

rpdtA03 □ **RAPORT wstępny** № 03 do **PROJEKTU DESIGN THINKING**
(do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu APMA1 na rok 2019)

Schematy ideowe Welderów

do zgrzewania tarcowego doczołowego

SPIS TREŚCI

Przeznaczenie	2
Schemat urządzenia do zgrzewania tarcowego	2
Konwencjonalny Welder	2
Prosta zgrzewarka laboratoryjna	4
Modułowy Welder przemysłowy (Welder1)	4
Schemat urządzenia Welder1	5
Pomiar dodatkowych wielkości	6
Wersja LHI	6
Zgrzewarka kompaktowa (Welder2)	7
Propozycja pierwsza	7
Propozycja druga	8
Propozycja trzecia	8
Propozycja czwarta (LHI)	10
Propozycja piąta (LHI)	11
Zabudowa przestrzeni roboczej Welder2	11
Zgrzewarka w istniejącej maszynie (Welder2a)	12
Zgrzewarka we własnym korpusie (Welder2b)	13
Rozwiązania wybrane do realizacji	15
Założenia projektowe Welder 1	15
Wykorzystanie ściany korpusu	15
Wykorzystanie imadła pneumatycznego	15
Założenia projektowe Welder 2	16

PRZEZNACZENIE

Stanowiska doświadczalne do zgrzewania metali w stanie stałym będą służyły do prac rozwojowych technologii zgrzewania oraz do celów dydaktycznych. Prace badawczo-rozwojowe będą na szeroką skalę prowadzone w tworzonym przez dyrektora instytutu ITW, nowym laboratorium (Center for Friction Welding Research). Założenia projektowe stanowiska przewidują wykorzystanie przemysłowego urządzenia do zgrzewania tarcioowego doczołowego. Ten projekt badawczy otrzymał nazwę „**Welder1**”. Zdecydowano się również na rozważenie budowy maszyny technologicznej do zgrzewania, która na szeroką skalę będzie mogła być wykorzystywana w dydaktyce. Projekt dydaktyczny nazwano „**Welder2**”. Ta maszyna także będzie miała funkcjonalność właściwą współczesnym Welderom. Zrazu rozpatrywano budowę urządzenia o skromnej konstrukcji. Spośród różnych koncepcji wybrano jednak śmiałe rozwiązanie polegające na przerobieniu frezarki sterowanej numerycznie lub budowie prototypu o nowatorskiej konstrukcji. Użycie frezarki jest pociągające, gdyż umożliwia prowadzenie na niej tarcioowego spajania w stanie stałym w różnych odmianach, tj. nie tylko RFW, ale również FSW. W obu przypadkach uwaga zostanie skupiona na odtwarzaniu funkcjonalności właściwej zgrzewaniu, a nacisk będzie położony na:

- powtarzalność odtwarzania właściwego cyklu zgrzewania,
- gromadzenie danych do analizy procesu zgrzewania.

Przygotowane opracowanie podaje materiał do dyskusji rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń, które mogą wykonać zgrzewanie tarcioowe. Oprócz prezentacji schematów zwrócono uwagę na ich istotne cechy. Każdy z proponowanych schematów oceniono i podsumowano przez podanie listy ZALET i WAD, które zebrano w formie tabelarycznych zestawień.

SCHEMAT URZĄDZENIA DO ZGRZEWANIA TARCIOWEGO

Nazwa zgrzewanie "tarcioowe" wywodzi się od zjawiska fizycznego wykorzystywanego do przygotowania materiału do połączenia. W tego typu zgrzewaniu energia mechaniczna tarcia wytwarzana ruchem obrotowym (najczęściej lub znacznie rzadziej – liniowym) zamieniana jest na ciepło.

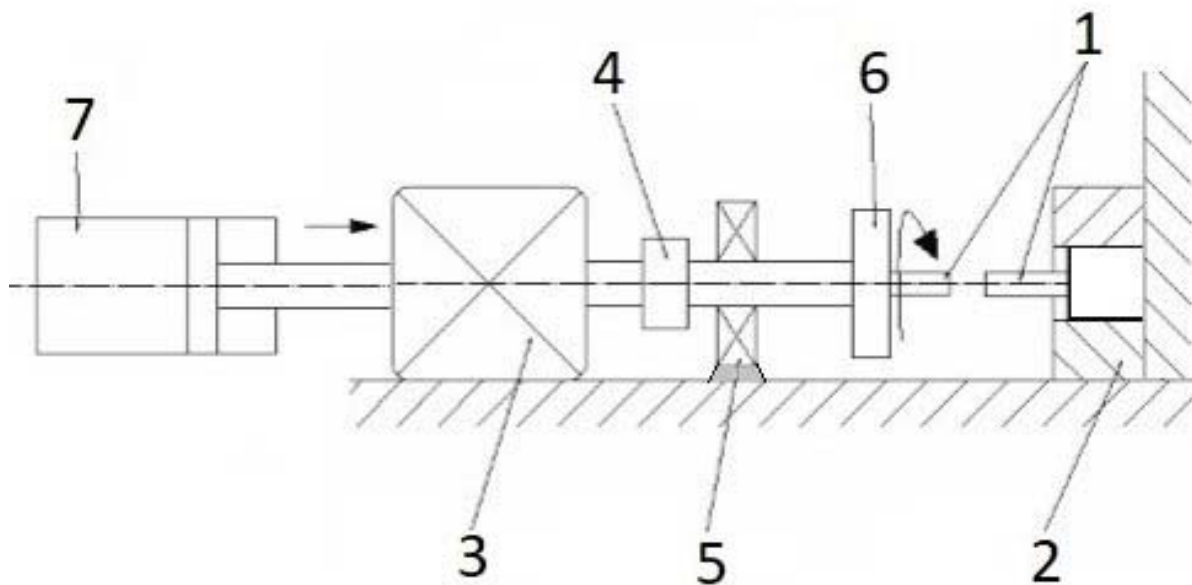
W każdej z obecnie stosowanych metod zgrzewania tarcioowego wymagane jest dostarczenie określonej energii w celu podniesienia temperatury łącznego materiału. Dostarczanie energii jest rozkładane zazwyczaj na odpowiednio długi czas, który staje się (pośrednio lub bezpośrednio) istotnym parametrem metody zgrzewania. Jedną z wiodących specjalności naukowych Wydziału Inżynierii Produkcji jest rozwój technologii wytwarzania metali ultradrobnoziarnistych (tzw. metale UFG) oraz rozwoju technologii kształtowania z tych metali gotowych wyrobów – zwłaszcza z użyciem trudnych technologii takich, jak kształtowanie plastyczne czy spajanie. Ta nowoczesna klasa materiałów metalowych ma specyficzne wymagania technologiczne. Np. w przypadku zgrzewania metali UFG dostarczanie energii potrzebnej do uzyskania spojenia jest wyjątkowe. Trzeba mianowicie dostarczyć dużą energię i wykorzystać ją w jak najkrótszym czasie. Dlatego powinna być wydzielona duża moc, np. przez uderzenie. Jest to jednak koncepcja rewolucyjna, obca obecnie stosowanym i już upowszechnionym zasadom działania współczesnych Welderów. Jednocześnie – z uwagi na zjawiska dynamiczne towarzyszące wysokoenergetycznemu zgrzewaniu – działanie takiego urządzenia technologicznego będzie trudne do opanowania.

Konwencjonalny Welder

Maszyna do doczołowego zgrzewania tarcioowego musi zawierać elementy układów dostarczających energię mechaniczną. Powszechnie akceptowana koncepcja budowy zgrzewarek zakłada zastosowanie następujących dwóch napędów:

- napęd ruchu obrotowego
- napęd ruchu prostoliniowego

Na Rys. 1 przedstawiono schematycznie konfigurację konwencjonalnego urządzenia do zgrzewania tarcowego doczołowego. Najczęściej tego typu urządzenia pracują w układzie poziomym. Są budowane zazwyczaj w taki sposób, że po zainstalowaniu osłon z wyglądu przypominają tokarki.

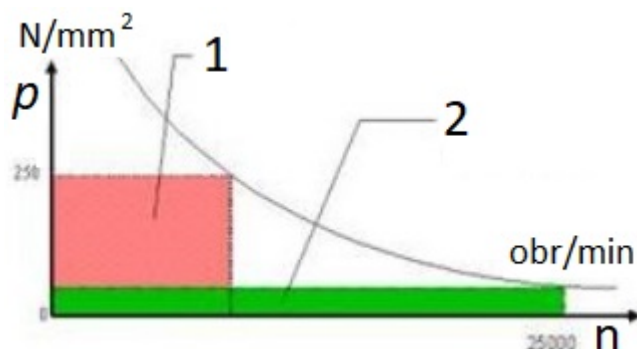


Rys. 1. Schemat konwencjonalnego urządzenia do zgrzewania tarcowego prętów: 1- przedmioty prętowe przygotowane do zgrzewania (lewy na schemacie jest obracany, prawy zaś – nieruchomy), 2- uchwyt przedmiotu stałego, 3- napęd ruchu obrotowego, 4- sprzęgło, 5- hamulec, 6- wrzeciono, 7- napęd ruchu prostoliniowego

W budowie Welderów obserwuje się dwie tendencje. Jedna ma znamiona czysto konstrukcyjne i jednocześnie wynika z potrzeb użytkowników. Druga zaś zapewne wynika z trudności w uzyskiwaniu dobrych efektów sterowania i kontroli jakości w czasie cyklu zgrzewania.

Otóż obecnie producenci urządzeń do zgrzewania głównie oferują swoje usługi w budowaniu Welderów dostosowanych do potrzeb odbiorców. Wykonują gotowe maszyny do zgrzewania tarcowego na specjalne zamówienie klientów. W ten sposób powstają zazwyczaj duże maszyny, zwykle przeznaczone do produkcji określonych wyrobów gotowych, jak np. do wytwarzania półosi do układów napędowych samochodów ciężarowych. Bardzo często odbiorca musi włączyć operację zgrzewania tarcowego do ciągu urządzeń technologicznych w zautomatyzowanej linii produkcyjnej. Dlatego producenci urządzeń do zgrzewania przyjęli takie rozwiązania konstrukcyjne, żeby proces integracji z otoczeniem maszynowym nie był kłopotliwy. Z tego powodu wszystkie elementy ruchome są grupowane w jednej jednostce. Jednostka ta – nazywana głowicą do zgrzewania tarcowego – jest wyposażona w wrzeciono z uchwytem automatyzującym mocowanie ruchomego przedmiotu. Głowica współpracuje z nieruchomym uchwytem, który służy do mocowania drugiego przedmiotu dopełniającego parę elementów łączonych w jeden zespół konstrukcyjny. Ten typ urządzenia z napędami zgrupowanymi w jednej jednostce jest właśnie reprezentowany na Rys. 1. Rozwój konstrukcyjny takich urządzeń do zgrzewania nakierowany jest na zapewnienie integracji układu sterowania głowicy z systemami sterowania pozostałych urządzeń technologicznych linii produkcyjnej i systemów nadzorczych. Dlatego z reguły układ sterowania napędów głowicy i mocowadeł (uchwyty przedmiotu ruchomego we wrzecionie i uchwytu przedmiotu stałego) oparty jest na sieciach przemysłowych. Wynikają z tego rozliczne ograniczenia, utrudniające zapanowanie nad przebiegiem zgrzewania. Największe trudności w sterowaniu procesie technologicznego pojawiają się, gdy łączone materiały wymagają użycia nietypowych wartości nastaw. Taki właśnie przypadek zachodzi, gdy chcemy łączyć przedmioty wykonane z metali UFG.

Drugi trend, który można zaobserwować w budowie urządzeń do zgrzewania tarcowego, to zmiana akcentów w dostarczaniu porcji energii wymaganej do skutecznego połączenia elementów. Mianowicie wytwórcy Welderów starają się energię mechaniczną uzyskać głównie przez zastosowanie wysokich obrotów wrzeciona, aby móc prowadzić zgrzewanie przy użyciu niższych wartości sił poosiowych (wywieranych zarówno w fazie tarcia, jak również przy spęczaniu). Trend ten ilustruje wykres na Rys. 2, który pokazuje zależność nacisku jednostkowego p wywieranego na powierzchni czołowej spajanych przedmiotów prętowych a prędkością obrotową n łączonych prętów.

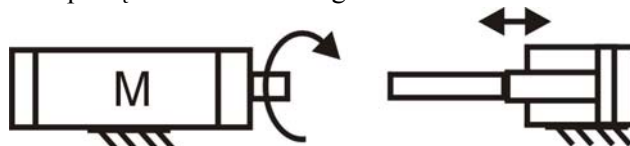


Rys. 2. Porównanie zapotrzebowania energetycznego zgrzewania tarcowego wysokoobrotowego (2) z klasycznym niskoobrotowym (1)

Prosta zgrzewarka laboratoryjna

Budowa, a zwłaszcza użytkowanie Weldera przemysłowego w laboratorium – zwłaszcza o przeznaczeniu dydaktycznym – jest uciążliwe i nieefektywne. Weldery przemysłowe mają wprawdzie bogaty osprzęt i oprogramowanie umożliwiające dostosowanie jego pracy do dowolnego przypadku. Ułatwia to prowadzenie prób wdrożeniowych dla coraz to nowych przypadków produkcyjnych. W zakresie zaś sterowania procesem zgrzewania, a zwłaszcza programowania cyklu zgrzewania dla nietypowych materiałów, oferta dla potrzeb badawczych niestety nie jest wystarczająca. Niewiele też można oczekiwać jeśli chodzi o monitorowanie operacji.

Na Rys. 3 pokazano schemat ideowy laboratoryjnej zgrzewarki tarcowej. Propozycja ma funkcjonalność wymaganą przy konwencjonalnym zgrzewaniu tarcowym, którą oferują wszystkie zgrzewarki dostępne w handlu (Rys. 1), ale będzie znacznie prostsza. Jej prostota wynika z zastosowania konwencjonalnych napędów ruchu obrotowego (wrzeciono) i posuwistego (docisk). Warto podkreślić, że w pełni odpowiada założeniom dla prowadzenia zgrzewania tarcowego, który zamierzamy w projekcie realizować. Jest to typ ze stałą prędkością obrotową, w którym nie ma potrzeby wykorzystywania hamulca, gdyż z założenia cała energia ruchu obrotowego zamieniana jest na pracę tarcia w fazie nagrzewania.



Rys. 3. Schemat laboratoryjnego urządzenia do zgrzewania tarcowego prętów zbudowanego celem ułatwienia prowadzenia prac badawczo-dydaktycznych

Urządzenie jest proste, lecz ma wszystkie funkcje niezbędne dla prowadzenia zgrzewania tarcowego. Zalety i wady tego rozwiązania, w kontekście potrzeb projektu zarówno badawczego, jak i dydaktycznego, zebrano w tablicy Tab. 1.

Tab. 1. Zalety i wady prostego laboratoryjnego urządzenia do zgrzewania tarcowego

ZALETY	WADY
Prosty układ mechaniczny	Prymitywny sposób wywierania siły w fazie tarcia i spęczania
Łatwa ingerencja w układ napędowy	
Możliwość samodzielnej modyfikacji i wykonania przeróbek	
Łatwa implementacja koniecznych czujników	

MODUŁOWY WELDER PRZEMYSŁOWY (WELDER1)

Stanowisko do zgrzewania tarcowego można zbudować wykorzystując komponenty dostępne w handlu, dedykowane do zestawiania tego typu urządzeń technologicznych. Główne składniki takiego kompaktowego Weldera to głowica do zgrzewania tarcowego, układ sterowania jej napędami i uchwyty przedmiotów. Całość

należy zabudować w korpusie, który zwykle jest dostosowany do indywidualnych wymagań. Komponenty do budowy zgrzewarek przemysłowych dostarcza, np. firma HWH¹ HARMS+WENDE Schweisstechnik (HWH), której specjalnością jest dostawa modułowych systemów do zgrzewania.

Schemat urządzenia Welder1

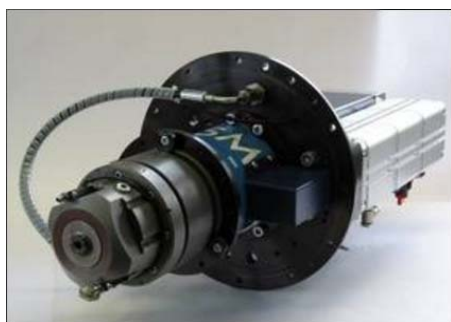
Na Rys. 4 pokazano schemat ideowy obrazujący budowę stanowiska badawczego do zgrzewania z wykorzystaniem głowicy typu **RSM400**², która ma następujące parametry:

— maksymalna siła poosiowa	11 kN,
— przełączany zakres siły poosiowej	3,6 / 11 kN
— naciski jednostkowe na czołach łączonych przedmiotów	poniżej 100 N/mm ²
— maksymalna prędkość obrotowa	23300 obr/min
— maksymalna średnica zgrzewanego przedmiotu prętowego	13 mm,
— moc napędu głowicy	1,8kW,
— chłodzenie	powietrze lub woda
— czas cyklu	min. 9 sek.

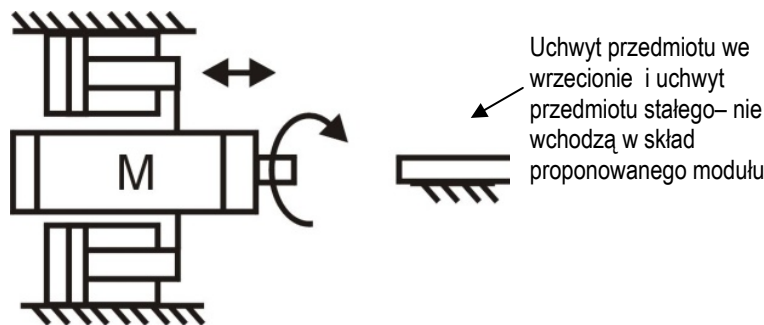
Wraz z głowicą RSM400 jest dostarczany system sterowania **RS10** zabudowany w oddzielnej skrzynce sterującej. Zawiera ona układy niezbędne do prowadzenia zgrzewania na autonomicznym stanowisku. Operator obsługuje stanowisko za pomocą panelu dotykowego, wstawiając tam wartości parametrów zgrzewania. Część nastaw wprowadzanych jest ręcznie, np. wartości sił w fazach tarcia i spęczania. Użytkownik ma również do dyspozycji układ monitorowania podstawowych parametrów zgrzewania. Przede wszystkim określa w nim zakresy dopuszczalnej zmienności wartości, w obrębie których proces zgrzewania będzie wizualizowany. Układ sterowania tego autonomicznego stanowiska może być podporządkowany nadrzędnemu układowi sterowania.

Dostawa oferowanego urządzenia zawiera również uchwyt **SP** do automatycznego mocowania przedmiotów, którego specyfikację opisują następujące cechy:

— napęd mocowania/zwalniania	hydro-pneumatyczny
— średnice mocowanych prętów	od 3 do 12 mm
— komplet wymiennych szczęk	dostosowanych do kształtu nieruchomych przedmiotów łączonych ³



a)



b)

Rys. 4. Przykład wykorzystania modułu firmy HWH: a) głowica RSM400, b) schemat modułowego urządzenia do zgrzewania tarcowego prętów zbudowanego z dostępnych w handlu komponentów do Welderów

Zalety i wady omawianego rozwiązania – w kontekście potrzeb projektu badawczego – zebrano w tablicy Tab. 2.

¹ <https://www.harms-wende.de/> ;

² <https://www.harms-wende.de/produkte/reibschweisssysteme/rsm-400-reibschweisssystem/> ; przykład przemysłowego rozwiązania wg. [42699-01en_RSM401_UA_Assembly-Instructions.pdf]

³ Łączone przedmioty nie muszą mieć jednakowych pól przekrojów poprzecznych, ani jednakowych kształtów. W tym ostatnim przypadku trzeba jednak spełnić pewne zasady przy doborze relacji wymiarowej przekrojów, aby połączenie uzyskało zadowalającą wytrzymałość

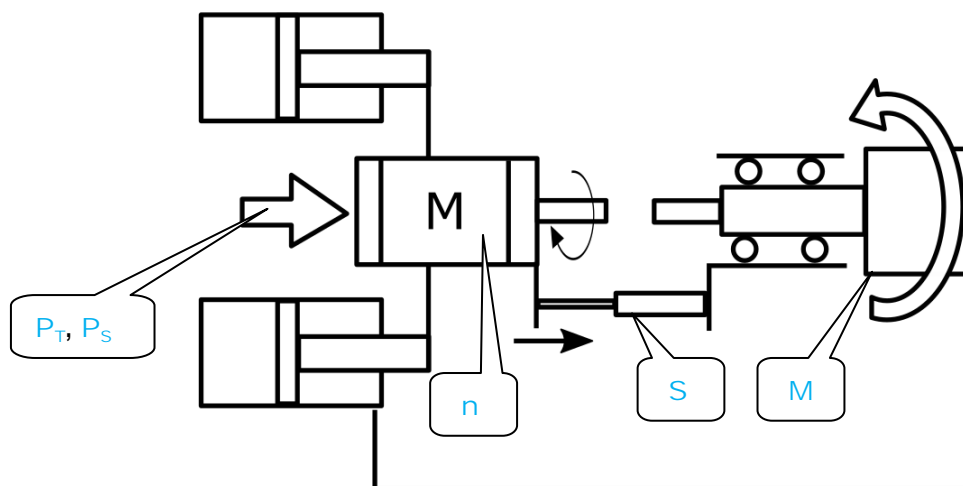
Tab. 2. Zalety i wady przemysłowego urządzenia do zgrzewania tarcowego

ZALETY	WADY
Dedykowany moduł gotowy do zabudowy	Brak możliwości ingerencji w moduł – moduł bez możliwości modyfikacji
Sprawdzone rozwiązanie	Brak możliwości zastosowania własnych torów pomiarowych do niezależnego pomiaru wielkości typowych dla zgrzewania, jak np. n [obr/min], czy pomiaru dodatkowych wielkości, np. M [Nm]
Kompaktowa konstrukcja	Konieczność dokupienia dedykowanego układu sterowania
Brak konieczności wykonywania konstrukcji napędu oraz uchwytu	Hamowanie wymuszone przez silnik – brak możliwości zastosowania hamulca

Pomiar dodatkowych wielkości

O energetyce procesu zgrzewania można dowiedzieć się znacznie więcej, gdy pozyska się informacje o wartości momentu, który przenoszony jest z przedmiotu ruchomego na stały. Zwrócono na to uwagę m.in. w raporcie nt. „Nastawy parametrów zgrzewania tarcowego” (zsywka do ćw. am1, Rys.5). W zgrzewarkach przemysłowych, w których wszystkie elementy ruchome są grupowane w jednej jednostce, zamocowanie czujnika momentu nie powinno być dużym wyzwaniem. Odpowiednim miejscem do osadzenia takiego czujnika jest przestrzeń między uchwytem przedmiotu stałego a korpusem. W urządzeniu do zgrzewania tarcowego zazwyczaj przestrzeń robocza jest dostatecznie duża, aby zmieścić w niej dodatkowy element pomiarowy. Producenci udostępniają użytkownikom dużą przestrzeń, żeby umożliwić im zgrzewanie przedmiotów o jak największej długości.

Na Rys. 5. 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.

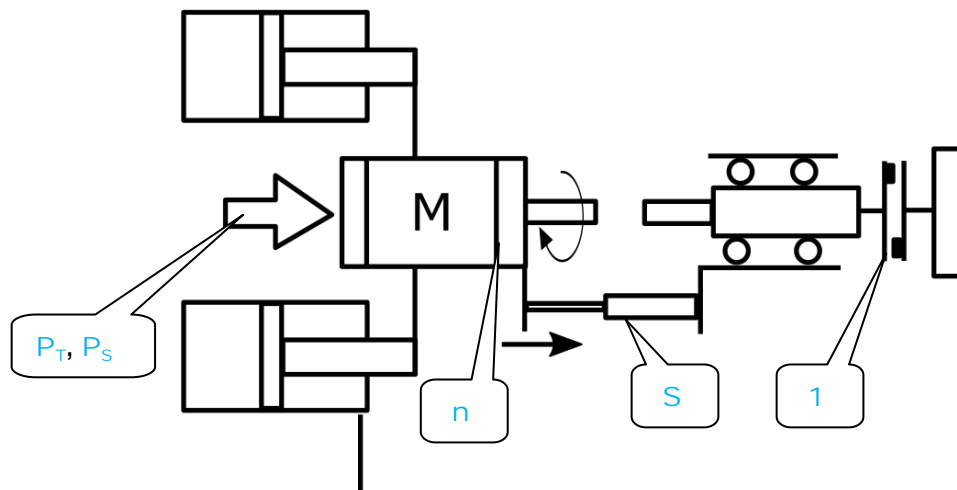


Rys. 5. Modernizacja przemysłowego Weldera celem zwiększenia zakresu monitorowania (oznaczenia wskazują monitorowane wielkości)

Wersja LHI

W poszukiwaniu korzystnych efektów przebieg konwencjonalnego zgrzewania bywa niekiedy zmieniany. 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 przedmiotu ruchomego na stały. Istota metody oraz korzyści z jej stosowania przy zgrzewaniu metali UFG będą rozważane szerzej w raporcie pt. „Analiza parametrów RFW” (zsywka do ćw. am4). Tutaj zajmiemy się jedynie techniczną stroną realizacji takiego zachowania.

Natychmiastowe przerwanie przenoszenia momentu obrotowego z przedmiotu ruchomego na stały umożliwia zgrzewarka, której schemat pokazano na Rys. 6. W stosunku do typowego urządzenia do zgrzewania takiego, jakie pokazano na Rys. 4b, 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. 6. Przemysłowy Welder w 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 znajdował się czujnik momentu. Konstrukcja przeniesienia ruchu obrotowego z wrzeczona 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.

ZGRZEWARKA KOMPAKTOWA (WELDER2)

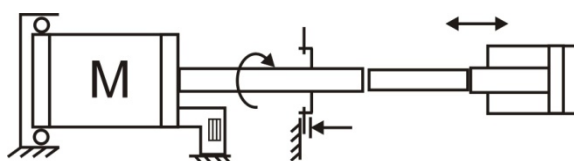
Budując zgrzewarkę do celów dydaktycznych należy uwzględnić łatwość z jaką uda się ją zestawić z wielu komponentów bez utraty funkcjonalności właściwej dla zgrzewania tarcowego. Dlatego korzystnie jest rozważyć wiele opcji konstrukcyjnych, w których uwzględnii się jak największą liczbę dostępnych w handlu, i możliwie tanich, składników. Dzięki temu uniknie się samodzielnego rozwiązywania problemów konstrukcyjnych. W uwagi na planowaną dużą ilość gotowych komponentów, upakowanych w planowanym stanowisku, nazwano tą koncepcję – kompaktową. W ramach tej grupy możliwe są liczne odmiany, związane z różnymi sposobami osiągnięcia funkcjonalności właściwej dla zgrzewania.

Propozycja pierwsza

Cechy:

- Hamowanie przy użyciu hamulca
- Prosty układ wywierania siły zarówno w fazie tarcia jak i spęczania

Na Rys. 7 pokazano schemat ideowy kompaktowej zgrzewarki tarcowej wg. propozycji 1.



Rys. 7. Schemat kompaktowego urządzenia do zgrzewania tarcowego prętów zbudowanego celem ułatwienia wykonania wg. propozycji 1

Zalety i wady tego rozwiązania, głównie w kontekście potrzeb projektu dydaktycznego, zebrano w tablicy Tab. 3.

Tab. 3. Zalety i wady kompaktowego urządzenia do zgrzewania tarcowego o cechach wg. propozycji pierwszej

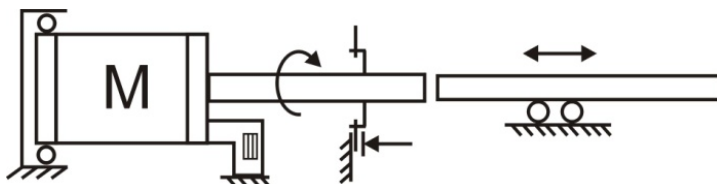
ZALETY	WADY
Prosty pomiar momentu	Prymitywny układ wywierania siły – brak pełnej kontroli nad przebiegiem zmian siły (jeżeli zastosujemy serwonapędy hydrauliczne bądź pneumatyczne ta wada nie będzie występować)
Prosta konstrukcja	
Łatwy sposób wywierania i pomiaru siły	

Propozycja druga

Cechy:

- Hamowanie przy użyciu hamulca
- Układ wywierania siły z pełną kontrolą zarówno w fazie tarcia jak i spęczania (docisk z napędem mechanicznym wywierany za pomocą np.: siłownika elektrycznego – liniowego, układu mechanicznego krzywkowego z napędem elektrycznym lub serwonapędem elektrycznym).

Na Rys. 8. pokazano schemat ideowy laboratoryjnej zgrzewarki tarcowej wg. propozycji 2.



Rys. 8. Schemat kompaktowego urządzenia do zgrzewania tarcowego prętów zbudowanego wg. propozycji 2

Zalety i wady tego rozwiązania zebrano w tablicy Tab. 4.

Tab. 4. Zalety i wady kompaktowego urządzenia do zgrzewania tarcowego o cechach wg. propozycji drugiej

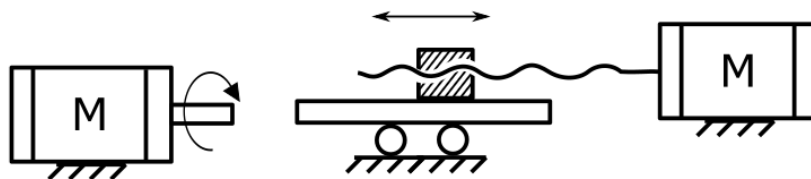
ZALETY	WADY
Stosunkowo prosta konstrukcja	Konieczność wykonania całkowicie własnej konstrukcji zarówno mechanicznej jak i układu sterowania
Łatwa implementacja czujników i torów pomiarowych	
Zastosowanie hamulca	

Propozycja trzecia

Cechy: ...

- Brak hamulca – założenie o pełnej zamianie energii ruchu obrotowego na pracę tarcia
- Kontrola siły docisku z poziomu sterowania siłownikiem elektrycznym, sprzężona z odczytem siły z czujnika montowanego przy uchwycie nieobracającego się przedmiotu zgrzewanego.

Na Rys. 9 pokazano schemat ideowy kompaktowej zgrzewarki tarcowej wg. propozycji 3



Rys. 9. Schemat kompaktowego urządzenia do zgrzewania tarcowego prętów zbudowanego wg. propozycji 3

Poniżej przedstawiono przykładowe komponenty, możliwe do wykorzystania w budowie urządzenia według propozycji 3.

(1) Napęd ruchu obrotowego:

Elektrowrzeciono (**Rys. 10**) sterowane przy pomocy falownika. Wykorzystanie standardowego uchwytu dla narzędzi cylindrycznych nadający się do ręcznego mocowania zgrzewanych przedmiotów walcowych. Przybliżony koszt elektrowrzeciona (zależny od mocy, obecności uchwytu przedmiotów) to około 1250 zł (2.2 kW, 24000 obr/min)⁴, 2500 zł (3 kW, 24000 obr/min)⁵. Przybliżony koszt falownika 800 zł ÷ 3000 zł.

(2) Układ wywierania siły:

Siłownik elektryczny (**Rys. 11**). Przykładowe parametry⁶ – odpowiadające wymaganiom określonym w załączniku **z1** – zależnie od zainstalowanej mocy są następujące: dla 4 kW → siła 18 kN, prędkość 65 mm/min.; dla 1.8 kW → siła 30kN, prędkość 47 mm/min. Oszacowanie kosztu wymaga złożenia zapytania u dostawcy

(3) Czujniki

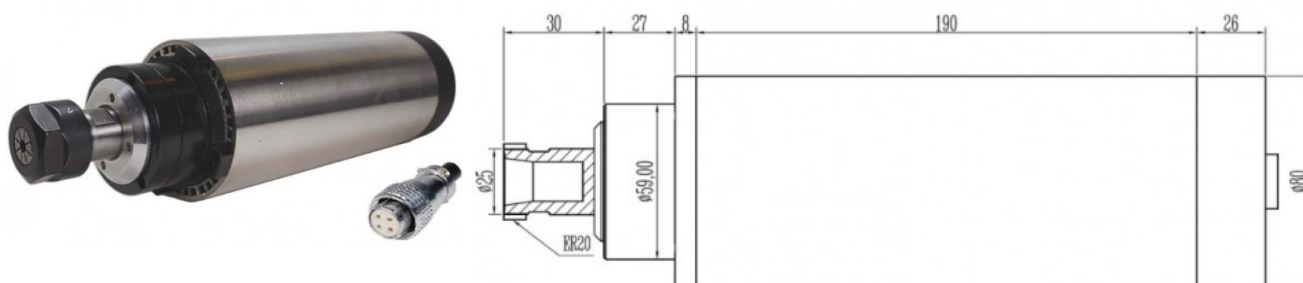
Propozycja wymaga zainstalowania co najmniej dwóch czujników: (a) czujnika siły – do kontroli wartości siły docisku i (b) czujnika przemieszczenia liniowego – dla kontroli wartości poosiowego skrócenia zgrzewanych przedmiotów prętowych. (może enkoder? Tak, jak to jest w zwyczaju w siłownikach śrubowych⁷). Szacowanie kosztu można na tym etapie pominąć, gdyż w projekcie jest pozycja aparatury – zakup czujników dla układu DAQ i tam (uszczuplając wszakże budżet dla układu monitorowania) można umieścić te komponenty.

(4) Korpus

Rozważania dotyczące zabudowy można na tym etapie pominąć, gdyż w projekcie jest propozycja wykorzystania korpusu istniejącej maszyny lub zakup układów mechanicznych dla stanowiska do zgrzewania tarcowego.

(5) Sterowanie

Rozważania dotyczące sterowania można na tym etapie również pominąć. Tym razem z takiego powodu, że w roku 2019 nie uda się zdobyć środków na rozwiązanie zagadnienia sterowania drogą zakupu. Można tylko przygotować zakupy aparatury, tj. zaplanować zakup odpowiednich składników sprzętowych układu sterowania stanowiska do zgrzewania tarcowego.



a)

b)

c)

Parametry:

Moc	2200 W
Prędkość obrotowa	24000 obr/min
Sterowanie	falownik jednofazowy
Mocowanie narzędzi	ER20
Waga	5,7 kg

Rys. 10. Elektrowrzeciono – składnik (1) dla propozycji 3: a) wygląd elektrowrzeciona, b) szkic wymiarowy, c) parametry

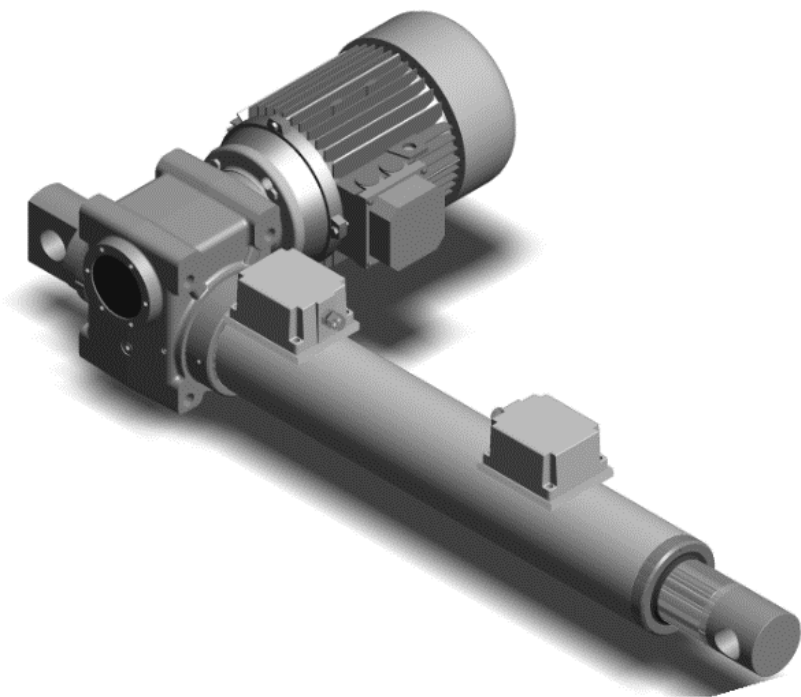
Zalety i wady rozwiązania „propozycja trzecia” zebrano w tabelicy Tab. 5.

⁴ Informacje pobrano z <https://automatyka-tombit.pl/pl/wrzeciona/316-wrzeciono-cnc-22-kw-er20-powietrze.html> 14.05.2019

⁵ Informacje pobrano z ...<https://automatyka-tombit.pl/pl/elektrowrzeciona/577-wrzeciono-cnc-3-kw-er20-woda-220v.html> 14.05.2019

⁶ Informacje dostępne pod linkiem <http://kamena-drives.pl/wp-content/uploads/PDF/KATALOGI/HRS-katalog.pdf>

⁷ Propozycje PowerJacks światowego lidera w produkcji siłowników śrubowych: <https://www.powerjacks.com/downloads/brochures/>



Rys. 11. Siłownik elektryczny– składnik (2) dla propozycji 3

Tab. 5. Zalety i wady prostego laboratoryjnego urządzenia do zgrzewania tarcowego o cechach wg. propozycji trzeciej

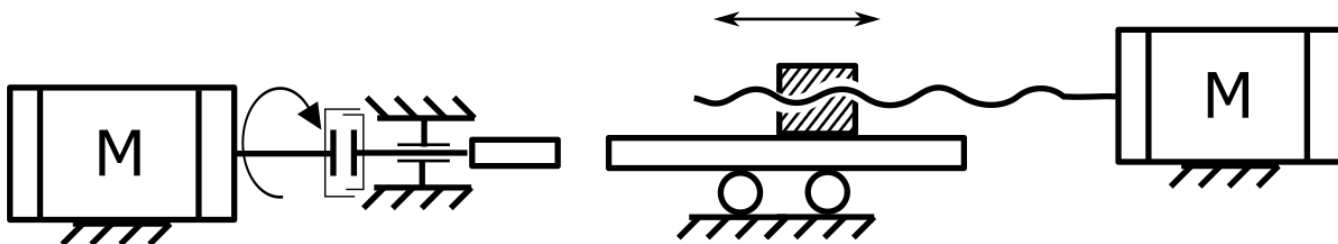
ZALETY	WADY
brak konieczności stosowania hamulca	brak możliwości gwałtownego zatrzymania ruchu obrotowego w przypadku, gdy energia ruchu obrotowego nie będzie w pełni zamieniana na pracę tarcia
możliwość wykorzystania standardowych napędów	dla umożliwienia gwałtownego zatrzymania ruchu obrotowego niezbędne jest precyzyjne dobranie siły docisku w celu uzyskania odpowiedniej wartości pracy tarcia – trudne ze względu na możliwość zmian współczynnika tarcia, ale stosunkowo łatwe ze względów technicznych w zaproponowanym rozwiązaniu
łatwa implementacja czujników siły i przemieszczenia	konieczność wykonania własnego układu sterowania oraz korpusu

Propozycja czwarta (LHI)

Cechy: ...

Sprzęgło łączące obracający się pręt z napędem obrotowym. Z chwilą rozpoczęcia fazy spęczania sprzęgło jest zwalniane w celu zminimalizowania czasu wygaszania wzajemnych obrotów obydwu prętów. Zakłada się stosunkowo niewielką bezwładność uchwytu z prętem.

Na Rys. 12 pokazano schemat ideowy kompaktowej zgrzewarki tarcowej wg. propozycji czwartej.



Rys. 12. Schemat kompaktowego urządzenia do zgrzewania tarcowego prętów wykonanego wg. propozycji czwartej

Zalety i wady rozwiązania zebrano w tablicy Tab. 6.

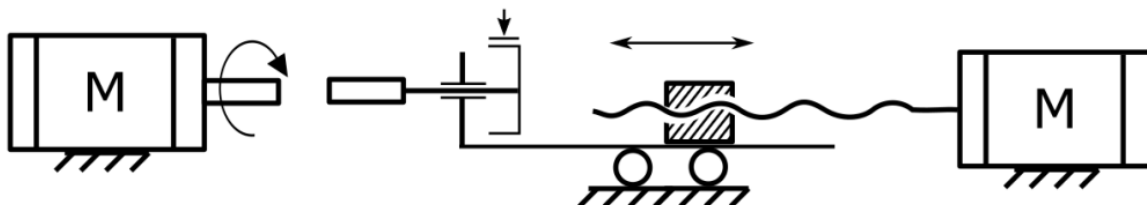
Tab. 6. Zalety i wady prostego laboratoryjnego urządzenia do zgrzewania tarcowego o cechach wg. propozycji czwartej

ZALETY	WADY
skrócenie czasu wygaszania obrotów pręta	konieczność zastosowania dodatkowego sprzęgła pomiędzy napędem obrotowym a uchwytem z zgrzewanym przedmiotem
możliwość odpowiedniego łożyskowania uchwyty dla pręta obrotowego, umożliwiające przenoszenie dużych sił osiowych	konieczność wykonania dodatkowego mocowania dla uchwyty próbki obrotowej
możliwość wykorzystania standardowych napędów	konieczność wykonania własnego układu sterowania oraz korpusu

Propozycja piąta (LHI)

Urządzenie zawiera hamulec blokujący obroty pręta nieruchomego. Z chwilą rozpoczęcia fazy spęczania hamulec jest zwalniany w celu zminimalizowania czasu wygaszania wzajemnych obrotów obydwu łączonych przedmiotów. Zakłada się stosunkowo niewielką bezwładność uchwyty z przedmiotem nieruchomym, która umożliwi szybkie zrównanie obrotów obydwu prętów.

Na Rys. 13 pokazano schemat ideowy kompaktowej zgrzewarki tarcowej wg. propozycji piątej.



Rys. 13. Schemat kompaktowego urządzenia do zgrzewania tarcowego przedmiotów prętowych zbudowanego celem uzyskania efektu LHI, a wykonanego wg. propozycji piątej

Zalety i wady rozwiązania zebrano w tablicy Tab. 7.

Tab. 7. Zalety i wady prostego laboratoryjnego urządzenia do zgrzewania tarcowego o cechach wg. propozycji ...

ZALETY	WADY
skrócenie czasu wygaszania obrotów zgrzanych przedmiotów	konieczność zastosowania dodatkowego hamulca dla uchwyty z przedmiotem nieruchomym (nieobrcającym się)
możliwość wykorzystania standardowego uchwyty od strony napędu obrotowego (uchwyty przedmioty we wrzecionie)	konieczność wykonania dodatkowego łożyskowania dla uchwyty próbki nieobrcającej się
możliwość wykorzystania standardowych napędów	konieczność wykonania własnego układu sterowania oraz korpusu
łatwa implementacja czujników siły i przemieszczenia	

Zabudowa przestrzeni roboczej Welder2

Opracowując założenia projektowe dla zgrzewarki własnej konstrukcji, przeznaczonej do celów naukowo-dydaktycznych wydziału WIP, warto rozważyć dwie koncepcje. Wyróżnikiem tych koncepcji będzie zabudowa zespołów funkcjonalnych, potrzebnych do prowadzenia zgrzewania tarcowego, które rozważano powyżej. Rozpatrzmy mianowicie opracowanie konstrukcji prototypowej zgrzewarki doświadczalnej, zbudowanej w dwóch wariantach:

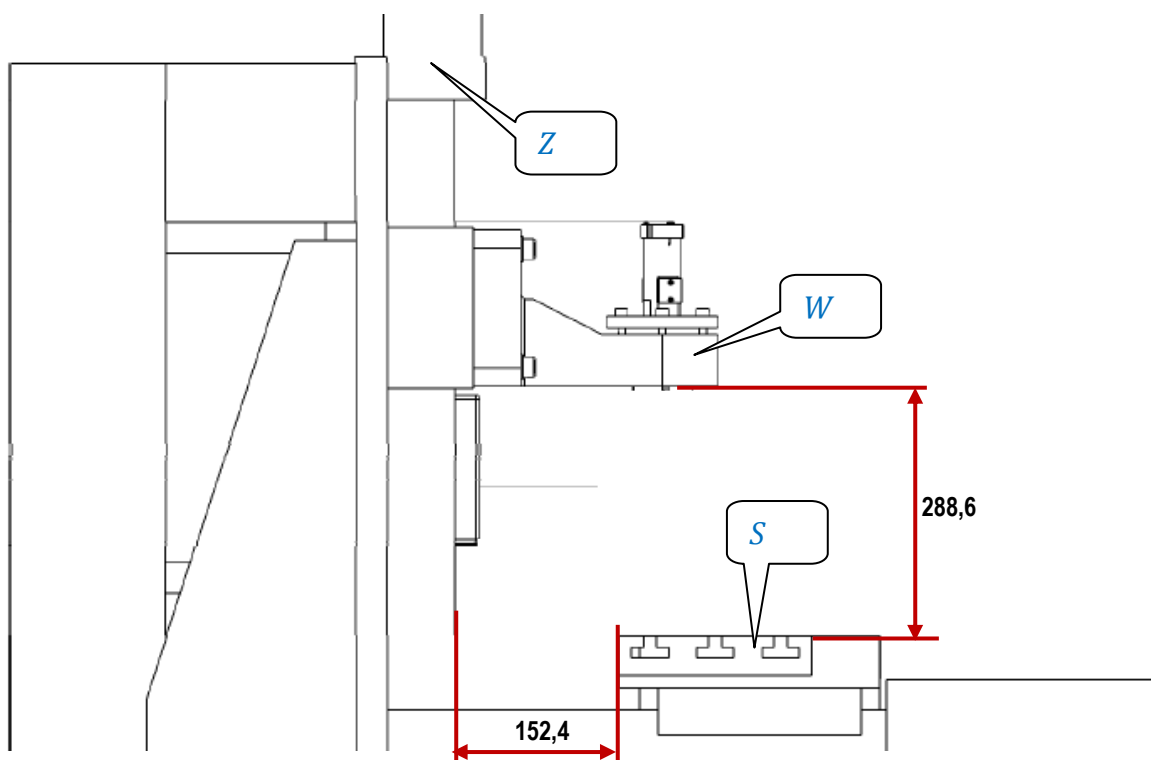
1. z wykorzystaniem konstrukcji istniejącej maszyny
2. zbudowanej przez osadzenie zespołów we własnym korpusie.

Zgrzewarka w istniejącej maszynie (Welder2a)

Żeby ułatwić wykonanie zgrzewarki przeznaczonej do celów naukowo-dydaktycznych postanowiono rozważyć wykorzystanie istniejącej obrabiarki sterowanej numerycznie. Jest to zmodernizowana frezarka CNC model **VMC4000** produkowana seryjnie przez firmę BENCHMAN. W egzemplarzu tej obrabiarki – znajdującym się w laboratorium technologicznym **UFGTechLAB**, zarządzanym przez grupę badawczą **UFGbySPD** – wzmocniono korpus przez zabudowę trzech osi roboczych w masywnej konstrukcji płytowej o podwyższonej sztywności. Po tej przeróbce maszynę wykorzystywano do wgłębiania. Mianowicie wykonywano płytkie mikro zagłębienia na powierzchniach kształtowych twardych przedmiotów narzędziem diamentowym (technologia mikroobróbek bezodpadowych). W tym zastosowaniu wykorzystywano w osi **Z** urządzenia maksymalną siłę **4,3 kN**. Potem maszyna służyła do wytłaczania cienkościennych naczyń blaszanych techniką **ISMF⁸ (Incremental Sheet Metal Forming)**, do którego w osi **Z** potrzebna jest bardzo mała siła. Oba wspomniane zastosowania nie wzbudziły zainteresowania studentów wydziału WIP, którzy są najbardziej zainteresowani technologiami spajania. Dlatego postanowiono kolejny raz przerobić maszynę. Tym razem nadając jej funkcjonalność właściwą dla zgrzewania tarcowego.

Na Rys. 14 pokazano oglądaną w płaszczyźnie YZ dostępną do zabudowy przestrzeń roboczą zmodernizowanej maszyny sterowanej numerycznie. Rzeczywista przestrzeń robocza obrabiarki w odniesieniu do stołu teowego, przyjmuje następujące wartości dla kolejnych osi:

- Oś X : 304,8 [mm]
- Oś Y: 152,4 [mm]
- Oś Z: 288,6 [mm]



Rys. 14. Dokumentacja techniczna przestrzeni roboczej maszyny sterowanej numerycznie w osi Z – rzut z lewej strony; W-uchwyt wrzeczona, S- współrzędnościowy stolik XY, Z-os Z maszyny

Na bazie tej sterowanej numerycznie maszyny może być budowane urządzenie do zgrzewania tarcowego, które będzie przeznaczone do celów dydaktycznych.

⁸ Nazwę tą przyjęto na wzór określenia IBMF (Incremental Bulk Metal Forming), które dotyczy przyrostowego kształtowania plastycznego brył (przyrostowa obróbka plastyczna objętościowa – [[CIRP Incremental Bulk Metal Forming.pdf](#)]); należy zaznaczyć, że w literaturze technicznej funkcjonują również inne określenia tej techniki tłoczenia, jak np. ISF (Incremental Sheet Forming), czy też SPIF (Single Point Incremental Forming). Uznano je za mniej udane z uwagi na brak precyzji sformułowania zagadnienia i nie zaleca się ich stosowania

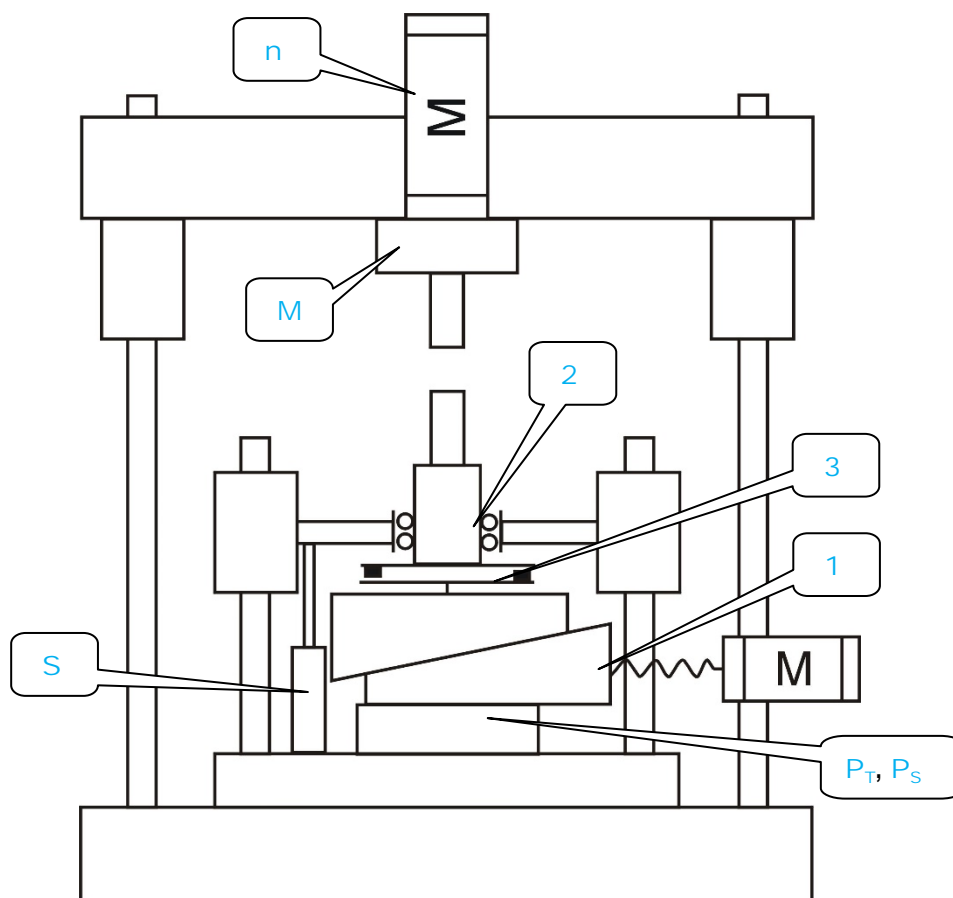
Zrezygnowano z prezentowania pożądanej zabudowy przestrzeni roboczej maszyny sterowanej numerycznie. Schemat wyjściowy pokazujący stan zabudowy przestrzeni roboczej, tj. przed rozpoczęciem mocowania elementów wchodzących w skład układu nadzorowania zgrzewania na tej maszynie, będzie przecież identyczny jak dla każdej maszyny do zgrzewania.

Zaletą użycia maszyny sterowanej numerycznie jest możliwość rozszerzenia technologii tarcowego zgrzewania prętów na zgrzewanie doczołowe prętów do przedmiotów płaskich i dużej powierzchni. Dzięki wykorzystaniu programowalnego ruchu głowicy frezerki w układzie **xyz** można będzie zgrzewać pręty do płyt zamocowanych na stoliku współrzędnościowym. Jednocześnie programowalny ruch obrotowy narzędzia prowadzonego w poziomej płaszczyźnie XY umożliwi na tej samej maszynie realizację innego sposobu zgrzewania tarcowego, mianowicie zgrzewania FSW.

Zgrzewarka we własnym korpusie (Welder2b)

Budowa maszyn o wielorakim przeznaczeniu technologicznym nie jest łatwa. Dlatego, mając na względzie potrzebę prowadzenia prac rozwojowych w obszarze technologii zgrzewania nowych materiałów, warto rozważyć budowę małej zgrzewarki doświadczalnej przeznaczonej wyłącznie do celów badawczo-dydaktycznych. Będzie ona pozbawiona funkcjonalności właściwej urządzeniom przemysłowym, które muszą zapewnić wysoką wydajność. Do celów naukowych można zgodzić się na wydłużenie czasów przygotowawczo-zakończeniowych, głównie związanych z mocowaniem przedmiotów i zatrzymaniem ruchu po zakończeniu zgrzewania celem wyjęcia wyrobu.

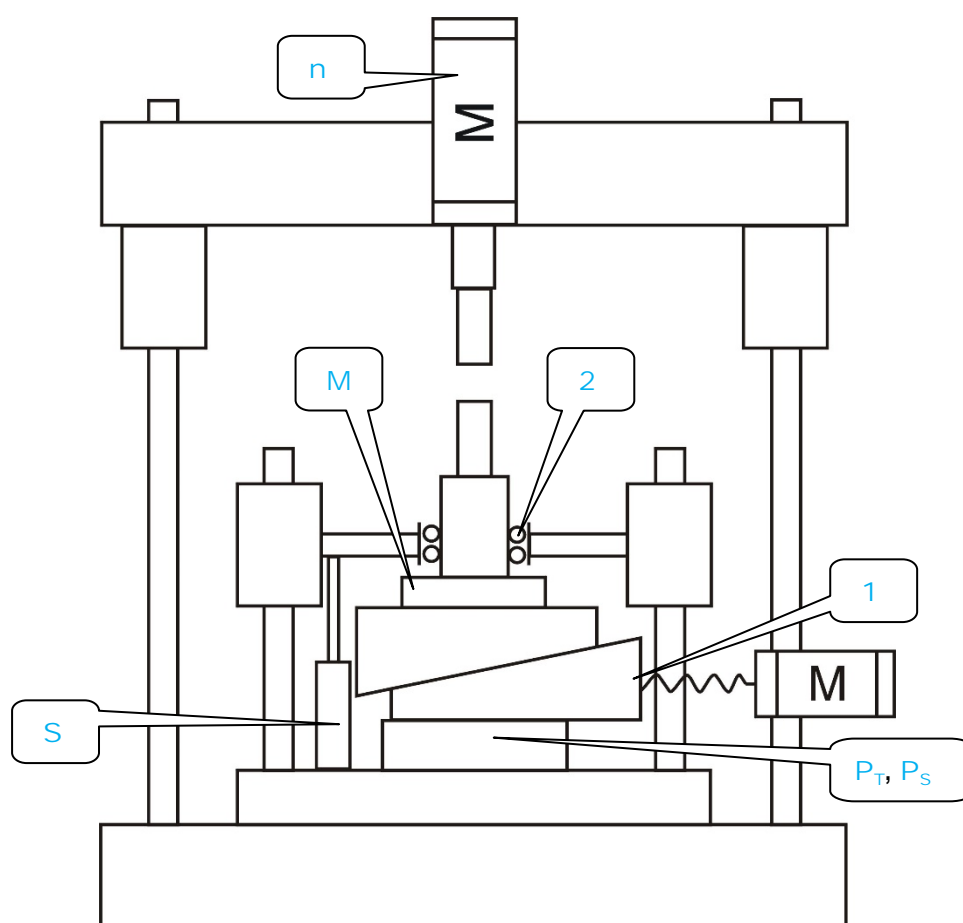
Zabudowę przestrzeni roboczej małego Weldera autonomicznego zaprezentowano na schemacie na kolejnych dwóch rysunkach. Rys. 15 przedstawia schemat urządzenia z pełnym stanem zabudowy przestrzeni roboczej. Przewidziano osadzenie wszystkich zespołów, które uznano za pożądane dla Weldera o poszerzonej funkcjonalności. Uwzględniono również obecność elementów wchodzących w skład układu nadzorowania zgrzewania na takiej maszynie, tzn. niezbędnych czujników i dodatkowych elementów wykonawczych.



Rys. 15. Schemat zgrzewarki autonomicznej o pełnej funkcjonalności 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 przedmiotu stałego, 3- elektrosprzęgło

Z uwagi na konieczność uzyskania bardzo krótkich cykli zgrzewania w wersji z pełną funkcjonalnością przewidziano możliwość opcjonalnego zamontowania sprzęgła rozłącznego pod uchwytem przedmiotu stałego. Sprzęgło to po odpowiednim wysterowaniu miałoby umożliwić obrót przedmiotu w końcowej fazie zgrzewania i w ten sposób skrócić czas zgrzewania (koncepcja LHI). W tej wersji moment tarcia jest mierzony za pomocą czujnika związanego z elektrowrzecionem.

Na Rys. 16 pokazano schemat nieco uproszczonej wersji zgrzewarki autonomicznej. Pozbawiono jej funkcjonalności właściwej dla zgrzewania metodą LHI. Uczyniono tak, aby nie dublować zadań badawczych, które mogą być wykonywane na obu Welderach, tj. autonomicznym i przemysłowym. Przypomnijmy, że na Rys. 6 pokazano schemat zmodernizowanej wersji przestrzeni roboczej Weldera przemysłowego, która uzyskała zdolność do natychmiastowego przerywania przenoszenia momentu obrotowego z przedmiotu ruchomego na stały. Podzespół napędowy posuwu (zespół konstrukcyjny „F” Weldera autonomicznego) składa się z serwonapędu, śruby tocznej z nakrętką oraz mechanizmu klinowego, który zamienia poziomy ruch liniowy nakrętki kulowej na ruch pionowy. Na górnej części mechanizmu klinowego znajduje się płyta, która służy do mocowania czujnika momentu a wyżej uchwyty stałego zgrzewanego przedmiotu nieruchomego. Poniżej mechanizmu klinowego znajduje się czujnik siły.



Rys. 16. Schemat 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 przedmiotu stałego

Welder autonomiczny tak zaprojektowano, aby stanowił jeden złożony zespół konstrukcyjny, który będzie można osadzić w korpusie typowej prasy. Prasa jak wiadomo jest maszyną technologiczną, której przestrzeń robocza wyznaczona jest położeniem stałego stołu i przestawnego suwaka. Możliwość przestawiania suwaka zostanie wykorzystana do „otwierania Weldera” celem ułatwienia zamocowania przedmiotu stałego i ruchomego. Po ich zamocowaniu ruchem suwaka do dołu przedmioty zostaną zbliżone do siebie na odległość umożliwiającą natychmiastowe rozpoczęcie fazy tarcia.

Jak wynika z omawianych rysunków Welder autonomiczny uzyska kompaktową budowę. Zostanie to osiągnięte przez zastosowanie dwóch opraw uniwersalnych z prowadzeniem słupowym⁹:

- Wewnętrznej oprawy mniejszej, w której zabudowano uchwyt przedmiotu stałego, elektronapęd z układem klinowym, czujnik przemieszczenia i czujnik siły docisku (oraz czujnik momentu w wersji zubożonej) → zespoły konstrukcyjne „**F**” i „**N**” Weldera autonomicznego
- 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**” Weldera autonomicznego

Żeby oddalić kłopoty z niedostateczną sztywnością urządzenia technologicznego planuje się osadzić zespoły zgrzewarki zabudowane w uniwersalnych oprawach w solidnym korpusie prasy. Zarówno stały stół jak i przestawny suwak tej prasy powinien mieć powierzchnie przygotowane do mocowania przyrządów jak na blatach z rowkami teowymi.

ROZWIĄZANIA WYBRANE DO REALIZACJI

Jak wspomniano w poprzednich rozdziałach w planowaniu prac modernizacyjnych należy uwzględnić ograniczenia jakie narzucił właściciel zgrzewarki przemysłowej (HWH). To ograniczenie skłania do rozważenia budowy autonomicznego urządzenia, aby można było testować wszystkie śmiało koncepcje nadzorowania. Dlatego założenia projektowe zostały sformułowane oddzielnie dla zgrzewarki przemysłowej (projekt **Welder1**) i zgrzewarki autonomicznej (projekt **Welder2**).

Założenia projektowe **Welder 1**

CEL: wykorzystanie istniejącej przemysłowej maszyny firmy HWH (projekt **Welder1**).

W przypadku wykorzystania maszyny przemysłowej należy uwzględnić konieczność zachowania istniejącej funkcjonalności maszyny przy jak najmniejszej ingerencji w istniejącą konstrukcję. Z tych powodów można wskazać dwa istotne kierunki modyfikacji:

1. Wykorzystanie ściany tylnej korpusu, która w przemysłowych zgrzewarkach służy do zabudowy mechanizmu podpierającego zespół służący do mocowania przedmiotu stałego.
2. Wykorzystanie imadła pneumatycznego jako bazy do zmodernizowanego mocowania przedmiotów stałych, tj. takiego, aby można było śledzić zachowanie się tych przedmiotów w czasie zgrzewania.

Wykorzystanie ściany korpusu

Ścianę tylną korpusu planuje się wykorzystać do zamocowania elementów utrzymujących uchwyt przedmiotu stałego w taki sposób, aby mogły współpracować z czujnikami siły docisku osiowego oraz momentu obrotowego. Wymienione elementy pomiarowe powinny być ułożone w stos i mieć własną obudowę (korpus), który umożliwi jednoznacznie i pewnie ustalić je w osi maszyny (osi obrotu zgrzewanego materiału). W ten sposób powstanie jeden moduł konstrukcyjny, który w całości będzie mocowany do ściany korpusu. Miejsce mocowania projektowanych elementów pomiarowych na ścianie korpusu powinno przypadać w miejscu dotychczas zamocowanych elementów oznaczonych na schemacie blokowym jako Pa ...Pd (zszywka am2, rys.14 – są to elementy wchodzące w skład przestawnego podpieracza).

Schemat blokowy modyfikacji, umożliwiającej poszerzenie zakresu monitorowania lecz nie naruszającej konstrukcji zgrzewarki, zamieszczono na Rys. 17.

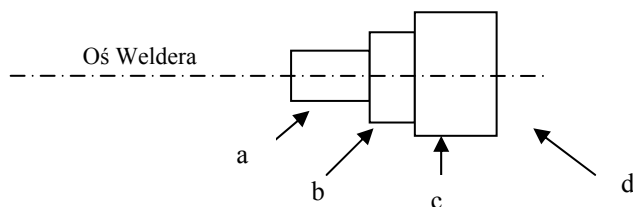
W podobny sposób można zamontować elektrosprzęgło, co umożliwi testowanie koncepcji LHI przy zgrzewaniu tarciovym doczołowym (patrz rozdział „Wersja LHI”).

Wykorzystanie imadła pneumatycznego

Producenci zgrzewarek do zamocowania przedmiotów stałych montują imadła. Użytkownik wymieniając szczęki takiego imadła łatwo może dostosować mocowanie do kształtu zgrzewanych przedmiotów. W

⁹ 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/>

zgrzewarce HWH w tym celu zainstalowano przestawne imadło pneumatycznego. Dlatego możliwe jest wykorzystanie imadła pneumatycznego jako bazy (podstawy) do mocowania nie tylko uchwyty stałego na zgrzewany przedmiot, ale również czujnika siły czy momentomierza. Wymienione elementy pomiarowe powinny być ułożone w stos i mieć własną obudowę (korpus). Taki kompaktowy moduł można jednoznacznie i pewnie ustalić w osi maszyny (osi obrotu zgrzewanego materiału) poprzez umieszczenie w otworze imadła pneumatycznego. Przestawny podpieracz zachowuje w tym rozwiązaniu swoją dotychczasową rolę, tj. ustala położenie imadła w stosunku do wrzeciona.



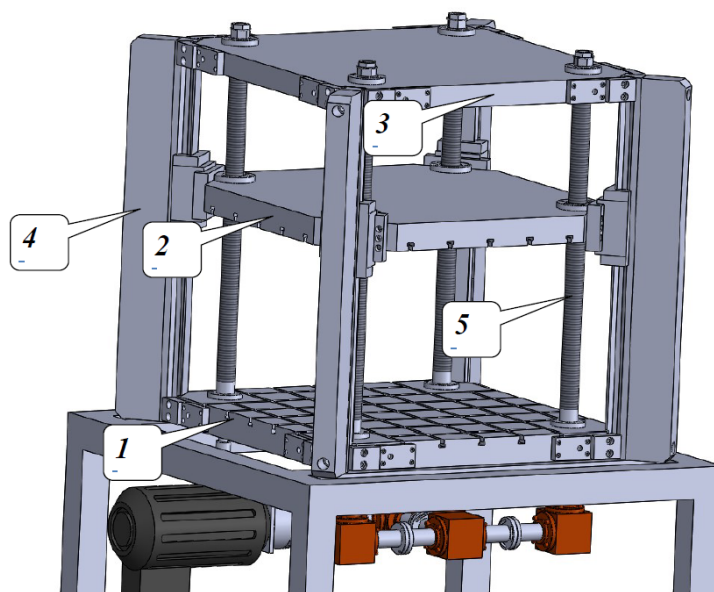
Rys. 17. Schemat blokowy dopuszczalnej konfiguracji istniejącej zgrzewarki przemysłowej polegającej na zabudowie dodatkowych czujników (projekt Welder1): a-uchwyt próbki, b-czujnik siły, c- momentomierz, d-tylna ściana korpusu

O zakresie wykorzystania powyżej zgłoszonych propozycji będzie można zdecydować po prześledzeniu cyklogramu działania zgrzewarki przemysłowej.

Założenia projektowe Welder 2

W tej propozycji należy wykorzystać dowolny istniejący korpus maszyny technologicznej mającej cechy właściwe dla prasy. Dostępny korpus z przestawnym suwakiem umożliwi budowę urządzenia do zgrzewania w układzie pionowym (będzie to projekt **Welder2**). Korpus do zabudowy opisanej zgrzewarki pokazano na Rys. 18.

Założenie budowy zgrzewarki w korpusie prasy opiera się na schematach blokowych pokazanych na Rys. 15 i Rys. 16. Przy czym z uwagi na wcześniejsze testowanie metody LHI na zgrzewarce przemysłowej HWH, do pierwszej realizacji wytypowano wersję zubożoną, którą scharakteryzowano na Rys. 16. W obu wersjach elektrowrzeciono jest umieszczone w części głowicowej (górnej płycie zewnętrznej oprawy) i nie przemieszcza się w trakcie trwania procesu zgrzewania. Podzespół napędowy służący do wywołania fazy tarcia jak i fazy tworzenia wypłytki (osadzony w wewnętrznej oprawie) jest umieszczony na dolnej płycie zgrzewarki autonomicznej (dolnej płycie zewnętrznej oprawy).



Rys. 18. Korpus dla zgrzewarki autonomicznej (projekt Welder2): 1- stół prasy, 2- poprzeczka górna (przestawny suwak), 3- płyta górna, 4- kolumna z prowadnicą poprzeczki przestawnej, 5 – śruba napędowa przestawnej poprzeczki

Osadzenie zgrzewarki w korpusie pokazanym na Rys. 18 będzie przebiegało następująco:

- Kompaktowy zespół zgrzewarki (zabudowany w zewnętrznej oprawie uniwersalnej) zostanie postawiony na stole teowym 1 i ustawiony w osi korpusu
- Płyta dolna zewnętrznej oprawy uniwersalnej zostanie przymocowana do stołu 1 prasy zestawem zunifikowanego systemu mocowania w rowkach teowych
- Poprzeczka 2 (przestawny suwak), która jest prowadzona na prowadnicach liniowych 4 i przemieszcza układem czterech śrub pociągowych, zostanie sprowadzona do dołu, aby zbliżyć powierzchnię poprzeczki 2 do górnej płyty zewnętrznej oprawy uniwersalnej
- Płyta dolna zewnętrznej oprawy uniwersalnej zostanie przymocowana do dolnej powierzchni poprzeczki 2 zestawem zunifikowanego systemu mocowania w rowkach teowych