

**Prof. dr hab. inż. Zbigniew Gronostajski**

E-mail: [zbigniew.gronostajski@pwr.wroc.pl](mailto:zbigniew.gronostajski@pwr.wroc.pl)

**Dr inż. Marek Hawryluk**

E-mail: [marek.hawryluk@pwr.wroc.pl](mailto:marek.hawryluk@pwr.wroc.pl)

**Mgr inż. Marcin Kaszuba**

E-mail: [marcin.kaszuba@pwr.wroc.pl](mailto:marcin.kaszuba@pwr.wroc.pl)

**Mgr inż. Przemysław Sadowski**

E-mail: [przemyslaw.sadowski@pwr.wroc.pl](mailto:przemyslaw.sadowski@pwr.wroc.pl)

Instituto Technologii Maszyn i Automatykacji  
Politechnika Wrocławska  
ul. Ignacego Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław, Poland

**Mgr inż. Sławomir Walczak**

E-mail: [sławomir.walczak@gkndriveline.com](mailto:sławomir.walczak@gkndriveline.com)

**Dariusz Jabłoński**

E-mail: [dariusz.jablonski@gkndriveline.com](mailto:dariusz.jablonski@gkndriveline.com)

GKN Driveline Oleśnica  
ul. Południowa 18, 56-400 Oleśnica, Poland

## **Measurement-control systems in the industrial processes of die forging**

## **Systemy kontrolno-pomiarowe w przemysłowych procesach kucia matrycowego**

**Keywords:** portable measuring and control systems, industrial forging processes

**Słowa kluczowe:** przenośny system pomiarowo kontrolny, przemysłowy proces kucia

**Abstract:** The paper presents the application of portable measuring and control systems for the analysis of two industrial processes: precision hot forging of CJV housing on the crank press in closed dies (GKN Driveline Oleśnica) and the forging of the construction hooks to move concrete slabs in TR device on eccentric press (INOP Poznań). The systems allow measurement, data archiving and analysis of waveforms forces forging in time / displacement function that are correlated with tools temperature, measuring the speed of production and the quantity of forgings, and the last measurements of the acoustic signal (AE) to determine the occurring changes during the process, especially the progressive tool wear. Obtained information is used also for better presses service and optimize the whole forging process by using CAD / CAM / CAE software based on FEM. Presented systems are

built of industrial PC (real-time controller, multi-speed measurement card, RAM memory, large capacity of hard drives, a set of amplifiers and transducers) and the corresponding sensors (force, displacement, pyrometers, thermocouples, encoders, rulers, accelerometers, AE sensor). The two applications (based on LabView program) were developed for each of the systems. The first application is installed in the computer industry and is used to control the system and the record voltage signals obtained from individual sensors. The second program allows broad analysis of the processed signals.

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono zastosowania autorskich, przenośnych systemów pomiarowo-kontrolnych do analizy dwóch przemysłowych procesów: kucia na ciepło obudowy przegubów homokinetycznych na prasie korbowej w matrycach zamkniętych (GKN Driveline Oleśnica) oraz kucia zaczepek do przenoszenia płyt betonowych na prasie mimośrodowej w przyrządzie TR (INOP Poznań). Zbudowane przez autorów systemy pozwalają na pomiar, archiwizację i analizę przebiegów sił kucia w funkcji czasu/przemieszczenia skorelowane z pomiarem temperatury narzędzi oraz ilości wykutych odkuwek w czasie. Ostatnio wzbogacono je o rejestrację sygnału akustycznego AE w celu określenia zachodzących zmian podczas procesu a szczególnie postępującego zużycia narzędzi. Uzyskane informacje mają posłużyć również do poprawy warunków eksploatacji pras oraz do optymalizacji całego procesu kucia wykorzystując narzędzia CAD/CAM/CAE oparte o MES. Prezentowane systemy zbudowane są z komputera przemysłowego (kontrolera czasu rzeczywistego, wielokanałowej szybkiej karty pomiarowej, kości pamięci operacyjnej, dysków twardych o dużej pojemności, zestawu wzmacniaczy i przetworników) oraz odpowiednich czujników pomiarowych (siły, przemieszczenia, pirometrów, termopar, enkoderów liniowych i kątowych, akcelerometrów, czujników AE). Do każdego z systemów opracowano po 2 aplikacje (na bazie programu LabView). Pierwsza aplikacja jest zainstalowana w komputerze przemysłowym i służy do sterowania systemem oraz zapisem i przetwarzaniem sygnałów napięciowych uzyskiwanych z poszczególnych czujników. Druga przeznaczona jest do analizy zarejestrowanych sygnałów.

## Wstęp

Procesy kucia ze względu na swoje zalety takie jak duża wydajność, małe naddatki na obróbkę wykańczającą, czy bardzo dobre własności eksploatacyjne gotowych wyrobów są jedną z najczęściej stosowanych technologii wytwarzania wyrobów [6, 11, 16, 18].

Przemysłowe procesy kucia (w zależności od wielkości produkcji i masy odkuwki) realizowane są na maszynach o dużych siłach kształtujących, najczęściej na prasach i młotach, ewentualnie kuźniarkach [1, 7]. Obecnie kuźnie do wytwarzania danego wyrobu wykorzystują najczęściej własne, niejednokrotnie „stare maszyny” przezbrając i przystosowując je do aktualnej produkcji. Rzadko decydują się na zakup nowego urządzenia, dedykowanego pod ściśle określoną produkcję. Maszyny i urządzenia kuźnicze wyposażone są najczęściej w proste systemy pomiarowo-kontrolne. Umożliwiają one jedynie kontrolę: maksymalnej siły kucia, prędkości pracy maszyny, ilości odkuwek oraz początkowej temperatury wstępniaków.

Duża ilość i różnorodność czynników wpływających na poprawność procesu kucia oraz ich wzajemne oddziaływanie powoduje, że procesy kucia matrycowego są bardzo trudne do analizy. Z tego też powodu do projektowania, analizy i optymalizacji danego procesu kucia wykorzystuje się coraz częściej narzędzia CAD/CAM/CAE opartych o MES [4, 8, 9, 13, 14, 15, 17]. Pełna analiza oraz weryfikacja wyników uzyskanych w wyniku stosowania MES wymaga często pomiaru wielu dodatkowych wielkości, które są z różnych względów trudne do zmierzenia w trakcie procesu. W celu poprawy wydajności procesu oraz jakości odkuwek niezbędna jest

precyzyjniejsza kontrola parametrów procesu, niż zapewniają to obecnie montowane na maszynach systemy kontrolne [10, 12].

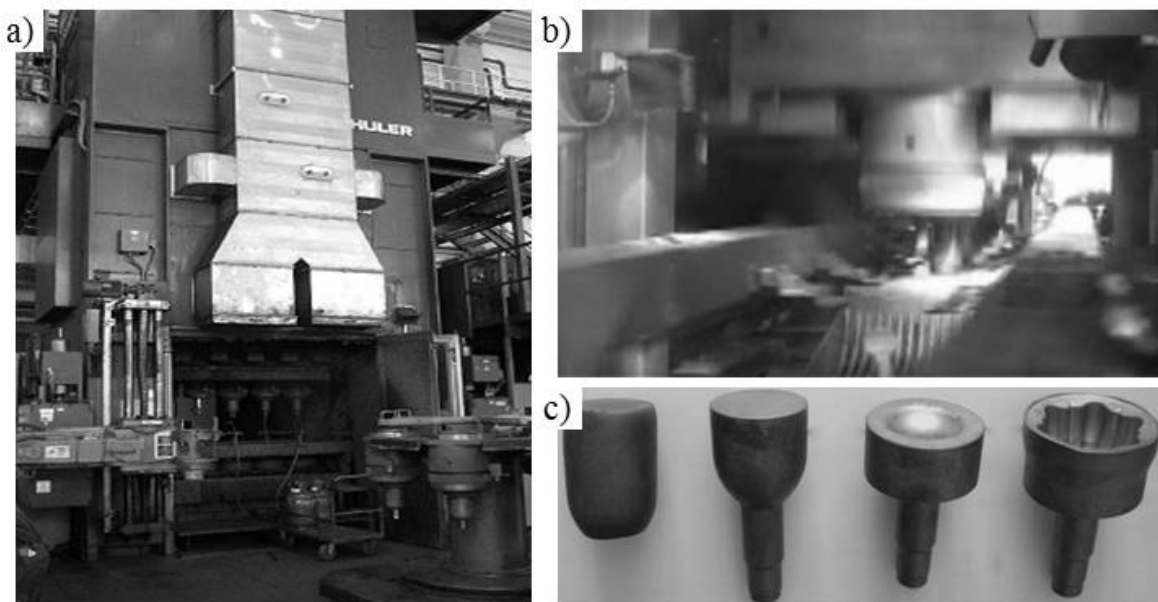
**Celem zbudowanych mobilnych systemów pomiarowo-kontrolnych jest pomiar i kontrola najważniejszych parametrów procesu kucia. Uzyskane informacje będą wykorzystane do poprawy warunków eksploatacji pras, zwiększenia trwałości narzędzi oraz do optymalizacji całego procesu kucia w oparciu o narzędzia CAD/CAM/CAE oparte na MES.**

Opracowane systemy zostały zastosowane do kontroli dwóch procesów kucia: kucia na ciepło obudowy przegubu homokinetycznego na prasie korbowej w matrycach zamkniętych (GKN Driveline Oleśnica), oraz kucia zaczepek do przenoszenia płyt betonowych na prasie mimośrodowej w przyrządzie TR (INOP Poznań).

## 1. Wielooperacyjny proces kucia obudowy przegubów homokinetycznych

### 1.1. Opis procesu

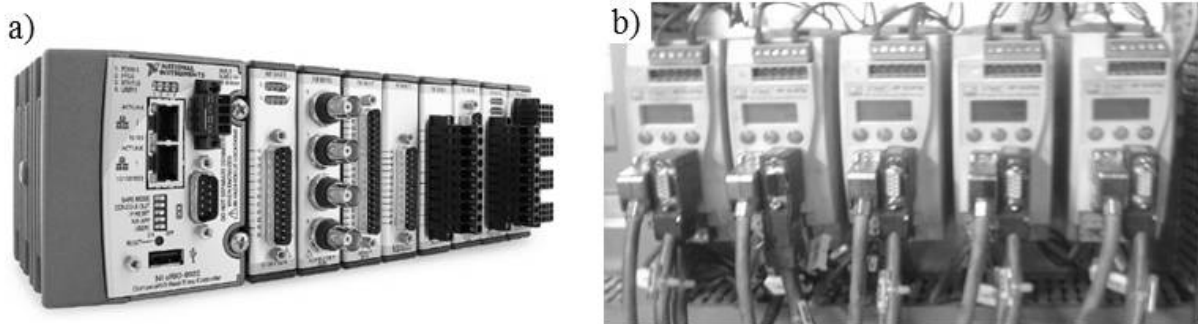
Przemysłowy proces kucia korpusu przegubu homokinetycznego w kuźni GKN Driveline składa się z 4 operacji kucia na ciepło oraz 1 operacji kucia na zimno (rys. 1). Cały proces technologiczny jest wieloetapowy i przedstawia się następująco. Z hali magazynowej dostarczane są metalowe wiązki prętów na maszynę do cięcia, na której są one przecinane na odpowiednie długości. Następnie wstępniaki są one nagrzewane w piecu indukcyjnym do temperatury około 900°C. Stała temperatura procesu jest bardzo ważna dla zapewnienia właściwej jakości odkuwki. Wstępniaki o odpowiedniej temperaturze trafiają do prasy, na której są odkształcane w 4 operacjach. Wysoka jakość odkuwki zapewniona jest dzięki stabilności procesu i planowo prowadzonej kontroli. Odkuwki po wyjściu z prasy przechodzą przez proces kontrolowanego schładzania. Następnie trafiają do śrutownicy, gdzie są oczyszczane z grafitu i przekazywane na halę obróbki mechanicznej oraz na linie montażowe półosi.



Rys. 1. Proces kucia: a) prasa korbowa, b) widok boczny – na komorę roboczą prasy, c) odkuwki po kolejnych operacjach

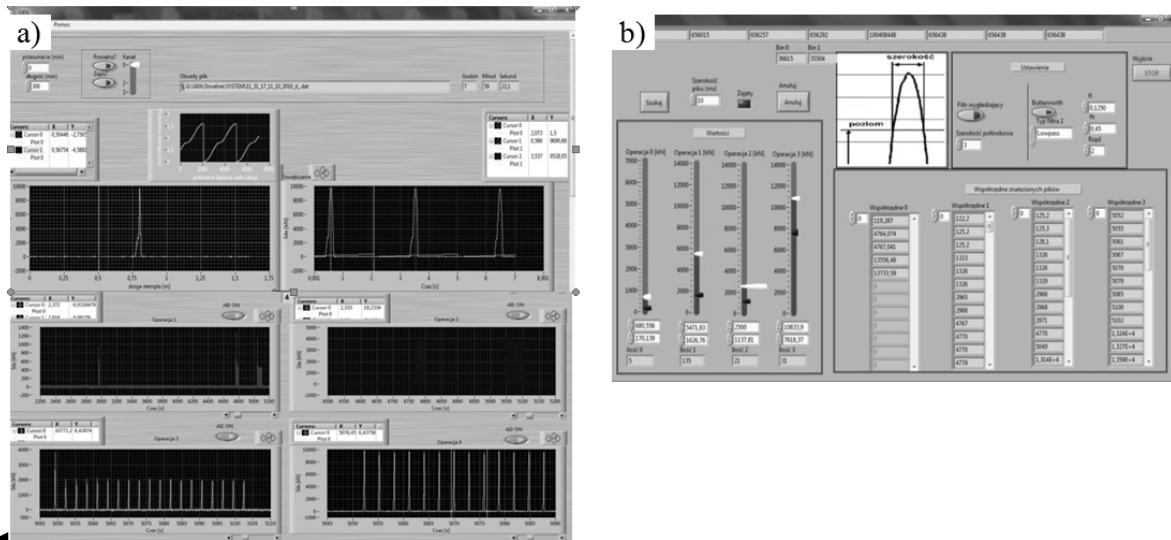
### 1.2. Opis systemu pomiarowo-kontrolnego

System miał za zadanie mierzyć i rejestrować przebiegi sił kucia w funkcji drogi stempla lub czasu (dla 4 operacji) temperaturę narzędzi i wstępniaków. Rejestrację tą prowadzono między innymi również w celu weryfikacji prowadzonego równolegle modelowania numerycznego procesu kucia. Zaprojektowany i wykonany przez autorów system pomiarowy zainstalowano na prasie przemysłowej firmy Shuler o nacisku 20000kN. Składa się on kontrolera czasu rzeczywistego opartego na procesorze MPC5200 400MHz wykorzystującego platformę CompactRIO. Komputer przemysłowy, chassis rekonfigurowalne z układem FPGA, karty pomiarowe wejść/wyjść analogowych oraz cyfrowych (rys. 2a) stanowią całość systemu współpracującego z dyskiem twardym o pojemności 1TB. Konfiguracja ta umożliwia zapis danych z czujników z bardzo dużą częstotliwością, co daje wiele możliwości późniejszej obróbki sygnałów. Komputer rejestruje dane pochodzące z 4 wzmacniaczy tensometrycznych MP55 (rys. 2b), enkodera ZE-115-M zamocowanego do wału korbowego prasy oraz 4 wzmacniaczy termoparowych 5B47. Termopary zainstalowane są w 4 matrycach. Komputer dzięki układom FPGA może analizować zarejestrowane sygnały w czasie rzeczywistym i sterować procesem produkcyjnym. Możliwa jest, w odpowiedzi na niewłaściwą wartość jednego (lub kilku) parametru procesu, odpowiednia zmiana pozostałych parametrów w celu przywrócenia właściwego przebiegu procesu.



Rys. 2. System pomiarowy: a) Komputer przemysłowy CompactRIO z zainstalowanymi modułami wejść/wyjść, b) wzmacniacze MP55

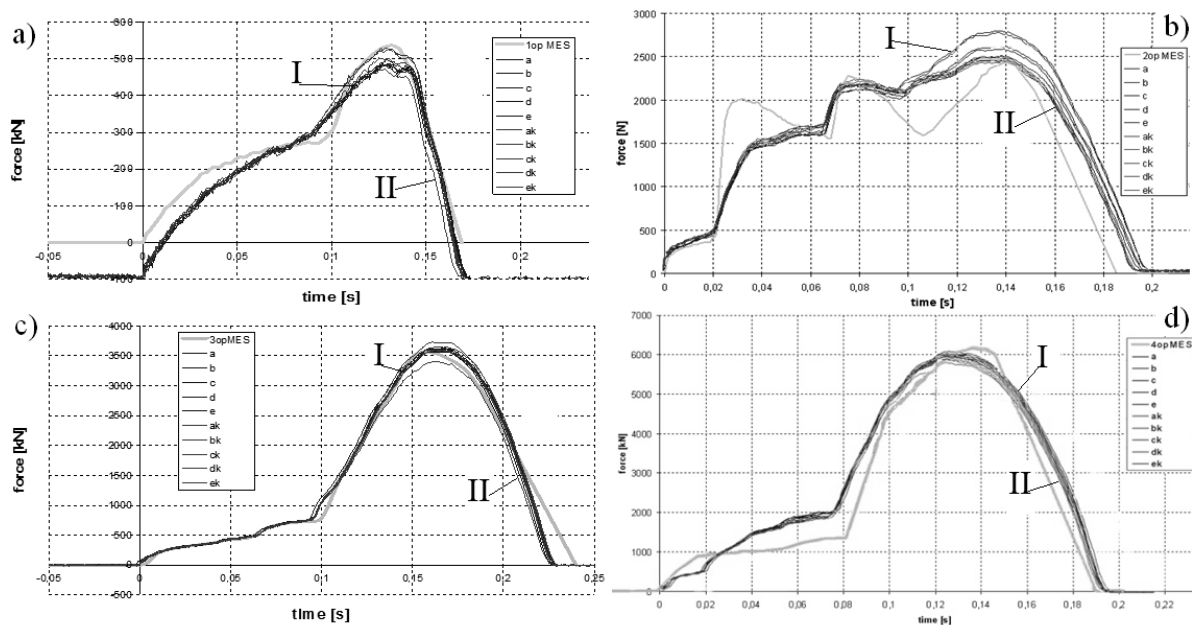
Specjalna aplikacja do przetwarzania danych z systemu wyposażona jest w filtry, których parametry i charakterystyka jest ustalana przez operatora, oraz narzędzia do przeszukiwania zapisanych plików. Daje to możliwość szybkiego i łatwego odnalezienia charakterystycznych fragmentów przebiegów sił, czy też zdefiniowanych zdarzeń (np. przekroczenie krytycznej wartości siły czy temperatury na danej operacji). Możliwe jest także ich porównywanie dla poszczególnych operacji. Program umożliwia także zapis wyników do pliku tekstowego oraz tworzenia wykresów w programie Excel (rys. 3).



Rys. 3. Panele z systemu pomiarowego: a) menu główne programu, b) menu z filtrami

### 1.3. Wykorzystanie systemu

Prowadzone badania z wykorzystaniem zbudowanego systemu pomiarowo-kontrolnego pozwoliły na analizę sił kucia podczas poszczególnych operacji na początku i pod koniec procesu kucia (po kilkunastu godzinach pracy narzędzi), oraz na ich porównanie z przebiegami sił uzyskanymi z symulacji MES (rys. 4).



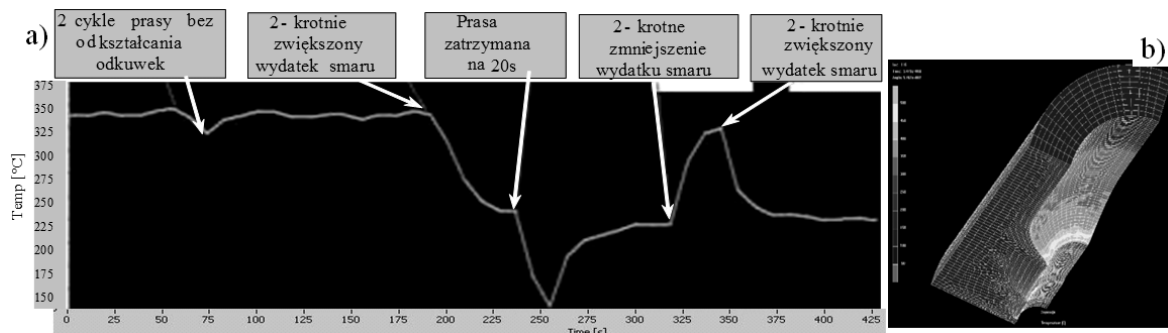
Rys. 4. Porównanie przebiegu sił uzyskanych podczas pomiaru (na początku „I” i po kilkunastu godzinach ciągłej pracy prasy „II”) oraz modelowania numerycznego „kolor zielony” dla: a) I operacji kucia, b) II operacji, c) III operacji kucia oraz d) IV operacji kucia

W przypadku porównania sił kucia z MES i systemu pomiarowego można zauważyć duże podobieństwo w charakterze kształtu krzywych, zwłaszcza dla charakterystycznych punktów odpowiadających kolejnym stopniom redukcji przekroju. Pewne różnice mogą wynikać z niedostrojenia w pełni modelu numerycznego wynikającego z różnych warunków trybologicznych. W modelu MES przyjęto stałe wartości współczynników tarcia, w procesie przemysłowym siły tarcia ulegają zmianom. Obecnie prowadzone są prace w celu zoptymalizowania modelu numerycznego do

rzeczywistego procesu przemysłowego. Dotyczy to m.in. wyznaczenia dokładniejszych wartości współczynnika tarcia, oraz jego zmienności w czasie procesu.

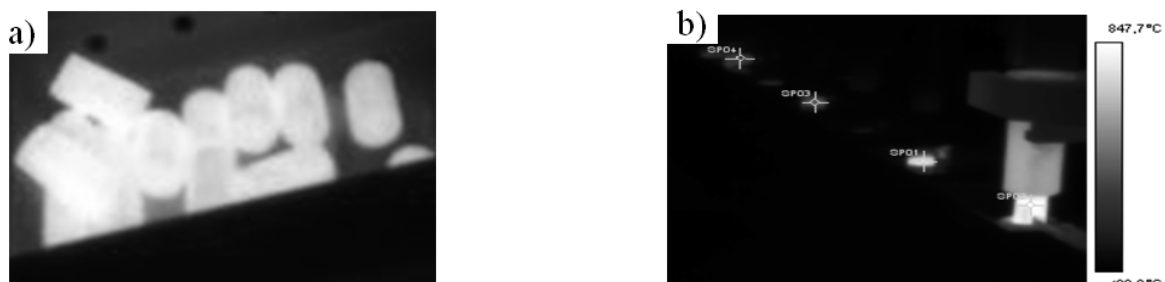
Z kolei analizując przebiegi sił dla poszczególnych operacji zarejestrowanych przez system w czasie kilkunastu godzin można zauważyć, że maksymalne „parabole” występują na początku procesu (stan ustalony, po 20 min kucia), zaś minimalne wartości sił pod koniec kucia. Zakładając, że cały proces przebiegał bez zakłóceń obniżenie siły może wskazywać na systematyczne zużywanie się narzędzi. Potwierdziły to pomiary powierzchni wykrojów matryc po kuciu przy użyciu skanera optycznego, analizy statystyczne trwałości narzędzi, badania mikrostrukturalne.

Interesujące, zwłaszcza dla operatorów prasy przemysłowej okazały się wyniki badań dotyczące wpływu ilości środka smarnego na zmianę temperatury narzędzi. W analizowanym procesie kucia przegubów homokinetycznych jako środek smarny stosowana jest mieszanina wodno-grafitowa. W celu pomiaru temperatury narzędzi w trakcie procesu kucia skonstruowano specjalne zestawy narzędzi z otworem, w który 4 mm pod powierzchnią narzędzia wprowadzana była termopara.



Rys. 5. Wykres zmiany temperatury w analizowanym procesie kucia: a) przebieg zmiany temperatury w trakcie procesu kucia przegubów homokinetycznych, b) termomechaniczny model MES dla 2 operacji

Za jej pomocą mierzono rzeczywistą temperaturę narzędzi w trakcie kucia. Prowadzone pomiary rzeczywistej temperatury narzędzi przy wykorzystaniu systemu pomiarowego oraz termopar wprowadzonych do matryc poprzez specjalny rowek wykazały, że wiele czynników wpływa na temperaturę narzędzi podczas procesu kucia (rys. 5a). Dwukrotne zwiększenie wydatku mieszaniny smarującej powoduje spadek temperatury o około 100 °C. Zatrzymanie prasy na 20 sekund dalszy spadek o około 100 °C. Przerwa na czas odkucia dwóch odkuwek wywołuje spadek o 20 °C. Uzyskane wyniki pozwoliły operatorom prasy na dobór optymalnej ilości i czasu podawania środka smarnego w procesie kucia tak, aby zminimalizować „szok termiczny” powodujący zmęczenie cieplno-mechaniczne narzędzi. Racjonalizacja warunków chłodzenia i smarowania w efekcie przyniosła zwiększenie trwałości matryc. Ponadto badania z wykorzystaniem termopar pozwoliły na zweryfikowanie wymiany ciepła w modelowaniu MES dla matrycy w II operacji kucia odkuwki przegubu homokinetycznego (rys. 5b). Realizowano także badania z wykorzystaniem rejestracji temperatury odkuwek i przedkuwek za pomocą pirometrów, a także kamery termowizyjnej (rys. 6).



Rys. 6. Pomiar temperatury: a) widok odrzuconych wstępniaków, b) termogram z komory prasy – widok nagrzanych wykrojów matryc oraz przedkuwki.

Badania te pozwoliły na poprawne określenie temperatury „odrzuconych” wstępniaków ze względu na niewłaściwą temperaturę oraz zweryfikowanie temperatury pracy narzędzi i poszczególnych przedkuwek w modelowaniu numerycznym procesu kucia.

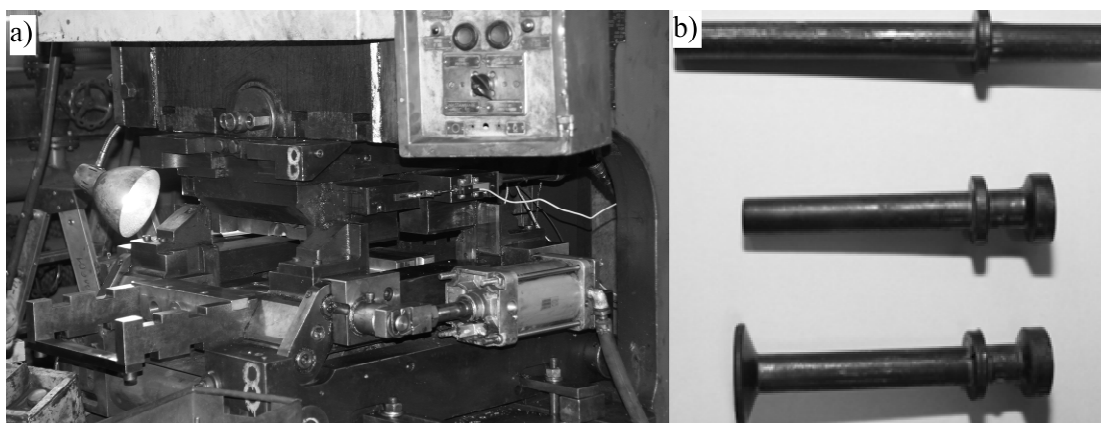
#### 1.4. Rozbudowa systemu

Obecnie planuje się rozbudowę systemu o bezprzewodowe panele operatorskie wyświetlające w czasie rzeczywistym parametry procesu oraz przebiegi rejestrowanych sygnałów z czujników. Ponadto dodany zostanie system zdalnej konfiguracji i sterowania pracą komputera za pośrednictwem telefonu komórkowego i wiadomości SMS oraz sieci Internet. Dwukierunkowa komunikacja z użytkownikiem pozwoli na natychmiastowe powiadomienie osób odpowiedzialnych za poprawną pracę prasy o nieprawidłowościach i przekazanie raportów z danego okresu pracy.

## 2. Proces kucia zaczepów do przenoszenia płyt betonowych

### 2.1. Opis procesu

Zaczep typu P 1,3T (element mocowany do płyt betonowych umożliwiający ich przenoszenie na budowach) kuty jest z pręta na gorąco (temperatura wstępniaków wynosiła około 1100 °C) w 3 operacjach na prasie mimośrodowej PMS 160B (rys.7a) w przyrządach typu TR (rys. 7b). Na rys. 7c przedstawiono wyrób końcowy oraz poszczególne wstępniaki. Na rys. 8 przedstawiono narzędzia dla 2 i 3 operacji kucia. Stemple i wkładki matrycowe wykonane są ze stali WCL oraz ORVAR SUPREME (WCLV).



Rys. 7. Stanowisko do kucia zaczepów: a) widok przyrządu TR, c) wyrób końcowy wraz z przedkuwkami.

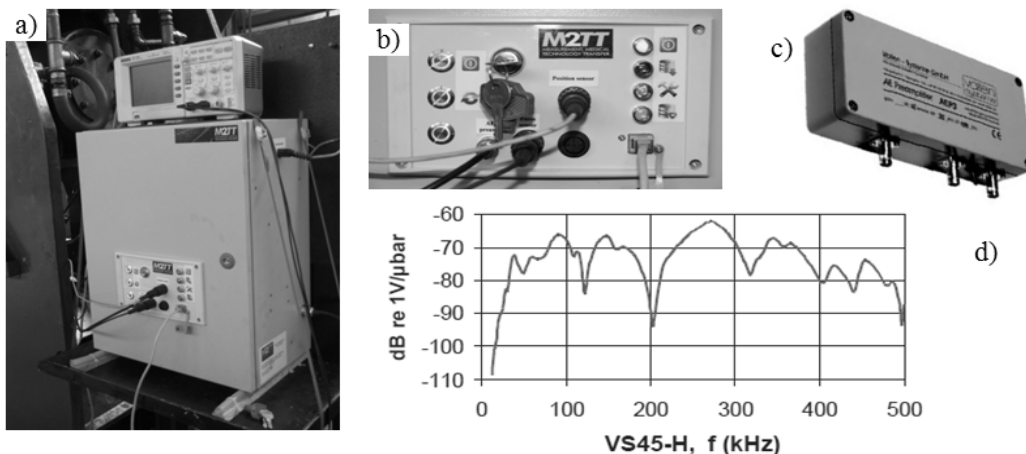


Rys. 8. Narzędzia do kucia zaczepów: a) matryce do 2 operacji b) matryce do 3 operacji, c) stemple i wkładki matrycowe.

c) stempel do 2 i 3 operacji z czujnikiem AE

## 2.2. Opis systemu kontrolno-pomiarowego

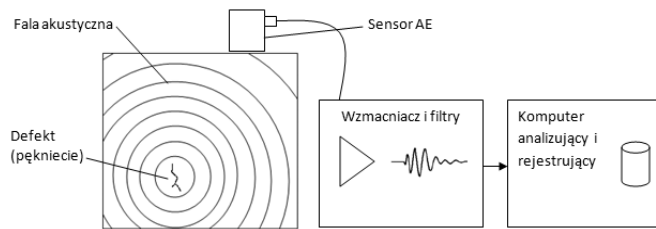
System pomiarowy zbudowany został w celu pełnego monitoringu procesu kucia zaczepu (pomiar siły w funkcji czasu i przemieszczenia skorelowanego z pomiarem temperatury narzędzi, oraz sygnału emisji akustycznej). Zaprojektowany i wykonany przez autorów system pomiarowy zainstalowany został na specjalnie przygotowanym w tym celu stanowisku laboratoryjnym (w INOP w Poznaniu), na którym możliwa jest realizacja procesu kucia w warunkach półprzemysłowych. Dzięki temu autorzy zdecydowali się wykorzystać system do pionierskich badań sygnału emisji akustycznej pozwalającej na określenie zużycia narzędzi (stemple dla 2 i 3 operacji wyposażono w czujniki AE, rys. 8c). Komputer przemysłowy, zaprojektowany i zoptymalizowany pod kątem tego typu badań, wyposażony jest w czterordzeniowy procesor, 2GB szybkiej pamięci operacyjnej, dyski twarde o łącznej pojemności 2TB oraz moduły analogowe współpracujące bezpośrednio z podłączonymi czujnikami. Do komputera podłączone są 4 czujniki. Czujnik temperatury (termopara płaszczowa typu K,  $d=0.5$  mm) umieszczony w stemple, czujnik położenia (zamontowany na przyrządzie kuźniczym, czujnik rejestrujący siłę spęczania (K-180, Nordic Transducer) oraz szerokopasmowy czujnik emisji akustycznej (VS45-H, Vallene). Czujnik ten rejestruje emisje akustyczną w paśmie 20 kHz do 450 kHz. Czujnik podłączony jest do przedwzmacniacza AEP3 (Vallen, rys. 9b) o konfigurowalnym wzmacnieniu w zakresie 34-49 dB i filtrach pasmowo-przepustowych o dobieranych charakterystykach.



Rys.9. Komputer przemysłowy: a) widok zainstalowanego urządzenia, b) panel czołowy, c) wzmacniacz AEP3 oraz d) charakterystyka czujnika emisji akustycznej VS45-H z rysunku 7c

Zjawisko emisji akustycznej AE jest powszechnie wykorzystywane do badań nieniszczących. Fala sprężysta powstająca w wyniku lokalnej i dynamicznej zmiany stanu energetycznego wywołanego np. przez naruszenie struktury materiału może być rejestrowana na jego powierzchni za pomocą sensora emisji akustycznej. Zakres generowanych częstotliwości jest dość szeroki i rozciąga się od dziesiątek kiloherców do megaherców [2, 3, 5, 10]. Stosowanie piezoelektrycznych czujników AE pozwala na rejestrację fali sprężystej i jej zamianę na sygnał elektryczny. Zastosowanie kilku czujników AE pozwala, na podstawie analizy czasu przybycia fali do kolejnych czujników, określić miejsce z którego fala została wyemitowana (rys. 10).





Rys. 10. Dynamicznie powstający defekt (mikropęknięcie) powoduje powstanie fali sprężystej, która jest rejestrowana przez czujnik AE. Sygnał z czujnika po wzmacnieniu trafia do komputera rejestrującego.

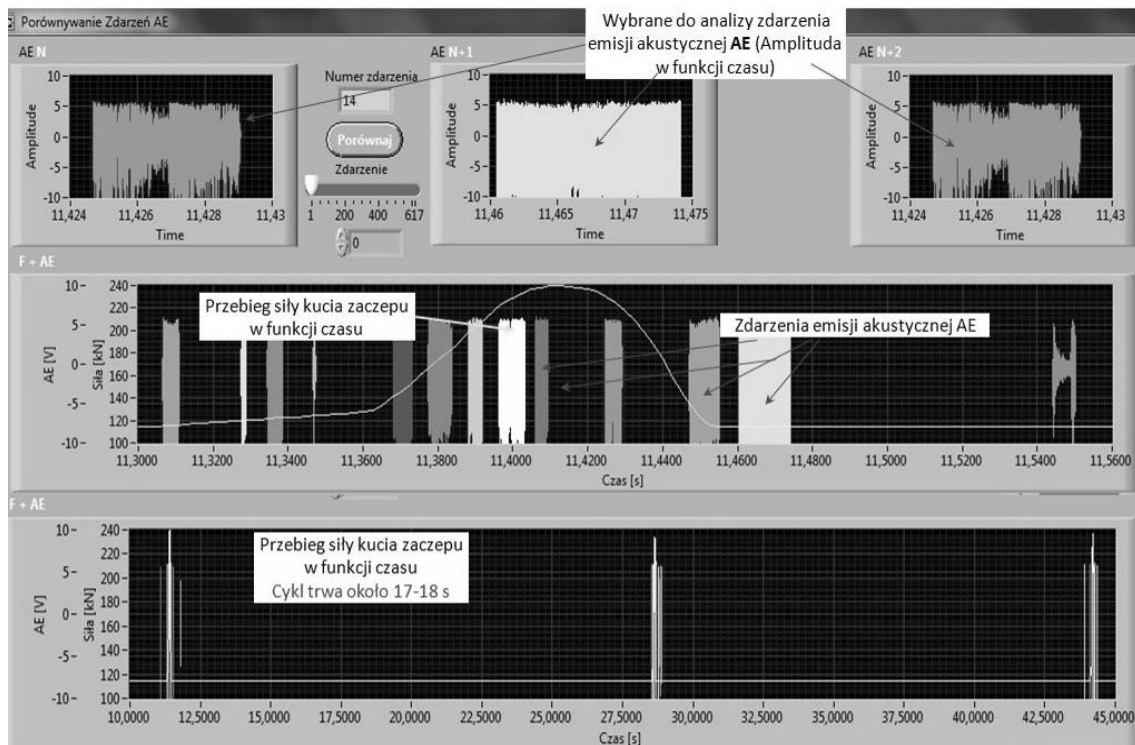
Aplikacja pracująca i zarządzająca komputerem analizuje w czasie rzeczywistym sygnał emisji akustycznej (AE). Zapis na dyskach rozpoczyna się w momencie, gdy wartość napięcia z toru czujnika AE przekroczy ustaloną wartość progową, a kończy gdy napięcie spadnie poniżej wartości tego progu. Uwzględniany jest także pewien czas przed i po zdarzeniu, który również jest zapisywany. Takie rozwiązanie pozwala zaoszczędzić miejsce na dyskach twardej przy zapisaniu całej dostępnej informacji. Zapamiętywany jest czas trwania zdarzenia AE, jego początek (licząc od momentu włączenia systemu). Pozwala to na późniejsze skorelowanie zdarzeń AE z przebiegami sił, temperatury i położenia. Dzięki dużej mocy obliczeniowej komputera możliwa jest analiza sygnałów AE oraz pozostałych czujników i podejmowanie decyzji wpływających na trwałość maszyny i zapobiegających produkcji elementów o niskiej jakości [3].

Także dla procesu kucia zaczepów została opracowana specjalna aplikacja w środowisku LabVIEW (do obsługi danych z systemu) wyposażona w specjalistyczne filtry, dająca możliwość przeszukiwania całego zapisanego pliku w celu szybkiego i łatwego odnalezienia zdefiniowanych zdarzeń (przekroczenie wartości siły na danej operacji, przekroczenie wartości temperatury). Program pozwala także na możliwość zapisu wyników do pliku tekstowego. Obsługa tego wirtualnego narzędzia następuje poprzez zmianę poszczególnych paneli użytkownika oraz pozycji regulatorów i przełączników przy użyciu klawiatury lub myszki komputerowej (rys. 11).



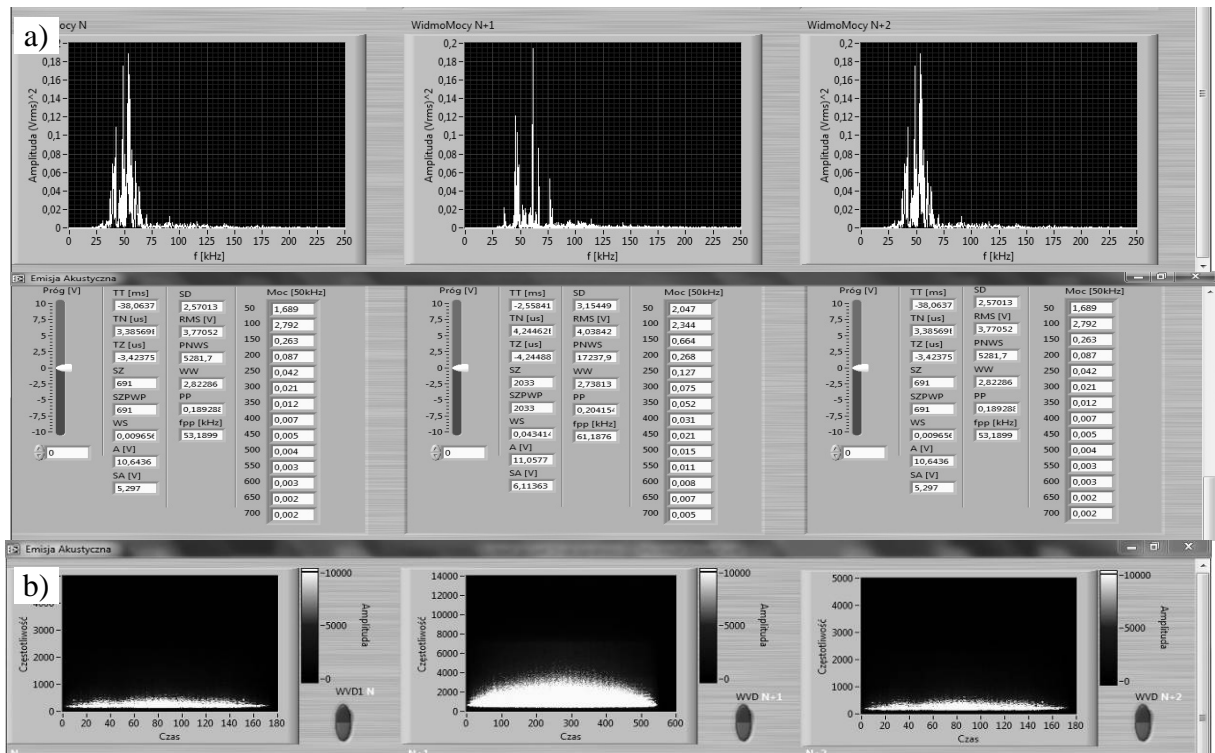
Rys. 11. Widok głównego frontpanelu z aplikacji do podglądu siły w funkcji czasu/przemieszczenia oraz widok panelu do analizy wybranych wielkości z wykorzystaniem filtracji sygnału.

Aplikacja została wyposażona w możliwość wyboru zdarzeń AE skorelowanych z siłą i temperaturą (rys. 12).



Rys. 12. Widok głównego panelu do analizy i wyboru zdarzeń emisji akustycznej

W celu wnikliwszej analizy sygnału AE aplikacja uzupełniona została o możliwość wyznaczania dla 3 wybranych zdarzeń AE dwóch bardzo cennych parametrów: widma mocy (rys. 13a) oraz transformatę Wignera Villego (rys.13b) oraz filtrowania poszczególnych sygnałów.

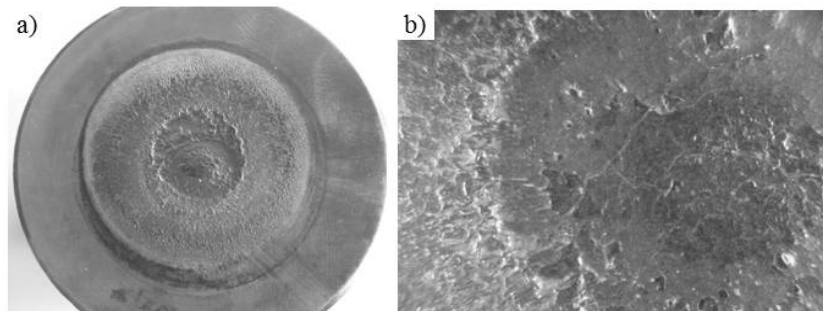


Rys. 13. a) Widok głównego panelu z aplikacji do wyznaczania widma mocy sygnału, b) widok panelu do porównania transformaty Wignera Villego z wykorzystaniem filtracji sygnału

Widmo mocy pozwala określić częstotliwości występowania zdarzenia AE dla maksymalnych wartości amplitud sygnału RMS, z kolei *transformata Wignera Villego* pozwala na oszacowanie długości trwania zdarzenia AE dla określonych częstotliwości sygnału (np. czasu rozchodzenia fali w pękniętym narzędziu).

### 2.3. Wykorzystanie systemu

Prowadzone obecnie badania dotyczą możliwości wykorzystania systemu pomiarowego do analizy AE dla stempli 2 i 3 operacji, gdyż dla tych narzędzi obserwowane jest zjawisko zmęczenia cieplno-mechanicznego (rys. 14). Średnia żywotności stempli dla tych operacji wynosi 10÷12 tys. sztuk, po czym następuje ich regenerowanie (planowanie czoła 2mm).



Rys. 14. Widok zużytego stempla do kucia łba stożkowego po wykonaniu 14 tys. odkuwek: a) widok makro, b) powiększenie z widokiem na zużycie cieplno-mechaniczne najbardziej zniszczonej części czołowej narzędzia

Analizowanie sygnału AE jest trudnym i żmudnym zadaniem. Ponieważ każdemu procesowi produkcyjnemu w warunkach rzeczywistych towarzyszą, zdarzenia które mogą powodować powstanie fali sprężystej w otoczeniu czujnika AE. Są to różnego rodzaju uderzenia narzędzi, przepływy płynów w maszynie, drgania elementów maszyny itp. W układach rzeczywistych, oprócz wymienionych sygnałów zakłócających, wiele jest też innych źródeł emisji akustycznej. Do czujnika zamocowanego do powierzchni stempla docierają fale sprężyste mające swoje źródło w innych częściach maszyny oraz w obrabianym materiale. W tym celu konieczne jest dobre poznanie pod kątem akustycznym maszyny i jej otoczenia. W celu eliminacji zakłóceń stosowane są różne rozwiązania jak filtracja pasmowo przepustowa pozwalająca rejestrować sygnały AE o określonym zakresie częstotliwościowym, rejestracja progowa polegająca na zapisie sygnału pochodzącego do czujnika AE tylko w czasie kiedy wartość napięcia przekracza pewien ustalony próg. Dlatego pierwszym etapem badań jest rozpoznanie poszczególnych zdarzeń AE (rys. 13) pochodzących od znanych zjawisk i elementów (np. zakłócenia wynikające z pracy prasy, włożenie wstępniaka do matrycy, zamknięcie i otwarcie przyrządu, itp.). Po zidentyfikowaniu większości zdarzeń emisji akustycznej możliwe jest przeszukiwanie sygnału i rozpoznawanie nowo pojawiających się zdarzeń, a następnie zmiana czujnika szerokopasmowego na rezonansowy. Zawężenie częstotliwości sygnału pozwoli na zwiększenie czułości pomiaru, a tym samym na ustalenie zdarzeń świadczących o mikropęknięciach materiału stempla lub jego zużyciu się.

### 3. Podsumowanie

Przedstawione w pracy systemy pomiarowo-kontrolne pozwalają na monitorowanie wybranych parametrów przemysłowych procesów wytwarzania. W przypadku przemysłowych procesów kucia najbardziej istotnymi parametrami są: siły kucia w funkcji czasu/przemieszczenia oraz temperatura narzędzi i wstępniaków. Zaprojektowane i zbudowane przez autorów systemy umożliwiają pomiar, archiwizację oraz zaawansowaną analizę wymienionych (skorelowanych ze sobą) wielkości. Dodatkowo jeden z systemów wykorzystuje pomiar sygnału akustycznego AE w celu określenia zużycia narzędzi. Jest to

rozwiązanie innowacyjne. Prezentowane systemy zbudowane są z komputera przemysłowego, oraz odpowiednich czujników. Ich powstanie było możliwe w wyniku wnikliwej analizy przemysłowych procesów kucia (sił kucia, rozkładu odkształceń, temperatury narzędzi i wstępniaków). Ich zastosowanie przyczyni się do poprawy warunków eksploatacji pras i zwiększenia trwałości narzędzi. Drugim aspektem wykorzystania tego typu systemów jest możliwość weryfikacji prowadzonego równolegle modelowania numerycznego procesów, ze szczególnym uwzględnieniem trwałości narzędzi. Zestawienie pomiarów sygnału AE z warunkami pracy pozwoli na pełniejsze wykorzystanie możliwości materiałów narzędziowych do określonych zastosowań.

Badania zrealizowano w ramach projektu nr WND-POIG.01.03.01-02-161/09 „Kompleksowy system ekspertowy do optymalizacji trwałości narzędzi w procesach kucia”, Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka, dodatkowo wykorzystano programy MARC i ProEngineer Wrocławskiego Centrum Sietciowo-Superkomputerowego.

### Literature

1. ASM Metals Handbook volume 14, Forming and forging, 337-338.
2. Bertrand J. Emisja akustyczna źródła metody zastosowania. Wydawnictwo Pascal Warszawa, 1994.
3. Christian U. Grosse, Masayasu O. Acoustic emission testing basics for research. Applications and Civil Engineering, Springer; 1 edition, 2008.
4. Doege E. Bohnsack R. Closed die technologies for hot forging. Journal of Materials Processing Technology 2000; Vol. 98: 165-170
5. Głowacz A. Głowacz Z. Diagnostics of Induction Motor Based on Analysis of Acoustic Signals with Application of FFT and Classifier Based on Words. Archives of Metallurgy and Materials 2010; Vol. 55; No. 3: 707-712.
6. Gontarz A. Myszak R. Forming of External Steps of Shafts in Three Slide Forging Press. Archives of Metallurgy and Materials 2010; Vol. 55; No. 3: 659-664.
7. Gronostajski Z. Hawryluk M. The main aspects of precision forging. Archives of Civil and Mechanical Engineering 2008; Vol. 8, No. 2: 39-56.
8. Hojny M. Application of an integrated CAD/CAM/CAE/IBC system in the stamping process of a bathtub 1200 S. Archives of Metallurgy and Materials 2010; Vol. 55; No. 3: 713–723.
9. Hyrcza-Michalska M, Rojek J, Fruitos O. Numerical simulation of car body elements pressing applying tailor welded blanks - practical verification of results. Archives of Civil and Mechanical Engineering 2010; Vol. 10; No. 4: 31-44.
10. Islam El-galy, Bernd-Arno B. Online monitoring of hot die forging processes using acoustic emission (part i). J. Acoustic Emission 2008; Vol. 26: 208-218.

11. Kocańda A, Czyżewski P, Khedheyer H. Mehdi. Numerical analysis of lateral forces in a die for turbine blade forging. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 2009; Vol. 9; No. 2: 49-54.
12. Neugebauer R, Bräunlich H, Scheffler S. Process monitoring and closed loop controlled process. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 2009; Vol. 9; No. 2: 105-126.
13. Pietrzyk M, Madej Ł, Rauch Ł, Gołąb R. Multiscale modeling of microstructure evolution during laminar cooling of hot rolled DP steels. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 2010; Vol. 10; No. 4: 57-67.
14. Presz W. Cacko R. Analysis of the influence of a rivet stress distribution on the micro-SPR joint – initial approach. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 2010; Vol. 10; No. 4: 69-75.
15. Trzepieciński T. 3D Elasto-plastic fem analysis of the sheet drawing of anisotropic steel sheet metals. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 2010; Vol. 10; No. 4: 95-106.
16. Vazquez V, Altan T. Die design for flashless forging of complex parts. *Journal of Materials Processing Technology* 2000; Vol. 98; No. 2: 81-89.
17. Vazquez V, Altan T. New concepts in die design — physical and computer modeling applications. *Journal of Materials Processing Technology* 2000; Vol. 98; No. 2: 212-223.
18. Yoshimura H, Tanaka K. Precision forging of aluminum and steel. *Journal of Materials Processing Technology* 2000; Vol. 98; No. 2: 196-204.