

Miernictwo komputerowe



MIERK-L15

Kierunek : Mechanika i Budowa Maszyn
Przedmiot bazowy specjalności: MD/MZ–MK

Ćwiczenie mk2

Temat:

Pomiary temperatury (w zastosowaniu do nagrzewania wsadu i przyrządów)

L.Olejniki, K.Olejarz

Obowiązkowa literatura dodatkowa

Materiały pobierane z <http://lolejniki.eta.pl/download.htm> sekcja WYKŁADY MIERK:
Wykład w2 „Typy układów DAQ”, Wykład w4 „Sensoryka”

Zakład Obróbki Plastycznej i Odlewnictwa
Instytut Technik Wytwarzania

Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z budową, zasadą działania i możliwościami zastosowania czujników temperatury do monitorowania nagrzewania wsadu i temperatury narzędzi na stanowiskach produkcyjnych. Poznanie zagadnień obsługi czujników do pomiaru temperatury sposobem stykowym i bezdotykowo. Demonstracja układów DAQT służących do monitorowania nagrzewania wsadów przed kształtowaniem i kontroli temperatury grzanych przyrządów, które służą do produkcji części maszyn w podwyższonych temperaturach.

Zadanie problemowe

Dobrać odpowiedni sposób podłączenia czujników do układu DAQT mierzącego temperaturę obiektów wskazanych przez prowadzącego. Użyć układ monitorowania temperatury do zapisu przebiegu nagrzewania wstępniaków przeznaczonych do operacji kształtowania lub przyrządu do wykonywania operacji kształtowania (obiekt wskaże prowadzący).

Wprowadzenie

Produkowanym elementom maszyn stawia się wymagania, które można przyporządkować do dwóch kategorii:

1. wymagania dotyczące kształtu wyrobu, wymiarów i ich dokładności
2. wymagania odnoszące się do właściwości zgodnych z oczekiwaniami odbiorcy.

W przypadku wytwarzania metalowych wyrobów technologiami materiałowymi wszystkie wymienione wymagania mogą być zachowywane przez dobór odpowiednich warunków procesu kształtowania. W procesach prowadzonych w podwyższonej temperaturze konieczne jest kontrolowanie bilansu ciepła dostarczanego do strefy obróbki przed, w trakcie i po zakończeniu kształtowania. W technologiach materiałowych udział zabiegów, które wymagają podniesienia temperatury w strefie obróbki, jest wyjątkowo duży. Zazwyczaj stosuje się nagrzewanie materiału wyjściowego lub przedmiotów przeznaczonych do obróbki. Często też podgrzewa się również narzędzia kształtujące. Za dobór odpowiednich środków produkcji i ustalenie schematów prowadzenia wytwarzania odpowiedzialny jest technolog. Ma on obowiązek dbać o osiągnięcie wymaganych kształtów, wymiarów o odchyłkach dopuszczalnych dla wyrobu, ale jednocześnie powinien tak sterować procesem technologicznym, by osiągnąć określoną strukturę wyrobu i żądane właściwości. Odpowiedni stopień automatyzacji czynności technologicznych stwarza możliwość stabilnego przebiegu produkcji. Stabilizacja parametrów technologicznych procesu, pozwala utrzymać na stałym poziomie jakość wyrobów, a także przewidzieć zdolność produkcyjną maszyn.

Konieczność uzyskania równowagi cieplnej w strefie obróbki wynika z wymagań technologicznych. W operacjach obróbki cieplnej przedmioty grzejemy do określonej temperatury i wytrzymujemy w niej przez czas niezbędny dla osiągnięcia w całej objętości bądź to równowagi termodynamicznej pomiędzy fazami, bądź też oczekiwanej przebudowy mikrostruktury. Nagrzewanie materiału przed kształtowaniem plastycznym wyrobów metalowych ma na celu obniżenie granicy plastyczności i podwyższenie zdolności metalu do odkształceń plastycznych bez pęknięć. Topienie odlewnicze jest złożonym procesem metalurgicznym, mającym na celu otrzymanie ciekłego metalu o określonych właściwościach technicznych w stanie ciekłym przed zalaniem formy i w stanie stałym po zakrzepnięciu odlewu. Z reguły prawidłowość przebiegu przekształcania porcji materiału wyjściowego w wyrób, które następuje bezpośrednio po wykonaniu zabiegu grzania, zależy od wartości temperatury osiągniętej w chwili poprzedzającej kształtowanie.

Z powyższych uwag wynika, że w technologiach materiałowych wartości temperatury są podstawowymi danymi procesowymi. Pomyślność większości operacji zależy od pomiaru właśnie tej wielkości fizycznej.

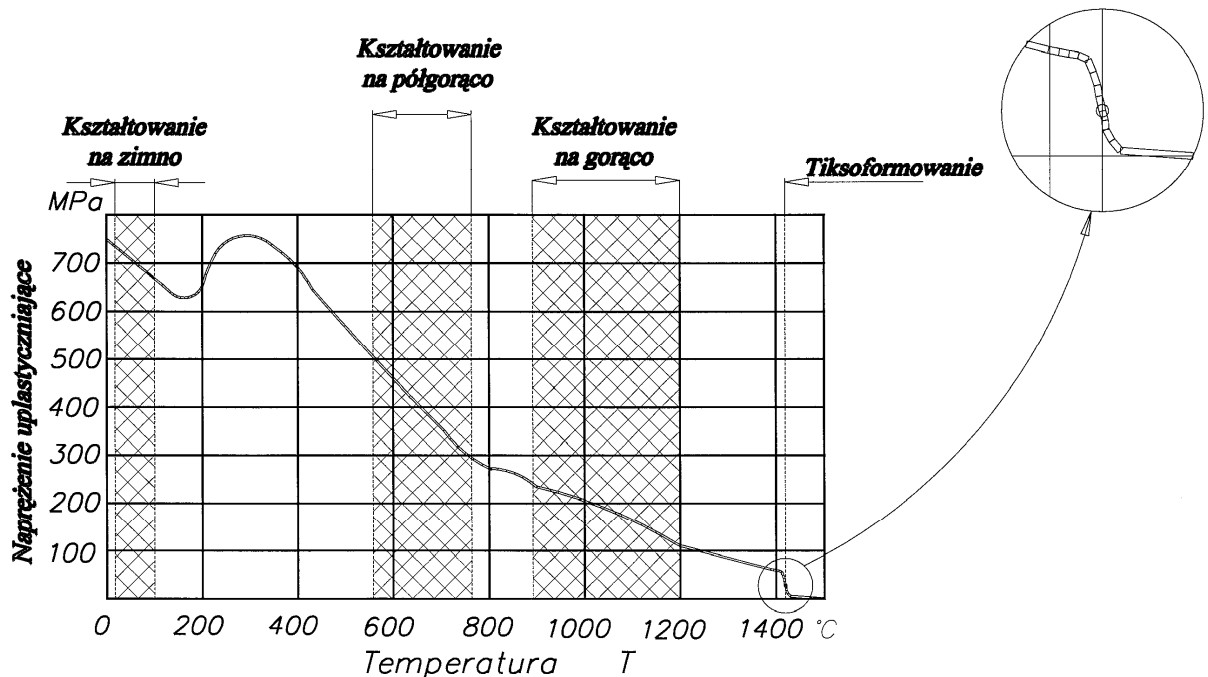
Zakres temperatury obróbki

Pożądana temperatura obróbki powinna się mieścić w określonym zakresie, który ustala się dla każdego materiału. Przedział tej dopuszczalnej zmienności zależy także od rodzaju technologii, a niekiedy nawet stosowanej metody kształtowania. Czasem optymalny zakres może być tak mały, że szybkie i dokładne wyznaczenie wartości temperatury staje się poważnym zadaniem pomiarowym, wymagającym zastosowania specjalnej techniki. Zagadnienie doboru temperatury dla różnych rodzajów obróbek wyjaśnimy analizując zależność oporu, jaki materiał stawia przy kształtowaniu.

Na Rys. 1 pokazano zależność naprężenia uplastyczniającego $\bar{\sigma}_p$ od temperatury T dla stali niestopowej o średniej zawartości węgla. Zależność $\bar{\sigma}_p(T)$ wykreślono dla danych uzyskanych przy zachowaniu stałej prędkości odkształcenia, której wartość jest stosunkowo duża. Widać, że w przypadku tego materiału uwidacznia się niemonotoniczny przebieg zmian $\bar{\sigma}_p$ w funkcji temperatury. Lokalny wzrost naprężenia uplastyczniającego w zakresie 300÷500°C jest spowodowany zjawiskiem starzenia dynamicznego. W zakresie temperatur 800÷900°C występuje ponownie niewielkie maksimum wartości $\bar{\sigma}_p$. Jest ono wywołane obecnością na granicach ziaren związków, które w określonej temperaturze wykazują małą plastyczność (w przypadku stali takim związkiem może być siarczek żelaza FeS). W pozostałych zakresach temperatury wartość $\bar{\sigma}_p$ zmniejsza się, przy czym lokalnie spadek ten może być nieco szybszy niż w innych obszarach. Za spadek oporu płynięcia w temperaturze pow. 1200°C odpowiedzialne jest zjawisko pęknięcia wzdłuż granic ziaren. Przy temperaturze powyżej 1400°C opory plastycznego płynięcia zaczynają szybko spadać. Jest to spowodowane nadtopianiem składników fazowych o niższej temperaturze topnienia. Przy dalszym wzroście temperatury stal przechodzi w końcu całkowicie w stan ciekły.

Zakresy temperatury, w których spadek wartości $\bar{\sigma}_p$ jest w przybliżeniu monotoniczny, wykorzystuje się do prowadzenia obróbki plastycznej. Na Rys. 1 wskazano granice występowania obróbki plastycznej na zimno, półgorąco, gorąco i tiksoformowania. W przypadku kształtowania wyrobów ze stali będącej całkowicie w stanie stałym zakresy temperatury są na tyle duże, że prowadzenie obróbki nie sprawia większych trudności. Zasady doboru parametrów nagrzewania w tych przypadkach podano w skrypcie [1]. Nieco inaczej jest przy tiksoformowaniu, które wykorzystuje obecność niewielkiej ilości fazy ciekłej, powstałej z nadtopienia składników o niższej temperaturze topnienia. Wynika stąd, że o zakresie temperatury decyduje rozpiętość między solidusem a likwidusem, a górna i dolna temperatura obróbki powinna zależeć przede wszystkim od składu chemicznego, ale nie jest to jedyny warunek. Sądzi się, że przy takim nadtopianiu składników strukturalnych można uzyskać korzyści w postaci ułatwionego płynięcia metalu, wynikającego z kooperacji cząstek stałych fazy o wyższej temperaturze topnienia z otaczającą cieczą. Rzeczywiste jednak ułatwienie płynięcia wyzwolone zostaje tylko w przypadku określonej morfologii mikrostruktury.

Jeżeli cząstki gęstwy, uzyskanej przez częściowe stopienie materiału, mają odpowiednią budowę to w procesie jej kształtowania można wykorzystać zjawisko tiksotropowe. Istotę przemiany tiksotropowej oraz warunki niezbędne dla jej pomyślnego wywołania podano w pracy [2]. Tam też opisano najbardziej popularne metody produkcji metalowych gęstw o cechach tiksotropowych.



Rys. 1. Charakterystyka termiczna stali średnio węglowej służąca do wyznaczenia zakresu temperatur jej obróbki plastycznej i tiksoformowania¹

Kontrola temperatury kształtowania

Wykonanie kształtowania plastycznego na ciepło lub na gorąco oraz tiksoformowania wymaga nagrzania wsadu przed operacją kształtowania. Podczas odkształcania na skutek kontaktu z kształtującymi narzędziami metal traci ciepło. Straty te są szczególnie wyraźne, gdy technologia wymaga długiego czasu styku metalu z narzędziem. Z drugiej strony ciepło generowane przy odkształceniu dodatkowo zmienia temperaturę materiału. Przepływy ciepła mają wpływ na wymiary uzyskiwanego wyrobu. Wywołują też zmiany pól naprężeń własnych, co może mieć szkodliwy wpływ na trwałość wyrobu. Może też dojść do zmian strukturalnych, które degradują właściwości mechaniczne wyrobu, a w skrajnych przypadkach jego cechy fizyczne i chemiczne. Dlatego monitorowanie temperatury materiału we wszystkich etapach procesu materiałowego jest podstawowym warunkiem uzyskaniażądanego wyrobu.

W praktyce procesów kształtowania, które prowadzone jest w podwyższonych temperaturach, powszechnie stosowaną zasadą jest zapewnienie odpowiedniej temperatury wsadu na początku procesu i stałe kontrolowanie temperatury narzędzi. W przypadkach, gdy nadawaniu kształtu towarzyszy silne wydzielanie ciepła (odlewanie, tiksoformowanie, kucie) konieczne jest stabilizowanie temperatury narzędzi przez równoczesne podgrzewanie i chłodzenie narzędzi. Wszystkie te zabiegi wymagają monitorowania zmian temperatury.

Nagrzewanie wsadu

Wzrost temperatury może spowodować uszkodzenie materiału, gdy zachodzi obawa, że jego wielkości cieplne wpływają niekorzystnie na zmianę właściwości takich, jak plastyczność czy odkształcenie graniczne. Przy podwyższaniu temperatury metal rozszerza się. Sposób zmiany wymiarów zależy nie tylko od rodzaju metalu, ale i od temperatury. Współczynnik rozszerzalności liniowej Λ [1/K] na ogół zwiększa swoją wartość przy wzroście temperatury, przy czym dla niektórych metali zależność $\Lambda = \Lambda(T)$ nie jest monotoniczna [3]. Omawiane zmiany nabierają zasadniczego znaczenia przy szybkim nagrzewaniu wsadu. Zachodzi wtedy obawa, że zmiany wielkości cieplnych mogą współuczestniczyć z istniejącymi naprężeniami własnymi, które pozostały po poprzednich operacjach technologicznych. Przy nieodpowiednio dobranych warunkach nagrzewania wynikowe naprężenia strukturalne mogą doprowadzić do uszkodzenia wsadu. W takich przypadkach stosuje się podgrzewanie. Polega ono na podwyższaniu temperatury z prędkością tak dobraną, aby w niebezpiecznym zakresie temperatury zredukować gradient temperatury na przekroju wsadu.

¹ Kształtowanie wyrobów metalowych z wykorzystaniem przemiany tiksotropowej znane są pod nazwą SSP (Semi Solid Processing). Technologia SSP jest omawiana w przedmiocie obieralnym ZATEM (Zaawansowane technologie materiałowe)

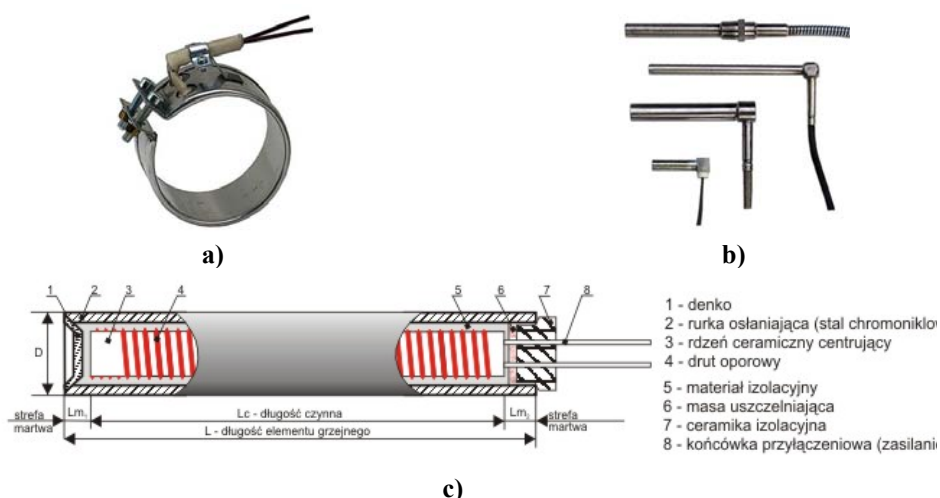
Nagrzewaniu stopów metali nieuchronnie towarzyszą zjawiska strukturalne związane z przemianami fazowymi. Rozpuszczanie składników stopu, rozpoczyna się po osiągnięciu odpowiedniej temperatury i zachodzi drogą dyfuzji składników. Procesy dyfuzji i wyrównywanie stężeń składników w roztworze stałym wymagają określonego czasu. W takich przypadkach wprowadza się dodatkową fazę kończącą proces nagrzewania - **wygrzewanie**. W czasie wygrzewania oprócz ujednorodnienia struktury następuje stałe zmniejszanie gradientu temperatury na przekroju wsadu. Na tym etapie nagrzewania dąży się do osiągnięcia w całej objętości wsadu temperatury początku zabiegu kształtowania.

Omówione zagadnienia wskazują, że ustalenie właściwej procedury nagrzewania jest złożonym zagadnieniem technologicznym. Uzyskanie odpowiedniego efektu końcowego może być niekiedy trudne przy dostępnych urządzeniach. Podstawowe czynniki techniczne, które wpływają na dobór wymaganych warunków nagrzewania, to konstrukcja urządzenia nagrzewającego (pieca/nagrzewnicy) i dostępny zakres sterowania nagrzewaniem. Decydują one o dochowaniu założonej szybkości nagrzewania, osiągnięciu żądanej temperatury, niwelowaniu gradientu temperatury wsadu i degradacji jego warstwy wierzchniej. W praktyce schematy nagrzewania wsadu dostosowuje się do urządzeń cieplnych, uwzględniając ich charakterystyki techniczne (moc, bezwładność cieplna) i dostępne dla nich możliwości regulacyjne (sterowanie temperaturą lub mocą grzania). W celu kontroli rezultatu nagrzewania potrzebny jest dokładny pomiar temperatury wsadu wyjmowanego z pieca czy nagrzewnicy.

Nagrzewanie narzędzi

Podczas odkształcania plastycznego kształtowany metal podnosi swoją temperaturę. Przyrost temperatury jest wynikiem zamiany na ciepło energii odkształcenia i pracy tarcia. Ciepło generowane w procesie kształtowania przekazywane jest narzędziom zwiększając ich średnią temperaturę. W przypadku obróbki plastycznej prowadzonej w temperaturze otoczenia zazwyczaj wzrost temperatury narzędzi nie ma istotnego wpływu na przebieg procesu kształtowania i dokładność uzyskiwanych wyrobów. Inaczej jest przy kształtowaniu w podwyższonych temperaturach. Gorący wsad wkładany do zimnej matrycy powoduje wytworzenie szoku cieplnego na jej powierzchni roboczej. Cykliczne obciążenie termiczne powierzchni matrycy stykającej się okresowo z nagrzanym materiałem podnosi jej temperaturę i dopiero po jakimś czasie ustalą się wymagane warunki kształtowania. Wynika stąd, że początkowe warunki odbiegają od tych, które są wymagane dla uzyskania wyrobu o żądanych właściwościach.

Warunkiem prawidłowej pracy matrycy jest utrzymanie temperatury jej powierzchni roboczej na odpowiednim poziomie. Średnia temperatura tej powierzchni nie może być ani zbyt wysoka, gdyż powoduje to przyspieszenie zużycia matrycy, ani zbyt niska, gdyż grozi to jej pęknięciem. W celu utrzymania temperatury pracy matrycy w pożądanym zakresie, przed rozpoczęciem kształtowania matryca powinna być wstępnie podgrzana. Natomiast w czasie pracy powinna być chłodzona w celu niedopuszczenia do wzrostu jej temperatury w wyniku ciepła przejmowanego od nagrzanego materiału. Wstępne podgrzanie matrycy może być dokonywane za pomocą specjalnych grzałek elektrycznych, które umieszcza się w przyrządach. Elementy grzejne mają specjalną konstrukcję, która umożliwia emisję dużej ilości ciepła z niewielkiej powierzchni. W budowie narzędzi stosuje się dwa podstawowe rodzaje grzałek elektrycznych: opaskowe i patronowe (rys.2). Pierwsze zakłada się na zewnętrznych powierzchniach matryc, drugie zaś montuje w otworach wykonanych w matrycach. Chłodzenie matrycy w czasie normalnej pracy wymaga zainstalowania dodatkowego układu chłodzącego. Ma on postać kanałów poprowadzonych w pobliżu wkładek matrycowych, którymi przepływa ciecz odbierająca ciepło. Najczęściej stosuje się wodę jako czynnik chłodzący matrycę. W przypadkach, gdy temperatura powierzchni kanałów chłodzących jest wyższa od 363 K należy stosować chłodzenie olejowe. Dodatkową zaletą tej cieczy chłodzącej jest możliwość podgrzewania matryc przed rozpoczęciem kształtowania. Stosując odpowiednie wymienniki ciepła osiąga się skuteczne stabilizowanie temperatury narzędzi.



Rys. 2.
Konstrukcje grzałek elektrycznych stosowane w budowie narzędzi do kształtowania wyrobów metalowych:

a) grzałka opaskowa,
b) i c) elementy grzejne patronowe [4]

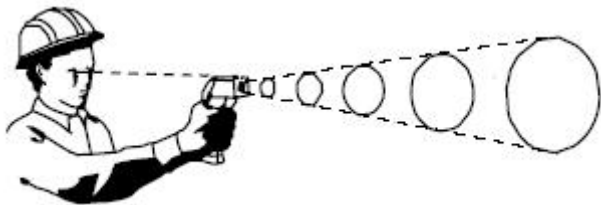
Odpowiednią intensywność chłodzenia zapewnia się przede wszystkim przez wyznaczenie prędkości przepływającej cieczy chłodzącej, odpowiadającej żądanej wartości współczynnika przejmowania ciepła. Wydatek

cieczy wyznacza się z warunku dotyczącego temperatury końcowej narzędzi. Należy przy tym pamiętać, że zależy on od wielkości pola przekroju poprzecznego kanału, przez który przepływa ciecz chłodząca.

Sposoby pomiaru temperatury na stanowiskach roboczych

Pomiar temperatury wsadu

Przy wyborze sposobu pomiaru temperatury wsadu należy kierować się wymaganiami technologii kształtowania. W przypadku obróbki plastycznej wymagany jest szybki pomiar rezultatów nagrzewania ciał stałych. Przedmioty metalowe, bezpośrednio po osiągnięciu żądanej temperatury, są szybko przemieszczane do narzędzi kształtujących. W takich warunkach preferuje się bezstykowe pomiary temperatury. Pomiar bezkontaktowy jest bardzo szybki, gdyż nie używa się żadnej sondy, której masa musiałaby być podgrzana przez mierzony obiekt. W przypadku ruchomych ciał stałych najlepiej określać ich temperaturę w oparciu o wysyłane przez nie promieniowanie temperaturowe². Taki sposób pomiaru stosują pirometry. Wyznaczanie temperatury tymi przyrządami ma charakter odległościowy. Należy jednak zwrócić uwagę, że przyrząd wskazuje średnią wartość temperatury powierzchni, jako że czujnik "widzi" wiele punktów o różnych temperaturach (mowa tu o uśrednianiu temperatury zarówno na powierzchni, jak i w ciągu czasu trwania pomiaru). Przy bezkontaktowym pomiarze temperatury, powierzchnia pomiarowa powiększa się ze zwiększaniem odległości (rys.3).



Rys. 3. Zależność pola powierzchni pomiarowej od odległości obiektu od czujnika

Podstawową częścią pirometru jest czujnik pomiarowy (detektor promieniowania), który przetwarza określoną część wysyłanego promieniowania temperaturowego na inny rodzaj sygnału. Zazwyczaj jest to taka wielkość fizyczna, która daje się pomierzyć na drodze elektrycznej. Pozostałe części składowe pirometru to układ optyczny (skupiający promieniowanie na detektorze), układ przetwarzania sygnału i wskaźnik wielkości mierzonej.

Na rynku dostępnych jest wiele pirometrów. Klasyfikuje się je głównie ze względu na zasadę działania i cechy konstrukcyjne. Dla pirometrii najważniejszą cechą jest jednak zakres promieniowania temperaturowego. Zawiera się on w granicach od ok. $\lambda=0,4$ do $\lambda=20$ μm . Biorąc pod uwagę wykorzystywany zakres długości fal promieniowania λ można wyróżnić następujące pirometry [5]:

- **radiacyjne** (pirometry promieniowania całkowitego; są one wyskalowane przy założeniu, że ciało, którego temperaturę się mierzy, jest ciałem doskonale czarnym; strumień promieniowania skupiany jest na termoelemente, który mierzy temperaturę – jego bezwładność cieplna uniemożliwia pomiar szybko zmieniającej się temperatury),
- **fotoelektryczne** (najpopularniejsi przedstawiciele pirometrów, wykorzystujących wybrane pasmo wysyłanego promieniowania, mierzą sygnał elektryczny wytwarzany w fotoelementach; wielkością charakterystyczną jest umowna długość fali promieniowania, przy której dokonano pomiaru temperatury; pirometry fotoelektryczne wzorcowane są przy pomiarze ciała doskonale czarnego, tj. dla średniej emisyjności pasmowej $\epsilon_\lambda=1$; przy pomiarze temperatury ciała nieczarnego pirometr wskazuje temperaturę niższą),
- **monochromatyczne** (pirometry pracujące przy jednej długości fali; przy pomiarze temperatury ciała nieczarnego wskazuje temperaturę niższą niż wartość jego temperatury rzeczywistej),
- **dwubarwowe**, w których jest porównywane natężenie promieniowania wysyłanego przez badane ciało w dwóch różnych długościach fal.

Charakterystykę widmową ww. pirometrów pokazano na rys.4.

Dokładny pomiar temperatury pirometrami w praktyce nastęrcza sporo kłopotów. Problemy są spowodowane głównie koniecznością wzorcowania wskazań przyrządu pomiarowego przy pomiarze temperatury ciał rzeczywistych. Pirometry są fabrycznie skalowane przy założeniu, że ciało badane jest doskonale czarne. Przy pomiarze temperatury T_r ciała nieczarnego pirometr wskazywać będzie temperaturę T_w , niższą niż T_r . Wartości poprawek, które należy dodawać do wskazań pirometru obliczane są według wzorów o postaci $T_r = T_w(\epsilon_\lambda)$. Jak widać wymagana jest znajomość wartości emisyjności pasmowej ϵ_λ ciała promieniującego w odpowiednim zakresie fal (porównaj rys.4). Wartość ta z reguły nie jest znana. Podawane w literaturze wartości emisyjności ϵ_λ (tablica1) zależą w znacznym stopniu od temperatury i są

² Promieniowanie temperaturowe jest jednym z rodzajów promieniowania elektromagnetycznego. Strumień takiego promieniowania może być pochłonięty, odbity i przepuszczony przez ciało. W przypadku promieniowania temperaturowego wyróżnia się następujące przypadki szczególne ciało: doskonale czarne (pochłania całe promieniowanie), doskonale białe (odbija całe promieniowanie), doskonale przezroczyste (przepuszcza całe promieniowanie). Najbardziej istotne dla pirometrii jest pojęcie ciała doskonale czarnego.

podawane jedynie wartości orientacyjne. Ponadto wartości te w dużym stopniu zależą od stanu powierzchni, stopnia pokrycia tlenkami itp. Dlatego w literaturze można spotkać liczne propozycje specjalnych metod pomiaru z samoczynną kompensacją wpływu emisyjności.



Rys. 4. Obszary promieniowania temperaturowego wykorzystywane w pomiarach pirometrycznych

Tablica 1. Wartości emisyjności spektralnej dla $\lambda = 0,65 \mu\text{m}$

MATERIAŁ		ϵ_λ	Uwagi, stan
Metale (czyste)	Srebro	0,007	Stały – ciekły
	Złoto	0,14-0,22	
	Platyna	0,3-0,33	
	Nikiel	0,36	
	Wolfram	0,456	
		0,444	
		0,431	
		0,4	
	Aluminium	0,15-0,35	1000 °C
	Miedź	0,1-0,3	1600 °C
	Żelazo	0,35-0,37	2200 °C
	Żeliwo	0,4	Stały – ciekły
Metale utlenione, tlenki	Aluminium	0,22-0,4	Stały – ciekły
	Nikiel	0,85-0,96	Stały – ciekły
	Miedź	0,6-0,8	Ciekły; 1100-1800 °C
	Żelazo	0,63-0,98	
Różne	Węgiel	0,8-0,93	Ciekły; 1400-1800 °C
	Żużel	0,6-0,9	
	Wyroby ceramiczne	0,25	
		0,32	
		0,38	
	Porcelana	0,25-0,5	
		1500 °C	
		1800 °C	

Warunkiem prawidłowych wskazań pirometru jest również całkowite napromieniowanie detektora przez ciało, którego temperaturę się mierzy. Warunek ten jest spełniony, gdy pełne pole widzenia pirometru jest pokryte powierzchnią promieniującą przedmiotu o temperaturze T . Wskazania nie są zaś zależne od odległości. Dzieje się tak dlatego, gdyż strumień energii promienistej, który dopływa do detektora, nie ulega zmianie z oddalaniem przedmiotu. Uwaga ta jest słuszna dla przypadków, w których nie ma pochłaniania promieniowania na drodze między badanym ciałem a pirometrem.

W automatyzacji procesów wytwarzania często rezygnuje się z pomiaru rzeczywistej temperatury danego ciała. Dla kontroli zgodności przebiegu wytwarzania z zapisem procedur technologicznych wystarczy przecież sprawdzanie występowania odchyłań temperatury od stanu uznanego za prawidłowy. Dla powtarzającego się w jednakowych warunkach procesu produkcyjnego można postępować następująco. Należy mianowicie dokonać jednoczesnego pomiaru temperatury pirometrem i innym dokładniejszym przyrządem. Wiadomo więc będzie, jaką pozorną wartość temperatury powinien wskazywać pirometr, aby rzeczywista temperatura miała określoną, wymaganą wartość. Sposób ten jest często stosowany w praktyce przemysłowej, gdyż dla prawidłowego przebiegu danego procesu produkcyjnego wystarcza odtwarzanie raz ustalonych warunków.

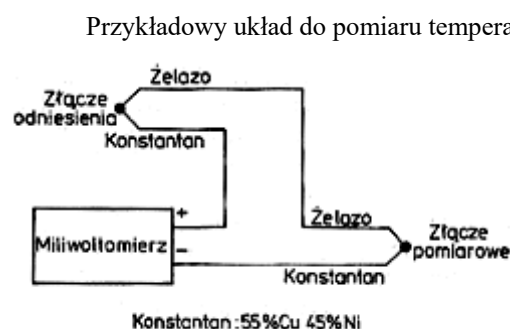
Gdy istnieje potrzeba dokładnego wyznaczenia temperatury pirometrem wprowadza się poprawki – ustalone na podstawie wskazań wzorcowego układu pomiarowego. Kalibracja przyrządu z dokładnością wymaganą przez normy międzynarodowe, może być wykonana jedynie przez autoryzowane, pomiarowe punkty serwisowe.

Pomiar temperatury narzędzi

Przy pomiarze temperatury narzędzi kształtujących z reguły sięga się po tradycyjny sposób interakcji pomiędzy badanym obiektem a czujnikiem pomiarowym, mianowicie metodę stykową. Sondy kontaktowe mogą do pomiaru temperatury wykorzystywać następujące zjawiska: zmiana objętości cieczy, gazu lub długości ciała stałego (termometr, termometr cieczowy), wytwarzanie napięcia elektrycznego na styku dwóch metali (termopara), zmiany rezystancji elementu (termistor), zmiany parametrów złącza półprzewodnikowego (termometr diodowy), odkształcenie bimetalu, zmiana koloru termo-czulej farby w kontakcie z gorącym przedmiotem. Przy zautomatyzowanym wytwarzaniu części maszyn z reguły stosuje się przetworniki termoelektryczne, przy czym najczęściej sięga się po termoelementy³. Do budowy termoelementów wybiera się zestawy materiałów, które zapewniają występowanie możliwie dużych sił termoelektrycznych przy określonej różnicy temperatury. Własności częściej stosowanych termoelementów ujęto normami. Dzięki temu osiągnięto dobrą zamienność poszczególnych typów termopar dostarczanych przez różnych producentów. Termopary odznaczają się dużą niezawodnością, dokładnością i elastycznością konstrukcji, co pozwala na ich zastosowanie w różnych warunkach. Zalety i wady termopar zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Zalety i wady termoelementów (termopar)

Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> nie potrzebują zasilania są tanie są wytrzymałe, odporne na drgania i inne zakłócenia mechaniczne pokrywają szeroki zakres temperatur (do 1800 °C!) są dostępne w różnych wykonaniach mogą stykać się bezpośrednio z badanym obiektem mogą mieć bardzo małe wymiary co zapewnia niski czas odpowiedzi 	<ul style="list-style-type: none"> dają niski sygnał wyjściowy niezbędny jest dodatkowy układ mierzący temperaturę zimnych końców nie są stabilne dokładność różna między egzemplarzami



Przykładowy układ do pomiaru temperatury za pomocą termopary przedstawiono na rys.5. W układzie zastosowano termoparę typu J. Jest to termoelement zawierający złącze żelaza (100%Fe) i konstantanu (55%Cu i 45%Ni). Temperatura maksymalna tego złącza to 760°C (należy zaznaczyć, że czas życia termopary skraca się przez zbyt długą pracę w temperaturze zbliżonej do maksymalnej). Współczynnik temperaturowy napięcia termopary J przy 20°C wynosi 51,45 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, a napięcie wyjściowe przyjmuje następujące wartości: 5,268mV przy 100°C i 21,846mV przy 400°C.

Rys. 5. Układ podłączenia termoelementu (termopary)

Wartość napięcia, mierzonego w układzie z rys.5 za pomocą miliwoltomierza, zależy od temperatury obu złącz termoelektrycznych (złącza pomiarowego i złącza odniesienia) i jest ona w przybliżeniu proporcjonalna do różnicy temperatur obu złącz. Złącze odniesienia umieszcza się w stałej temperaturze (na ogół jest to 0°C lub 50°C). W dużych układach wykorzystuje się do tego celu kąpiele lodowe lub termostaty. W nowoczesnych układach pomiarowych złącze odniesienia (tzw. zimne końce termopary) są termostatowane w niewielkich zamkniętych przestrzeniach ze stabilizowaną temperaturą wnętrza.

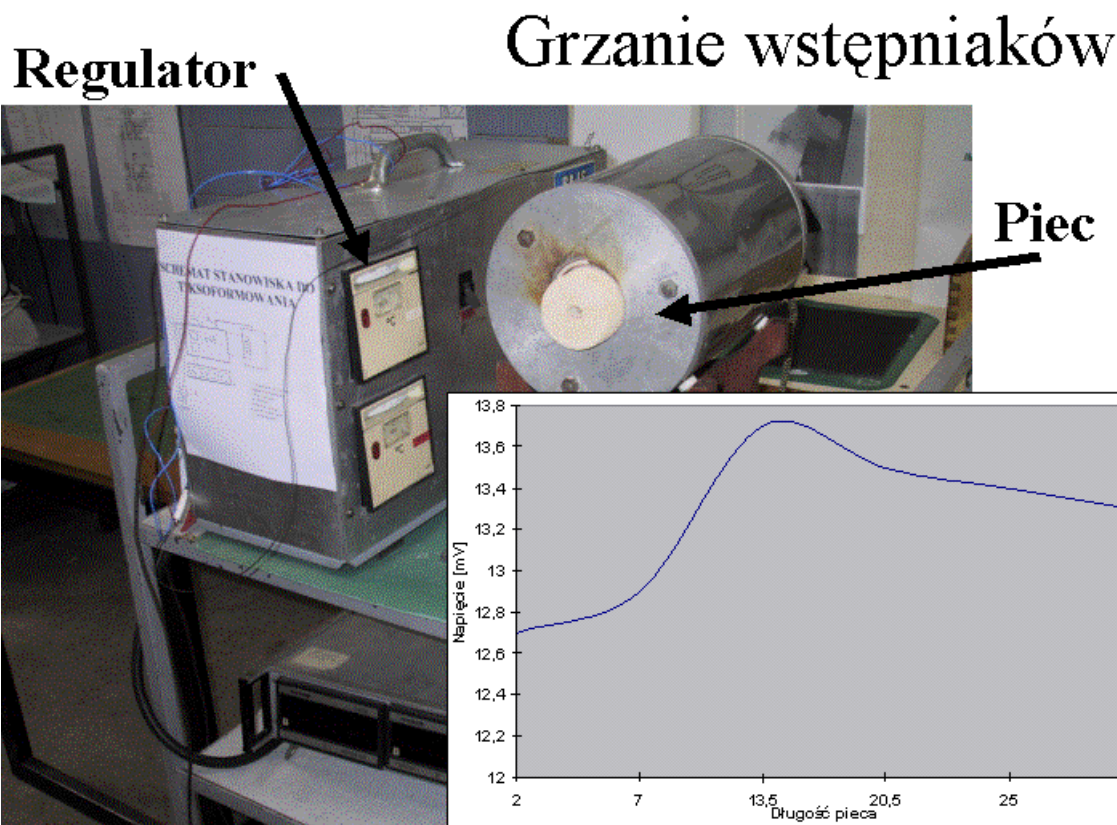
Stanowisko ćwiczeniowe

Stanowisko do nagrzewania metalowego wsadu przeznaczonego na przedmioty kształtowane na gorąco pokazano na rys.6. Składa się ono z niewielkiego pieca elektrycznego o konstrukcji rurowej oraz prostego regulatora temperatury, którego zadaniem jest kontrola temperatury grzania. Na rys.6 pokazano również charakterystykę termiczną, wyznaczoną wzdłuż długości walcowej komory pieca. Jak widać wzdłuż długości tego pieca występują znaczne różnice temperatury spowodowane stratami cieplnymi. Należy zaznaczyć, że piec ten nie jest profesjonalnym urządzeniem grzewczym. Utrzymywanie założonej temperatury w komorze pieca odbywa się w obwodzie zamkniętym. Kontrola temperatury prowadzona jest najprostszą metodą, mianowicie przez regulację dwustawną (dwupołożeniową). Polega ona na cyklicznym załączaniu i wyłączaniu pełnej mocy układu grzewczego w taki sposób, aby utrzymać zadaną średnią temperaturę w komorze pieca.

Podstawowe zadanie technologiczne, realizowane na stanowisku badawczym, polega na nagrzaniu materiału wstępnego przed wykonaniem kształtowania w podwyższonej temperaturze. Stanowisko do nagrzewania wsadu zostało uzbrojone w odpowiednią aparaturę kontrolno-pomiarową, umożliwiającą ocenę rezultatu nagrzewania wstępniaków.

³ Obwód elektryczny złożony z dwóch spojonych końcami materiałów (przewodników lub półprzewodników), w którym powstaje siła termoelektryczna, gdy między spojeniem a pozostałymi końcówkami istnieje różnica temperatur (zjawisko Seebecka). Napięcie, generowane w złączu pod wpływem temperatury, ma niewielką wartość. Najczęściej jest to zakres miliwoltów przy współczynniku temperaturowym rzędu 50 mikrowoltów na °C.

Narzędzia, przed wykonaniem zamierzonej operacji, także muszą osiągnąć temperaturę zapewniającą prawidłowy przebieg kształtowania⁴.



Rys. 6. Stanowisko do nagrzewania wstępniaków przed kształtowaniem: podstawowe urządzenia (piec i regulator) oraz charakterystyka termiczna komory pieca rurowego

Układ pomiarowy

Przewidziano zastosowanie rejestracji zmian temperatury za pomocą układu pomiarowo-rejestrującego wykonanego w technice komputerowej. Pirometr został wyposażony w odpowiednie wyjście sygnałowe – zrezygnowano z obecności interfejsu transmisji cyfrowej, poprzestając na wyjściu napięciowym. Mierzona temperatura może być odczytywana na wyświetlaczu cyfrowym pirometru, ale ten sposób pobierania wyniku nie nadaje się do pomiaru temperatury, której wartości podlegają szybkim zmianom. Dlatego sygnał wyjściowy z pirometru doprowadzono do rejestratora. Oprócz pirometru można będzie użyć innych czujników temperatury⁵, które umożliwią pomiary temperatury w różnych punktach stanowiska. Temperatura narzędzi kształtujących będzie mierzona za pomocą termopar, również podłączonych do rejestratora DAQT.

Do pomiaru temperatury nagrzewanego wsadu zastosowano fotelektryczny pirometr BF-30G0-V japońskiej firmy OPTEX⁶. Pirometr ten pokazano na rys.7. W skład zestawu czujnika wchodzi: wzmacniacz z detektorem promieniowania (Unit), głowica optyczna z układem soczewek skupiających (Lens – optyka standardowa), światłowód (Light pipe), wiązka przewodów (Cable) i uchwyt do mocowania wzmacniacza (nie został pokazany na rys.7).

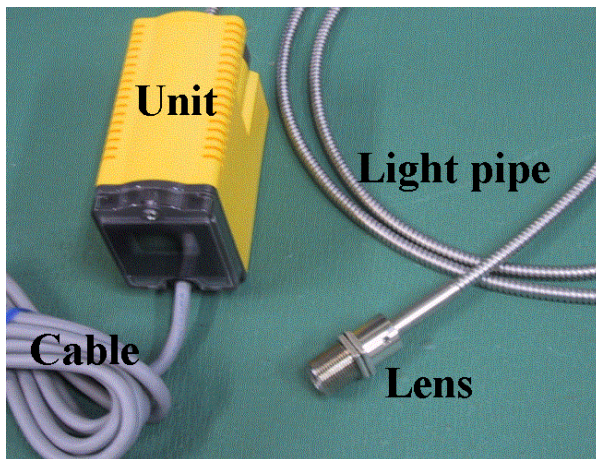
Pirometr BF-30G0-V ma następującą specyfikację techniczną:

- | | | | |
|-----------------|--------------------------|---------------------|----------------------|
| • Zakres temp.: | 400 ÷ 800°C | • Odległość: | 5cm...20m |
| • Optyka: | Ø30/1000mm (standardowa) | • Wyjście analogowe | 1mV/°C |
| • Czas reakcji: | 200 ms/90% | • Zasilanie: | 24 V ±10% max 150 mA |

⁴ Zagadnienie nagrzewania narzędzi przeznaczonych do kształtowania wyrobów w podwyższonej temperaturze będzie demonstrowane na oddzielnym stanowisku

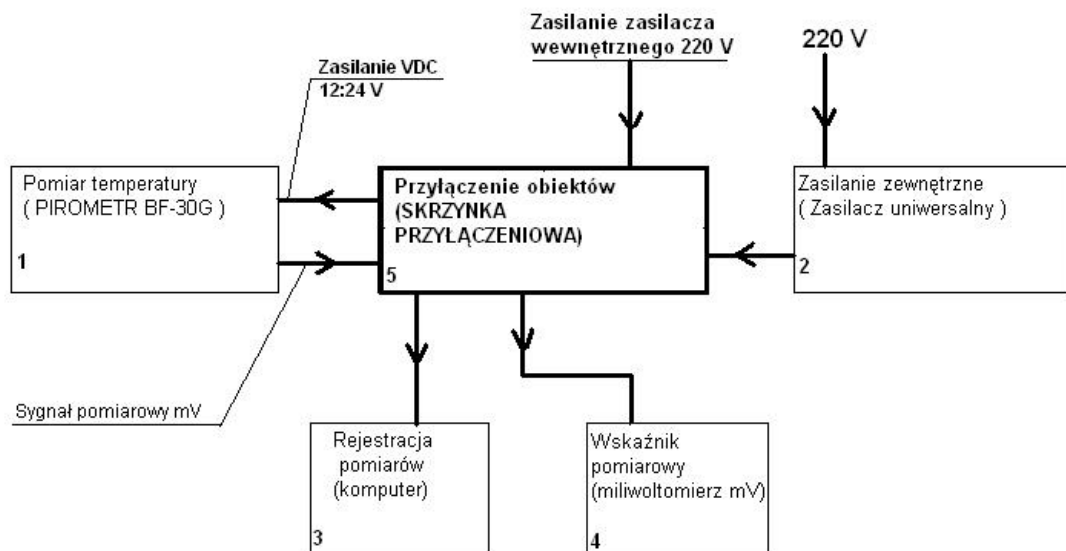
⁵ Na stanowisku będą udostępnione inne czujniki do pomiaru temperatury – studenci mają zdecydować, które z nich można podłączyć do stanowiskowego układu DAQT w celu rejestracji danych potrzebnych do wykonania postawionego zadania problemowego

⁶ Kartę katalogową pirometru BF-30G0-V udostępni prowadzący na stanowisku (*dostępna w czasie ćwiczenia*)



Zgodnie z powyższą specyfikacją przygotowano odpowiedni układ pomiarowy do obsługi sygnałów pomiarowych, wysyłanych przez pirometr. Schemat blokowy tego układu pokazano na rys.8. Układ zasilania pirometr, odbiera sygnały pomiarowe i przekazuje dane do dwóch odbiorników: komputerowego rejestratora i multimetru.

Rys. 7. Pirometr BF-30G0-V japońskiej firmy OPTEX: Lens – głowica optyczna, Light pipe – światłowód, Unit – wzmacniacz, Cable – przewód przyłączeniowy



Rys. 8. Schemat blokowy układu obsługującego pirometr na stanowisku do nagrzewania wstępniaków

Monitorowanie temperatury na stanowiskach roboczych

Przy użyciu opisanego urządzenia grzewczego trudno jest zagwarantować uzyskanie określonej temperatury nagrzewanych wstępniaków. Rozsądnym rozwiązaniem jest kontrola temperatury wszystkich wstępniaków po opuszczeniu komory pieca i ich sortowanie. Wstępniaki o odpowiedniej temperaturze kierowane są do nagrzanego narzędzi kształtujących zamocowanych w przestrzeni roboczej maszyny. Te zaś, których temperatura jest za niska, wracają z powrotem do urządzenia grzewczego (pieca). Podejmując trud ręcznej korekty nastaw w regulatorze stabilizującej temperaturę w komorze urządzenia grzewczego można uzyskać stan takiego przygotowania wstępniaków, który będzie do zaakceptowania dla pracy w cyklu automatycznym. Tego typu działanie, tj. oddzielanie niedostatecznie nagrzanego wsadu, wymaga jednak zastosowania układu mierzącego temperaturę wstępniaków opuszczających komorę pieca. Urządzeniem pomiarowym dobrze sprawującym się w takiej roli jest pirometr.

Temperaturę podgrzewanych narzędzi kształtujących najłatwiej jest monitorować za pomocą termoelementów (termopar) osadzonych w wybranych miejscach przyrządowania technologicznego.

Przebieg ćwiczenia

- Posługując się dokumentacją techniczno-ruchową (DTR) pirometru ustawić głowicę pomiarową w pozycji odpowiedniej do wykonania przewidywanych zadań pomiarowych

- Zestawić komputerowe układy pomiarowo-rejestrujące i przygotować je do prowadzenia monitorowania nagrzewania wstępniaków i podgrzewania narzędzi kształujących (gdy takie zastosowanie przewidziano)
- Zapoznać się z zadaniem technologicznym podanym przez prowadzącego ćwiczenie
- Zaproponować sposób monitorowania parametrów procesu, zapewniający możliwość oceny poprawności przebiegu realizacji postawionego zadania
- Przeprowadzić operację nagrzewania i monitorować jej parametry

Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno odzwierciedlać przebieg ćwiczenia, a w szczególności zawierać następujące elementy:

1. Opis zadania technologicznego, postawionego przez prowadzącego do wykonania w ćwiczeniu
2. Opis zastosowanego sposobu monitorowania parametrów i metody oceny poprawności realizacji zadania
3. Schemat blokowy zastosowanych układów monitorowania temperatury
4. Specyfikacja techniczna czujników użytych do pomiaru temperatury i ich nastawy/wzorcowania
5. Wyniki pomiarów świadczące o zrealizowaniu postawionego zadania technologicznego
6. Dyskusja wyników i wnioski dotyczące skuteczności przygotowania wsadu (i narzędzi, gdy taką opcję przewidziano) do prowadzenia kształtowania w podwyższonej temperaturze.

Załączniki

- A) Charakterystyka pirometru światłowodowego ⁷ do zdalnego pomiaru temperatury
- B) Charakterystyka układu DAQ ⁸ do budowy komputerowych systemów pomiarowych
- C) Instrukcja obsługi programu DAQFactory ⁹ do rejestracji danych systemem LabJack
- D) Strona tytułowa publikacji [2] ¹⁰ nt. metod otrzymywania materiałów tiksotropowych
- E) Arkusz kalkulacyjny do opracowania wyników w programie EXCEL ¹¹

Literatura

- 1 Muster A.: „Kucie matrycowe”. WPW, Warszawa 1986. str.62-75
- 2 Olejnik L.: "Materiały tiksotropowe - metody otrzymywania". Mechanik. (2003)7, 417-422
- 3 Kajzer S., Kozik R., Wusatowski R.: „Wybrane zagadnienia z procesów obróbki plastycznej metali”. Wyd.Politechniki Śląskiej. Gliwice 1997. str.55-61
- 4 SINKOPLEX Ostrów Wielkopolski. „Grzałki i elementy grzejne”. <http://www.sinkoplex.pl> (maj 2016)
- 5 Michalski L., Eckersdorf K.: „Pomiary temperatury”. WNT Warszawa 1986

⁷ Dokument załącznika [[zA pirometr BF-30G1-V OPTEX.pdf](#)]

⁸ Dokument załącznika [[zB układ DAQT UE9 03.doc](#)]

⁹ Dokument załącznika [[zC program DAQFactory 02.doc](#)]

¹⁰ Dokument załącznika [[zD Materiały tiksotropowe-otrzymywanie Mechanik.pdf](#)]

¹¹ Arkusz kalkulacyjny [[zE xNw_DANE Nagrzewanie Wsadu mk2 SZABLON 02.xlsx](#)]