

mgr inż. P. Skrzypczyński[†], mgr inż. J. Wąsikowski[‡]
Politechnika Poznańska
[†] Katedra Automatyki, Robotyki i Informatyki
[‡] Instytut Technologii Materiałów

ZROBOTYZOWANE GNIAZDO DO OBRÓBK PLASTYCZNEJ

Streszczenie : W niniejszej pracy przedstawione zostało zrobotyzowane gniazdo produkcyjne przeznaczone do zadań obróbki plastycznej. Złożone jest ono z prasy hydraulicznej PH-4, robota przemysłowego IRb-60 oraz oprzyrządowania pomiarowego. Praca gniazda jest nadzorowana i sterowana przy pomocy oprogramowania działającego na komputerze PC które zapewnia możliwość oceny stanów niebezpiecznych w pracy maszyn oraz kontroli prawidłowości przebiegu procesu technologicznego. Zaprezentowano strukturę systemu pomiarowo-sterującego oraz oprogramowanie. Przedstawiono wyniki eksperymentów.

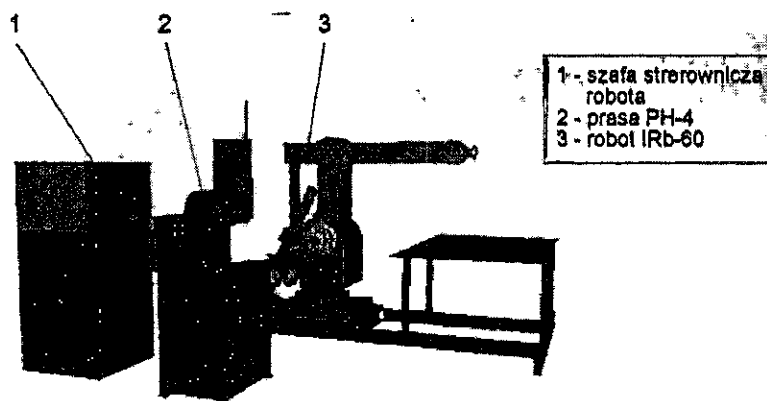
Abstract : In this paper a robotised production stand for metal forming is presented. This stand consists of the hydraulic press PH-4, the industrial robot IRb-60 and measurement equipment. The work of this system is controlled by a special software running on PC computer which is embedded into the control channel. This approach allows to control automatically the correctness of the technological process and to avoid the production of defective articles. The structure of hardware and control software of the experimental stand are presented. Experimental results are given.

1. WSTĘP

W przemysłowych gniazdach produkcyjnych zawierających prasy do obróbki plastycznej obsługiwane ręcznie, operatorzy tych maszyn sprawują mimowolną kontrolę przebiegu procesu technologicznego poprzez obserwację obrabianego przedmiotu, czy też ocenę odgłosu pracy maszyny. W zautomatyzowanych i zrobotyzowanych systemach produkcyjnych pozbawionych stałego nadzoru człowieka-operatora brak jest takich mechanizmów kontroli. W takich systemach, w przypadku gdy nastąpi np. uszkodzenie narzędzi czy niedotrzymanie pewnych parametrów procesu technologicznego, proces ten często przebiega dalej, co w konsekwencji może spowodować bardziej rozległe uszkodzenia elementów stanowiska (prasy, robotów lub innych maszyn) lub dawe długotrwałe wytwarzanie przedmiotów niezgodnych z wymaganiami — braków [1, 2]. Dlatego też konieczne jest stworzenie systemu do automatycznej kontroli i nadzorowania przebiegu procesu technologicznego w zrobotyzowanych stanowiskach produkcyjnych.

W Zakładzie Obróbki Plastycznej Politechniki Poznańskiej zbudowano doświadczalne zrobotyzowane gniazdo technologiczne do obróbki plastycznej [3]. Stanowisko to przeznaczone jest do badania metod automatycznego nadzorowania i sterowania procesami technologicznymi w obróbce plastycznej metali. Jego głównymi elementami są uniwersalna prasa

hydrauliczna PH-4 i robot przemysłowy IRb-60. Stanowisko wyposażone zostało w zestaw czujników zamontowanych na prasie i robocie, pozwalających na dokonywanie pomiarów wielkości istotnych dla prawidłowości pracy obu maszyn oraz przebiegu procesu technologicznego. Czujniki te podłączone są do przetworników pozwalających na wprowadzenie mierzonych wielkości do komputera klasy PC. Komputer ten jest istotnym elementem doświadczalnego gniazda produkcyjnego, gdyż pozwala na monitorowanie jego pracy oraz analizę przebiegu procesu technologicznego na podstawie pomiarów charakterystycznych wielkości. Budowa stanowiska umożliwia też sterowanie z poziomu komputera PC pracą prasy i robota poprzez ich wejścia cyfrowe. Pozwala to na automatyczne (bez udziału operatora) eliminowanie niektórych sytuacji awaryjnych wynikających np. z wad półproduktów i kontynuowanie pracy stanowiska przy zapewnieniu wymaganych parametrów produkowanych wyrobów.



Rysunek 1: Stanowisko badawcze

2. STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko badawcze zestawione zostało przy wykorzystaniu maszyn posiadanych już przez Zakład Obróbki Plastycznej oraz typowych elementów torów pomiarowych i sterujących. Ogólny wygląd stanowiska przedstawia rysunek 1. Poniżej podano krótką charakterystykę jego podstawowych elementów.

2.1 Prasa hydrauliczna

Doświadczalna prasa PH-4 jest prasą hydrauliczną o nacisku maksymalnym 40 kN i prędkości ruchu suwaka do 50 mm/s. Prasa pozwala na ruchy suwaka w obu kierunkach z ograniczeniem siły (poprzez hydrauliczny zawór przelewowy) i ograniczeniem skoku suwaka (nastawianymi mikrowyłącznikami krańcowymi). Instalacja elektryczna prasy PH-4 składa się z dwóch obwodów: wysokonapięciowego (zasilanie silnika napędowego i sterowanie rozdzielaczem hydraulicznym) i niskonapięciowego, obsługującego pulpit sterowania prasą, komunikację z urządzeniami zewnętrznymi, funkcje logiczne układu i sterującego pracą obwodu wysokonapięciowego.

Sterownik niskonapięciowy wykonany jest w technice przekaźnikowej opartej na przekaźnikach typu R-15 o napięciu zasilania 24 V i wysyła do panelu sygnalizacyjnego informacje o stanie prasy a także odbiera sygnały z panelu przycisków i zespołu wyłączników krańcowych. Wszystkie funkcje sterownika mogą być wykonywane zdalnie. Sterownik wysyła

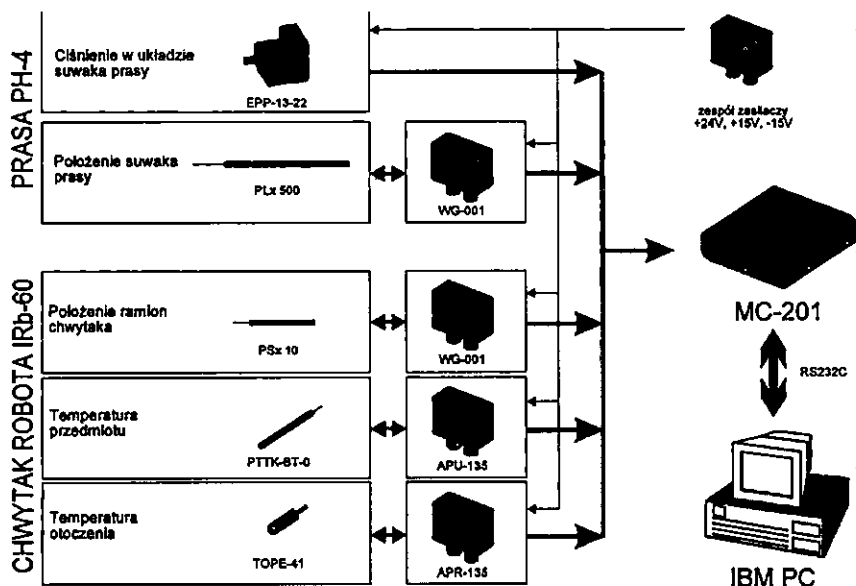
ponadto na zewnątrz sygnały o stanie prasy. Komunikacja zewnętrzna odbywa się w standardzie TTL. Dodatkowo prasa wyposażona jest w zewnętrzną dwukierunkową obsługę stopu awaryjnego.

2.2 Robot przemysłowy

Robot przemysłowy IRb-60 produkcji firmy ASEA składa się z części manipulacyjnej o udźwigu do 600 N i oddzielonej konstrukcyjnie szafy sterowniczej [4] zawierającej moduły układu sterowania łącznie ze sterownikami mocy silników. Układ sterowania składa się z komputera, pamięci, wejść i wyjść do urządzeń zewnętrznych oraz modułów sterujących serwomechanizmami. Część kinematyczna dysponuje pięcioma stopniami swobody. W budowie robota nie wykonano żadnych istotnych zmian. Do komunikacji z urządzeniami zewnętrznymi wykorzystano istniejące wejścia i wyjścia cyfrowe. Jako dodatkowy element zaprojektowano i wykonano chwytak do wałków [3]. Chwytak napędzany elektromagnetycznie pozwala chwycić przedmioty cylindryczne o średnicach od 10 do 100 mm i posiada możliwość zabudowy przetworników pomiarowych.

2.3 Tory pomiarowe i sterujące

W większości procesów obróbki plastycznej metali najwięcej informacji o poprawności przebiegu kształtowania niesie znajomość zależności siły w funkcji położenia narzędzi [5]. W prasach hydraulicznych możliwe jest zastąpienie pomiaru siły pomiarem ciśnienia oleju. Przetworniki ciśnienia są łatwiejsze w zabudowie od przetworników siły. Układ pomiarowy

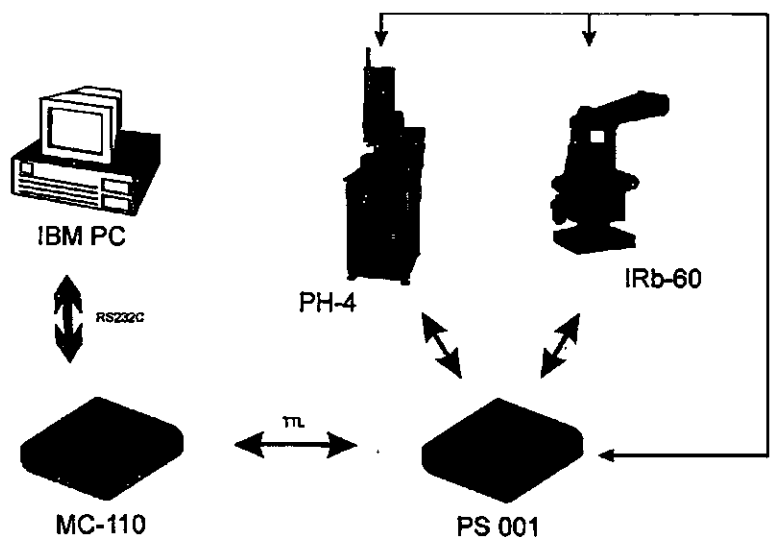


Rysunek 2: Schemat toru pomiarowego

prasy składa się z dwóch kanałów pomiarowych: ciśnienia oleju w instalacji hydraulicznej, co przy znanej średnicy cylindra i tłoczyska siłownika hydraulicznego jest równoznaczne z siłą działającą na suwak, oraz położenia suwaka. Tor pomiaru położenia suwaka składa

się z generatora fali nośnej, transformatorowego przetwornika przemieszczeń liniowych Plx500 i wzmacniacza pomiarowego z filtracją fali nośnej (produkcji firmy *Peltron*). Błąd liniowości przetwornika nie przekracza 0.1% zakresu pomiarowego. Tor pomiaru ciśnienia zawiera tensometryczny membranowy przetwornik ciśnienia EPP-13-22 i kondycjoner sygnału. Błąd liniowości przetwornika wraz ze wzmacniaczem wynosi 0.6% zakresu pomiarowego.

Konstrukcja chwytaka przewiduje możliwość zamontowania przetwornika przemieszczenia do pomiaru położenia ramion chwytanych oraz przetwornika temperatury do pomiaru temperatury przedmiotu. Pomiar położenia końcówek chwytanych, oprócz kontroli zamknięcia chwytaka, pozwala na ocenę wymiaru przedmiotu chwytanego. Do pomiaru położenia końcówek chwytanych użyto transformatorowego przetwornika przemieszczeń liniowych PSx10 firmy *Peltron*. Przetwornik pomiarowy posiada maksymalną odchyłkę liniowości 0.2% zakresu pomiarowego, co pozwala mierzyć wymiar przedmiotu z dokładnością 0.1 mm. Do pomiaru temperatury przewidziano przetwornik termoelektryczny PTTK-BT-0 z termoelementem o zakresie pomiarowym 0-1000°C. Do przetwornika dołączony jest zasilacz-wzmacniacz APU-135 o zakresie pomiarowym 0-400°C. Układ pozwala na pomiar temperatury przedmiotu w zakresie 0-400°C z dokładnością 2°C. Nadrzędnym urzą-



Rysunek 3: Schemat toru sterującego

dzeniem układu sterowania stanowiskiem jest komputer klasy PC wyposażony w dwa dodatkowe porty RS232. Poprzez te porty następuje komunikacja z urządzeniami MC-201 i MC-110, oba produkcji firmy *Mescomp*. W części analogowej układu sterowania sygnały pomiarowe ze wszystkich przetworników przetworzone na standard 0-10 V (przez wzmacniacze pomiarowe) są następnie przetwarzane do postaci cyfrowej w przenośnym rejestratorze sygnałów pomiarowych MC-201. Rejestrator ten jest w istocie ośmiokanałowym przetwornikiem analogowo-cyfrowym o rozdzielczości 12 bitów i dokładności 0.1% zakresu. Wszystkie funkcje rejestratora wyzwalane są przez komputer za pośrednictwem interfejsu RS232. Tym samym łączem transmitowane są wyniki pomiarów. W części dyskretnej układu sterowania komunikacja pomiędzy maszynami i komputerem odbywa się

poprzez urządzenie MC-110, posiadające 96 dwustanowych linii wejścia-wyjścia w standardzie TTL. Urządzenie wyposażone jest w standardowy interfejs RS232 do komunikacji z komputerem. Wyodrębniono cztery tory sygnałowe: dwa łączące MC-110 z prasą (tor sterujący i tor statusu) i dwa łączące MC-110 z robotem (sterujący i statusu). Użyto po osiem linii MC-110 na każdy tor sygnałowy oraz dwie linie obsługujące stop awaryjny. Oprócz urządzenia MC-110 niezbędne jest również urządzenie dopasowujące standardowy sygnał TTL do parametrów sygnałów robota oraz zapewniające izolację galwaniczną urządzeń i filtrację zakłóceń. Urządzenie to oprócz transformacji sygnałów zapewnia obsługę stopu awaryjnego.

Zastosowanie rozproszonej struktury układu sterowania wynika przede wszystkim z chęci zastosowania typowego komputera klasy PC. Komputer taki musi być znacznie oddalony od miejsca powstawania zakłóceń. Z drugiej strony przewody sygnałów analogowych powinny być możliwie najkrótsze. Wymusza to zastosowanie zewnętrznych przetworników analogowo-cyfrowych oraz układów wejścia wyjścia, co ponadto pozwala uniknąć wpływu zakłóceń powstających w obudowie komputera.

3. OPROGRAMOWANIE

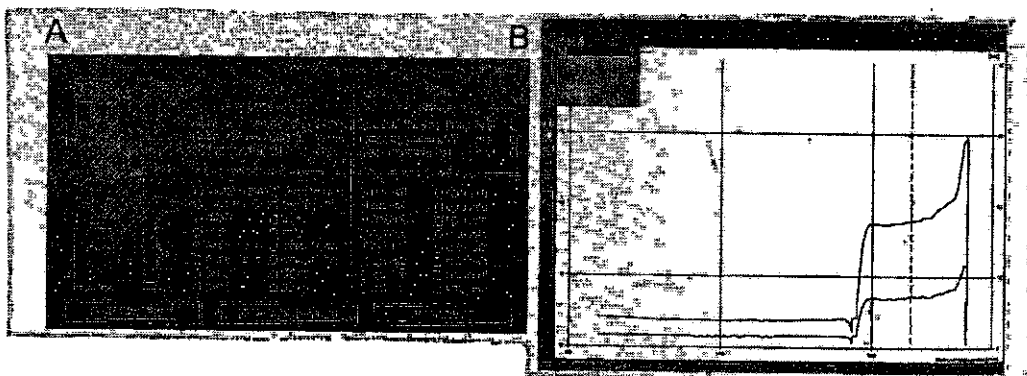
Najistotniejszą nowością w prezentowanym tu zrobotyzowanym gnieździe produkcyjnym jest wykorzystanie komputera PC wyposażonego w specjalizowane oprogramowanie umożliwiające analizę mierzonych wielkości i sterowanie elementami gniazda. Program sterujący umożliwia :

- Przeprowadzenie procedury startowej gniazda, w skład której wchodzi: testowanie torów pomiarowych na zawieranie się wartości mierzonych w przewidzianych zakresach, sprawdzenie gotowości urządzeń wchodzących w skład stanowiska, oraz sprawdzenie granicznych położenia suwaka prasy.
- Śledzenie prawidłowości przebiegu procesu technologicznego przez wizualizację podstawowych parametrów pracy maszyn wchodzących w skład stanowiska — ciśnienie w cylindrze suwaka prasy, położenie suwaka, wywierana siła oraz cyfrowe sygnały wejściowe i wyjściowe prasy i robota (rys. 4A).
- Pomiar, wizualizację i archiwizację wartości wszystkich wielkości mierzonych oraz stanów logicznych. Zgromadzone dane mogą być przedstawione na wykresie bezpośrednio w programie sterującym (rys. 4B), zachowane do późniejszej analizy lub przekazane do innego programu.
- Zapewnienie realizacji założonego cyklu pracy maszyn przez automatyczne wypracowywanie cyfrowych sygnałów sterujących dla prasy i robota na podstawie bieżących pomiarów wielkości analogowych oraz stanu wyjść cyfrowych obu urządzeń.
- Identyfikację z odpowiednią reakcją układu na stany niebezpieczne w warstwie maszyn (mogące zagrozić bezpieczeństwu maszyn), warstwie narzędzi (zagrożające bezpieczeństwu narzędzi) oraz w warstwie procesu technologicznego (mogące spowodować wytworzenie produktu nie odpowiadającego wymaganiom).

Program dokonuje bieżącej oceny stanów niebezpiecznych na podstawie zmierzonych wielkości i sygnałów cyfrowych. Ocena ta odbywa się według :

- stałego algorytmu i stałych parametrów w warstwie maszyn,
- stałego algorytmu i zmiennych parametrów w warstwie narzędzi (na prasie mogą być montowane różne narzędzia),
- zmiennego algorytmu i zmiennych parametrów w warstwie procesu.

Takie podejście zapewnia możliwość realizacji różnych klas procesów technologicznych np. wyciskanie, tłoczenie, przepychanie (zmienny algorytm), oraz różne procesy w ramach tej samej klasy (zmiennie parametry). Możliwość wymiany części programu sterującego odpowiedzialnej za diagnozę stanów niebezpiecznych zwiększa elastyczność prezentowanego rozwiązania i umożliwia kształtowanie algorytmów diagnostycznych dla konkretnego procesu technologicznego na podstawie doświadczeń użytkowników. Algorytm analizy przebiegu procesu technologicznego umieszczony jest w oddzielnym pliku dzięki czemu użytkownik może wybrać algorytm dla aktualnego procesu lub dołączyć nowy (własny) bez konieczności modyfikacji całego programu. Ze względu na zastosowanie rozproszonej ar-

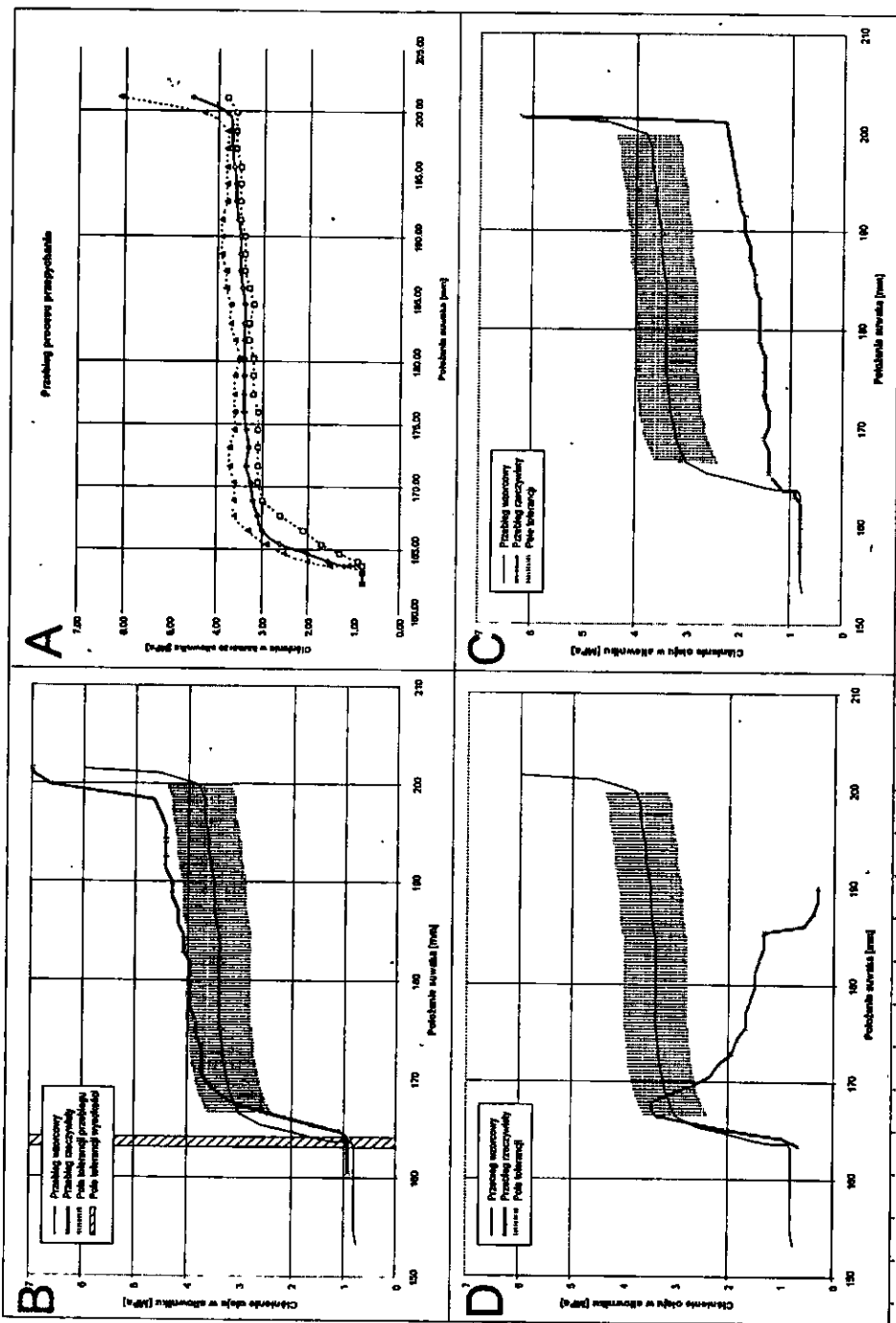


Rysunek 4: Graficzny interfejs programu sterującego

chitektury torów pomiarowych i sterujących możliwe było wykorzystania w roli jednostki sterującej typowego komputera PC. Pozwoliło to uniknąć zakupu kosztownego sprzętu dedykowanego do pracy w warunkach przemysłowych oraz zapewnić znaczny komfort użytkownikowi dysponującemu pełnowymiarowym, kolorowym monitorem, klawiaturą oraz myszą. W związku z zastosowaniem komputera PC zdecydowano się też na realizację oprogramowania jako aplikacji działającej w popularnym środowisku *MS Windows 9.x*. Zapewnienia to łatwą, intuicyjną obsługę programu przy pomocy standardowego interfejsu graficznego (rys. 4). Zapewniono wszechstronną wizualizację przebiegu procesu technologicznego ze szczególnym uwzględnieniem wspomagania użytkownika w diagnozowaniu i likwidowaniu stanów awaryjnych. Nie bez znaczenia (szczególnie w stanowisku doświadczalnym) jest także możliwość wymiany danych z innymi, uruchomionymi jednocześnie programami (np. arkusz kalkulacyjny) ułatwiająca dalszą analizę zebranych danych.

4. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Badania eksperymentalne przeprowadzone zostały dla procesu technologicznego *przepychania*. Jest to proces plastycznej obróbki materiału polegającej na kształtowaniu przekroju pręta przez przyłożenie siły do jednego swobodnego końca pręta i wciśnięcie jego drugiego końca w kształtowy otwór matrycy.



Rysunek 5: Wyniki eksperymentalne

Wartość siły potrzebnej na przepchnięcie zależy przede wszystkim od wielkości odkształcenia plastycznego. Kiedy siła technologiczna przekroczy wartości krytyczne może nastąpić wyboczenie lub spęczenie pręta (zależnie od smukłości) (rys. 5A). Intensyfikacja produkcji powoduje zbliżanie się do granic możliwości procesu, wzrasta zatem prawdopodobieństwo występowania braków. Na podstawie wymienionych wcześniej wielkości mierzonych wykryć można następujące zdarzenia:

1. niewłaściwa średnica przygotówki - pomiar położenia końcówek chwytnych zamkniętego chwytaka,
2. niewłaściwa temperatura przygotówki - pomiar temperatury w chwytaku,
3. niewłaściwa wysokość przygotówki - niewłaściwe położenie suwaka w momencie wzrostu ciśnienia (rys. 5B),
4. niewłaściwy materiał przygotówki - niewłaściwe ciśnienie oleju w momencie rozpoczęcia fazy stacjonarnej procesu przepychania (rys. 5C),
5. wyboczenie przygotówki - spadek siły w początkowej części fazy stacjonarnej (rys. 5D),
6. spęczenie przygotówki - nadmierny wzrost siły w fazie stacjonarnej.

5. WNIOSKI

Badania eksperymentalnego zrobotyzowanego gniazda do obróbki plastycznej w pełni potwierdziły jego przydatność w realizacji procesów technologicznych dla których zostało zaprojektowane. Potwierdzona została możliwość automatycznego diagnozowania stanów niebezpiecznych i nadzorowania poprawności przebiegu procesu technologicznego przy pomocy oprogramowania komputerowego. Przedstawione rozwiązanie zwiększa efektywność zastosowania robota przemysłowego w stanowisku do obróbki plastycznej wymagającym ciągłego nadzoru przebiegu procesu technologicznego. Prezentowane stanowisko zestawione jest z typowych elementów dostępnych na polskim rynku i w każdej chwili na jego podstawie mogą zostać zbudowane gniazda typowo produkcyjne.

LITERATURA

- [1] Doege E., Schomaker K., Brendel T., *Sensors and diagnostic systems in forming machines*, CIRP Ann. Manufact. Technol. 1, 1992.
- [2] Kurz E., *Pressensteuerung mit Industrie-PC führt Prozesse zustandsorientiert*, Maschinenmarkt nr 25, 1995.
- [3] Materniak J., Wąsikowski J., *Robotyzacja w obróbce plastycznej. Konstrukcja elementów zrobotyzowanego stanowiska*, Opracowanie ITBM PP 1994.
- [4] Praca zbiorowa, *Industrierobotersystem IRb-60*, ASEA 1981.
- [5] Wąsikowski J., *Budowa algorytmu i szczegółowych procedur sterowania prasą hydrauliczną z współpracującym robotem*, Opracowanie ITBM PP 1995.