



## Ćwiczenie am2 (laboratoryjne)

Temat:

# Nagrzewanie wsadu i monitorowanie temperatury narzędzi

L.Olejnik

Zakład Obróbki Plastycznej i Odlewnictwa  
**Instytut Technik Wytwarzania**

Warszawa 2012-2018

---

### ***Cel ćwiczenia***

Zapoznanie się z wymaganiami dotyczącymi przygotowania materiału wyjściowego i narzędzi kształtujących do wytwarzania metalowych części maszyn w zautomatyzowanych procesach prowadzonych w podwyższonej temperaturze. Poznanie sposobów monitorowania nagrzewania materiału przed kształtowaniem i kontroli temperatury narzędzi typowych dla obróbki plastycznej na ciepło i gorąco.

### ***Zadanie problemowe***

Wyznaczyć długość czasu nagrzewania wstępniaków przeznaczonych do operacji kształtowania plastycznego o parametrach podanych przez prowadzącego.

## 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 i wymiarów o odchyłkach dopuszczalnych dla wyrobu. Jednocześnie technolog powinien tak sterować przebiegiem procesu wytwarzania, aby osiągnąć określoną mikrostrukturę materiału, z którego wykonany jest wyrób i nadać mu żądane właściwości. Rolą automatyka jest dobór środków automatyzujących wytwarzanie. Odpowiedni stopień automatyzacji czynności technologicznych stwarza możliwość stabilnego przebiegu produkcji. Stabilizacja parametrów technologicznych, pozwala utrzymać na stałym poziomie jakość wyrobów, a także przewidzieć zdolność produkcyjną maszyn. Automatyzacja powinna być uzasadniona ekonomicznie i niezawodna w eksploatacji. Zbyt wysoki stopień automatyzacji często pociąga za sobą wysokie koszty budowy i eksploatacji urządzeń produkcyjnych, wymaga przekwalifikowania obsługi oraz stwarza trudności w zapewnieniu bezawaryjnej pracy urządzeń.

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 ma na celu obniżenie granicy plastyczności i podwyższenie własności plastycznych metalu. Topienie odlewnicze jest złożonym procesem metalurgicznym, mającym na celu otrzymanie ciekłego metalu o określonych właściwościach w stanie ciekłym przed zalaniem formy i stałym po zakrzepnięciu odlewu. Z reguły prawidłowość przebiegu przekształcania porcji materiału wsadowego 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 temperatur obróbki

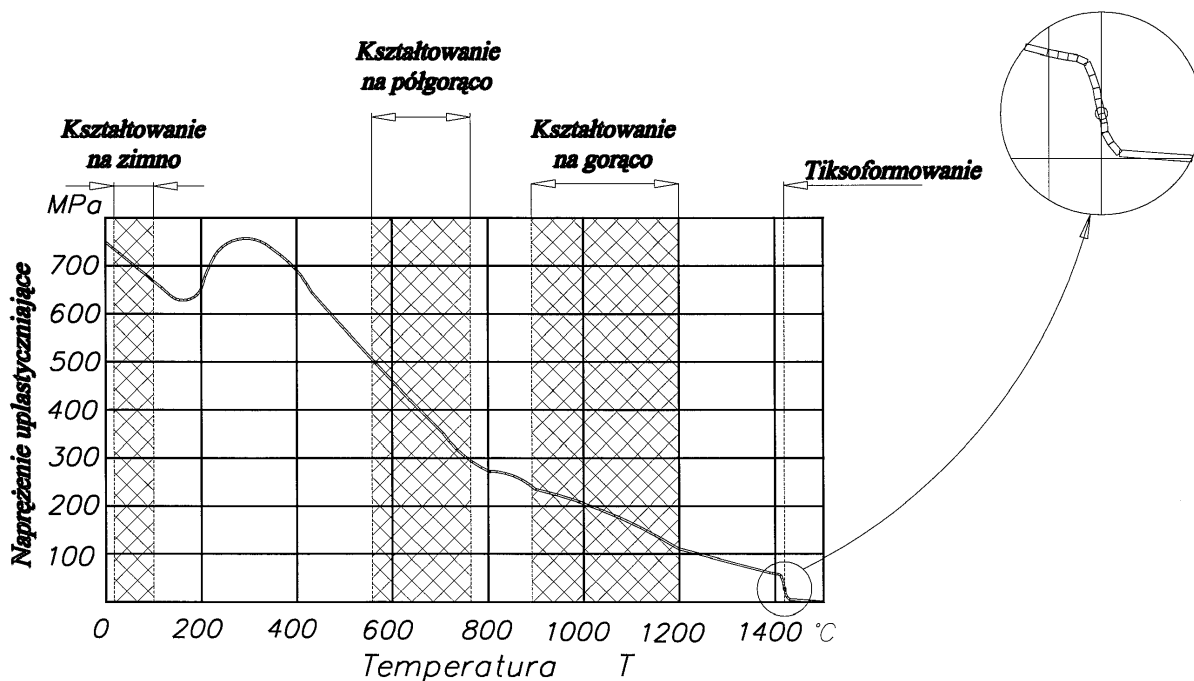
Pożądana temperatura obróbki powinna się mieścić w określonym zakresie, który ustala się indywidualnie dla każdego materiału. Przedział tej dopuszczalnej zmienności zależy także od rodzaju technologii, a niekiedy nawet stosowanej metody kształtowania. Czasem optymalny zakres może być tak mały, że szybkie 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 plastycznym.

Na Rys. 1 pokazano zależność naprężenia uplastyczniającego  $\bar{\sigma}_p$  od temperatury  $T$  dla stali węglowej. 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  $T$ . Lokalny wzrost naprężenia uplastyczniającego  $\bar{\sigma}_p$  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 pękania wzdłuż granic ziaren. Uaktywnianie się tego mechanizmu mikrozniszczenia zakłóca płynięcie metalu skutkując niewielkim zachwianiem prędkości spadku  $\bar{\sigma}_p$ .

Przyczyną osłabienia granic jest obecność na nich faz o niższej temperaturze topnienia niż temperatura topnienia materiału podstawowego. 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 temperatur, w których spadek wartości  $\sigma_p$  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 gęstw o cechach tiksotropowych.



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

## Kontrola temperatury kształtowania

Wykonanie kształtowania plastycznego na ciepło lub na gorąco oraz tiksoformowania wymaga nagrzania wsadu przed operacją kształtowania. Podczas odkształcania metal – na skutek kontaktu z kształtującymi narzędziami – 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 mikrostrukturalnych, 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 uzyskania wyrobu o żądanych cechach.

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  $\Lambda$  [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 uprzednich 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.

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, mianowicie wygrzewanie. W czasie wygrzewania oprócz ujednorodnienia mikrostruktury następuje stałe zmniejszanie gradientu temperatury na przekroju wsadu. Na tym etapie nagrzewania dąży się do osiągnięcia w całej objętości wsadu temperatury początku zabiegu kształtowania.

Podwyższanie temperatury i wydłużanie czasu grzania sprzyjają nasilaniu się niekorzystnych zmian cech fizycznych i chemicznych warstwy wierzchniej nagrzewanego wsadu. Polegają one na utlenianiu i wytwarzaniu warstwy tlenków o wzrastającej grubości. W niektórych przypadkach można przez stosowanie odpowiedniej atmosfery pieca (np. dla niskowęglowych stali manganowych atmosfera utleniająca) doprowadzić do wytworzenia łatwo usuwalnej zgorzeli.

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 czy innego urządzenia grzewczego) i dostępny zakres sterowania nagrzewaniem. Decydują one o dochowaniu założonej szybkości nagrzewania, osiągnięciu żądanej temperatury, niwelowaniu gradientu temperatury wsadu i eliminowaniu degradacji jego warstwy wierzchniej. W praktyce schematy nagrzewania wsadu dostosowuje się do urządzeń grzewczych, uwzględniając ich charakterystyki techniczne (moc, bezwładność cieplna, algorytm regulacji temperatury) 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.

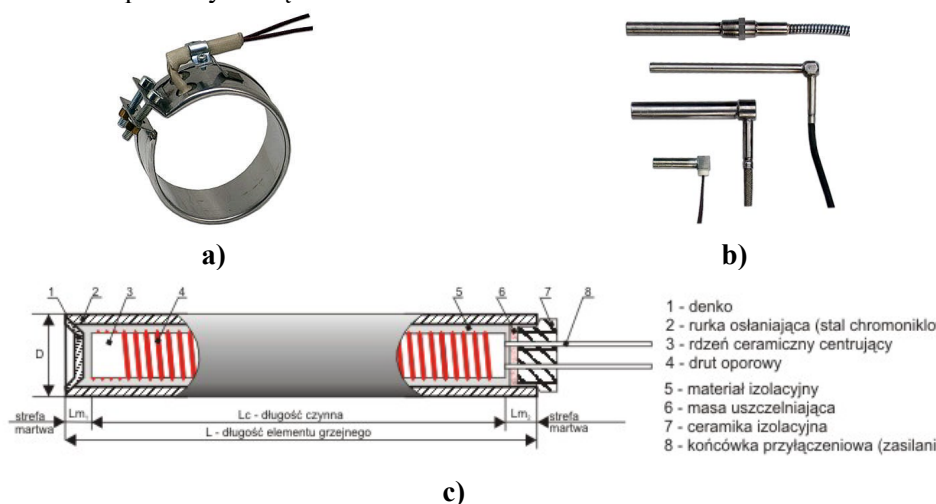
### ***Nagrzewanie narzędzi***

Podczas odkształcania plastycznego metal podnosi swoją temperaturę. Przyrost temperatury jest wynikiem zamiany energii odkształcenia i pracy tarcia na ciepło. To generowane w procesie ciepło 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 wymiarową uzyskiwanych wyrobów. Inaczej jest przy kształtowaniu w podwyższonej temperaturze. 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 pewnym 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: 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. Kanałami chłodzącymi przepływa ciecz odbierająca ciepło. Najczęściej stosuje się wodę, jako czynnik chłodzący matrycę. W przypadkach, gdy temperatura powierzchni kanałów chłodzących jest wyższa od 363 K (90°C) 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.



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.

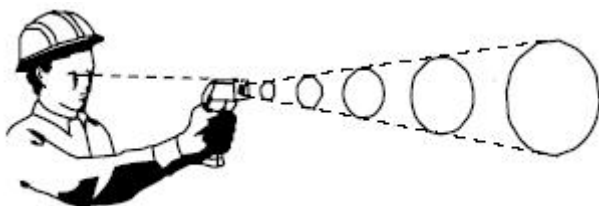
## Sposoby pomiaru temperatury na stanowiskach roboczych

### Pomiar temperatury wsadu

Przy wyborze sposobu pomiaru temperatury wsadu przeznaczonego do produkcji wyrobów w zautomatyzowanych systemach produkcyjnych należy kierować się wymaganiami stosowanych 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 przestrzeni roboczej 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 temperaturowe<sup>1</sup>. 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).

<sup>1</sup> 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 ciał: doskonale czarne (pochłania całe promieniowanie), doskonale białe (odbija całe promieniowanie), doskonale przezroczyste (przepuszcza całe promieniowanie). Najbardziej istotne dla pirometrii jest pojęcie ciała doskonale czarnego.

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 to układ optyczny (skupiający promieniowanie na detektorze), układ przetwarzania sygnału, wskaźnik wielkości mierzonej.

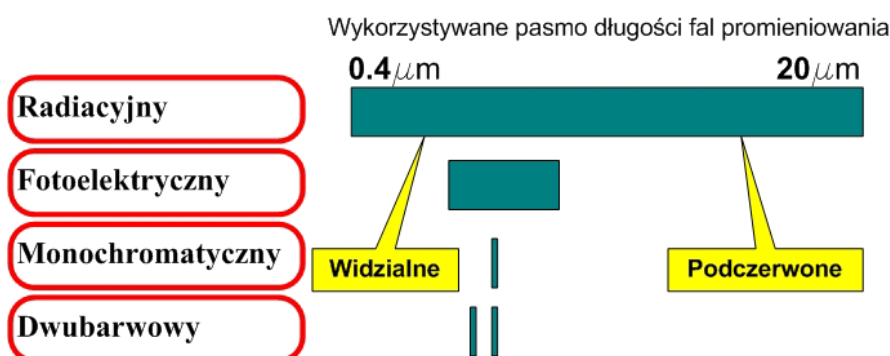


Rys. 3. Zależność pola powierzchni pomiarowej od odległości obiektu od czujnika

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  $\lambda=20 \mu\text{m}$ . Biorąc pod uwagę wykorzystywany zakres długości fal promieniowania  $\lambda$  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 temperatur szybkozmiennych),
- **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; wzorcowane są przy pomiarze ciała doskonale czarnego, tj. dla średniej emisyjności pasmowej  $\varepsilon_\lambda=1$ ; przy pomiarze temperatury ciała nieczarnego wskazuje temperaturę niższą; działanie dostatecznie szybkie dla procesów zautomatyzowanych),
- **monochromatyczne** (pirometry pracujące przy jednej długości fali; przy pomiarze temperatury ciała nieczarnego wskazuje temperaturę niższą niż wartość jego temperatury rzeczywistej; działanie również dostatecznie szybkie dla procesów zautomatyzowanych),
- **dwubarwowe**, w których jest porównywane natężenie promieniowania wysyłanego przez badane ciało w dwóch różnych długościach fal.

Charakterystykę widmową tych pirometrów pokazano na Rys. 4.



Rys. 4. Obszary promieniowania temperaturowego wykorzystywane w pomiarach pirometrycznych

Dokładny pomiar temperatury pirometrami w praktyce nastęrcza sporo kłopotów. Są one 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  $T_r = T_w(\varepsilon_\lambda)$ . Jak widać wymagana jest znajomość wartości emisyjności pasmowej  $\varepsilon_\lambda$  ciała promieniującego w odpowiednim zakresie fal (porównaj Rys. 4). Wartość ta z reguły nie jest znana. Podawane w literaturze wartości emisyjności  $\varepsilon_\lambda$  (tablica 1) zależą w znacznym stopniu od temperatury i podawane są 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.

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 ciałem badanym 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 postąpić w następujący sposób. 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.

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

MATERIAŁ	$\epsilon_\lambda$	Uwagi, stan	
Metale (czyste)	Srebro	0,007	
	Złoto	0,14-0,22	Stały – ciekły
	Platyna	0,3-0,33	Stały – ciekły
	Nikiel	0,36	
	Wolfram	0,456	1000 °C
		0,444	1600 °C
		0,431	2200 °C
	Aluminium	0,15-0,35	Stały – ciekły
	Miedź	0,1-0,3	Stały – ciekły
Żelazo	0,35-0,37	Ciekły; 1100-1800 °C	
Żeliwo	0,4		
Metale utlenione, tlenki	Aluminium	0,22-0,4	
	Nikiel	0,85-0,96	
	Miedź	0,6-0,8	
	Żelazo	0,63-0,98	
Różne	Węgiel	0,8-0,93	
	Żużel	0,6-0,9	
	Wyroby ceramiczne	0,25	Ciekły; 1400-1800 °C
		0,32	1200 °C
		0,38	1500 °C
	Porcelana	0,25-0,5	1800 °C

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 (termoelement), zmiany rezystancji elementu (termistor), zmiany parametrów złącza półprzewodnikowego (termometr diodowy), odkształcenie bimetalu, zmiana koloru termoczułej farby w kontakcie z gorącym przedmiotem. Przy zautomatyzowanym wytwarzaniu części maszyn z reguły stosuje się przetworniki termoelektryczne, przy czym najczęściej sięga się po termoelementy<sup>2</sup>. Do budowy termoelementów wybiera się zestawy materiałów, które zapewniają występowanie możliwie dużych sił termoelektrycznych przy określonej różnicy temperatur. Własności części stosowanych termoelementów ujęto normami. Dzięki temu osiągnięto dobrą zamienność poszczególnych typów termoelementów dostarczanych przez różnych producentów. Termoelementy odznaczają się dużą niezawodnością, dokładnością

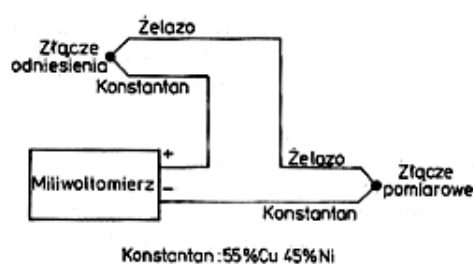
<sup>2</sup> Obwód elektryczny złożony z dwóch spojonych końcami materiałów (przewodników lub półprzewodników), w którym powstaje siła termoelektryczna, gdy między spojeniem a pozostałymi końcówkami istnieje różnica temperatur (zjawisko Seebecka). Napięcie, generowane w złączu pod wpływem temperatury, ma niewielką wartość. Najczęściej jest to zakres miliwoltów przy współczynniku temperaturowym rzędu 50 mikrowoltów na °C.

i elastycznością konstrukcji, co pozwala na ich zastosowanie w różnych warunkach. Zalety i wady termoelementów zestawiono w tabelicy 2.

Przykładowy układ do pomiaru temperatury za pomocą termoelementu przedstawiono na Rys. 5. W układzie zastosowano termoelement typu J. Jest to termoelement zawierający złącze żelaza (100%Fe) i konstantanu (stop zawierający 55%Cu i 45%Ni). Temperatura maksymalna tego złącza to 760°C (należy zaznaczyć, że czas życia termoelementu skraca się przez zbyt długą pracę w temperaturze zbliżonej do maksymalnej). Współczynnik temperaturowy napięcia termoelementu 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.

**Tabela 2. Zalety i wady termoelementów (niewłaściwie nazywanych termoparami)**

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



**Rys. 5. Układ podłączenia termoelementu (termopary)**

Wartość napięcia, mierzonego w układzie z Rys. 5 za pomocą miliwoltomierza, zależy od temperatury obu złączy termoelektrycznych (złącza pomiarowego i złącza odniesienia) i jest ona w przybliżeniu proporcjonalna do różnicy temperatur obu złączy. 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 termoelementu) są termostatowane w niewielkich zamkniętych przestrzeniach ze stabilizowaną temperaturą wnętrza.

## Stanowisko ćwiczebne

Przewidziano wykonywanie ćwiczenia na stanowisku badawczym specjalnie przygotowanym na potrzeby laboratorium. Alternatywnie ćwiczenie może być prowadzone na wybranych stanowiskach produkcyjnych, które w czasie trwania laboratorium będą mogły być udostępniane studentom w celu realizacji zadań problemowych przewidzianych w programie kształcenia. Poniżej przedstawiono laboratoryjne stanowisko badawcze. Stanowiska produkcyjne będą przedstawione w oddzielnych dokumentach instrukcyjnych udostępnianych przez prowadzącego.

### Stanowisko badawcze

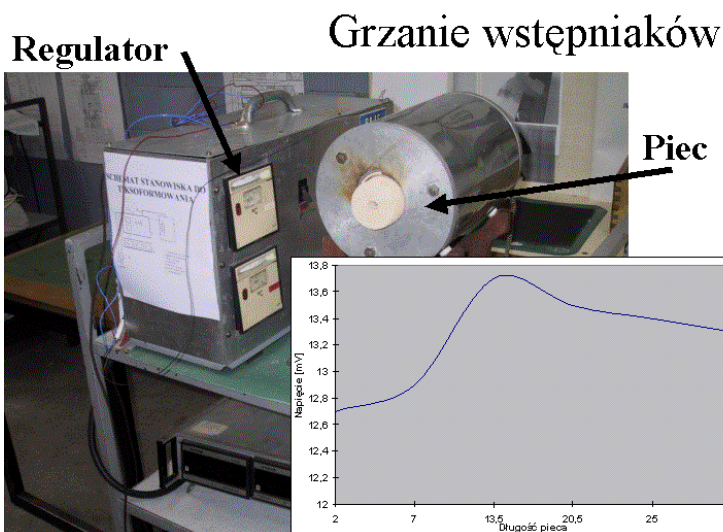
Stanowisko laboratoryjne do nagrzewania materiału przeznaczonego na przedmioty kształtowane na gorąco pokazano na Rys. 6. Składa się ono z pieca elektrycznego o konstrukcji rurowej oraz regulatora temperatury, którego zadaniem jest kontrola temperatury wnętrza pieca grzewczego. Na Rys. 6 pokazano również charakterystykę termiczną 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. Sterowanie nagrzewaniem odbywa się w obwodzie zamkniętym. Żądana temperatura utrzymywana jest metodą regulacji dwustawnej (dwupołożeniowej). 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 nagraniu materiału wsadowego przed wykonaniem kształtowania w podwyższonej temperaturze. Narzędzia, przed wykonaniem zamierzonej operacji, muszą osiągnąć temperaturę zapewniającą prawidłowy przebieg kształtowania. Stanowisko zostało uzbrojone w odpowiednią aparaturę kontrolno-pomiarową, która jednocześnie umożliwia rejestrację parametrów operacji nagrzewania wsadu i podgrzewania narzędzi.



## 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



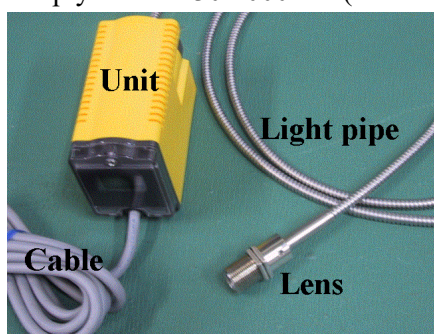
nie nadaje się do pomiaru temperatur szybkozmiennych. Dlatego sygnał wyjściowy z pirometru doprowadzono do rejestratora. Temperatura narzędzi kształtujących będzie mierzona za pomocą termoelementów, również podłączonych do rejestratora.

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

Do pomiaru temperatury nagrzewanego wsadu zastosowano fotoelektryczny pirometr BF-30G0-V japońskiej firmy OPTEX<sup>3</sup>. 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). Do pomiaru temperatury narzędzi użyto termoelementów typu J.

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



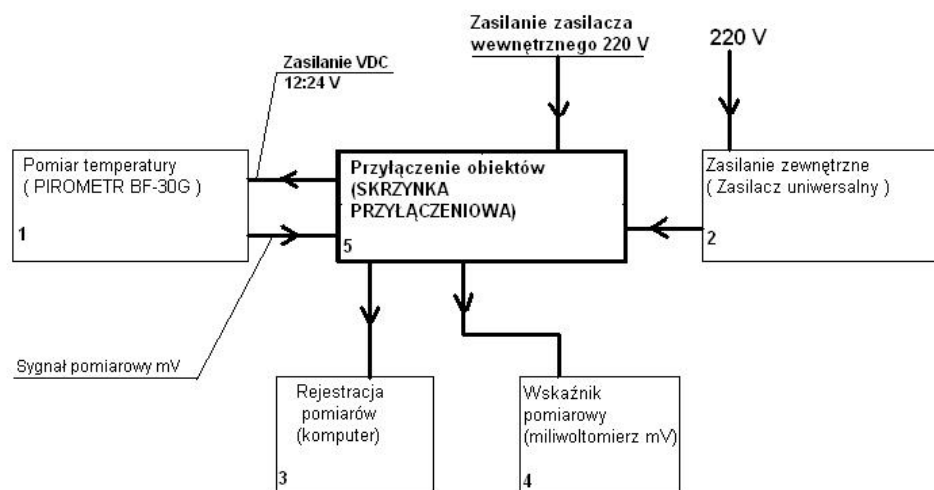
*Rys. 7. Pirometr BF-30G0-V japońskiej firmy OPTEX: Lens – głowica optyczna, Light pipe – światłowód, Unit – wzmacniacz, Cable – przewód przyłączeniowy*

Zgodnie z tą specyfikacją przygotowano odpowiedni układ pomiarowy do obsługi pirometru. Schemat blokowy tego układu pokazano na Rys. 8. Układ umożliwia zasilanie pirometru, pozwala na odebranie sygnału pomiarowego i przekazanie go do dwóch odbiorników: komputerowego rejestratora i multimetru.

## Monitorowanie temperatury

Przy użyciu opisanego urządzenia grzewczego trudno jest zagwarantować uzyskanie określonej temperatury nagrzewanych wstępniaków. Rozsądnym rozwiązaniem jest kontrola ich temperatury po opuszczeniu pieca i sortowanie. Wstępniaki o odpowiedniej temperaturze kierowane są do przestrzeni roboczej maszyny kształtującej. Te zaś, których temperatura jest za niska wracają z powrotem do pieca. Podejmując trud ręcznej korekty nastaw w regulatorze pieca można uzyskać stan takiego przygotowania wstępniaków, który będzie do zaakceptowania dla urządzenia pracującego w cyklu automatycznym. Takie działanie wymaga jednak zastosowania urządzenia mierzącego temperaturę wstępniaków opuszczających komorę pieca. Tym urządzeniem jest pirometr.

<sup>3</sup> Kartę katalogową pirometru BF-30G0-V podano w załączniku A (dostępny w czasie ćwiczenia)



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

Temperaturę narzędzi kształtujących najłatwiej jest monitorować za pomocą termoelementów osadzonych w wybranych miejscach oprzyrządowania technologicznego. Do tych celów najczęściej stosuje się tzw. termoelementy płaszczone. W takim wykonaniu termoelektryczne czujniki jest najłatwiej zainstalować w urządzeniach mechanicznych – zwłaszcza technologicznych – ale są bardzo wrażliwe na uszkodzenia i często się psują. Dlatego termoelementy dla podwyższenia trwałości są konstruowane w specyficzny sposób i oferowane w rozmaitych odmianach konstrukcyjnych zabudowy końcówek pomiarowych, dostosowanych do określonych zastosowań..

## Przebieg ćwiczenia

- Posługując się dokumentacją techniczno-ruchową (DTR) przygotować czujnik do pomiaru temperatury wsadu; w przypadku 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 kształtujących.
- 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, postawionego przez prowadzącego do wykonania podczas odrabiania ćwiczenia
2. Opis zastosowanego sposobu monitorowania parametrów i metody oceny poprawności realizacji zadania
3. Schemat blokowy zastosowanego układu monitorowania zmian 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 do prowadzenia kształtowania w podwyższonej temperaturze.

## Spis załączników

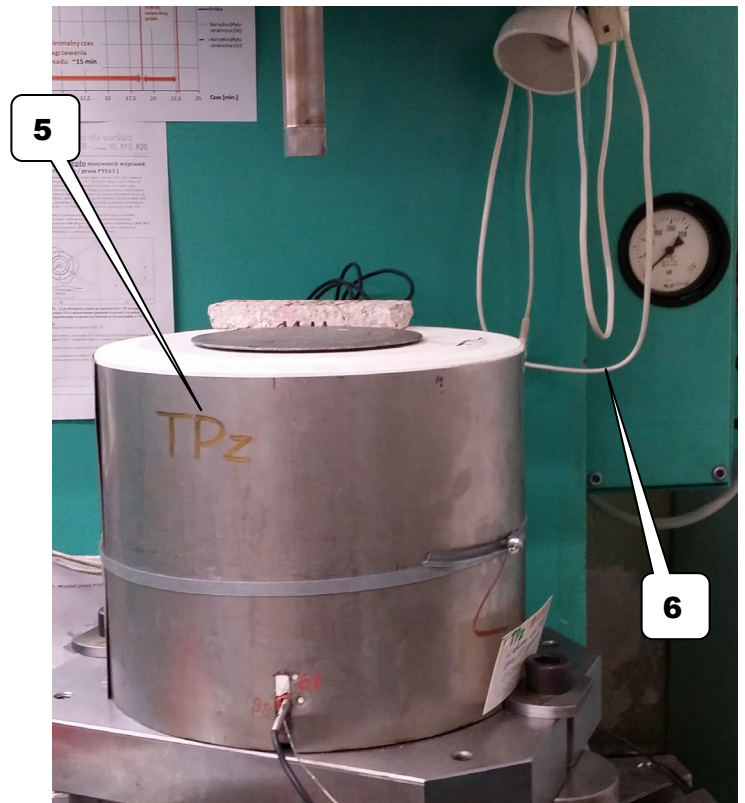
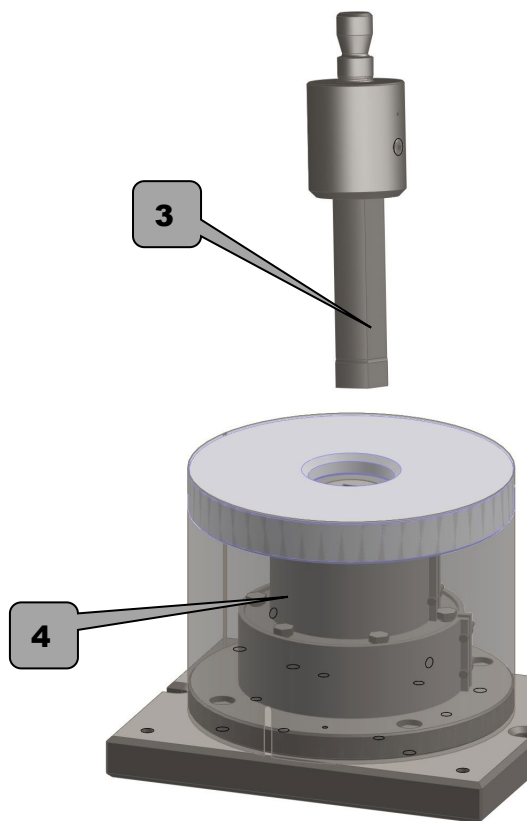
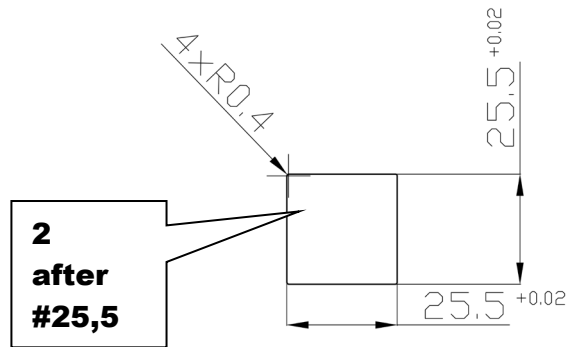
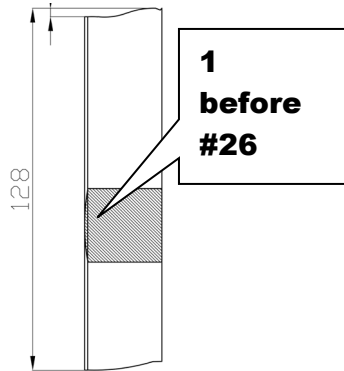
Uzupełnieniem instrukcji do ćwiczenia **am2** są załączniki, których zawartość odnosi się do stanowiska ćwiczeniowego przygotowanego w bieżącym roku akademickim do prowadzenia ćwiczenia **am2** z przedmiotu Laboratorium APMA1.

zA – ulotka **UFGbySPD** informująca o przeznaczeniu stanowiska z przyrządem TPz

zB – opis elementów składowych stanowiska z przyrządem TPz

**Załącznik zA**

**(Scaled up) Reduction of Billet's Cross-Section Area before ECAP**



**Warm open die extrusion rig (26mm × 26mm) for the square ECAP billets:**  
**1—26mm×26mm ECAPed billet, 2—reduced billet's cross section, 3—**  
**punch, 4—die set design, 5—die set view, 6—630kN hydraulic press**

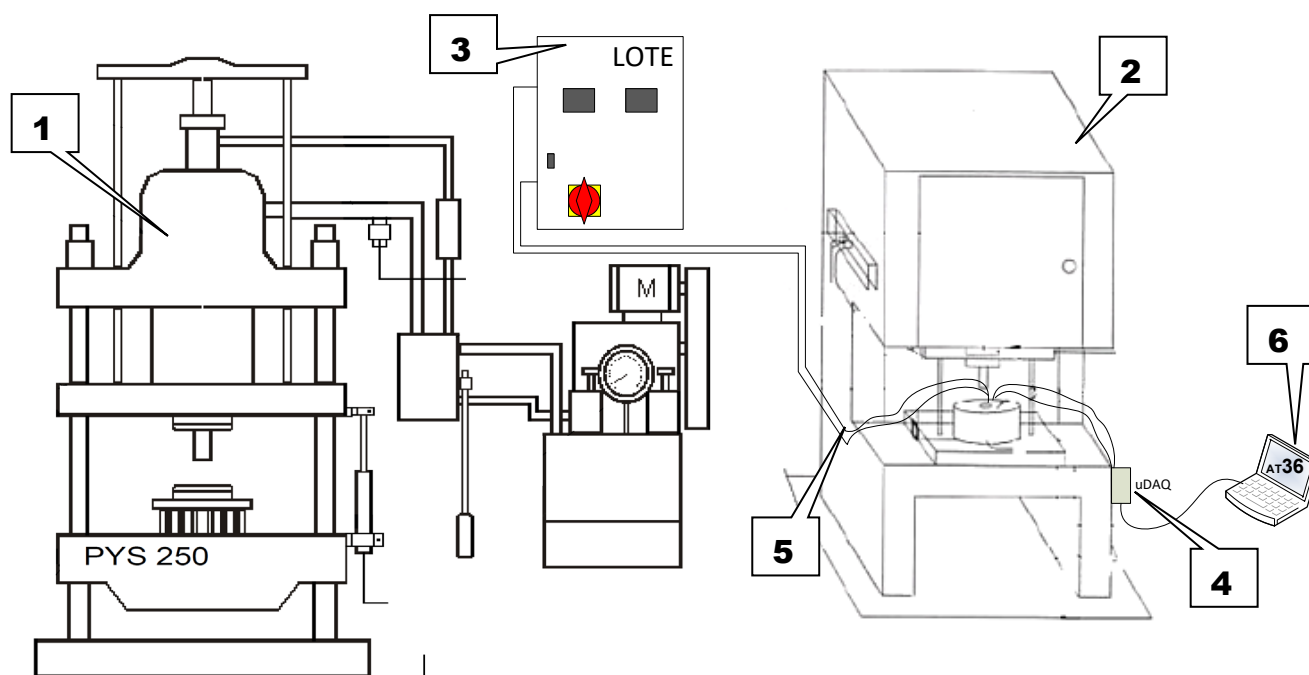
**CONTACT:** dr hab. inż. Lech OLEJNIK, prof. PW Tel.: +4822 849 9617, Email: [lolejn@wip.pw.edu.pl](mailto:lolejn@wip.pw.edu.pl)

# Stanowisko do wydłużania prętów

## Organizacja stanowiska

Na Rys. 1 pokazano schemat organizacyjny zintegrowanego stanowiska do wydłużania prętów, na którym wskazano umiejscowienie elementów potrzebnych do wykonania ćwiczenia. Są to przede wszystkim składniki sprzętowe układu DAQT<sup>4</sup>, czyli czujników termometrycznych, modułu pomiarowego DAQT1b i rejestratora danych (laptop). Schemat wykorzystano również do wskazania elementów powiązanych z układem termoregulacji takich, jak wielokanałowy regulator temperatury, czujniki regulacyjne i grzałki elektryczne do nagrzewania elementów roboczych przyrządu.

Stanowisko utworzono na potrzeby grupy badawczej **UFGbySPD** i wyposażono w aparaturę kontrolno-pomiarową, którą postanowiono wykorzystać w celu wykorzystania stojących obok siebie pras PYS250 i PYE63 do wydłużania prętów na gorąco. Na stanowisku prowadzone są procesy kształtowania plastycznego z użyciem rozmaitych przyrządów do wyciskania (np. WWok i Wwoo) i przepychania (TPz) i przeciskania przez kanał kątowy (1D'1). Ponieważ przyrządy pracują w podwyższonej temperaturze zaplanowano wykorzystywanie na stanowisku układu regulacji temperatury i wielokanałowego układu DAQT do monitorowania zmian temperatury w różnych miejscach oprzyrządowania technologicznego.



Rys. 1. Rozmieszczenie elementów do regulacji i monitorowania i termoregulacji na zintegrowanym stanowisku badawczym do wydłużania prętów: 1- prasa PYS250, 2- prasa PYE63, 3- dwukanałowy regulator LOTE, 4- układ pomiaru temperatury uDAQ, 5- przewody termopar i grzałek, 6- laptop AT36 (na stoliku pomocniczym przy stanowisku)

<sup>4</sup> Układ komputerowej rejestracji danych DAQ w wykonaniu przystosowanym do pomiarów temperatury nazwano DAQT

## Regulacja i pomiar temperatury

Poniżej pokrótce przedstawiono, jakie elementy aparatury do regulacji temperatury i do pomiaru temperatury przewidziano do użytkowania na zintegrowanym stanowisku do wydłużania prętów. Zrobiono to na przykładzie przyrządu TPz przeznaczonego do przepychania na gorąco na prasie PYE63.

### Układ regulacji temperatury

Przyrząd TPz<sup>5</sup> przystosowano do prowadzenia operacji przepychania odcinków prętów w podwyższonej temperaturze. Aby skuteczniej doprowadzać ciepło do strefy narzędziowej, w przyrządzie TPz zainstalowano dwie grzałki. Wynika stąd, że utrzymywanie stałej temperatury zespołu narzędziowego wymagać będzie zastosowania dwukanałowego regulatora. Postanowiono taki regulator zainstalować w otoczeniu prasy PYE63, aby umożliwić na niej pracę przyrządu TPz. Wybrano takie miejsce, aby jednocześnie regulator mógł być użyty do utrzymywania stałej temperatury również w przyrządach do wyciskania (WWoo i WWok) podczas ich pracy na sąsiedniej prasie PYS250.

Dostępny dwukanałowy regulator temperatury o identyfikacyjnej nazwie LOTE zamocowano na ścianie, co pokazuje zdjęcie na Rys. 2. Miejsce osadzenia regulatora znajduje się za prasą PYS250, ale także w niedalekiej odległości od prasy PYE63. W obecnym wykonaniu termoregulator LOTE jest przystosowany do podłączenia jednofazowego zasilania DWU grzałek o napięciu 230 Vac. Za regulację temperatury odpowiedzialne są dwa moduły do prowadzenia regulacji PID temperatury dostarczone przez firmę WATLOW (seria EZ-ZONE PM Express<sup>6</sup> model PM6C1CJ-AAAABAA). PM6C1CJ ma następujące cechy: uniwersalne programowalne wejście, napięcie zasilania 100 do 240 VAC, do montowania panelowego 1/16 DIN, wyjście 1 Switched DC/open collector (Switched DC: pobór prądu do 40mA, maksymalny prąd zwarcia 50 mA, napięcie wyjścia 22 do 32 V; Open Collector: maksymalny prąd wyjściowy 100 mA, maksymalne napięcie zasilania 30V DC), wyjście 2 Mechanical Relay Form A (maksymalny prąd obciążenia rezystancyjnego 5A dla 240 VAC lub 30VDC, 20 mV at 24 minimum load, 125VA pilot duty at 120/240V ac & 25VA at 24V ac, 100.000 cykli dla obciążenia znamionowego, nie dostarcza zasilania).



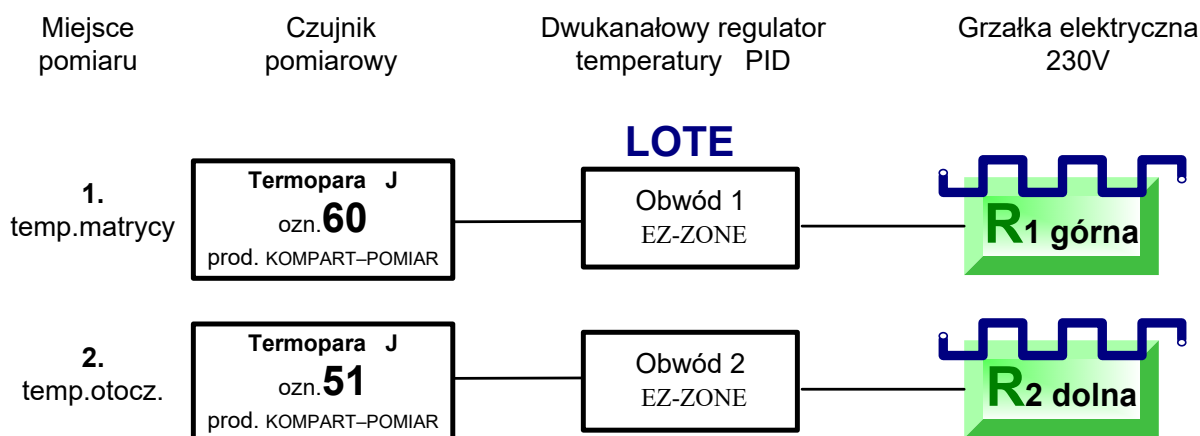
*Rys. 2. Dwukanałowy regulator temperatury LOTE do obsługi elektrycznych grzałek w przyrządach dla stanowisk do wydłużania prętów*

Aby układ termoregulacji działał w pętli sprzężenia zwrotnego niezbędne jest podłączenie do regulatora zarówno elementów wykonawczych (tj. grzałek elektrycznych), jak i pomiarowych (tj. regulacyjnych czujników termometrycznych), a także wprowadzenie odpowiednich nastaw w sterowniku regulatora temperatury. Z Rys. 3 można odczytać przyporządkowanie podłączenia elektrycznego dwóch grzałek przyrządu TPz i oznaczenia termoelementów, które mają mierzyć wartość rzeczywistą sygnału podawanego na poszczególne obwody regulatora LOTE.

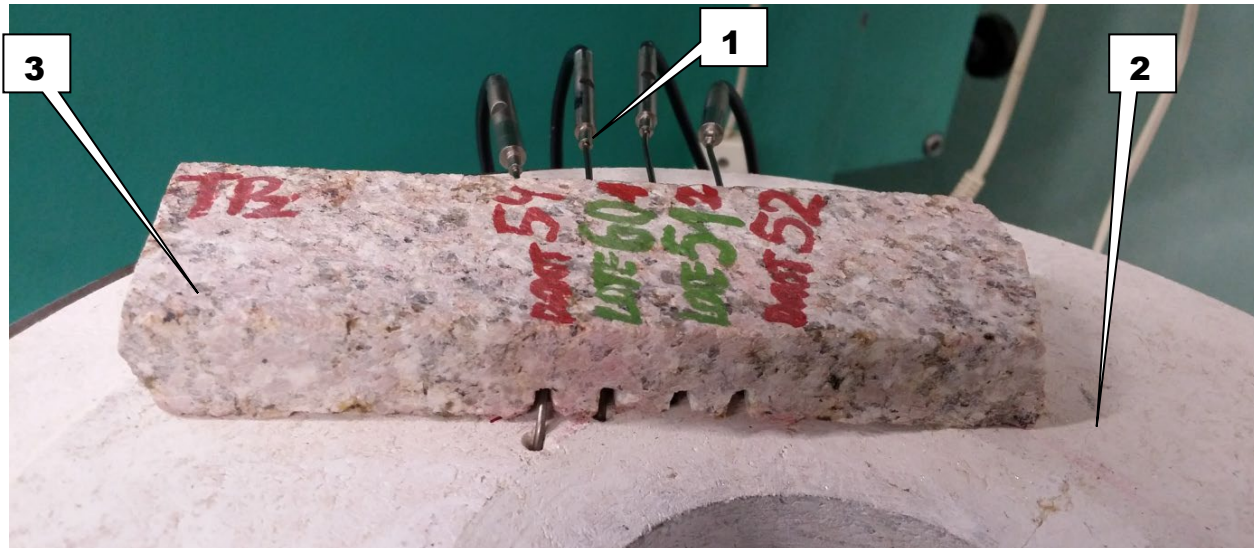
<sup>5</sup> Przygotowanie przyrządu TPz do pracy w podwyższonej temperaturze opisano w oddzielnym dokumencie: P.Miśkiewicz, M.Maj, H.Krzemiński, L.Olejnik: "Termoregulacja przyrządu TPz podczas przepychania na gorąco na prasie PYE63". Raport grupy UFGbySPD. Instytut Techniki Wytwarzania. Warszawa 2015 [ [Termoregulacja i grzanie TPz 15.docx](#) ]

<sup>6</sup> Specyfikację techniczną tej serii regulatorów zapisano w [ [EZ\\_Zone\\_Express.pdf](#) ], w instrukcję obsługi w [ [EZ\\_Zone\\_Express.pdf](#) ]

Obsadzenie termoelementów w przyrządzie TPz, które wybrano po przeprowadzeniu szeregu prób grzania, pokazano na Rys. 4. Termoelementy płaszczowe (1) wprowadzono przez otwory wykonane w osłonowej płycie ceramicznej (2) i doprowadzono do styku ich spoin pomiarowych z czołową powierzchnią matrycy, którą ta płyta ceramiczna przykrywa. Do pomiaru temperatury zastosowano termoelementy typu J o średnicy płaszczka  $\varnothing 1,5$  i długości 100mm. Długość płaszczka jest wystarczająco długa, aby płaszczki po dotarciu przez grubą płytę ceramiczną do powierzchni matrycy jeszcze ponad tę płytę częściowo wystawały. W celu utrwalenia niezmienności położenia spoin pomiarowych, wystające końce płaszczki termoelementów przyciśnięto klockiem granitowym (3), w którym dodatkowo wykonano odpowiednie nacięcia na wprowadzenie płaszczki termoelementów.



Rys. 3. Ogólny schemat blokowy układu dwukanałowej regulacji temperatury przy przepychaniu w przyrządzie TPz



Rys. 4. Obsadzenie wybranych termoelementów płaszczowych w przyrządzie TPz

## Układ pomiaru temperatury

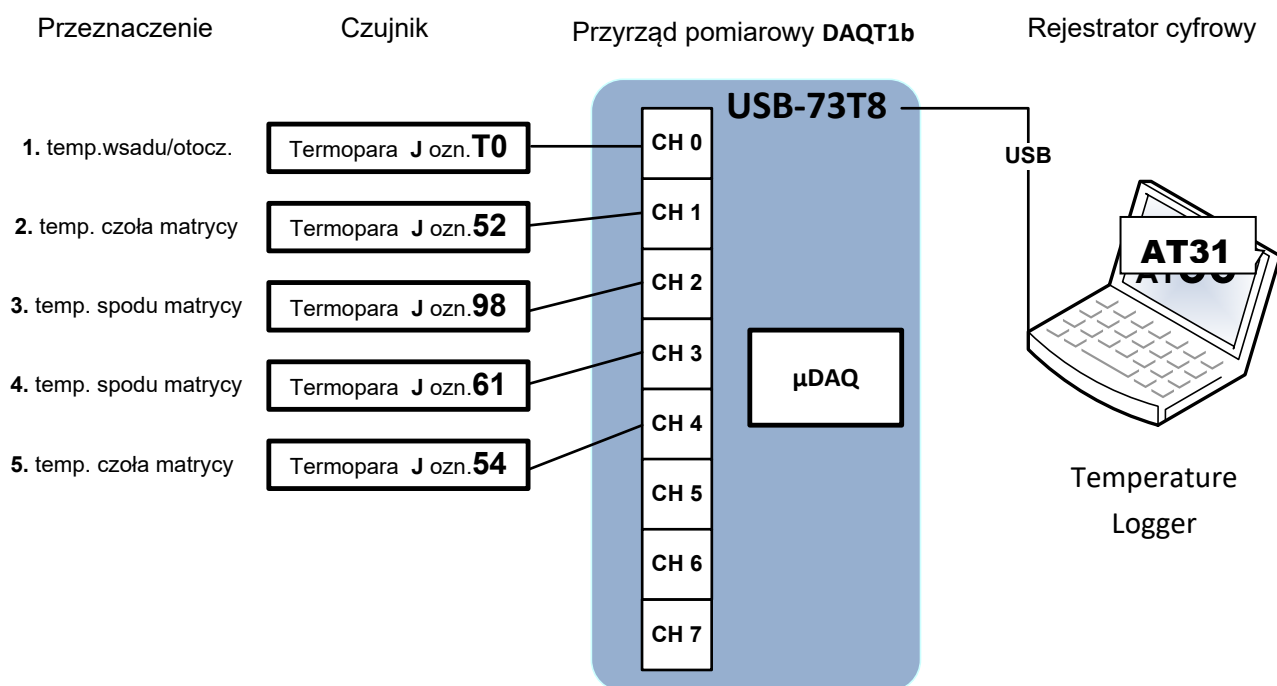
W celu rejestracji zmian temperatury w elementach konstrukcyjnych związanych z matrycą przyrządu TPz przewidziano użycie ośmiokanałowego układu komputerowej rejestracji danych DAQT. Układ ten na zintegrowanym stanowisku do wydłużania prętów będzie identyfikowany za pomocą symbolu DAQT1b. Układ DAQT zbudowano na bazie modułu pomiarowego microDAQ typ USB\_73T8<sup>7</sup> o rozdzielczości 14

<sup>7</sup> [http://www.egmont.com.pl/eagle/techn/daq\\_thermo\\_USB.html](http://www.egmont.com.pl/eagle/techn/daq_thermo_USB.html) (2016 sierpień)

bitów. Na potrzeby laboratorium opracowano skróconą instrukcję użytkowania modułu, która jest udostępniona w postaci kilkustronicowej ulotki<sup>8</sup>.

Schemat blokowy użytego układu rejestracji temperatury DAQT1b pokazano na Rys. 5. Przedstawiono na nim najważniejsze cechy elementów składowych typowego układu DAQT, a mianowicie: charakterystykę miejsca pomiaru, oznaczenia użytych termoelementów, nazwę przyrządu oraz symbol komputera użytego do składowania danych oraz przyporządkowanie punktów pomiarowych do kanałów urządzenia pomiarowego DAQT1b. Przeznaczenie niektórych z czujników pomiarowych jest oczywiste. Termoelementy powiązane z czołem matrycy można zobaczyć na zdjęciu na Rys. 4. Termoelementy osadzone w spodzie matrycy zabudowano w dolnej części przyrządu TPz przy jego montażu. Wyjaśnienia wymaga zastosowanie termoelementu przypisanego do pierwszego punktu pomiarowego i ostatniego.

Termoelement (nazwany na omawianym rysunku niewłaściwie termoparą – jest to wyrażenie z żargonu pomiarowego, który nie powinien być stosowany) oznaczony T0 ma wielorakie przeznaczenie. W czasie prób nagrzewania przyrządu będzie włożony do otworu, który wykonano w specjalnym wsadzie do pomiaru temperatury, nazywanym dalej „próbką do pomiaru temperatury”. Ta z kolei próbka zostanie włożona do otworu wejściowego matrycy i będzie przejmowała ciepło od ścianek roboczych matrycy w czasie jej nagrzewania. W ten sposób będzie można na kanale pierwszym układu DAQT zarejestrować w miarodajny sposób rzeczywistą temperaturę strefy narzędziowej przyrządu. Podczas wykonywania zaś operacji kształtowania (przepychania, wyciskania, czy przeciskania przez kanał kątowy) próbkę oczywiście należy usunąć ze strefy roboczej, gdyż tam znajdzie się wstępniak. Wtedy to „próbka do pomiaru temperatury” będąc odłożona na zewnątrz przyrządu zmierzy temperaturę otoczenia.



Rys. 5. Schemat blokowy układu DAQT1b do pomiaru temperatury przy przepychaniu, wyciskaniu lub przeciskaniu przez kanały kątowe

Układ DAQT zbudowanego na bazie modułu pomiarowego microDAQ typ USB\_73T8. Do obsługi modułu wybrano komputer przenośny (AT31<sup>9</sup>, AT33 bądź AT36). Wszystkie termoelementy będą podłączone do układu DAQT przy użyciu specjalnej płytki z listwami przyłączeniowymi. Termoelementy regulacyjne, tj. podające wartość mierzoną temperatury na regulator LOTE, będą podłączone za pomocą złącz termoparowych z zatrząskiem.

<sup>8</sup> K. Małek, L. Olejnik: "Pomiary temperatury układem  $\mu$ DAQ – instrukcja użytkowania: podłączenie termopar i obsługa oprogramowania". Raport grupy UFGbySPD. Instytut Technik Wytwarzania. Warszawa 2015 [ [instrDAQ pomiar temperatury mDAQ 13.docx](#) ]

<sup>9</sup> laptop Compaq Armada M700 - WinXP Home Edition ver.2002

Przyrząd pomiarowo-cyfrujący DAQT1b przymocowano specjalnym uchwytem do dolnej części korpusu prasy PVE63 po prawej stronie. W razie potrzeby można go odmontować, np. w celu przeniesienia na sąsiednią prasę PYS250. Komputer do rejestrowania danych jest stawiany na mobilnym stoliku, który w razie potrzeby można ustawić w pobliżu prasy.

## Przygotowanie układu DAQT

W celu przygotowania układu DAQT do rejestracji danych – informujących o zmianach temperatury podczas czynności nagrzewania i grzania przyrządów – należy wykonać następujące czynności:

1. **Włączyć zasilanie główne** w sali NT010
2. **Przygotować składniki układu DAQT** niezbędne do rejestracji: przenieść na stanowisko PVE63 laptop AT31 oraz układ microDAQ (identyfikowany jako DAQT1b) wraz z niezbędnymi przewodami zasilającymi i transmitującymi dane (zazwyczaj przechowywane w szafie pancerniej o oznaczeniu na zamku 356).
3. **Przygotować laptop** poprzez ustawienie na stanowisku w pozycji umożliwiającej komfortowe wykonywanie prac, podłączenie zasilania, włączenie oraz uruchomienie
4. **Przygotować układ microDAQ** poprzez podłączenie adaptera, do którego poprzez listwy zaciskowe podłączono termopary, do 25-pinowego gniazda o oznaczeniu *temperature* oraz podłączenie zasilania 230Vac układu DAQT
5. **Podłączyć** do odpowiednio oznakowanego portu USB laptopa **układ microDAQ** za pomocą kabla
6. **Uruchomić program *TemperatureLogger*** klikając na ikonę w centralnej części pulpitu
7. **Wczytać plik konfiguracyjny** komendą *LoadConfig* z menu rozwijanego *File* (przygotowano plik konfiguracyjny *configTPzdoPVE63.TM2*, który znajduje się w katalogu „*TPz na PVE63*” w folderze *DAQdata* – utworzono skrót na pulpicie ułatwiający dostęp do folderu danych; ścieżka dostępu C:\Dokuments and Settings\Olejnik\My Docs\DAQdata\DAQT\).
8. **Uruchomić rejestrację układem DAQT** poprzez wybranie przycisku *START* z okna głównego programu *TemperatureLogger* (z menu rozwijanego *View* wybrać opcje *BarDisplay* oraz *ChartDisplay* - zmiana zakresu wyświetlanych wartości odbywa się przez przesunięcie pola wykresu prawym klawiszem myszki)
9. **Uruchomić zapis danych** poprzez wybranie opcji *Record* z okna głównego programu *TemperatureLogger*. Plik zawierający rejestrowane dane powinien zostać zapisany do folderu *TPz na PVE63* w folderze *DAQdata* (skrót na pulpicie) pod nazwą zgodną z wykonywaną operacją<sup>10</sup>.
10. **Uruchomić zasilanie regulatora LOTE** – wyświetlacze na regulatorze powinny dla poszczególnych kanałów pokazać: rzeczywistą wartość temperatury (kolor czerwony) oraz wartość zadaną temperatury (kolor zielony).

## Sposób termoregulacji

Założona wartość temperatury elementów narzędziowych przyrządu musi być utrzymywana automatycznie. Dlatego na stanowisku potrzebny jest układ kontrolno-pomiarowy z regulacją temperatury w obwodzie zamkniętym. W takim przypadku regulator temperatury generuje sygnały sterujące na podstawie wbudowanego algorytmu. Wynikiem pracy regulatora jest uchyb regulacji, który jest różnicą między wielkością zadaną a wielkością otrzymaną z obiektu regulacji, podawaną do regulatora jako sprzężenie zwrotne. Aby uzyskać zamknięty układ regulacji potrzebny jest pomiar wielkości regulowanej.

**Wielkością regulowaną jest oczywiście temperatura w otworze matrycy. Taki pomiar rzeczywistej wartości regulowanej wielkości w czasie wykonywania operacji kształtowania nie jest jednak możliwy. Dlatego na stanowiskach do obróbki plastycznej stosuje się odpowiednią procedurę pomiaru zastępczego.** Wymaga ona wyznaczenia zależności między rzeczywistą temperaturą otworu roboczego matrycy, a temperaturą w miejscu, w którym taki pomiar będzie możliwy. Z tego powodu przed przekazaniem stanowiska do kształtowania na ciepło lub gorąco do eksploatacji, należy sprawdzić poprawność działania układu regulacji temperatury elementów narzędziowych. Chodzi o uzyskanie potwierdzenia, że wsad będzie kształtowany z zachowaniem odpowiedniego zakresu zmienności temperatury. Pomocna w takich ustaleniach jest rejestracja temperatury w punktach kluczowych dla działania przyrządu.

<sup>10</sup> Kodowanie nazw zbiorów danych o grzaniu opisano w [ [codingDetails60 TEMPERATURA 08.pdf](#) ]



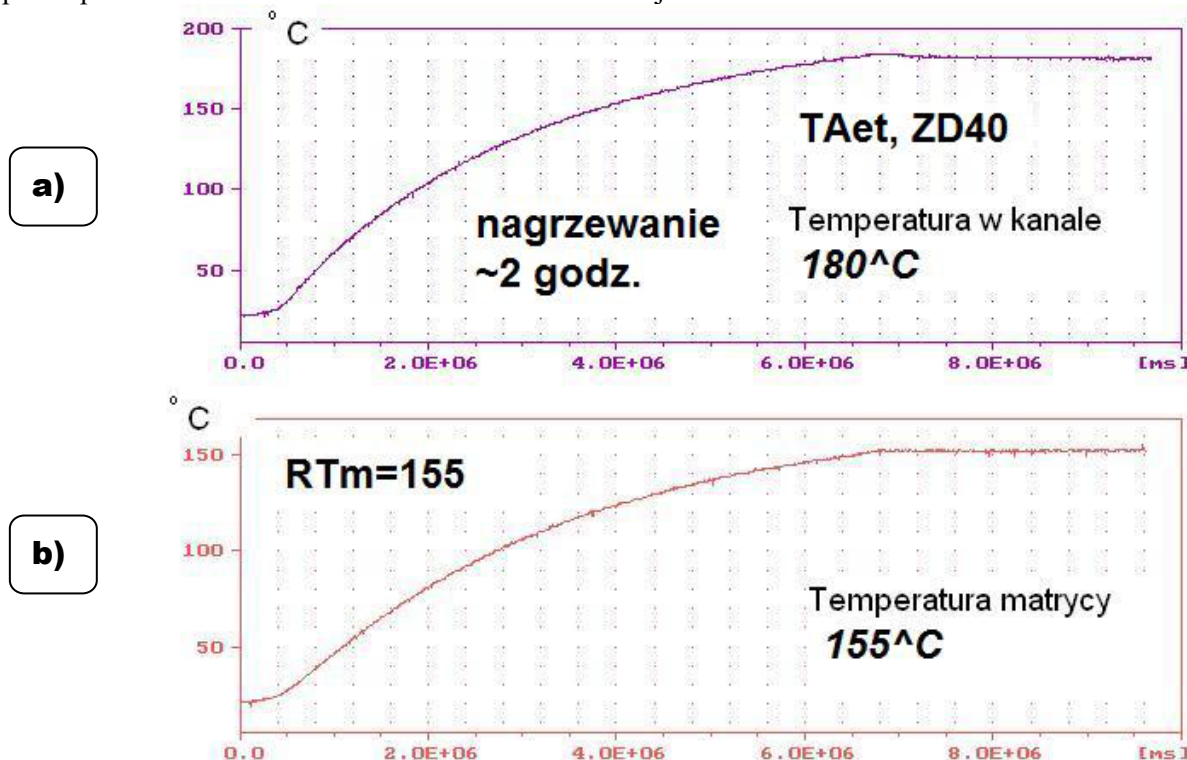
Temperatura powinna być rejestrowana w specjalnie dobranych punktach przyrządu. Są to takie punkty, w których w sposób niezakłócony i nieprzerwany może być mierzona wartość rzeczywista temperatury wymagana dla prawidłowego działania układu termoregulacji (chodzi przecież o zapewnienie sprzężenia zwrotnego). Dodatkowo pomiar temperatury bywa prowadzony również w wybranych punktach przyrządu, które mogą dostarczyć dodatkowych informacji, np. o skuteczności działania izolacji termicznej. Przykładowo badając temperaturę okolicznych elementów konstrukcyjnych, znajdujących się poza osłoną termiczną można stwierdzić, jak dużo ciepła „ucieka” przez osłony ciepłochronne.

## Ustalenie wartości stabilizowanej temperatury

Z powyższego wynika, że występuje trudność w określeniu wartości zadanej dla regulatora temperatury. W istocie wartość zadana jest ustalana doświadczalnie, a regulacja jest prowadzona na podstawie pomiaru zastępczej temperatury. Istnieje więc potrzeba ustalenia zależności między temperaturą w otworze/kanale roboczym matrycy, a temperaturą w zastępczym miejscu, specjalnie wybranym w bryle matrycy do wykonania pomiaru termoelementem regulacyjnym.

Przykładowy wynik poszukiwania takiej zależności podano na Rys. 6. Uzyskano go dla przyrządu do przepychania oznaczonego symbolem TAet, który przygotowano do pracy na prasie ZD40. Regulacja temperatury jest prowadzona regulatorem RTm na podstawie wartości rzeczywistej – dostarczanej przez czujnik ulokowany w matrycy. Na regulatorze nastawiono wartość zadaną 155°C. Po wstępnej fazie nagrzewania zimnego przyrządu TAet temperatura jest stabilizowana na założonym poziomie 155°C (Rys. 6b). Temperatura w kanale roboczym ma także stałą wartość, ale jest stabilizowana na wyższym poziomie 180°C (Rys. 6a). Jest to temperatura wymaga przez technologa, a więc właściwa dla przeprowadzenia zamierzonej operacji kształtowania.

Wykres z Rys. 6a pokazuje przykładowy przebieg zmian temperatury w kanale roboczym w czasie nagrzewania (ok. 2 godz.) i stabilizowania temperatury (ok. 1 godz.). Umożliwia określenie czasu oczekiwania na osiągnięcie właściwych warunków dla obróbki w podwyższonej temperaturze. Ale najważniejsze jego znaczenie polega na doświadczalnym wyznaczeniu rzeczywistej wartości temperatury w miejscu kształtowania, której nie można utożsamiać z wartością nastawy regulatora temperatury. Zwróćmy uwagę, że na podstawie danych zgromadzonych w fazie stabilizowania temperatury można obliczyć nie tylko wartość średnią temperatury obróbki, ale również określić jakość termoregulacji – przez podanie wielkości wahań wokół wartości średniej.



Rys. 6. Wynik doświadczalnie ustalonej zależności między wymaganą temperaturą w kanale roboczym (a), a temperaturą mierzoną przez czujnik regulacyjny (b)

## Wyznaczenie czasu nagrzewania wsadu

Dostępny na stanowisku przyrząd TPz tak skonstruowano, że można do otworu wejściowego gorącej matrycy włożyć zimny wstępniak. Umożliwia to przeprowadzenie doświadczenia polecającego na wyznaczeniu czasu przejmowania ciepła od gorących ścianek tego otworu wejściowego matrycy. Wystarczy zimny wsad włożyć do odcinka wejściowego otworu matrycy i odczekać pewien czas mierząc przy tym zmianę temperatury włożonego wsadu. Do jakiej temperatury nagrzano matrycę przyrządu TPz należy oczywiście określić doświadczalnie badając wartość stabilizowanej temperatury.

Na Rys. 7 pokazano przykładowy<sup>11</sup> wynik opisanego doświadczenia dla wsadów ze stopu aluminium EN AW-5083. Krzywa wykreślona na wykresie reprezentuje narastanie temperatury wsadu od temperatury otoczenia (20°C) do temperatury matrycy, jaką miała matryca – 150°C.



Rys. 7. Wykres  $T(t)$  do wyznaczenia czasu nagrzewania zimnego wsadu do temperatury panującej w otworze roboczym gorącej matrycy

## Literatura uzupełniająca do ćw. am2

- 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 urządzenia elektryczne grzewcze. <http://www.sinkoplex.pl>
- 5 Michalski L., Eckersdorf K.: „Pomiary temperatury”. WNT Warszawa 1986

<sup>11</sup> Przedstawiony wynik dotyczy małego prostopadłościennego wsadu o przekroju poprzecznym kwadratu o boku 8 mm, a więc nie dotyczy badanego przyrządu TPz