

*rpdtA06 → RAPORT wstępny № 06 do PROJEKTU DESIGN THINKING
(do zajęć z przedmiotu APMA1 i INAML na rok 2019)*

Modernizacja urządzenia do zgrzewania tarcowego i badanie wyrobów

Założenia do modernizacji urządzeń technologicznych do doczołowego zgrzewania tarcowego prętów celem zwiększenia zakresu monitorowania parametrów i umożliwienia spajania metali UFG¹ oraz wytyczne do badania wytrzymałości zgrzewanych wyrobów

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie.....	2
Zgrzewane przedmioty.....	3
Modernizacja zgrzewarki przemysłowej.....	4
Pomiar dodatkowych wielkości.....	5
Założenia konstrukcyjne dla dodatkowego monitorowania.....	6
Nietypowa strategia sterowania.....	7
Założenia konstrukcyjne dla nietypowej strategii sterowania.....	8
Budowa zgrzewarki doświadczalnej.....	8
Założenia konstrukcyjne dla zgrzewarki doświadczalnej.....	10
Mocowanie przedmiotów.....	11
Potrzeby badawcze.....	12
Próbki do rozciągania.....	12
Mocowanie rozciąganych próbek.....	13
Rozciąganie.....	16
Literatura.....	16

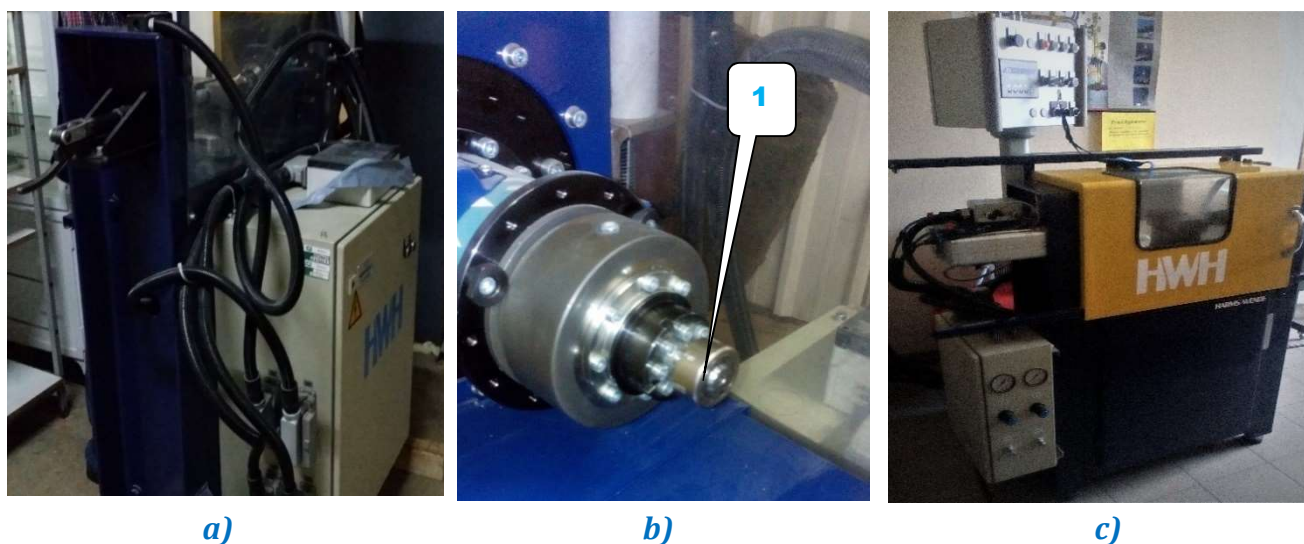
¹ UFG to nowoczesna klasa metali i ich stopów opracowana z przeznaczeniem na konstrukcje o wysokich właściwościach wytrzymałościowych potrzebnych w technice lotniczej (zwłaszcza kosmicznej) i energetyce (zwłaszcza jądrowej). Procesy wytwarzania takich metali wywodzą się z nanotechnologii. Więcej o właściwościach tej nowej klasy materiałów konstrukcyjnych można dowiedzieć się na przedmiocie obieralnym INAML (Inżynieria Nanomateriałów i Metali Lekkich) oferowanym na studiach inżynierskich dla kierunków AiR oraz MiBM

WPROWADZENIE

Przemysłowe zgrzewarki tarciove mają ograniczony zakres monitorowania parametrów. Zazwyczaj są zapisywane jedynie podstawowe parametry, które wymienia norma PN-EN 15620 „Zgrzewanie tarciove metali” [1]. W zszywce do ćwiczenia am1² pokrótce omówiono te parametry i podano ich znaczenie. W zszywce am4³ natomiast – w rozdziałach „Przykład analizy” i „Dodatkowe analizy” – szczegółowo opisano jakim zmianom podlegają ich przebiegi w czasie cyklu zgrzewania.

Typowy układ monitorowania parametrów cyklu zgrzewania zainstalowany na zgrzewarce przemysłowej omówiono w rozdziale „Monitorowanie parametrów zgrzewania” zszywki am4⁴. Działanie układu prezentowano podczas zgrzewania tarciovego przeprowadzonego z użyciem urządzenia firmy Harms-Wende, HWH model RSMG21 3X, które można zobaczyć na Rys. 1. Układ monitorowania umożliwia użytkownikowi oglądanie w czasie zgrzewania przebiegów następujących wielkości:

- prędkość obrotowa pręta ruchomego n ,
- siły docisku reprezentowane przez ciśnienia (w okresie tarcia P_T oraz w okresie spęczania P_S),
- przemieszczenie względne nieodkształconych końców zgrzewanych przedmiotów, równe sumarycznemu skróceniu przedmiotów S



Rys. 1. Przemysłowa zgrzewarka tarciove przewidziana do modernizacji: a) widok skrzynki zasilającej (tylna część), b) fragment strefy roboczej (wrzeczono z uchwytem „1” mocującym przedmiot ruchomy), c) widok zgrzewarki od strony operatora

Na ekranie komputera monitorującego przebieg zgrzewania są pokazywane wykresy tych wielkości, rysowane w funkcji czasu cyklu zgrzewania. Wartości są jednak wyświetlane w jednostkach umownych, odniesionych do zadeklarowanej przez użytkownika wartości maksymalnej danej wielkości fizycznej. Taki umowny sposób prezentacji wyników utrudnia prowadzenie analiz.

Na potrzeby zbierania danych technologicznych o zgrzewaniu tarciowym planuje się rozbudowę **układu monitorowania** dla pozyskiwania bogatszej informacji, zwłaszcza o parametrach energetycznych i

² Zszywka **am1** dostępna na stronie www przedmiotu w zakładce LABORATORIA w sekcji **APMA1** (pod linkiem http://lolejniki.eta.pl/ss/zszywki%20APMA/zszywka_am1-automatyzacja.pdf)

³ Zszywka **am4** dostępna na stronie www przedmiotu w zakładce LABORATORIA w sekcji **APMA1** (pod linkiem http://lolejniki.eta.pl/ss/zszywki%20APMA/zszywka_am4-podawanie.pdf)

⁴ Zszywka **am4** dostępna na stronie www przedmiotu w zakładce LABORATORIA w sekcji **APMA1** (pod linkiem http://lolejniki.eta.pl/ss/zszywki%20APMA/zszywka_am4-podawanie.pdf)

termicznych spajania. Celem gromadzenia dużej liczby danych doświadczalnych jest opracowanie strategii nadzorowania⁵ tego procesu spajania metali.

Zgrzewarka przemysłowa jest przystosowana do prowadzenia spajania z wysoką wydajnością. Znacznie mniej możliwości daje użytkownikowi w zakresie wprowadzania nastaw. Zwłaszcza jeśli chodzi o niskie wartości parametrów, które są potrzebne np. do spajania miniaturowych wyrobów dla mechatroniki i mikrotechnologii. Nie ma też elastyczności w zakresie testowania różnych strategii prowadzenia zgrzewania, jak np. ingerowanie w tradycyjny przebieg fazy hamowania znany pod nazwą metody LHI.

Mając na względzie potrzebę prowadzenia prac rozwojowych w obszarze technologii zgrzewania zwłaszcza nowych materiałów, zdecydowano o budowie małej zgrzewarki doświadczalnej przeznaczonej wyłącznie do celów badawczo-dydaktycznych. Ta zgrzewarka będzie pozbawiona funkcjonalności właściwej urządzeniom przemysłowym, które muszą zapewnić wysoką wydajność. Do celów naukowych można zgodzić się na wydłużenie czasów przygotowawczo zakończyeniowych, głównie związanych z mocowaniem przedmiotów i zatrzymaniem ruchu po zakończeniu zgrzewania celem wyjęcia wyrobu. Różne koncepcje budowy autonomicznej zgrzewarki badawczej rozważano w zeszycie am3⁶. Tam też w rozdziale „Rozwiązania wybrane do realizacji” podano cele, jakie chcemy osiągnąć modernizując zgrzewarki i opisano sposób osiągnięcia tych celów. Poniżej zaś zebrano założenia określające wytyczne do działań modernizacyjnych. Założenia projektowe zostały sformułowane oddzielnie dla zgrzewarki przemysłowej (projekt *Welder1*) i zgrzewarki autonomicznej (projekt *Welder2*).

ZGRZEWANE PRZEDMIOTY

W obu podejmowanych zadaniach projektowych:

1. **MODERNIZACJA ZGRZEWARKI PRZEMYSŁOWEJ** celem zwiększenia zakresu monitorowania parametrów i poszerzenia palety strategii sterowania przebiegiem zgrzewania – (projekt *Welder1*)
2. **BUDOWA ZGRZEWARKI NOWEJ GENERACJI** celem umożliwienia prowadzenia prac badawczo-rozwojowych nad nowymi urządzeniami do zgrzewania tarcowego, zwłaszcza przeznaczonymi do spajania nowoczesnych klas materiałów, jak np. metale UFG – (projekt *Welder2*)

rozważane będzie zgrzewanie TYLKO jednego rodzaju przedmiotu. Będzie to odcinek walcowego pręta o średnicy D i długości L_0 . Wymiary te pokazano na schemacie operacji na Rys. 2, na którym zaprezentowano dwa przedmioty spojone po zakończeniu cyklu zgrzewania tarcowego doczołowego RFW.

Walcowe przedmioty będą wykonane wyłącznie z miedzi, która będzie dostarczona w różnych stanach umocnienia. Zaczynając od stanu utwardzonego zgniotem H14 (stan półtwardy, dawniej z4), który jest najczęstszym stanem dostawy miedzi M1E po konwencjonalnym procesie metalurgicznym (CG – miedź gruboziarnista), przeznaczonej na rozmaite zastosowania w elektrotechnice. Docelowym stanem największego umocnienia będzie silne utwardzenie zgniotem na zimno połączone ze wzmocnieniem wynikającym z silnego rozdrobnienia ziarna do wielkości UFG – miedź ultradroboziarnista⁷.

Miedź konwencjonalna (CG – miedź gruboziarnista) zostanie pozyskana przez zakup prętów walcowych o średnicy $D = 6$ mm, który zostanie pocięty na odcinki o różnej długości (minimalna długość co najmniej $L_0^{\min} = 20$ mm). Miedź o najwyższych właściwościach wytrzymałościowych zostanie przygotowana do testowania zgrzewania tarcowego z metalu ultradroboziarnistego otrzymywanego w procesach technologicznych SPD⁸. Półwyroby (wypraski) z takich metali wytwarzanie w skali półprzemysłowej na wydziale WIP mają głównie

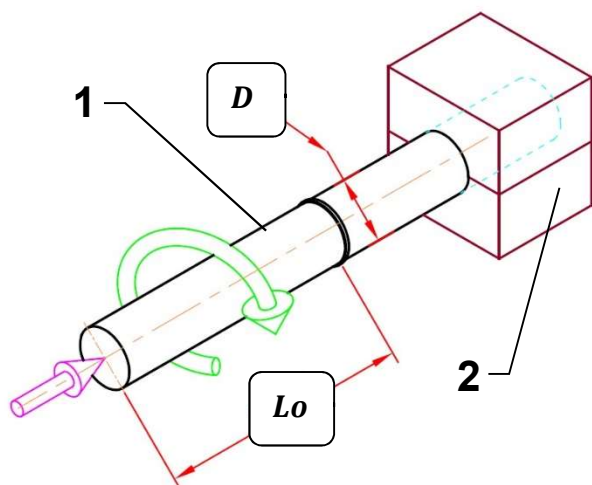
⁵ taki cel zostanie postawiony studentom w przyszłorocznej edycji przedmiotu APMA1-labotarium jako zadanie projektowe design thinking

⁶ Zszywka *am3* dostępna na stronie www przedmiotu w zakładce LABORATORIA w sekcji **APMA1** (pod linkiem http://lolejn.eta.pl/ss/zszywki%20APMA/zszywka_am3-przyrostowe.pdf)

⁷ Więcej informacji o pochodzeniu przedmiotów przeznaczonych do zgrzewania podano w zшыwce *am5*. Zszywka dostępna na stronie www przedmiotu w zakładce LABORATORIA w sekcji **APMA1** (pod linkiem http://lolejn.eta.pl/ss/zszywki%20APMA/zszywka_am5-kodowanie.pdf)

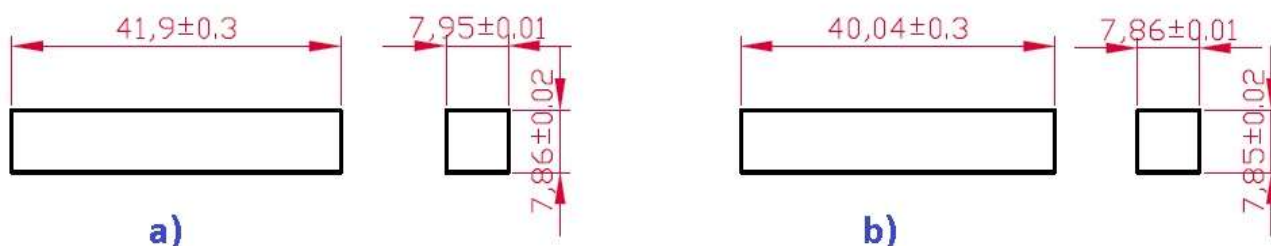
⁸ SPD = Severe Plastic Deformation – Jeden z wielu rodzajów procesów wytwarzania metali ultradroboziarnistych. Grupa badawcza **UFGbySPD** zajmuje się na wydziale WIP opracowywaniem takich procesów, budową oprzyrządowania technologicznego oraz sterowanych numerycznie maszyn technologicznych dla techniki SPD, a także automatyzacją cykli produkcyjnych

przeznaczenie badawcze i z tego powodu niestety bądź mają niewielkie rozmiary, bądź też ich dostępność jest mocno ograniczona.



Rys. 2. Schemat zgrzewania tarcowego krótkich odcinków prętów walcowych: 1-pręty zgrzewane – lewy obracany (przedmiot ruchomy), prawy nieruchomy (przedmiot stały), 2- uchwyt przedmiotu stałego

Walcowe przedmioty z metali UFG, przeznaczone do zgrzewania tarcowego (nazywane wsadami do zgrzewania), będą zatem z konieczności miały małe średnice i niedużą długość a ich liczebność będzie ograniczona. Przedmioty będą pobierane z rozmaitych prostopadłościennych wyprasek uzyskiwanych w procesach technologicznych SPD, które są testowane na wydziale WIP. Na Rys. 3 pokazano rysunek techniczny wyprasek, których wymiary należy traktować jako najmniejsze (graniczne). Ten z Rys. 3a opracowano na podstawie danych doświadczalnych uzyskanych po 4 przepuszczeniu przez kanał kątowy (tzw. operacja ECAP). Zaś ten na Rys. 3b prezentuje spodziewane wymiary wypraski po 6 przepuszczeniu, ponieważ dla uzyskania pełnowartościowej mikrostruktury ultra drobnego ziarna (UFG – miedź ultradrobnoziarnista) trzeba planować wykonanie jeszcze dwóch dodatkowych przepustów.



Rys. 3 Wymiary najmniejszych wyprasek z metali UFG przewidywanych do wykorzystania w projekcie zgrzewania. Wersje a i b wynikają z ilości przepustów przez kanał kontowy (jedna z technik SPD)

MODERNIZACJA ZGRZEWARKI PRZEMYSŁOWEJ

Modernizując zgrzewarkę przemysłową chcemy osiągnąć dwa cele:

1. zwiększyć zakres monitorowania parametrów zgrzewania
2. poszerzyć paletę strategii sterowania przebiegiem zgrzewania

Warto podkreślić, że obie modernizacje wymagają zmiany osadzenia uchwytu przedmiotu stałego. W miejsce typowego rozwiązania należy zastosować takie, które umożliwi obracanie się przedmiotowi stałemu wokół jego osi. Typowe przygotowanie przedmiotów do zgrzewania polega na ustaleniu niezmiennego położenia przedmiotu stałego względem ruchomego przez sprowadzenie imadła do określonego punktu wyznaczonego w przestrzeni roboczej zgrzewarki (patrz Rys.13 w zszywce am2). Odbywa się to przez wyregulowanie długości zestawu podpieraczy (patrz Rys.17 w zszywce am2) – jest to ręczne wprowadzanie nastawy regulującej warunki prowadzenia zgrzewania na zgrzewarce przemysłowej. Zakres regulacji wynosi 180 mm co jest rezultatem odsuwania imadła pneumatycznego zgrzewarki (patrz Rys.6 i Rys.15 w zszywce am2). Imadło może być oddalone od ściany tylnej korpusu na odległość:

- najmniejszą $p^{\min} = 170$ mm (porównaj oznaczenia na Rys.13 w zszywce am2)

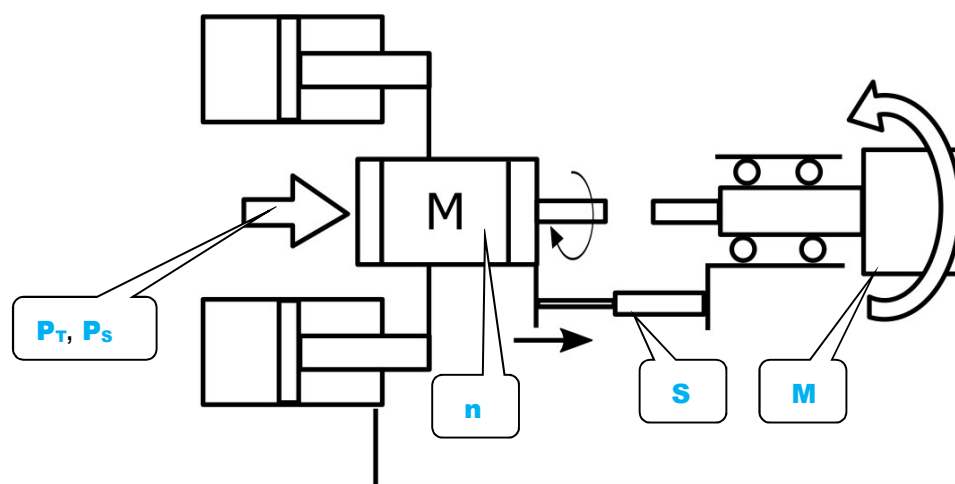
— największa $p^{\max} = 350$ mm (porównaj oznaczenia na Rys.13 w zszywce am2)

W wersji zmodernizowanej, w której na regulowany podpieracz nie ma miejsca, położenie wyjściowe przedmiotu stałego będzie musiało być ustalone konstrukcyjnie przez dobór wymiarów dodawanych elementów. Ponadto uchwyt przedmiotu stałego musi uzyskać nową cechę, która jest obca tradycyjnemu mocowaniu. Mianowicie, uchwyt w szczękach imadła musi być osadzony w taki sposób, aby był możliwy obrót przedmiotu stałego wokół jego osi, ale tylko wtedy, gdy będzie to potrzebne.

Pomiar dodatkowych wielkości

O energetyce procesu zgrzewania można dowiedzieć się znacznie więcej, gdy pozyska się informacje o wartości momentu, który jest przenoszony z przedmiotu ruchomego na stały. Zwrócono na to uwagę m.in. w zszywce do ćw. am1⁹ (np. wykres na Rys.5). W zgrzewarkach przemysłowych, w których wszystkie elementy ruchome są grupowane w jednej jednostce, zamocowanie czujnika momentu nie powinno być dużym wyzwaniem. Producenci udostępniają użytkownikom dużą przestrzeń, żeby umożliwić im zgrzewanie przedmiotów o jak największej długości. W zgrzewarce HWH odpowiednim miejscem do osadzenia takiego czujnika jest przestrzeń między uchwytem przedmiotu stałego (zespół konstrukcyjny U00) a korpusem (zespół konstrukcyjny K00) – opis zespołów konstrukcyjnych zgrzewarki przemysłowej HWH zapisano w zszywce am2¹⁰ (schemat na Rys.14) oraz w dokumencie instrukcyjnym dotyczącym modelowania¹¹ wykonywanego w ramach PROJEKTU umieszczonym na płaszczyźnie USOS. W urządzeniu HWH przestrzeń robocza między imadłem pneumatycznym (zespół konstrukcyjny U00) a tylną ścianą korpusu (część K01 Ściana tylna) jest dostatecznie duża, aby zmieścić w niej dodatkowy element pomiarowy. Trzeba jednak zdemontować przednią część podpory (zespół konstrukcyjny P00, przednią część podpory pokazano na Rys.16b w zszywce am2). Alternatywnym rozwiązaniem jest wykorzystanie spawanej konstrukcji nośnej zespołu konstrukcyjnego P00, którą pokazano na Rys.16a w zszywce am2.

Na Rys. 4. Pokazano schemat, z którego można odczytać jakie warunki trzeba spełnić, żeby na zgrzewarce przemysłowej oprócz podstawowych wielkości, tj. P_T , P_s , n , i S , możliwy był pomiar dodatkowych wielkości, zwłaszcza pomiar momentu M . Trzeba mianowicie zapewnić, żeby moment tarcia z wrzeczona nie był przenoszony na imadło posadowione na dolnej części korpusu. Przedmiot stały musi być zamocowany w uchwycie, który przeniesie moment obrotowy na tylną ściankę korpusu przez czujnik momentu.



Rys. 4. Modernizacja przemysłowego Weldera celem zwiększenia zakresu monitorowania (oznaczenia wskazują monitorowane wielkości)

⁹ Zszywka *am1* dostępna na stronie www przedmiotu APMA w zakładce LABORATORIA w sekcji **Automatyzacja procesów materiałowych** (pod linkiem http://lolejnik.eta.pl/ss/zszywki%20APMA/zszywka_am1-automatyzacja.pdf)

¹⁰ Zszywka *am2* dostępna na stronie www przedmiotu APMA w zakładce LABORATORIA w sekcji **Automatyzacja procesów materiałowych** (pod linkiem http://lolejnik.eta.pl/ss/zszywki%20APMA/zszywka_am2-nagrzewanie.pdf)

¹¹ Dokument instrukcyjny [*PROJEKT design thinking 2019 tematy APMA 10 Modelowanie HWH.pdf*] dotyczący modelowania wykonywanego w ramach PROJEKTU umieszczony na płaszczyźnie USOS pod linkiem https://usosweb.usos.pw.edu.pl/kontroler.php?action=home/usos_mail/podgladWiadomosci&message_id=102352

Dodatkowym zadaniem pomiarowym jest odczytanie rzeczywistej wartości siły docisku i rzeczywistej wartości przemieszczenia ruchomych części głowicy zgrzewającej (zespół konstrukcyjny W00) względem nieruchomego imadła pneumatycznego (zespół konstrukcyjny U00). Na schemacie z Rys. 4 wskazano, że pomiar sił P_T i P_S , odbywa się z lewej strony. W zgrzewarce HWH pomiar siły docisku odbywa się w sposób pośredni przez pomiar ciśnienia w obwodzie pneumatycznego napędu siłowników przemieszczających część ruchomą głowicy. Jest to nieadekwatny sposób pomiaru. Właściwym rozwiązaniem jest bezpośredni pomiar siły czujnikiem siły umieszczonym za czujnikiem momentu (ozn. M na Rys. 4), a wspartym na tylnej ścianie korpusu (część K01 Sciana tylna). Pomiar rzeczywistej pozycji wrzeciona wymaga zainstalowania dodatkowego czujnika przemieszczenia liniowego (ozn. S na Rys. 4).

Modernizacja zwiększająca możliwości monitorowania wymaga dodania do przestrzeni roboczej zgrzewarki przemysłowej dwóch dodatkowych zespołów konstrukcyjnych, mianowicie:

1. zespołu konstrukcyjnego $D00$ (pomiar sił P_T i P_S i przemieszczenia S)
2. zespołu konstrukcyjnego $M00$ (pomiar momentu M i wyzwalacza – triggera).

Trzy dodatkowe czujniki mierzące następujące wielkości: siły P_T i P_S , moment M i przemieszczenie S , muszą być obsłużone odpowiednim układem komputerowej rejestracji danych (DAQ). W ramach ćw. am5¹² prezentowano stosowny układ DAQ wraz z oprogramowaniem w zastosowaniu do cięcia prowadzonego na prasie mimośrodowej. Oprogramowanie umożliwia powiązanie startu sesji pomiarowej z odczytem dedykowanego sygnału cyfrowego podawanego w standardzie TTL (triggering) lub analizą wartości sygnału rejestrowanego na kanale 3 wejścia analogowego. W przypadku decyzji o zastosowaniu wyzwolenia sprzętowego trzeba zaplanować zamocowanie łącznika drogowego (triggera) w przestrzeni roboczej zgrzewarki HWH. Należy też zauważyć, że w opisie układu monitorowania przemysłowego Wedera HWH (rozdział „Układ monitorowania zgrzewarki HHW” w zszywce am4) jest wzmianka o możliwości komunikacji z zewnętrznym układem za pomocą sygnału cyfrowego.

Założenia konstrukcyjne dla dodatkowego monitorowania

Dobór czujników wymaga podania wytycznych. Poprzestaniemy na podaniu zakresu pomiarowego, który wynika z analizy specyfikacji technicznej zgrzewarki HWH. Producent podaje następujące dane:

— Prędkość obrotowa wrzeciona, n , max.	23 300 obr/min
— Moc napędu głowicy obrotowej, N ,	1,8 kW
— Przemieszczenie głowicy, S_R , max.	50 mm
— Siła docisku, P , max.	10,7 kN.

Na podstawie tych danych oraz analizy przestrzeni dostępnej do zabudowy można wyprowadzić następujące założenia dla doboru czujników:

- Maksymalna wartość mierzonego skoku S , **5 mm** uzasadnienie → uznano, że droga dobiegu przedmiotu ruchomego do przedmiotu stałego nie jest interesująca; warto natomiast rejestrować przemieszczenie na odcinku skoku roboczego, na którym powstaje wypływka, żeby odnotować skrócenie przedmiotów podczas zgrzewania mierzone względem stałego punktu odniesienia w przestrzeni roboczej zgrzewarki – patrz Rys.13 w zszywce am2 (w przypadku metali UFG skrócenie nie powinno być większe niż ok. 0,2 mm, zatem użycie czujnika o zakresie pomiarowym nawet 2 mm jest uzasadnione)
- Maksymalna wartość mierzonych sił P_T i P_S , **20 kN** uzasadnienie → uznano, że z uwagi na niewielkie rozmiary przedmiotów, które będą zgrzewane właściwie wystarczy, aby pokryć zakres obciążenia wynikającego z ciśnienia sprężonego powietrza doprowadzanego do siłowników pneumatycznych; uwzględniono jednak obciążenie dynamiczne, które może wystąpić w chwili pierwszego kontaktu czoł przedmiotów przygotowanych do zgrzewania
- Maksymalna wartość mierzonego momentu M **20 Nm** uzasadnienie → oszacowanie wartości maksymalnej momentu $M = N / n$ na podstawie mocy N i prędkości obrotowej n nie jest łatwe, gdyż nie jest znany moment bezwładności dla silnika napędu ruchu obrotowego użytego w głowicy i w rezultacie nie ma możliwości oszacowania energii kinetycznej wirnika; uznano, że czasy wytracania tej energii będą bardzo krótkie i uwzględniono chwilowe wzrosty wartości momentu, które pojawiają się przy nagłych zmianach warunków współpracy przedmiotów ruchomego i stałego (patrz Rys.5 w zszywce am1)

¹² Zszywka **am5** dostępna na stronie www przedmiotu APMA w zakładce LABORATORIA w sekcji **Automatyzacja procesów materiałowych** (pod linkiem http://lolejnik.eta.pl/ss/zszywki%20APMA/zszywka_am5-kodowanie.pdf)

- Maksymalna wysokość zabudowy stosu czujników siły i momentu **350 mm** uzasadnienie → oszacowanie wielkości największej przestrzeni dostępnej dla osadzenia planowanych czujników przeprowadzono na podstawie wartości wymiaru p^{\max} (porównaj oznaczenia na Rys.13 w zszywce am2). Wartość $p^{\max} = 350$ mm, a można ją uzyskać demontując podporę (zsp. P scharakteryzowany na Rys.16a w zszywce am2). Całkowite usunięcie zsp. P będzie wymagało zabudowania wolnej przestrzeni o wielkości $p^{\min} = 170$ mm.

Nietypowa strategia sterowania

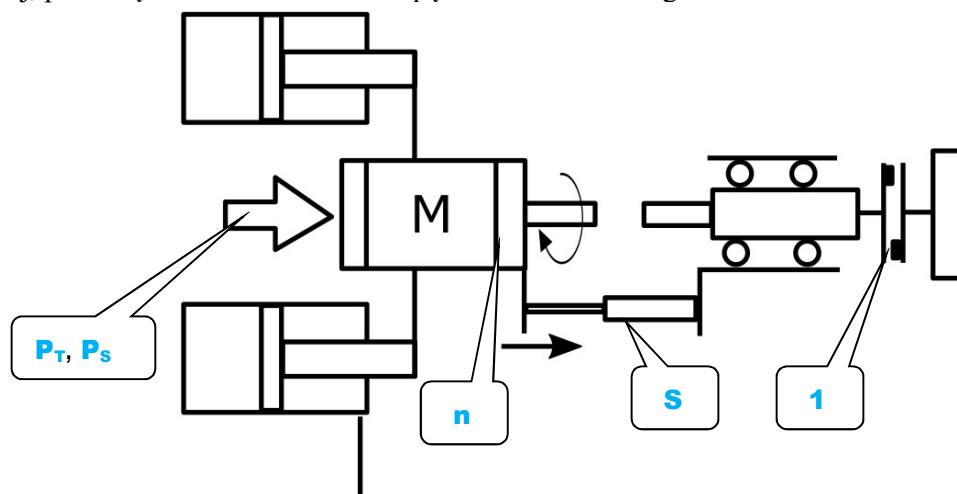
Dla konwencjonalnego zgrzewania tarciovego wypracowano dwie strategie sterowania procesem:

1. pierwsza (najczęściej stosowana) polega na zadaniu wstępnego (bo występującego w fazie tarcia) skrócenia elementów S_T . Po osiągnięciu tego skrócenia następuje spęczanie. Wynika stąd, że czas tarcia t_T jest parametrem wynikowym,
2. druga zakłada zadawanie czasu tarcia t_T ; tutaj skrócenie zgrzewanych elementów jest wielkością wynikową.

Sterowanie napędami zgrzewarki przemysłowej realizuje obie ww. strategie. Jednakże nie umożliwia prowadzenia wykonania zgrzewania przygotowanego i prowadzonego w inny sposób. Wiadomo, że możliwość precyzyjnego sterowania działaniem urządzeń w funkcji czasu staje się problematyczna, gdy zadawane czasy są rzędu kilkudziesięciu ms. Odpowiednią stabilność procesu zgrzewania materiałów ultradrobnoziarnistych, a tym samym dużą powtarzalność wyników zgrzewania takich materiałów, można osiągnąć skracając czasy nagrzewania nawet do kilkunastu ms.

Ultra szybkie nagrzewanie tarciami czół łączonych prętów i związane z tym ekstremalnie krótkie czasy utrudniają automatyzację procesu. Dlatego poszukuje się możliwości oddziaływania na przebieg zgrzewania eliminując uwarunkowania czasowe sterowania programowego. Ingerowanie w tradycyjny przebieg fazy hamowania znany jest pod nazwą metody LHI. W metodzie tej chodzi o celowe ograniczenie energii dostarczanej w procesie zgrzewania przez nagłe zatrzymanie przeniesienia ruchu obrotowego przedmiotu ruchomego na stały. Istota tej metody oraz korzyści z jej stosowania przy zgrzewaniu metali UFG były rozważane w rozdziale „Nagłe przerwanie fazy tarcia” w zszywce do ćw. am4. Tutaj zajmiemy się jedynie techniczną stroną realizacji takiego zachowania.

Natychmiastowe przerwanie przenoszenia momentu obrotowego z przedmiotu ruchomego na stały umożliwia modernizacja, której schemat pokazano na Rys. 5. W stosunku do typowego urządzenia do zgrzewania takiego, jakim jest zgrzewarka HWH w fabrycznym wykonaniu, w układzie przeniesienia napędu zastosowano sprzęgło rozłączane i załączane elektrycznie. Takie rozwiązanie sprawia, że można w dowolnej chwili cyklu zgrzewania – za pomocą sygnału sterującego – przerwać proces tarcia, bez ingerowania w przebieg procesu spęczania. Gdy uznamy, iż dostarczona w fazie tarcia porcja energii do złącza jest wystarczająca, rozłączenie sprzęgła natychmiast wprawia przedmiot stały w ruch obrotowy. Od tej chwili oba przedmioty obracają się z jednakową prędkością, oczekując na zatrzymanie wskutek wytracenia energii kinetycznej, po odcięciu zasilania układu napędu ruchu obrotowego.



Rys. 5. Modernizacja przemysłowego Weldera dla uzyskania wersji LHI; 1-elektrosprzęgło (pozostałe oznaczenia wskazują monitorowane wielkości)

Zwróćmy uwagę, że w rozważanej propozycji sprzęgło osadzono w tym samym miejscu, w którym w poprzedniej propozycji (monitorowanie dodatkowych wielkości) znajdował się czujnik momentu. Konstrukcja przeniesienia ruchu obrotowego z wrzeciona przez zgrzewane przedmioty na korpus zgrzewarki też jest analogiczna. Wykorzystano tu zatem takie same cechy zgrzewarki przemysłowej, w której producent daje użytkownikowi dużo miejsca na zamocowanie przedmiotu stałego. W tym rozwiązaniu także będą musiały być mierzone dodatkowe parametry takie, jak siły P_T i P_S , mierzone bezpośrednio dedykowanym czujnikiem siły oraz skok roboczy wrzeciona S , mierzony dedykowanym czujnikiem przemieszczenia liniowego.

Modernizacja zwiększająca możliwości sterowania przebiegiem zgrzewania wymaga dodania do przestrzeni roboczej zgrzewarki przemysłowej jednego dodatkowego zespołu konstrukcyjnego, mianowicie:

1. zespołu konstrukcyjnego $L00$ (zabudowa sprzęgła sterowanego elektromagnetycznie z jednoczesną możliwością pomiaru sił P_T i P_S i przemieszczenia S)

Założenia konstrukcyjne dla nietypowej strategii sterowania

Wytyczne dla doboru sprzęgła sterowanego elektromagnetycznie można oprzeć na danych określanych dla czujnika momentu. Dążąc jednak do zapewnienia wysokiej skuteczności działania postanowiono zastosować współczynnik 4 przy szacowaniu wartości przenoszonych momentu. Zatem należy przyjąć:

- Moment statyczny ($4 * 20 \text{ Nm}$) **80 Nm** uzasadnienie → oszacowano moment statyczny; moment dynamiczny ma mniejszą wartość i jest oznaczany dla określonej prędkości obrotowej z charakterystyk dostarczanych przez producenta w postaci wykresów
- Czas rozłączania, nie większy niż **0,05 s** uzasadnienie → czas rozłączania sprzęgła jest zwykle dwukrotnie mniejszy od czasu jego załączania; wartość tego parametru zależy od rozmiaru sprzęgła
- Maksymalna wysokość zabudowy stosu elektro-sprzęgła i czujnik siły **350 mm** uzasadnienie → badania zgrzewania prowadzonego metodą LHI warto połączyć z pomiarem siły. Dlatego rozpatrzono osadzenie planowanego sprzęgła wraz z czujnikiem siły, którego zastosowanie rozważano w punkcie dpt. dodatkowego monitorowania. Przy szacowaniu wielkości dostępnej przestrzeni rozpatrywano wartości, jakie przyjmuje wymiar p (porównaj oznaczenia na Rys.13 w zszywce am2). Wartość $p^{\max} = 350 \text{ mm}$, a można ją uzyskać demontując podporę (zsp. P scharakteryzowany na Rys.16a w zszywce am2). Całkowite usunięcie zsp. P będzie wymagało zabudowania wolnej przestrzeni o wielkości $p^{\min} = 170 \text{ mm}$.

Przy doborze sprzęgła będzie występowała sprzeczność: czym większe sprzęgło (a pożądana jest wysoka wartość momentu) tym dłuższy czas rozłączania.

BUDOWA ZGRZEWARKI DOŚWIADCZALNEJ

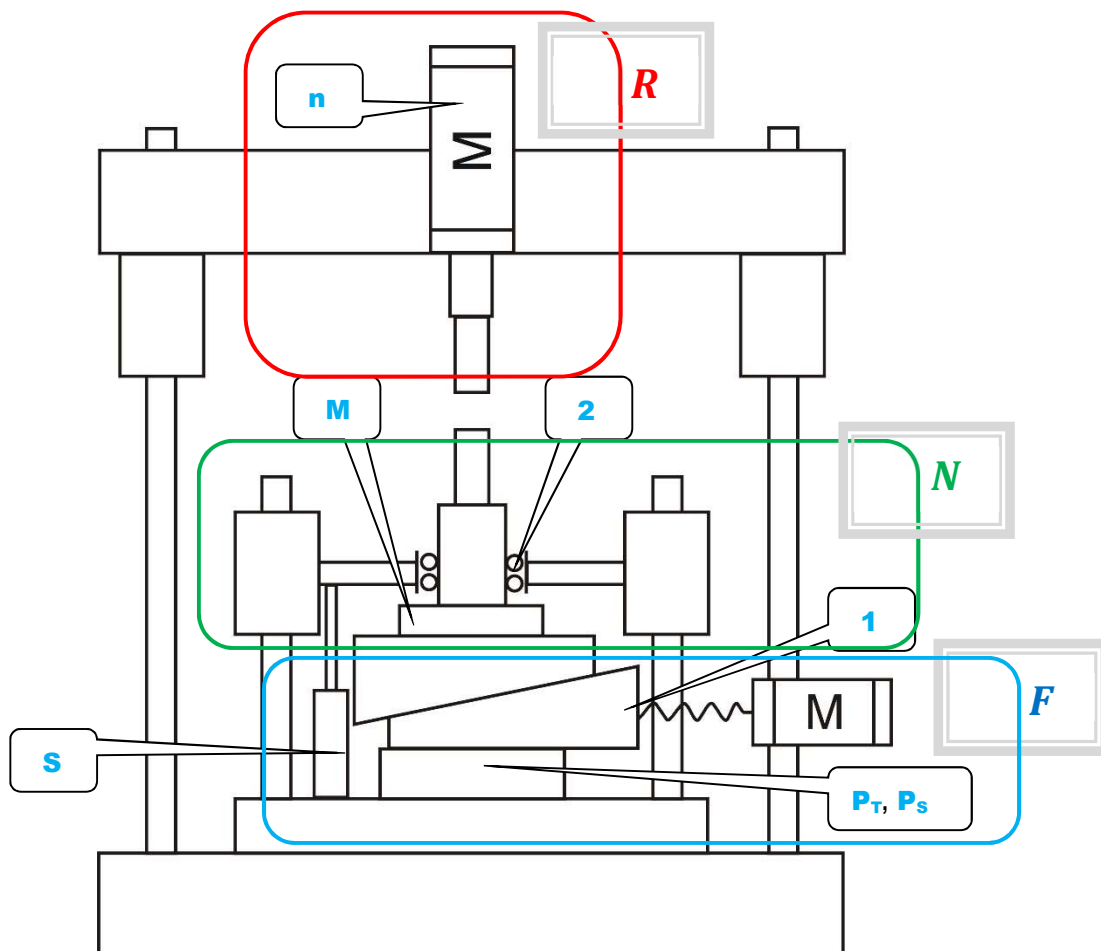
Zgrzewarka własnej konstrukcji, przeznaczona do celów naukowo-dydaktycznych, zostanie zrazu wykonana w wersji, która zapewni konkurencyjność w stosunku do koncepcji modernizacji zgrzewarki przemysłowej. Dlatego spośród dwóch propozycji – zgłoszonych w zszywce am3, odpowiednio na Rys.15 i Rys.16 – wybrano do realizacji odmianę skromniejszą, którą przypomniano na Rys. 6. Uproszczenie polega na braku funkcjonalności właściwej dla zgrzewania metodą LHI. Przypomnijmy, że na Rys. 5 pokazano schemat zmodernizowanej wersji przestrzeni roboczej Weldera przemysłowego, która uzyskała już zdolność do natychmiastowego przerwania przenoszenia momentu obrotowego z przedmiotu ruchomego na stały.

Cechy konstrukcyjne autonomicznej zgrzewarki doświadczalnej omówiono już w rozdziale „Zgrzewarka we własnym korpusie (Welder2b)” zszywki am3. Tutaj dodatkowo wyodrębniono w jej budowie zespoły konstrukcyjne¹³ i wskazano ich położenie na schemacie z Rys. 6. Tak więc mamy:

- zespół konstrukcyjny $N00$ (mocowanie „obrotowego” uchwytu przedmiotu stałego z jednoczesnym pomiarem momentu M przenieszonego przy zgrzewaniu z przedmiotu ruchomego na stały oraz pomiarem przemieszczenia S w zakresie skoku roboczego)
- zespół konstrukcyjny $R00$ (mocowanie głowicy elektrowrzeciona z uchwytem przedmiotu ruchomego i jednoczesnym pomiarem jego prędkości obrotowej n)

¹³ Patrz również → dokument instrukcyjny [[PROJEKT design thinking 2019 tematy APMA 14 MODERNIZACJE MFM.pdf](#)] dotyczący modelowania doświadczalnego Weldera (MFM) wykonywanego w ramach PROJEKTU

- zespół konstrukcyjny $F00$ (napęd posuwu przemieszczający wzdłuż osi przedmiot stały dzięki czemu realizowany jest posuw przy jednoczesnym pomiarze sił P_T i P_S docisku)



Rys. 6. Schemat doświadczalnej zgrzewarki autonomicznej w wersji zubożonej z rozdzielonym napędem obrotowym (głowica) i posuwowym (elektronapęd z układem klinowym): n -głowica obrotowa, M -momentomierz, S -czujnik przemieszczenia, P_T, P_S – czujnik siły docisku, 1- elektronapęd z układem klinowym, 2- obrotowy uchwyt przedmiota stałego

Zgrzewarka doświadczalna będzie wyposażona w układ monitorowania umożliwiający pozyskanie rozszerzonego spektrum parametrów. Sesje pomiarowe będą obsługiwane odpowiednim układem komputerowej rejestracji danych (DAQ). W ramach ćw. m12¹⁴ zaprezentowano stosowny układ DAQ wraz z oprogramowaniem w zastosowaniu do cięcia prowadzonego na prasie mimośrodowej. Oprogramowanie umożliwia powiązanie startu sesji pomiarowej z odczytem dedykowanego sygnału cyfrowego podawanego w standardzie TTL (triggering) lub analizą wartości sygnału rejestrowanego na kanale 3 wejścia analogowego. W przypadku decyzji o zastosowaniu wyzwolenia sprzętowego trzeba zaplanować zamocowanie łącznika drogowego (triggera) w przestrzeni roboczej zgrzewarki doświadczalnej.

Do doboru czujników osadzanych w przestrzeni roboczej tej autonomicznej zgrzewarki a zwłaszcza do doboru zespołów funkcjonalnych, właściwych dla urządzeń do zgrzewania tarcowego należy wyspecyfikować założenia konstrukcyjne.

¹⁴ Zszywka *m12* dostępna na stronie www przedmiotu w zakładce LABORATORIA w sekcji **MIERK** (pod linkiem http://lolejnik.eta.pl/ss/zszywki_mk/zszywka%20mk12%20pomiar%20masy.pdf)

Założenia konstrukcyjne dla zgrzewarki doświadczalnej

Zgrzewarka doświadczalna powinna mieć następującą specyfikację techniczną:

— Prędkość obrotowa wrzeciona, n , max.	20 000 obr/min
— Moc napędu głowicy obrotowej, N ,	1,0 kW
— Przemieszczenie przedmiotu przy zgrzewaniu, S_R , max.	3 mm
— Siła docisku, P , max.	5 kN.

Na podstawie przyjętej specyfikacji można wyprowadzić założenia dla doboru nie tylko czujników, ale przede wszystkim do doboru właściwych elementów konstrukcyjnych. Najwięcej kontrowersji budzi szacowanie wielkości momentu obrotowego przenoszonego przez łączone przedmioty przy zgrzewaniu, który musi być pomierzony przez czujnik momentu (ozn. M na Rys. 6). Proponuje się przyjąć następujące wartości:

- Maksymalna wartość prędkości obrotowej n , **21000 obr/min** uzasadnienie → prędkość obrotowa n wrzeciona powinna być możliwie duża. Przegląd dostępnych na rynku rozwiązań konstrukcyjnych głowic używanych do tarcowego zgrzewania doczołowego, wykazuje, że w zgrzewarkach stosowane są już prędkości w zakresie 21 tys. ÷ 24 tys. obr/min. Prędkość obrotowa wrzeciona budowanej zgrzewarki doświadczalnej nie powinna być mniejsza niż 20 000 obr/min.
- Maksymalna wartość mierzonego skoku S , **5 mm** uzasadnienie → droga jaką przebywa przedmiot ruchomy do przedmiotu stałego na odcinku skoku roboczego, którą warto rejestrować celem oceny wielkości powstającej wypłytki jest mała (zwłaszcza w przypadku zgrzewania metali UFG). Uznano jednak, że warto odnotować przemieszczenie w większym zakresie, a nie tylko ruch względny na potrzeby określenia skrócenia przedmiotów
- Maksymalna moc napędu głowicy obrotowej, N , **~1 kW** uzasadnienie → taka moc głowicy (dwukrotnie mniejsza od udostępnionej do badań zgrzewarki przemysłowej HWH) powinna być wystarczająca, zwłaszcza, że przy zgrzewaniu prętów o małej przecież średnicy 6 mm planuje się wykorzystywać ekstremalnie wysokie prędkości obrotowe i wyjątkowo krótkie czasy trwania poszczególnych faz cyklu zgrzewania. Wartość mocy będzie podstawą szacowania wartości sił docisku i momentu obrotowego.
- Maksymalna wartość mierzonych sił P_T i P_S , **10 kN** uzasadnienie → w rozdziale „Siła osiowa” zszywki am1 prowadzono obliczenia sił docisku w fazach tarcia i spęczania. Dla dwukrotnie większej mocy N głowicy uzyskano dla maksymalnej prędkości obrotowej n głowicy maksymalną wartość siły w fazie tarcia $P_T = 6$ kN, co na powierzchni czół prętów o średnicy $\varnothing 6$ mm wytworzy naciski powierzchniowe równe ok. 200 MPa. Jest to ponad trzykrotnie większa wartość od nacisków zalecanych dla miedzi w fazie spęczania. Ostatecznie przyjęto, zaokrągloną wartość siły do 10kN, jako zalecaną dla określenia zakresu pomiarowego czujnika siły i obciążenia układu wywierającego siłę docisku.
- Maksymalna wartość mierzonego momentu M **20 Nm** uzasadnienie → oszacowanie wartości maksymalnej momentu $M = N / n$ prowadzono na podstawie mocy N i prędkości obrotowej n przy założeniu momentu bezwładności wirnika silnika napędu ruchu obrotowego użytego w głowicy. Oszacowano energię kinetyczną wirnika i dla spodziewanych krótkich czasów przekazywania energii oszacowano moc chwilową, a na jej podstawie obliczono moment uzyskując wynik 20 kN.

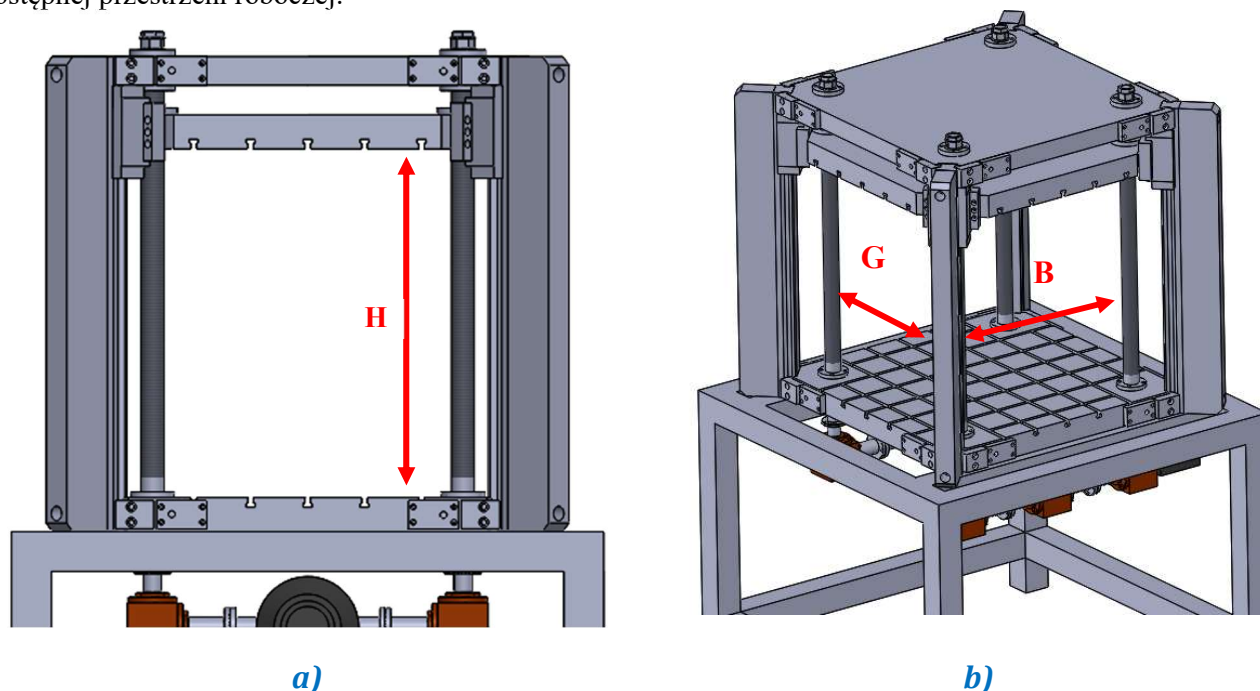
Doświadczalna zgrzewarka autonomiczna uzyska kompaktową budowę. Zostanie to osiągnięte przez zastosowanie dwóch opraw uniwersalnych z prowadzeniem słupowym¹⁵:

- Wewnętrznej oprawy mniejszej, w której zabudowano uchwyt przedmiotu stałego, elektronapęd z układem klinowym, czujnik przemieszczenia i czujnik siły docisku oraz czujnik momentu → zespoły konstrukcyjne „ F ” i „ N ”
- Zewnętrznej oprawy większej, w której osadzono oprawę wewnętrzną (na dolnej płycie tej oprawy) oraz głowicę elektrowrzeciona z uchwytem przedmiotu ruchomego (w górnej płycie tej oprawy) → zespół konstrukcyjny „ R ”

Ta zwarta konstrukcja – zamknięta w uniwersalnej oprawie słupowej (zewnętrzna oprawa większa) – zostanie osadzona w korpusie prasy. Powierzchnia stołu prasy jak również powierzchnia suwaka są przystosowane do mocowania przyrządów za pomocą elementów złącznych współpracujących z rowkami teowymi. Opis wykorzystania korpusu prasy MFM z napędem mechanicznym (cztery śruby pociągowe)

¹⁵ informacje w katalogu OPRAWY I CZĘŚCI ZNORMALIZOWANE DO TŁOCZNIKÓW firmy <http://www.fcpc.com.pl>
dostawcy normaliów <https://proplastica.pl/pl/oprawy-i-czesci-znormalizowane-do-tlocznikow-1/>

podano w rozdziale „Założenia projektowe Welder 2” zszywki am3. Poniżej na Rys. 7 podano wymiary dostępnej przestrzeni roboczej.



Rys. 7. Wymiary przestrzeni roboczej maszyny MFM: a) widok od przodu (strona operatora) b) widok w izometrii pokazujący również boczną stronę maszyny (strona obserwatora)

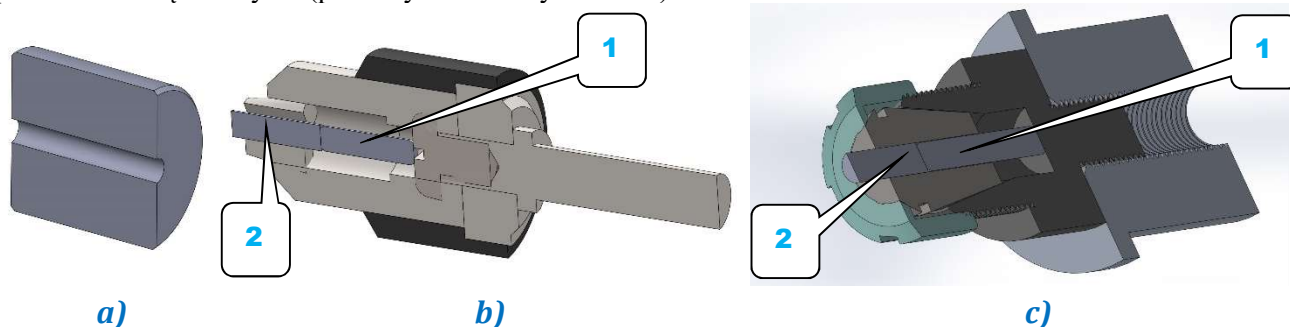
Przestrzeń roboczą prasy MFM charakteryzują trzy wymiary H (wysokość) \times B (szerokość) \times G (głębokość) o następujących wartościach:

- Wysokość maksymalna dostępna po całkowitym uniesieniu poprzeczki (mierzona między powierzchniami stołu i przestawnej poprzeczki), $H = 610 \text{ mm}$
- Szerokość maksymalna dostępna od strony operatora (mierzona między śrubami pociagowymi, $B = 485 \text{ mm}$)
- Głębokość maksymalna dostępna od strony obserwatora (także mierzona między śrubami pociagowymi, $G = 485 \text{ mm}$).

MOCOWANIE PRZEDMIOTÓW

Jak wynika ze schematów pokazanych na Rys. 4, Rys. 5 i Rys. 6 wszystkie planowane modernizacje wymagają ułożyskowania uchwytu przedmiotu stałego. Tylko w ten sposób będzie można przenieść moment obrotowy z przedmiotu ruchomego poprzez przedmiot stały na czujnik mierzący moment obrotowy lub na sprzęgło odłączające napęd ruchu obrotowego w wybranym momencie cyklu zgrzewania. W zszywce am2 w rozdziale „Mocowanie przedmiotu stałego (zsp.U)” dyskutowano rozmaite sposoby zamocowania przedmiotu stałego w szczekach imadła. Na Rys. 8 zaprezentowano trzy uchwyty do zamocowania przedmiotu stałego. Do prób wstępnych zgrzewania na Welderze przemysłowym HWH przedmiotów z miedzi, o wymiarach scharakteryzowanych na Rys. 2, używano uchwytu wiertarskiego z Rys. 8b. Docelowo będzie stosowany wyłącznie ujednolicony system oparty na tulejkach zaciskowych ER20, który pokazano na Rys. 8c. Ten typ uchwytu przedstawiono w rozdziale „Mocowanie uchwytu z tulejką zaciskową (zsp.Ud) w zszywce am2. Opisane zalecenie mocowania przedmiotu stałego dotyczy wszystkich zmodernizowanych wersji zgrzewarek, czyli Weldera 1 (HWH) i Weldera 2 (MFM). Uchwyt z tulejką zaciskową ER20 zaprezentowany na Rys. 8c jednak nie nadaje się do planowanych badań, w których będzie mierzona również temperatura powstającego złącza. Temperatura będzie mierzona za pomocą termoelementów płaszczowych, których spoina pomiarowa musi być doprowadzona przez uchwyt w pobliże przedmiotu zgrzewanego. Dlatego korpus uchwytu do tulejki zaciskowej ER20 nie może mieć standardowego wykonania, które widzimy na Rys. 8c. Potrzebny jest korpus w wykonaniu tulejowym, jakie zastosowano w uchwycie przedmiaru ruchomego we wrzecionie. We wrzecionie głowicy RSM200 producent HWH zastosował specjalne rozwiązanie uchwytu umożliwiające

mocowanie długich przedmiotów walcowych. Jest to specjalna odmiana typowego uchwytu stosowanego w oprawkach narzędziowych (patrz Rys.12 w zszywce am2).



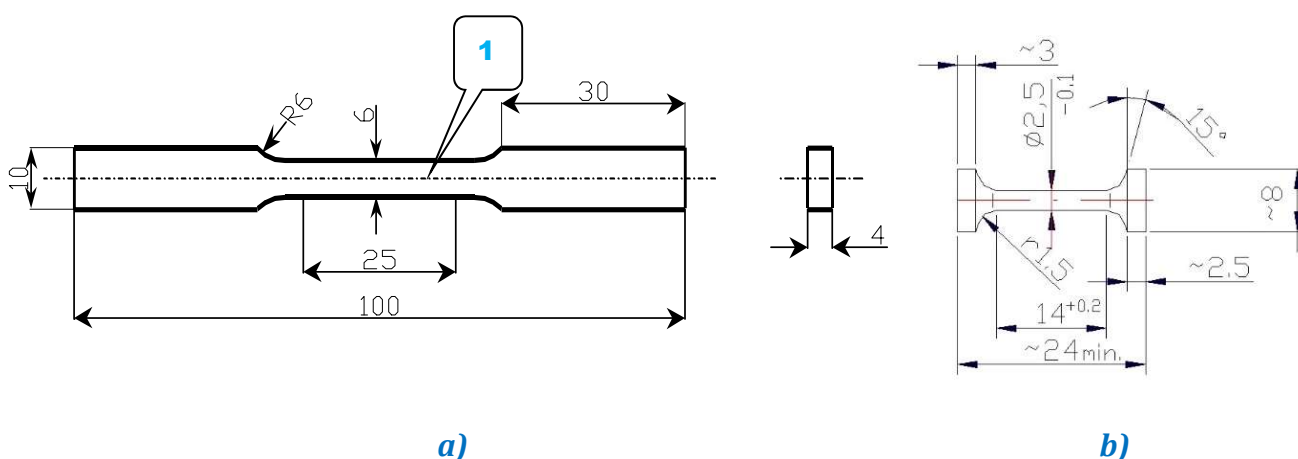
Rys. 8. Uchwyt przedmiotu stałego stosowane w zgrzewarce przemysłowej HWH: a) cz. „U01 Szczeka pol-tulejowa” do bezpośredniego mocowania przedmiotów w szczękach imadła pneumatycznego, b) zespół „Uc Uchwyt wiertarski” przystosowany do mocowania w imadle z użyciem cz. „U01 Szczeka pol-tulejowa”, c) zespół „Ud Uchwyt zaciskowy ER20” z tulejką zaciskową ER20; 1-element podpierający = „Uc4 Walcowy element dystansowy”, 2-przedmiot stały = „Uc0 Wsad do zgrzewania o średnicy 6 mm”

POTRZEBY BADAWCZE

Projektując przedmioty do zgrzewania tarcowego doczołowego należy uwzględnić także potrzeby badania wytrzymałości złącz.

Próbki do rozciągania

Wytrzymałość złączy uzyskiwanych techniką zgrzewania tarcowego doczołowego tradycyjnie jest badana w próbie jednoosiowego rozciągania. Na Rys. 9 pokazano maksymalne i minimalne długości próbek, które mogą być badane na maszynach wytrzymałościowych w grupie badawczej **UFEBYSPD**. Jednak obecnie dostępna jest tylko jedna maszyna wytrzymałościowa, mianowicie zrywarka z napędem mechanicznym INSTRON 1115. Dlatego badania zgrzewanych wyrobów należy tak zaplanować, aby wszystkie próby wytrzymałościowe mogły być przeprowadzone z użyciem uchwytów tej zrywarki.



Rys. 9. Wymiary próbek do próby jednoosiowego rozciągania: a) płaska duża, b) walcowa mała; 1- położenie zgrzeiny

Podstawowym parametrem geometrycznym walcowej próbki do rozciągania są wymiary jej części pomiarowej, a więc jest średnica d_0 i długość L_0 . Aby próbki do jednoosiowego rozciągania mogły posłużyć do wyznaczania właściwości materiału ich wymiary muszą spełniać wymogi ujęte w normach przedmiotowych¹⁶. Podstawowym wymogiem jest zachowanie krotności L_0/d_0 , która nie powinna być mniejsza niż 5 (tzw. próbka

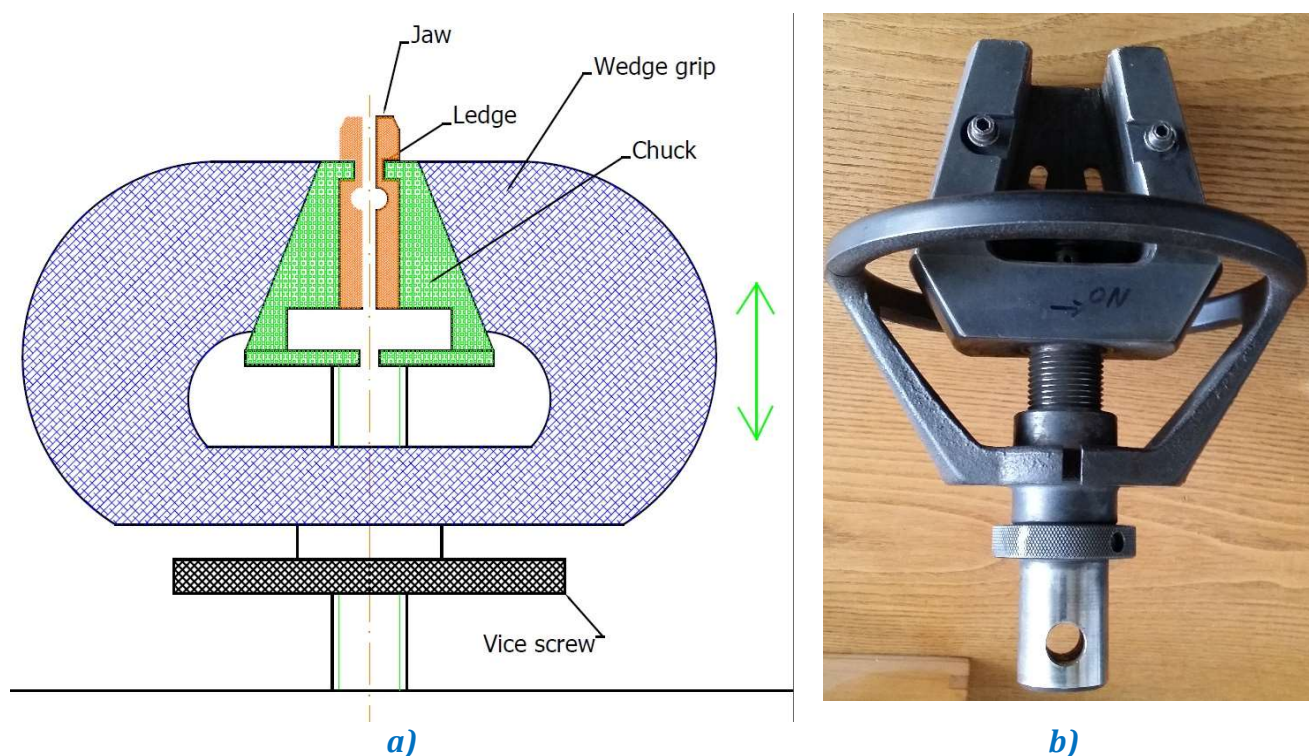
¹⁶ PN-EN ISO 6892-1:2009 "Metale - Próba rozciągania - Część 1: Metoda badania w temperaturze otoczenia"

krótka). Krotność Lo/do wpływa w istotny sposób na wynik wydłużenia względnego – jest ono tym mniejsze im większy jest stosunek Lo/do [2].

Mocowanie rozciąganych próbek

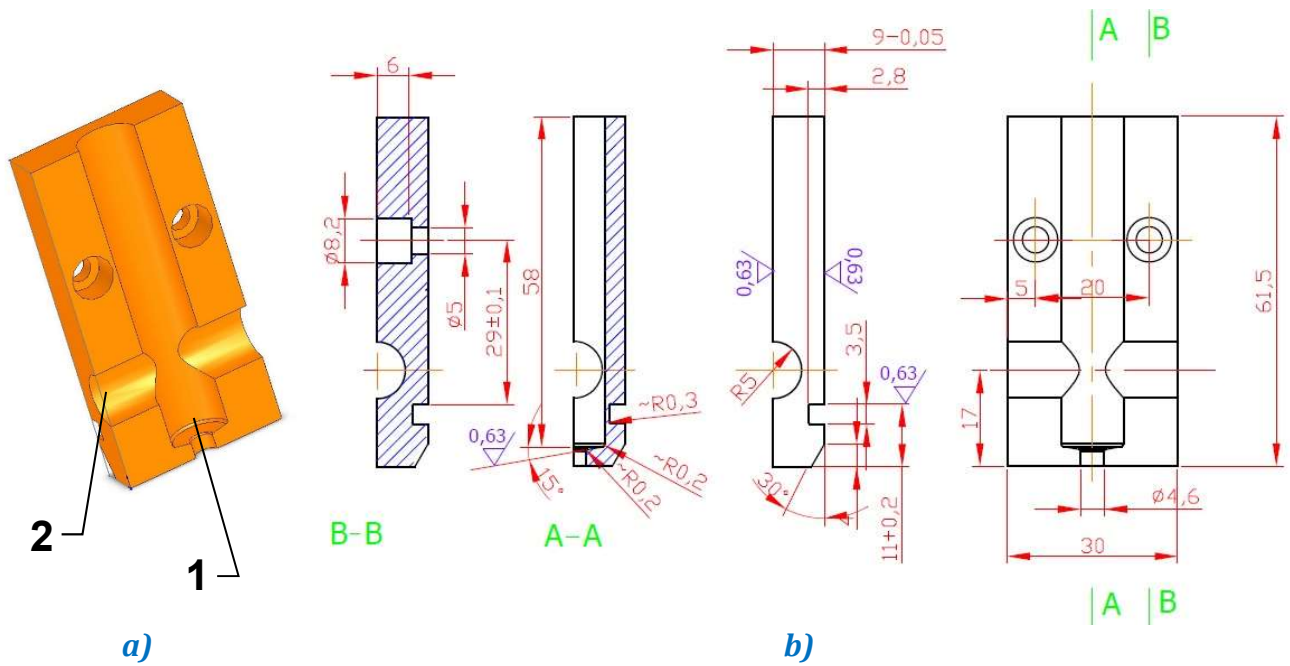
Przy chwytaniu rozciąganych przedmiotów typowym rozwiązaniem jest użycie uchwytów z mechanizmem klinowym. Prawidłowe uchwycenie będzie zapewnione, gdy elementy robocze uchwytu (szczęki) zacisną się na części chwytowej rozciąganego przedmiotu. Typową budowę uchwytu maszyny wytrzymałościowej przeznaczonego do rozciągania próbek pokazano na Rys. 10.

Na Rys. 10a pokazano przekrój przez zaciskowy uchwyt, w którym klinową szczękę (Chuck) doposażono we wkładkę szczękową (Jaw) umożliwiającą mocowanie specjalnych próbek z główkami do chwytania, czyli takich próbek jaką pokazano na Rys. 9b. Konstrukcję wkładki pokazano na Rys. 11. Wkładka ma wybranie kształtowe (ozn. 1 na Rys. 11a) dostosowane do kształtu główek wykonywanych na próbkach do rozciągania oraz dodatkowe wybranie (ozn. 2 na Rys. 11a) do obserwacji, jak główki układają się w szczękach podczas zaciskania. Na Rys. 11b zamieszczono rysunek konstrukcyjny tej wkładki szczękowej. Należy zauważyć, że zastosowanie szczęk współpracujących z klinowym uchwytom nie jest jedynym sposobem mocowania rozciąganych przedmiotów. Na Rys. 12 pokazano konstrukcję szczęk do chwytania małych próbek z główkami bez mechanizmu klinowego.

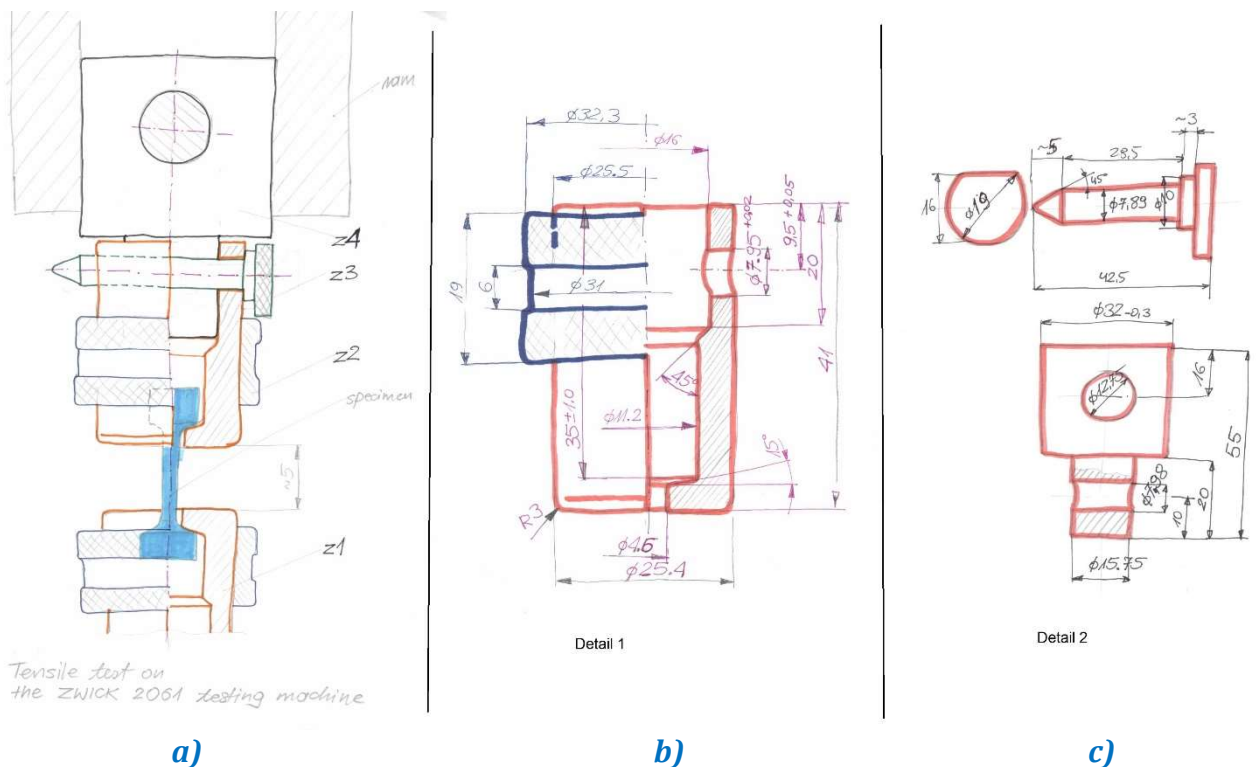


Rys. 10. Uchwyt maszyny wytrzymałościowej do rozciągania próbek: a) pokazany w przekroju zaciskowy uchwyt z mechanizmem klinowym wyposażony w dodatkową szczękę (do maszyny HOUNDSFIELD H10ks), b) uchwyt z mechanizmem klinowym maszyny INSTRON 1115 (szczęki wyjęto)

Na maszynie INSTRON jest jednak uchwyt z mechanizmem klinowym (Rys. 10b), który znacznie ułatwia mocowanie przedmiotów płaskich i walcowych z typowymi częściami chwytowymi przeznaczonymi do zaciskania. Żeby zwiększyć skuteczność trzymania przedmiotów podczas rozciągania powierzchnie chwytowe szczęk radełkuje się. Dla próbek płaskich (jaką pokazano na Rys. 9a) powierzchnia chwytowa szczęki jest płaska (Rys. 13a), dla walcowych zaś przyrządkowana (Rys. 13b). Na Rys. 13c zwrócono uwagę, że konstruując szczękę dla próbek walcowych należy zapewnić odpowiednią relację między średnicą części chwytowej a kształtem przyrządkowanego wybrania.



Rys. 11. Dodatkowa wkładka szczękowa do chwytania próbek z główkami: a) model wkładki, b) rysunek wykonawczy



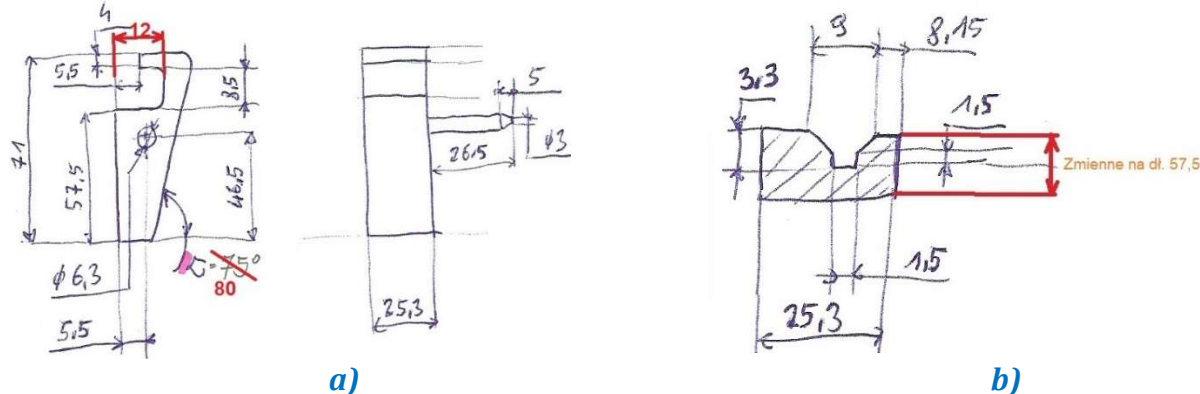
Rys. 12. Mocowanie próbek z główkami na maszynie ZWICK 2061: a) rysunek zestawieniowy, b) konstrukcja szczęk, c) kolek i łącznik do mocowania szczęk w poprzeczce maszyny wytrzymałościowej

Na Rys. 14 przedstawiono wymiary szczęk dostarczonych jako akcesoria do prowadzenia próby rozciągania na maszynie INSTRON 1115, których wygląd pokazano na Rys. 13. Z szkicu wymiarowego można ocenić, że szerokość części chwytowej płaskiej próbki do rozciągania nie powinna być większa niż 25 mm. W przypadku próbek walcowych nie da się tak jednoznacznie określić jak wielka może być średnica D części chwytowej. Trzeba w tym celu przeprowadzić analizę rysunkową.

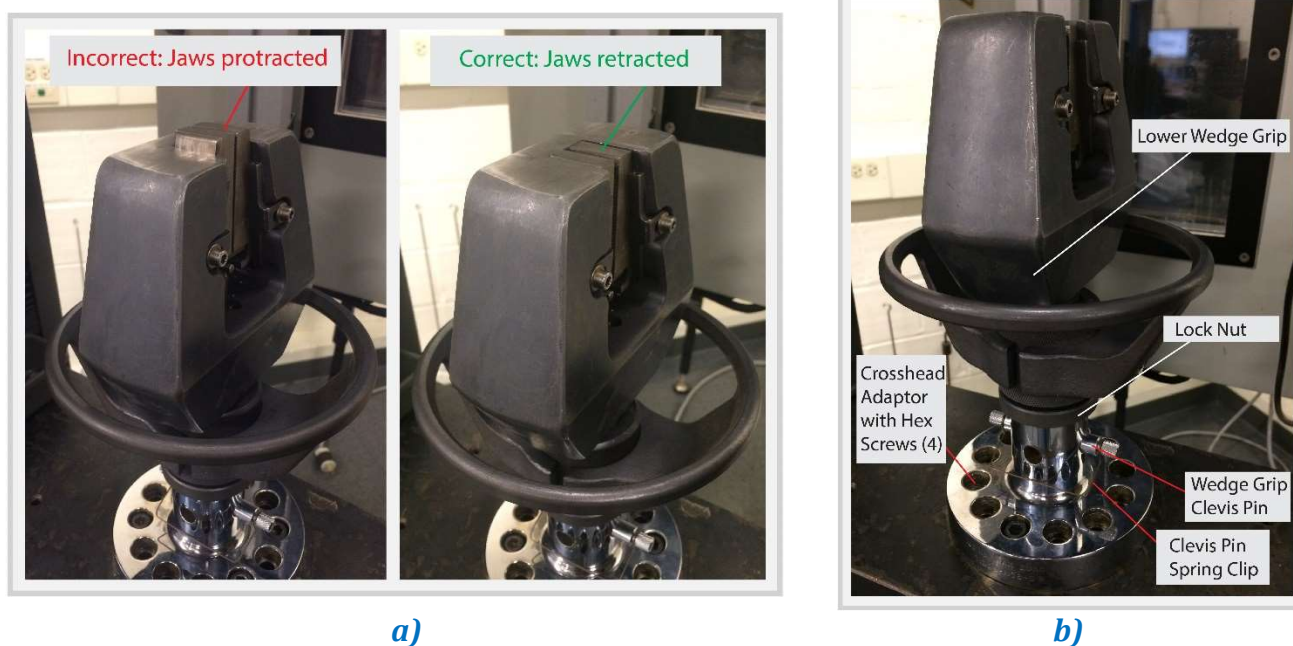


Rys. 13. Szczęki zaciskane na klinie: a) do próbek płaskich, b) do próbek walcowych, c) relacja średnica A części chwytowej a kształt przyrzątkowego wybrania

Także długość szczęk nie może być dowolna. Należy każdorazowo sprawdzić (również za pomocą analizy rysunkowej), czy szczęka prawidłowo zaciska się na części chwytowej próbki walcowej. Wytyczne prawidłowego zaciskania podano w DTR maszyny wytrzymałościowej, z której pobrano i na Rys. 15 zamieszczono ilustracje wskazujące na prawidłowe osadzenie szczęk w uchwycie klinowym i uchwytów w poprzeczce maszyny wytrzymałościowej. Poprzeczka maszyny jest przestawna, ale zakres tego przestawiania jest ograniczony. Dlatego należy sprawdzić, czy przedmiot o określonej długości może być prawidłowo uchwycony. W przypadku przedmiotów krótkich, a z takimi będziemy mieli do czynienia przy badaniu wytrzymałości złączy zgrzewanych, być może trzeba będzie dorobić dłuższe łączniki.



Rys. 14. Wymiary szczęk do uchwytu maszyny INSTRON 1115: a) szczęka płaska (prawa), b) profil wybrania przyrzątkowego



Rys. 15. Wytyczne do mocowania rozciąganych przedmiotów na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 1115: a) wysunięcie szczęk z uchwytu klinowego, b) zamocowanie uchwytu klinowego do poprzeczki za pomocą łącznika

Rozciąganie

Rozciągane będą zgrzane walcowe wyroby i walcowe próbki do rozciągania tak przygotowane, aby można było określić właściwości mechaniczne obszaru spoiny. W tym celu z wyrobów zgrzewanych za pomocą toczenia będą pobierane typowe próbki do jednoosiowego rozciągania o odpowiednich wymiarach części pomiarowej: średnicy **do** i długości **Lo**. Średnica pomiarowa musi być w odpowiedniej relacji do średnicy części chwytowej **D**, a ta z kolei jest dobierana do możliwości chwycenia w uchwytach dostępnych na maszynie wytrzymałościowej.

Badania w próbie rozciągania będą prowadzone na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 1115 cechowanej zgodnie z normą PN-64/H-04313. Przygotowując maszynę należy dobrać zakresy pomiaru siły i przemieszczenia, właściwe dla rozciąganej próbki. Przy szacowaniu wartości maksymalnej siły rozciągania zgrzewanych tarciowo wyrobów walcowych, które uzyskano z użyciem przedmiotów wykonanych wg. rysunku Z20 z miedzi UFG proponuje się zastosować następujące zalecenia:

- Granica plastyczności od 222 do 399 MPa w zależności od zastosowanego procesu technologicznego SPD
- Wytrzymałość na rozciąganie od 393 do 428 MPa w zależności od zastosowanego procesu technologicznego SPD
- Wydłużenie względne całkowite od 10 do 15 % w zależności od zastosowanego procesu technologicznego SPD

Próbę rozciągania należy wykonać:

- w temperaturze otoczenia
- z prędkością przemieszczenia poprzeczki 0,5 mm/min
- na zakresie siły o obniżonej wartości dostosowanej do rozciąganej próbki
- określać właściwości wytrzymałościowe z dokładnością 1 MPa
- określać wydłużenia względne z dokładnością 1 %
- określać wymiary części pomiarowej próbki z dokładnością 0,01 mm

LITERATURA

- 1 Norma PN-EN ISO 15620:2005 - wersja polska „Zgrzewanie -- Zgrzewanie tarciove metali”. Warszawa. Polski Komitet Normalizacyjny, 30 03 2005
- 2 W.Domke: „Vademecum materiałoznawstwa” WNT Warszawa 1982