

	Nr i nazwa zadania badawczego	Opis przeprowadzonych prac B+R
1.	2.	3.
1	Etap 1	Etap pierwszy realizacji projektu badawczego ma na celu zidentyfikowanie zjawiska powstawania odkształceń hartowniczych wytłoczek produkowanych metodą tłoczenia na gorąco z wykorzystaniem symulacji komputerowych. Po zidentyfikowaniu odkształceń hartowniczych, odpowiednio zmodyfikowano kształt powierzchni roboczych narzędzi w taki sposób, aby skompensować te odkształcenia w finalnej wytłoczce. Dodatkowo sprawdzono, czy można zidentyfikować parametry związane z procesem i związane z narzędziem, które mają istotny wpływ na wielkość deformacji hartowniczych. Wynikiem przeprowadzonych badań są: - modele 3D powierzchni roboczych tłocznika skorygowane tak, aby odkształcenia hartownicze zostały skompensowane, - uniwersalny katalog danych wejściowych i czynników jakie należy brać pod uwagę do procesu korygowania powierzchni roboczych, - wytyczne do modyfikacji w konstruowanym narzędziu pozwalające zmniejszyć czas i koszt wytworzenia. Wynikiem końcowym realizacji projektu jest metodologia projektowania tłoczników PHS, która pozwoli na zmniejszenie a nawet wyeliminowanie odkształceń hartowniczych. Analizując doświadczenia przemysłowe związane z deformacjami hartowniczymi można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje tych deformacji (jeśli chodzi o postać tych deformacji): - wygięcie – ma wtedy miejsce, gdy dominującą formą deformacji jest wygięcie się wytłoczki po wyjęciu z tłocznika. - skręcanie (zwichrzenie), ma wtedy miejsce, gdy dominującą formą deformacji jest skręcenie się wytłoczki wokół wyobrażalnej osi wytłoczki po wyjęciu z tłocznika. Na rysunku 4 przedstawiono deformację wytłoczki mającą charakter skręcenia. - superpozycją wygięcia i skręcenia w których deformacje hartownicze mają jednocześnie postać wygięcia i skręcenia.
2	Etap 2	W drugim etapie przeprowadzono badania mające na celu wykorzystanie systemu obliczeniowego mechaniki płynów i sprzężonych symulacji przepływów ciepła i czynnika chodzącego do technologii projektowania tłoczników do obróbki metali metodą tłoczenia na gorąco. Została opracowana wstępna konstrukcja układu chłodzenia elementów roboczych dwóch narzędzi (do produkcji detali charakteryzujących się skretnymi i giętnymi deformacjami hartowniczymi) na podstawie danych pochodzących z symulacji procesów tłoczenia z poprzedniego etapu. Należy tak zaprojektować kształt i położenie kanałów chłodzących w narzędziu, aby zapewnić poprawność przemian metalurgicznych i wyeliminować obszary przegrzane i niedogrzone. Następnie dla tak wykonanej konstrukcji układu chłodzenia została przeprowadzana symulacja przepływu oraz odprowadzania ciepła z wytłoczki z wykorzystaniem analizy CFD. Na podstawie powyższych badań zdefiniowano uniwersalny katalog danych i zaleceń wejściowych jakie należy brać pod uwagę do zmian kształtu kanałów chłodzących w procesie ich projektowania. Zaprezentowano dwuetapowy sposób rozwiązania zadania procesu nagrzewania się i chłodzenia narzędzi do tłoczenia na gorąco. W pierwszym etapie wykorzystano nową funkcjonalność komercyjnego

		oprogramowania do symulacji procesów tłoczenia na gorąco Autoform 7.0, które pozwala na przybliżone ale bardzo szybkie analizy procesu chłodzenia narzędzia. Dzięki temu pierwsze analizy optymalnego rozmieszczenia i średnic kanałów chłodzących można był wykonać w krótkim czasie. Producent tego oprogramowania twierdzi, że takie symulacje są szybkie (w porównaniu do pełnej analizy termiczno-przepływowej) i wystarczające na etapie projektowania narzędzia. W łatwy sposób można zmieniać kształt, średnice i położenie kanałów i badać wpływ tych zmian na temperaturę powierzchni roboczych narzędzia. W prezentowanych analizach takich zmian dokonano czterokrotnie. Wynikiem symulacji procesu nagrzewania i chłodzenia w oprogramowaniu Autoform narzędzia był wstępnie dobrany i przeanalizowany układ kanałów chłodzących narzędzia (kształt, średnice i położenie kanałów chłodzących). Tak uzyskane dane były danymi wejściowymi do sprzężonych symulacji cieplno-przepływowych (CFD), które przeprowadzono w komercyjnym oprogramowaniu Simcenter. Pełne symulacje termiczno-przepływowe pozwoliły na precyzyjną analizę temperatur matryc i stempli oraz czynnika chłodzącego.
3	Etap 3	W trzecim etapie zbudowano dwa kompletne zestawy narzędzi niezbędnych do wytworzenia dwóch różnych detali) charakteryzujących się skretnymi i giętymi deformacjami hartowniczymi). Opracowano technologię wykonania elementów roboczych narzędzi docelowych. W szczególności opracowano plan i kolejność operacji niezbędnych do wykonania poszczególnych elementów tłoczniaka na podstawie rysunków pochodzących z etapu 2 oraz zakupiono niezbędne materiały do budowy narzędzi. Wykonano obróbkę elementów narzędzia i jego montaż. Wyprodukowano dwie partii ok. 2X50szt wytłoczek z wykorzystaniem zbudowanych narzędzi (50 szt. dla każdego kompletu narzędzi). Zweryfikowano z wykorzystaniem urządzeń termowizyjnych działanie układu chłodzenia zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi opartymi o analizy CFD, podczas pracy ciągłej (tłoczenie). Zmierzono rzeczywisty rozkładu temperatury na powierzchniach roboczych elementów narzędzi. Zweryfikowano warunki przepływowe i temperaturowe układu chłodzenia w narzędziu. Zweryfikowano przebieg procesu hartowania na podstawie badań struktury i właściwości mechanicznych, metalograficznych wykonanych wytłoczek, w szczególności w miejscach podatnych na występowanie wad, zidentyfikowanych na etapie symulacji MES. Wykonano pomiar geometrii wytłoczek, porównano z modelem nominalnym. Analizując wyniki pomiarów parametrów mechanicznych produkowanych wytłoczek można stwierdzić że, • w każdym punkcie pomiarowych wytłoczki osiągnęły odpowiednią twardość. Mieściła się ona w założonym zakresie 400 do 550 HV. • granica plastyczności w każdym punkcie pomiarowym, miała wymaganą wartość w zakresie od 950 do 1200 MPa, • granica wytrzymałości także osiągnęła wymaganą wartość w zakresie 1300÷1650 MPa w każdym punkcie pomiarowym. Zaobserwowano strukturę martenzytyczną we wszystkich próbkach pobranych z każdego z punktów pomiarowych. Analizując raporty pomiarowe z pomiarów geometrii wyprodukowanych wytłoczek można stwierdzić, w żadnym z punktów nie przekroczono założonych tolerancji wykonania wytłoczki. Oznacza to że opracowana w pierwszym etapie badań strategia kompensacji

	deformacji hartowniczych na etapie projektowania tłoczniaka dała dobre rezultaty w praktyce.
--	--

Wyniki prac badawczo rozwojowych można przedstawić w następujących punktach: metodologia analiz sprzężonych zjawisk cieplno-przepływowych opracowana w wyniku realizacji projektu dała dobre rezultaty potwierdzone wynikami badań doświadczalnych. Opracowane dwuetapowe podejście do analiz procesu chłodzenia narzędzi jest możliwe do wykorzystania w praktyce przemysłowej.

Wyniki badań dokładności kształtowo-wymiarowych potwierdziły słuszność opracowanych metodologii kompensacji deformacji hartowniczych. Aby poprawnie rozwiązać zadanie kompensacji hartowniczych należy wykonać następujące kroki:

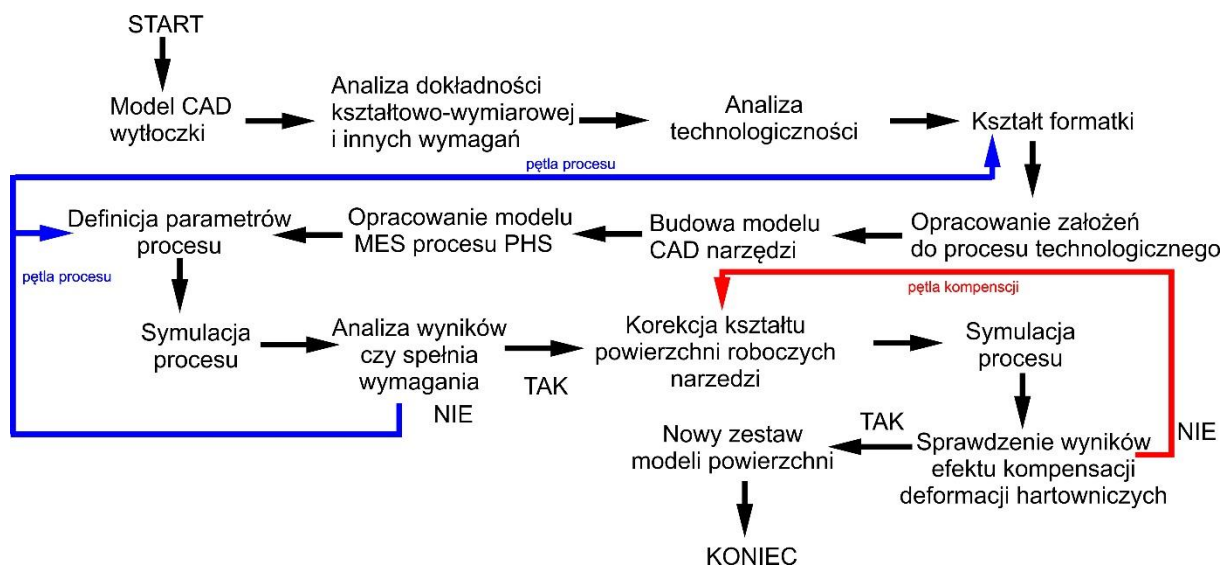
- a) określić wymagania dotyczące tolerancji kształtowo- wymiarowych analizowanych wytłoczek,
- b) zbadać czy model wytłoczki jest technologiczny – tzn. czy można go wyprodukować w procesie tłoczenia na gorąco,
- c) opracować plan procesu technologicznego wykonania wytłoczki, uwzględniający wszelkie wymagania i ograniczenia zintegrowanej obróbki plastycznej i cieplnej,
- d) opracować sposób bazowania wytłoczki w narzędziu,
- e) opracować modele powierzchniowe CAD powierzchni roboczych narzędzi (matryce, dociski, stemple),
- f) opracować założenia techniczne technologii tłoczenia na gorąco (temperatura formatki, czas przenoszenia formatki z pieca do prasy, czas tłoczenia, przebieg prędkości ruchu suwaka prasy, czas hartowania, temperatury narzędzi, wymaganą twardość wytłoczki, model materiałowy dla określonej grubości wytłoczki),
- g) wyznaczyć kształt formatki, który gwarantuje uzyskanie gotowej wytłoczki w żądanej tolerancji wykonania obrysu formatki,
- h) opracować modele MES formatki i powierzchni roboczych tłoczniaka, zdefiniować jego wszystkie elementy składowe, parametry kinematyczne i termiczne,
- i) przeprowadzić symulację i przeanalizować wyniki symulacji z uwagi na charakterystykę warunkującą prawidłową obróbkę plastyczną (diagramy FLD i pocienienie) oraz obróbkę cieplną (rozkład twardości i martenzytu),
- j) przeanalizować wyniki symulacji z uwagi na wartości deformacji hartowniczych wytłoczki w odniesieniu do wymagań, co do tolerancji kształtowo-wymiarowych analizowanej określonych w dokumentacji technicznej.

W przypadku gdy deformacje hartownicze mają większe wartości niż zakładana dokładność kształtowo-wymiarowa wytłoczki należy wykonać analizę kompensacji tych deformacji. Analizę tę wykonuje się w następujących krokach:

- opracowanie modelu obliczeniowego do kompensacji deformacji hartowniczych i wykonanie analizy kompensacji hartowniczych przy założonych parametrach kompensatora,
- przeanalizowanie uzyskanych wyników kompensacji narzędzia na deformacje hartownicze wytłoczki, gdy deformacje hartownicze będą miały zbyt duże wartości wykonanie kolejnej pętli obliczeń. Pętle te powtarza się aż do uzyskania wytłoczek których deformacje hartownicze mieszczą się w założonym polu tolerancji.

- zapisanie skompensowanych modeli powierzchniowych CAD elementów narzędzi, które następnie będą wykorzystywane przez inżynierów konstruktorów narzędzi jako powierzchnie bazowe do opracowania konstrukcji narzędzi.

Bazując na doświadczeniach zdobytych podczas realizacji projektu badawczego, opracowano autorską metodologię analizy i kompensacji deformacji hartowniczych wytłoczek produkowanych w procesach PHS. Na rysunku 1 przedstawiono schemat czynności jakie należy wykonać podczas analizy kompensacji deformacji hartowniczych.



Rys. 1 Schemat postępowania podczas analizy kompensacji deformacji hartowniczych

Proces zaczyna się od analizy dokładności kształtowo wymiarowej wytłoczki i wymagań dotyczących parametrów mechanicznych po procesie tłoczenia na gorąco. Wynikiem tej analizy są szczegółowe wymagania co do dokładności wykonania wytłoczki takie jak tolerancje obrysu, tolerancje odwzorowania powierzchni, tolerancje wykonania i pozycji otworów itp. W kolejnym kroku wykonuje się analizę technologiczności wytłoczki, która polega na wyszukaniu optymalnego kierunku tłoczenia oraz sprawdza się czy jest zachowane odpowiednie pochylenie ścianek wytłoczki względem kierunku tłoczenia. W dalszej kolejności wyznacza się kształt formatki i opracowuje się założenia do procesu technologicznego produkcji wytłoczki, przygotowuje się koncepcję budowy narzędzia, sekwencje formowania obszarów wytłoczki itp. Bazując na modelu CAD wytłoczki modeluje się wszystkie elementy narzędzia, są to modele powierzchniowe. W dalszej kolejności opracowuje się model MES procesu technologicznego wykonania wytłoczki i definiuje się wszystkie parametry techniczne związane z procesem. Po wykonaniu symulacji MES procesu analizuje się wyniki FLD, pocienienia oraz wyniki związane z procesem hartowania takie jak twardość oraz udział martenzytu w wytłoczce. Jeśli wyniki nie spełniają wymagań to zmienia się pewne założenia do procesu technologicznego (np. inna sekwencja wykonania wytłoczki), zmienia się w niewielkim zakresie kształt formatki lub zmienia się pewne parametry procesu (np. czas przenoszenia formatki z pieca do prasy) i wykonuje się ponowne symulacje. Symulacje te przeprowadza się w pętlach (pętla procesu – kolor niebieski na rysunku) aż do uzyskania poprawnych wyników. Gdy wyniki symulacji potwierdzą że analizowana wytłoczka spełni wymagania procesu obróbki plastycznej i cieplnej, w kolejnym kroku analizowane są deformacje hartownicze i następuje ich kompensacja. W pierwszym etapie budowany jest model MES ze

skompensowanymi modelami narzędzi. Taki model jest symulowany w oprogramowaniu. Wynikiem tej symulacji są skompensowane deformacje hartownicze – które po każdej pętli powinny mieć mniejsze wartości. Symulacje te przeprowadza się w pętlach aż do uzyskania takich deformacji które spełniają wymagania dokładności kształtowo wymiarowej analizowanej wytłoczki.

Efektem końcowym całej analizy jest zestaw modeli CAD narzędzi, których kształt uzyskany na drodze symulacji komputerowej umożliwia produkcję wytłoczek w zakładanej dokładności kształtowo – wymiarowej. Modele te posłużą jako baza do konstrukcji elementów tłoczni.

Komputerowa analiza deformacji hartowniczych pozwoliła na wyeliminowanie kosztownych i czasochłonnych procesów dostosowania narzędzi na etapie uruchamiania produkcji.