Część walcowa części chwytowej stożka ma kształt walca i będzie miał średnicę zgodną z zaleceniem $D = 2 \cdot d_n$ z pozycji literaturowej [14] na str. 145. Tak samo wysokość części walcowej, którą wyliczono z zależności $h_1 = 0,2 \cdot D$
- 5) Wymiary części ustalającej stempla, czyli średnicę oraz wysokość wyliczono z zależności $d_1 = 1,5 \cdot d_n$ oraz $H = (1,0 \div 1,5) d_1$ zgodnie z pozycją literaturową [14] na str. 145.
- 6) Biorąc pod uwagę naprężenia ściskające działające na stempel, podane już w założeniu (1) oraz biorąc pod uwagę typowe materiały do konstrukcji stempla przedstawione w pozycji literaturowej [11] w tablicy 3.22 zdecydowano się na materiał SK8M. Jest to stal szybko tnąca kobaltowa. Zalecana wartość twardości tej stali to 63 : 65. Materiał ten charakteryzuje się największą wytrzymałością i odpornością na ścieranie. Z uwagi na trudności w dostępności tego materiału i złożoną obróbkę cieplną poleca się użycie „proszkowej” stali narzędziowej o podobnym składzie chemicznym Vanadis 23.
- 7) Końcówka głowy stempla ma powierzchnię płaską. Zgodnie z zaleceniami z pozycji literaturowej [14] stosuje się stożek o kącie pochylenia 2° , ale sprawdza się to przy wyciskaniu bardzo długich przedmiotów w przyrządach bez prowadzenia (bez opraw uniwersalnych) i zazwyczaj w podwyższonej temperaturze.
- 8) Aby zapewnić jeszcze lepszą powierzchnię podparcia, promień między stożkową częścią chwytową stempla a jego częścią roboczą powinien być możliwie duży zgodnie z zaleceniami podanymi w pozycji literaturowej [11] na str. 132.
- 9) Ustalono, że wysokość kwadratowej głowy stempla będzie wynosiła 10 mm.

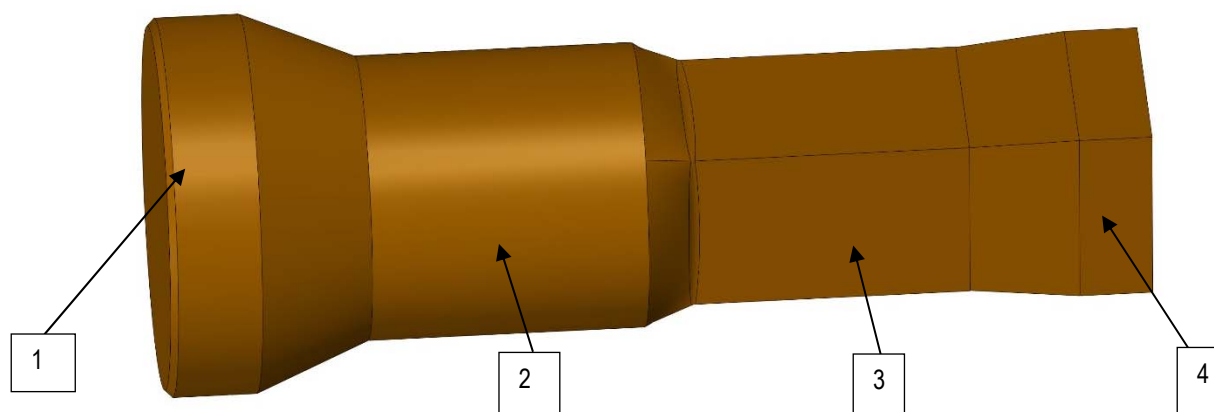
Najłatwiej byłoby wykonać część trzonową stempla jako walec. Z uwagi jednak na planowane wydłużenie stempla (przewidywane jest wyciskanie współbieżne z użyciem całej wypraski uzyskiwanej po procesie technologicznym ECAP) należy zapewnić jak najwyższą wytrzymałość zmęczeniową stempla. W tej sytuacji trzeba wyeliminować ostre przejście między prostopadłościenną głową a walcowym trzonem. Można to osiągnąć przez nadanie trzonowi również kształtu prostopadłościennego.

6.4. Propozycja konstrukcji stempla

Stempel do planowanej operacji wyciskania współbieżnego w przyrządzie WWko#26o20 powinien być skonstruowany tak, aby jego głowa wchodziła niemalże suwliwie w otwór wejściowy matrycy, który jest przecież kwadratowy. Rozważono dwa przypadki konstrukcyjne stempla. Pierwszy zakłada stempel o przekroju kwadratowym na całej jego długości łącznie z częścią chwytową. Ponieważ mamy sytuację nietypową, czyli transformację przy pomocy wyciskania współbieżnego z przekroju kwadratowego na kołowy, taka konstrukcja ułatwiłaby kątowe ustawienie stempla względem matrycy. Jednak otwór kwadratowy, gdzie stempel będzie obsadzany w zespole stempla, strasznie ciężko wykonać mimo dużej powierzchni przekroju kwadratowego. Druga rozważana opcja przewiduje część chwytową

osiowosymetryczną, natomiast kształt kwadratu będzie tu miała głowa oraz część robocza stempla. Jest to rozwiązanie typowe dla konstrukcji stempla do wyciskania współbieżnego. Trzeba jednak na co innego zwrócić uwagę. O ile przy osiowosymetrycznym kształcie części chwytowej stempla nie ma problemu w obsadzeniu go w zespole stempla dzięki otworowi o przekroju kołowym, który znacznie łatwiej jest wykonać niż kwadratowy, o tyle z tego samego powodu pojawia się nam sytuacja w której ciężko jest ustawić stempel kątowo względem otworu matrycy. Z pewnych względów zdecydowano się na opcję drugą, czyli o kształcie kwadratu głowy oraz części roboczej stempla, a reszta o kształcie osiowosymetrycznym. Trzeba jednak rozwiązać podany już wcześniej problem kąтового ustawienia stempla względem otworu matrycy. Na Rys. 23 przedstawiono zaprojektowany stempel wraz z objaśnieniami części składowych tego stempla.

Rys. 23.



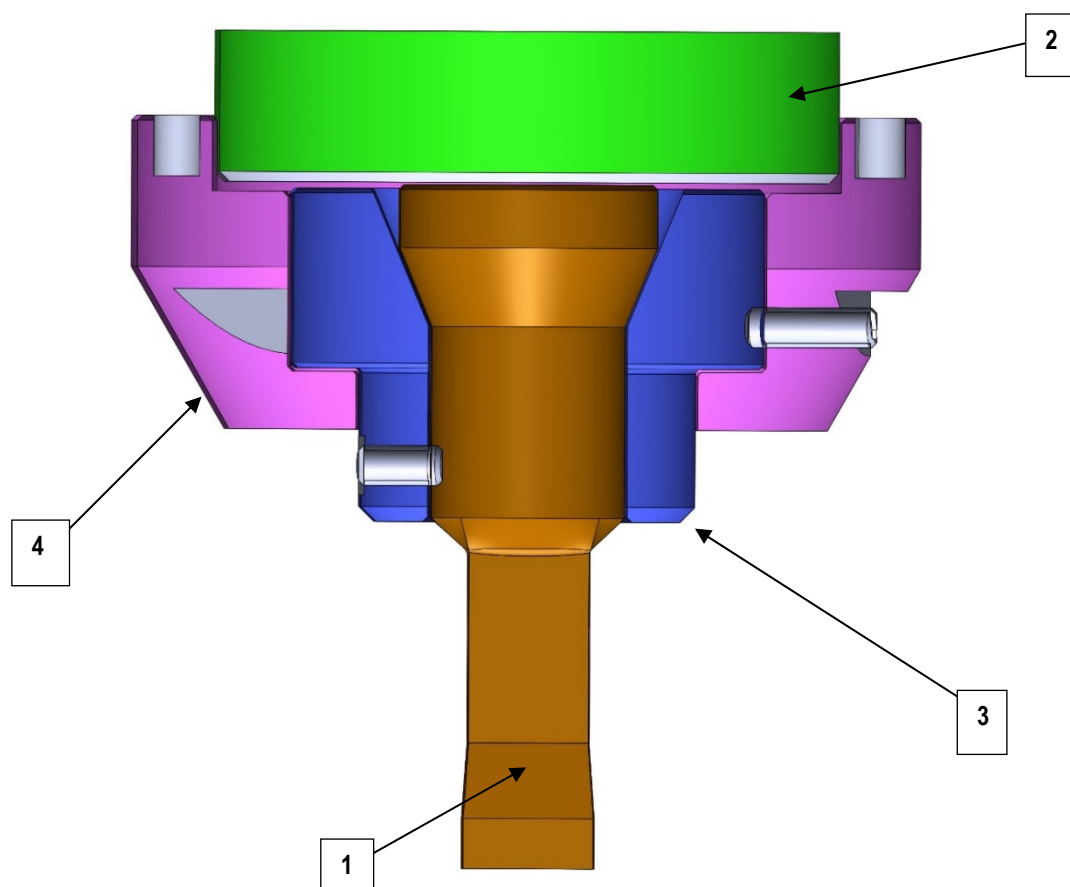
Rys. 23. Konstrukcja stempla do planowanego wyciskania współbieżnego: 1-część chwytowa, 2-część ustalająca, 3-część robocza, 4-głowa stempla

6.5. Konstrukcja obsadzenia stempla

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania co do konstrukcji stempla oraz przedstawioną jego konstrukcję, zestawiono w tym rozdziale odpowiedni zespół narzędziowy stempla do przyszłych prac operacji wyciskania współbieżnego. Wyciskanie zachodzi gdy stempel jest już prowadzony w otworze wejściowym matrycy. Dlatego część trzonowa stempla wraz z głową muszą być odpowiednio dłuższe niż głębokość tego otworu. Trzeba zaś przedyskutować zależności wymiarowe pozostałych części stempla i dopasować je do elementów zespołu mocującego. Z wymiarów stempla wynika, że rozmiary poszczególnych części zespołu stempla także będą zwiększone, co w konsekwencji rzutuje na wymiary płyty górnej oprawy uniwersalnej. Dlatego wspomniany zespół obsady stempla, tak jak w przypadku matrycy, pozostanie tylko propozycją. Dlatego nie został przedstawiony w oprawie. Z oczywistych względów nie można zespołu stempla przedstawić w sposób uproszczony, tak jak przedstawił to autor pracy dyplomowej [4]. Wskazują na to inny kształt stempla jak i jego wymiary. Dlatego zaproponowano bardziej rozbudowany zespół stempla, typowy dla konstrukcji przyrządów do wyciskania. Na Rys. 24 przedstawiono wspomniany zespół obsady stempla bez osadzenia go w oprawie uniwersalnej przyszłego przyrządu WWko#26o20. Użyto konwencji rysunku zestawieniowego i podano objaśnienia poszczególnych części.

Na Rys. 24 zaproponowano, aby stempel (1) obsadzić z dużym wciskiem w odpowiednio wykonanej tulei osadczą (3). Daną tuleję razem z obsadzonym narzędziem umieszczono w tulei mocującej (4) (oraz zabezpieczono wkrętem dociskowym), która będzie dokręcana do płyty górnej oprawy uniwersalnej śrubami z łbem walcowym. Dla ustawienia stempla współosiowo względem matrycy, proponuje się wstawić podkładkę podstemplową (2), która będzie wkładana między tuleję mocującą, a płytą górną oprawy w pasowanym otworze. Kątowe ustawienie stempla (wraz z tuleją mocującą) zostanie osiągnięte przez

ustalenie położenia dzięki przykręceniu wkrętu dociskowego po włożeniu głowy stempla w otwór wejściowy matrycy. Wnioskując z powyższych rozważań płytę górną oprawy proponuje się przebudować w następujący sposób. Należy w górnej części płyty górnej wytoczyć i szlifować otwór pod czop sprzęgłowy a w dolnej części płyty górnej wytoczyć i szlifować większy otwór dla krążkowej podkładki podstemplowej.



Rys. 24. Proponowane obsadzenie stempla dla przyrządu WWko#26o20 (zespół pokazany bez oprawy uniwersalnej): 1-stempel, 2-podkładka podstemplowa-centrująca, 3-tuleja osadcza stempla, 4-tuleja mocująca

7.Podsumowanie

Celem niniejszej pracy dyplomowej było przedstawienie konstrukcji narzędzi do wyciskania współbieżnego półwyrobów metalowych. W tym celu, do dobrego przygotowania się do zadania, postanowiono wziąć udział w operacji wyciskania współbieżnego przelotowego na istniejącym już przyrządzie WWkno20#8 na prasie hydraulicznej ZD40, która była przewidziana do użycia w nowym skonstruowanym na rzecz niniejszej pracy dyplomowej przyrządzie WWko#26o20. W ten sposób zapoznano się z zagadnieniem owej konkretnej operacji poprzez działania praktyczne. Istniejący przyrząd był uruchamiany przez pracowników grupy badawczej **UFGbySPD**. Przy zapoznawaniu się z zagadnieniem autor niniejszej pracy dyplomowej wykonał na wyznaczonym stanowisku roboczym operację wyciskania współbieżnego 6 wyprasek z których 4 były wypraskami reprezentatywnymi. Proces przeprowadzono w podwyższonej temperaturze, gdzie brano też udział w przezbieraniu prasy i ustawieniu odpowiedniej temperatury procesu. W ten sposób zdobyto doświadczenie technologiczne (objętościowa obróbka plastyczna) jak i zapoznano się z jednym z rozwiązań konstrukcyjnych takiego przyrządu do operacji wyciskania współbieżnego przelotowego, co było przydatne dla wykonania zadania niniejszej pracy dyplomowej.

Kolejnym etapem było przystąpienie do wykonania projektu konstrukcyjnego narzędzi do wyciskania współbieżnego w przyszłym przyrządzie WWko#26o20. W przyszłości ma służyć do wyciskania

współbieżnego wyprasek o przekroju poprzecznym kwadratowym oraz transformacji ich na przekrój kołowy, co ma być rezultatem podanej operacji. Ponieważ przy większym przekroju kwadratowym o boku 26 występuje większa swoboda przy doborze średnic walcowych występujących w handlu, przeprowadzono analizę technologiczną celem dobrania odpowiedniej średnicy do zaprojektowania narzędzi przyszłego przyrządu. Do tego przeanalizowano trzy przypadki średnic. Przeprowadzono w każdym z tych przypadków przeprowadzono wstępne obliczenia o charakterze geometrycznym, a następnie obliczenia technologiczne. Porównując wyniki tych trzech przypadków ze sobą oraz przyrównując je do możliwości istniejącej prasy hydraulicznej i przeprowadzając ogólną analizę rynku dobrano odpowiednią średnicę. Obliczenia prowadzono dla dwóch wybranych materiałów z grupy metali UFG, z których jeden z nich został wybrany do dalszych przewidzianych prac na skutek odpowiedniej analizy. Obliczenia można było przeprowadzić metodą elementów skończonych, jednak ze względu na zbyt dużą złożoność tej metody oraz niewielką dostępność czasu przeprowadzono obliczenia w prostszy sposób ale tak samo skuteczny. Mając dobraną średnicę oraz przyszły przetwarzany materiał oraz korzystając z zaleceń podanych w pozycjach literaturowych skonstruowano stempel oraz matrycę. Następnie dokonano sprawdzenia czy przy danych wymiarach zaprojektowanych narzędzi do wyciskania współbieżnego dokonano sprawdzenia czy dobrana wcześniej oprawa uniwersalna będzie odpowiednia do przyszłego zmontowania zespołów stempla oraz matrycy. Niestety po dokonaniu sprawdzenia stwierdzono że przy nowo zaprojektowanych narzędziach istnieje konieczność gruntownej przebudowy oprawy uniwersalnej. Opisano powody dla których jest to konieczne. Przebudowa płyt oprawy uniwersalnej do przyszłego przyrządu WWko#26o20 nie została wykonana w ramach niniejszej pracy dyplomowej. Dla ułatwienia przyszłego skonstruowania danego przyrządu przedstawiono dwie propozycje konstrukcji stempla oraz matrycy, co zostało już pozostawione następcom, którzy będą kontynuować zamysł konstrukcji wspomnianego przyrządu.

Autor niniejszej pracy dyplomowej oczekuje, że podane zagadnienia oraz zaprojektowane narzędzia i podane propozycje okażą się pomocne dla przyszłego skonstruowania przyrządu WWko#26o20 do wyciskania współbieżnego przelotowego półwyrobów metalowych. Spodziewa się także, iż skonstruowany już przyrząd będzie służył do dalszego rozwoju technologii w rama prac prowadzonych w grupie badawczej **UFGbySPD** oraz ma nadzieję na wykorzystanie zdobytej wiedzy do pracy w zawodzie.

Spis ilustracji

Rys. 1. Schematyczne przedstawienie sprawdzonego w praktyce procesu technologicznego uzyskania długich prostopadłościennych wyprasek rozmiar #26 (opracowanie wg informacji z prac wykonanych przez pracowników grupy badawczej UFGbySPD).....	4
Rys. 2. Wynik operacji procesu technologicznego ECAP schematycznie przedstawionego na Rys. 1b: a) wstępniak, b) wypraska po operacji ECAP, c) wypraska po przepychaniu (operacja nr_18), d) wypraska po gratowaniu (rysunki zapożyczone z prac dyplomowych uprzednio wykonanych w grupie badawczej UFGbySPD)	7
Rys. 3. Kształt i wymiary przekroju poprzecznego pręta zmieniane bezodpadowo w narzędziach przyrządu WWKn: a) przekrój wstępniaka, b) przekrój wyciśniętej wypraski	8
Rys. 4. Operacja wyciskania współbieżnego wypraski prętowej (wyciskanie przelotowe/posobne): a) schemat technologiczny operacji, b) kształt wypraski do zakończeniu pierwszej operacji wyciskania przelotowego)	8
Rys. 5. Cechy geometryczne wyprasek prętowych wyciskanych współbieżnie po sobie: a) kształt i charakterystyczne wymiary czół wyprasek, b) kształt i charakterystyczne wymiary końcówek wyprasek, c) model spodziewanego wklęsnięcia powstającego na końcówce prostopadłościennej wypraski wyciskanej w przyrządzie WWKn z walcowego pręta	9
Rys. 6. Reprezentatywny wykres Siły od przemieszczenia wyciskania cynku.	9
Rys. 7. Wstępniaki dla wyciskania w przyrządzie WWKn: a) wstępniak rozpoczynający i wypychający, b) wstępniak właściwy.....	10

Rys. 8. Proces technologiczny kształtowania plastycznego z pręta walcowego prostopadłościennych wstępniaków do operacji ECAP: a) porcjowanie pręta walcowego (operacja nr 2) , b) wstępniak walcowy do wyciskania w przyrządzie WWKn (rezultat wykonania operacji nr 3, 4 i 5 - uwaga nie zachowano proporcji wymiarowych przy prezentacji modelu tego wstępniaka), c) wypraska wyciśnięta w przyrządzie WWKn (rezultat operacji nr 9), d) gotowy wyrób (prostopadłościenna wypraska do operacji ECAP uzyskana z wypraski wyciskanej w przyrządzie WWKn przez obcięcie zdeformowanych końców – wynik operacji nr 12 i 13).....	11
Rys. 9. Przedstawienie różnic w deformacji wyciskanych wyprasek a) wypraska Zn99 służąca za wypraskę wypychającą zalegającej wypraski miedzianej b) prawidłowa wypraska Zn99 (reprezentuje serię pięciu wykonanych wyprasek)	12
Rys. 10. Zbiorcze zestawienie wyników operacji wyciskania współbieżnego stopu cynku Zn99	13
Rys. 11. Oprawa uniwersalna FCPK Bytów: 1 – płyta górna, 2 – płyta dolna, 3 – słup prowadzący a, 4 – słup prowadzący b, 5 – tuleja prowadząca a, 6 – tuleja prowadząca b, 7 – pierścień mocujący a, 8 – pierścień mocujący b, 9 – zaczep mocujący, 10 – śruba z łbem walcowym z gniazdem sześciokątnym M8x20 mocująca słup, 11 – śruba z łbem walcowym z gniazdem sześciokątnym M8x20 mocująca tuleję prowadzącą.....	15
Rys. 12. Tuleja dystansująca skok: a) przed przeprojektowaniem b) po przeprojektowaniu.....	16
Rys. 13. Dwie podkładki dystansowe regulujące wysokość odpowiedniego zamknięcia przyrządu (uzyskanie efektu twardego zderzaka w dolnym punkcie operacji): a) podkładka środkowa uzupełniająca, nawlekana na stałe na słup prowadzący, b) wymienna podkładka dystansowa w kształcie podkowy.....	17
Rys. 14. Znane krzywe umocnienia dla materiałów o zwykłej strukturze krystalograficznej: a) wykresy krzywej umocnienia materiału EN AW-1050A (do obliczeń przyjęto krzywą wartości oznaczonej symbolem TD) b) wykres krzywej umocnienia dla materiału mocniejszego EN AW-6060A.....	20
Rys. 15. Wykresy pomocnicze do wyznaczenia pierwszej (tej o największej wartości) średnicy wypraski wyciskanej w przyrządzie WWko#26-o?: a) dla materiału słabszego EN AW-1050A b) dla materiału mocniejszego EN AW-6060A.....	21
Rys. 16. Przedmioty kształtowane w przyrządzie WWko#26-o20: a) planowany prostopadłościenny wstępniak, b) walcowa wypraska po wyciskaniu.....	27
Rys. 17. Schemat technologiczny operacji wyciskania współbieżnego przyszłego przyrządu WWko#26o20	28
Rys. 18. Dwa z rozważanych rozwiązań konstrukcyjnych zespołu wkładki matrycowej pokazane w przekroju wzdłużnym: a) matryca dzielona poprzecznie, z czego każda z części jest wzmacniana oddzielnym pierścieniem, b) projekt wkładki matrycowej jednolitej wzmacnianej jednym pierścieniem	30
Rys. 19. Zaproponowany zespół matrycy do pracy na gorąco bez obsadzenia w oprawie uniwersalnej: 1- płaszcz ochronny, 2-wata szklana, 3-obejma zespołu matrycy, 4-przekładka termoizolacyjna, 5-płyta termoizolacyjna, 6-grzałka opaskowa, 7-zespół wkładki matrycowej wzmacnionej pierścieniem obciskającym, 8-płyta podmatrycowa	32
Rys. 20. Rysunek konstrukcyjny jednolitej wkładki matrycowej	33
Rys. 21. Rysunek konstrukcyjny obejmę wzmacniającą wkładkę.....	34
Rys. 22. Rysunek instrukcyjny wtlaczania na zimno wkładki w obejmę	34
Rys. 23. Konstrukcja stempla do planowanego wyciskania współbieżnego: 1-część chwytowa, 2-część ustalająca, 3-część robocza, 4-głowa stempla.....	36
Rys. 24. Proponowane obsadzenie stempla dla przyrządu WWko#26o20 (zespół pokazany bez oprawy uniwersalnej): 1-stempel, 2-podkładka podstemplowa-centrująca, 3-tuleja osadczą stempla, 4-tuleja mocująca	37

Spis Tablic

Tab. 1. Spis części potrzebnych do zakupu oprawy uniwersalnej do przyrządu WWko – pełne zestawienie zapisano w [WWko_8o5_FCPK_zakup_oprawy 03.xlsx].....	14
Tab. 2. Wyniki obliczeń odkształcenia oraz wysokości dla trzech przypadków średnic (maksymalna, handlowa i wynikająca z odkształcenia zastosowanego w przyrządzie WWko#8o5) prętów walcowych do rozpatrzenia do dalszej części obliczeń technologicznych	23
Tab. 3. Porównanie odkształceń dopuszczalnych dwóch wybranych materiałów z każdym z trzech rozpatrywanych przypadków wyciskania współbieżnego prostopadłością #26 na walec o różnych średnicach d_1 , d_2 i d_3	24
Tab. 4. Zestawienie wyników parametrów procesu technologicznego wyciskania współbieżnego dla wszystkich trzech przypadków średnic d_1 , d_2 i d_3 oraz dla dwóch rozpatrywanych materiałów	25

LITERATURA

- 1 L.Olejnik, A.Rosochowski: „Scaled-up ECAP with enhanced productivity”. Steel Research International 79 (2008), Special Edition, Vol. 2 pp.439-446
- 2 J.Erbel (red.): Encyklopedia technik wytwarzania stosowanych w przemyśle maszynowym. T1. OWPW W-wa 2001
- 3 R.Brzozowski: "Konstrukcja przyrządu do kształtowania wyrobu metalowego na maszynie z napędem hydraulicznym". Praca przejściowa inżynierska. Kier. ZIIP. Politechnika Warszawska, WIP ITW 2014
- 4 B.Kowalski: „Konstrukcja przyrządów do wyciskania współbieżnego półwyrobów metalowych”. Praca dyplomowa inżynierska. Kier. MiBM. Politechnika Warszawska, WIP ITW 2016. (str.38, rys.25, tabl.2, bibl.14, zał.10)
- 5 K.Obluski, J.Siemak, K.Łukasik, P.Frydrysiak, L.Olejnik: "Przeciskanie stopu 5483 przez gorący kanał kątowy 1×90°". Raport grupy UFGbySPD. Instytut Technik Wytwarzania. Warszawa 2010
- 6 P.Frydrysiak, L.Olejnik: "Projekt procesu technologicznego wykonania nitu n1ø5×10 do zaklepywania". Raport grupy UFGbySPD. Instytut Technik Wytwarzania. Warszawa 2010
- 7 L.Olejnik: Technika wytwarzania ultradrobnociarnistych metali i stopów metodą przeciskania przez kanał kątowy. Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Mechanika. z.240, pp.215, 2012
- 8 K.Pyzel: "Konstrukcja oprzyrządowania do produkcji metali ultradrobnociarnistych na prasie automatycznej". Praca dyplomowa magisterska. Kierunek dyplomowania AiR. Politechnika Warszawska, WIP ITW 2010
- 9 J.Kwapisz: "Przyrząd do przepychania pasm nanomateriałów przed procesem ECAP". Praca dyplomowa inżynierska. Kierunek dyplomowania MiBM. Politechnika Warszawska, WIP ITMaT 2007
- 10 S.Erbel, K.Kuczyński, L.Olejnik: „Technologia obróbki plastycznej, laboratorium”. OWPW-wa 2003
- 11 S. Erbel, K.Kuczyński: „Technologia obróbki plastycznej. Część II: wybrane zagadnienia kształtowania brył” SIMP, Warszawa 1989
- 12 S.Erbel, K.Kuczyński, Z.Marciniak: „Obróbka plastyczna” Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa 1981
- 13 A.Gawryszewski: „Proces technologiczny wykonania półwyrobów z metali ultradrobnociarnistych”. Praca dypl. inżynierska. Kier. MiBM, Politechnika Warszawska, WIP ITW 2017 (str. 32, rys. 26, tabl. 10, bibl. 18, zał. 6)
- 14 W. A.Gołowin, A. N.Mitkin, A. G.Riezniakow: „Wyciskanie metali na zimno” . Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa 1973
- 15 H.Żmihorski: "Stale narzędziowe i obróbka cieplna narzędzi". Wyd.II. WNT Warszawa 1970

- 16** L.Olejnik, K.Kuczyński: Projektowanie matryc wzmacnianych do wyciskania – pomoce do projektowania narzędzi do kształtowania brył. Pomoce do zajęć projektowych prowadzonych przez członków grupy UFGbySPD. ZOPiO ITW PW Warszawa 2012-2017