ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1995
Seria: TRANSPORT z. 27 Nr kol. 1295

**Jan Kosmol, Andrzej Sokołowski**

# UKŁAD NADZORUJĄCY OBRÓBKĘ ZESTAWÓW KOLEJOWYCH

**Streszczenie.** W referacie omówiono najważniejsze zakłócenia jakie obserwuje się podczas obróbki zestawów kolejowych na tokarce. Zakłócenia te istotnie wpływają na wydajność i jakość obróbki. Przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych sił skrawania podczas toczenia zestawów kolejowych w obecności wymienionych zakłóceń. Na tej podstawie sformułowano wniosek o konieczności automatycznego nadzorowania procesu obróbki i zaproponowano schemat układu adaptacyjno-nadzorującego w oparciu o pomiar sił i prądów silników posuwowych.

# SUPERVISION SYSTEM FOR WHEEL-SET MACHINING

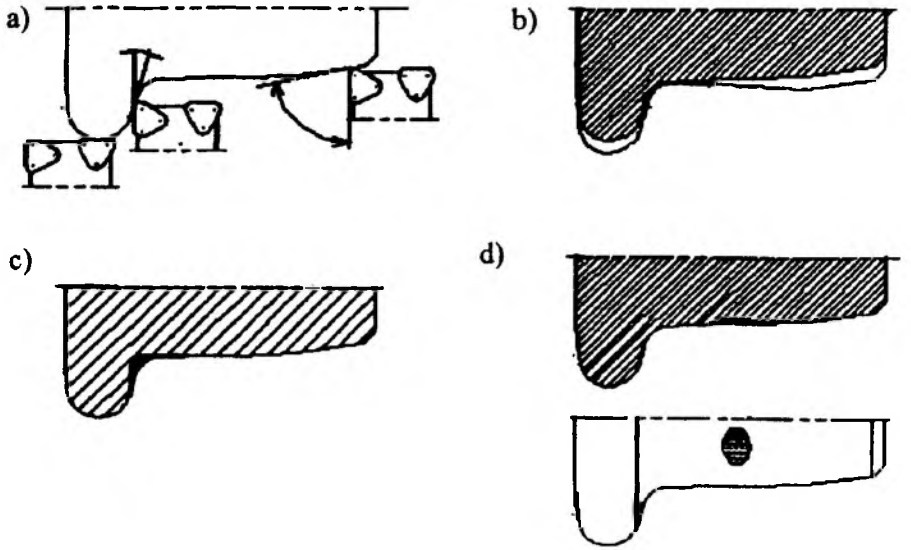
**Summary.** The main disturbances occurring during wheel-set machining are discussed in the paper. Assessment of the disturbance is performed from a point of view of their influence on the quality and productivity of machining. Cutting force and feed motor current measurements are assumed as a base for such an assessment. The paper is summarised with a scheme of a system proposed for supervising wheel-set machining.

## 1. WPROWADZENIE

Obróbka skrawaniem zestawów kolejowych należy do jednej z najtrudniejszych. Pomimo iż produkcja tych zestawów posiada charakter wielkoseryjny, zmienność warunków skrawania jest na tyle znaczna, iż upodabnia się ona (pod tym względem) do produkcji jednostkowej. Dotyczy to zwłaszcza obróbki zestawów kolejowych przeznaczonych do regeneracji. Obróbka

zestawów kolejowych odbywa się albo w wyniku kopiowania albo na tokarkach nowej generacji sterowanych numerycznie.

Analiza możliwych zakłóceń pojawiających się podczas obróbki bieżni zestawów kolejowych prowadzi do następujących wniosków:

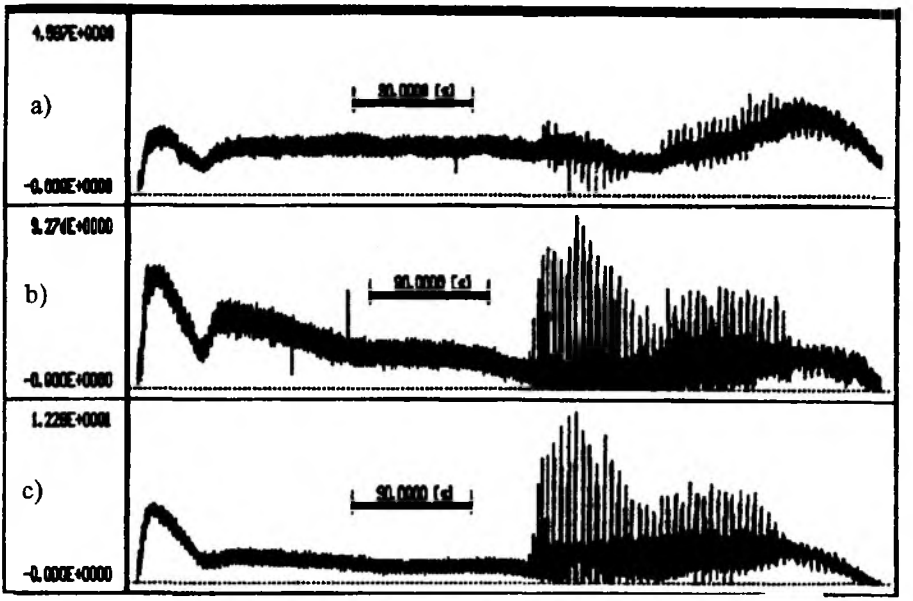



Rys.1. Typowe zakłócenia podczas obróbki zestawów kolejowych: a) zmienność geometrii skrawania, b) zmienność głębokości wskutek nierównomiernego zużycia bieżni, c) miejsca regenerowane przez napawanie, d) lokalne utwardzenia

Fig.1. Typical disturbances during wheel-set machining: a) changes of cutting geometry, b) changes of depth of cut caused by nonequal wear of wheel truck, c) area regenerated by welding, d) locally hardened area.

- wzdłuż obrabianego profilu bieżni koła występuje znaczne zróżnicowanie geometrii skrawania (głównie kąta przystawienia $\kappa$ i $\kappa_1$), spowodowane kształtem obrabianej powierzchni (rys. 1a) (kąt $\kappa$ zmienia się w granicach 30° - 90°),
- wzdłuż obrabianego profilu bieżni zestawu kolejowego pojawiają się znaczne wahania głębokości skrawania, spowodowane nierównomiernie rozłożonym naddatkiem (zestawy nowe) oraz silnie zróżnicowanym stopniem zużycia bieżni koła (zestawy zużyte przeznaczone do regeneracji) - rys. 1b)),
- wzdłuż profilu bieżni koła występują obszary o odmiennej strukturze materiału rodzimego; dotyczy to miejsc regenerowanych poprzez napawanie (rys. 1c)),
- wzdłuż obrabianego profilu bieżni koła występują znacznie zróżnicowane twardości materiału rodzimego, mające charakter lokalnych utwardzeń (dotyczy zestawów kolejowych zużytych (rys. 1d)). Przyczyną tych utwardzeń jest poślizg koła jezdnego na szynie i lokalne zahartowanie bieżni koła.

Wymienione potencjalne zakłócenia występujące przy obróbce zestawów kolejowych stanowiły podstawę do przyjęcia tezy, iż obróbka zestawów kolejowych (zwłaszcza zużytych) powinna odbywać się pod nadrzędną kontrolą układów zapewniających optymalne bądź dopuszczalne w danych warunkach parametry. Taką rolę mogą spełniać układy sterowania adaptacyjnego i układy nadzorujące.



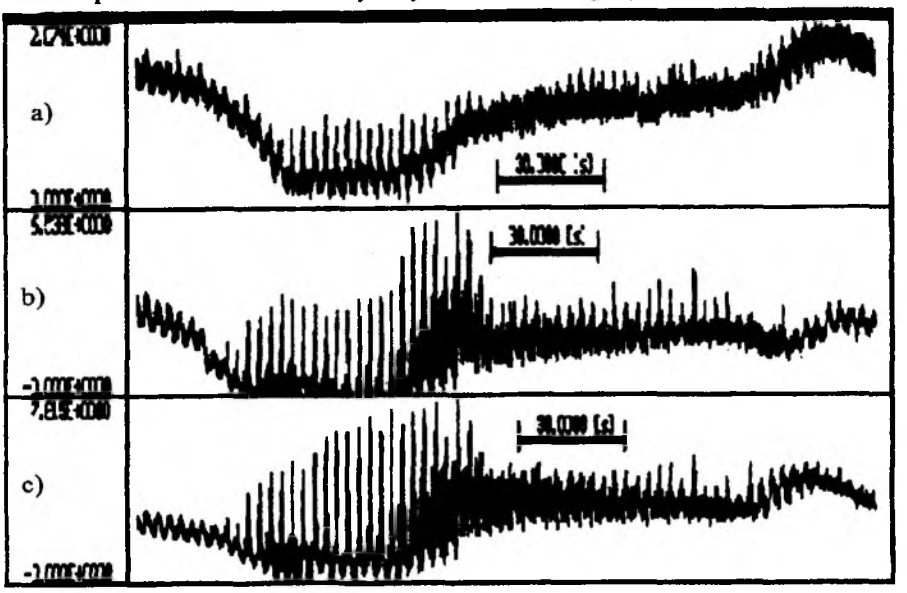

Rys.2. Przykładowe zmiany prądu silnika posuwowego a) i siły skrawania: b) składowej głównej i c) posuwowej wzdłuż profilu toczonego zestawu kolejowego
Fig.2. Examples of feed motor current (a) and main (b) and feed (c) cutting force components recorded during machining of the profile of wheel-set.

Zasadnicze pytanie, jakie się pojawia, dotyczy ogólnie rozumianej strategii sterowania, a zwłaszcza wyboru wielkości mierzonych i sterowanych. W świetle wymienionych, potencjalnych zakłóceń jest to problem o tyle trudny, że brakuje informacji o funkcjonalnych zależnościach pomiędzy niektórymi zakłóceniami, a potencjalnymi wielkościami mierzonymi i sterowanymi. Dlatego przeprowadzenie wstępnej eksperymentalnej identyfikacji procesu obróbki zestawów kolejowych wydaje się warunkiem koniecznym do opracowania odpowiedniej strategii sterowania.

## 2. BADANIA IDENTYFIKACYJNE SIŁ SKRAWANIA PRZY TOCZENIU ZESTAWÓW

W Instytucie Budowy Maszyn prowadzone były prace [1], [2], [3] nad opracowaniem układu sterowania adaptacyjnego i nadzorującego proces toczenia zestawów kolejowych na tokarkach typu UDA-112N. W ramach opracowywania założeń przyjęto hipotetycznie, że ocenę przebiegu obróbki umożliwia pomiar siły skrawania. Założenie takie nie jest całkowicie bezpodstawne, jednakże uznano, iż powinno zostać zweryfikowane eksperymentalnie. W tym celu przeprowadzono szerokie badania eksperymentalne [3] w warunkach przemysłowych,

bez przerywania toku produkcji. Badania polegały na pomiarach trzech składowych siły skrawania podczas toczenia losowo wybranych zestawów kolejowych



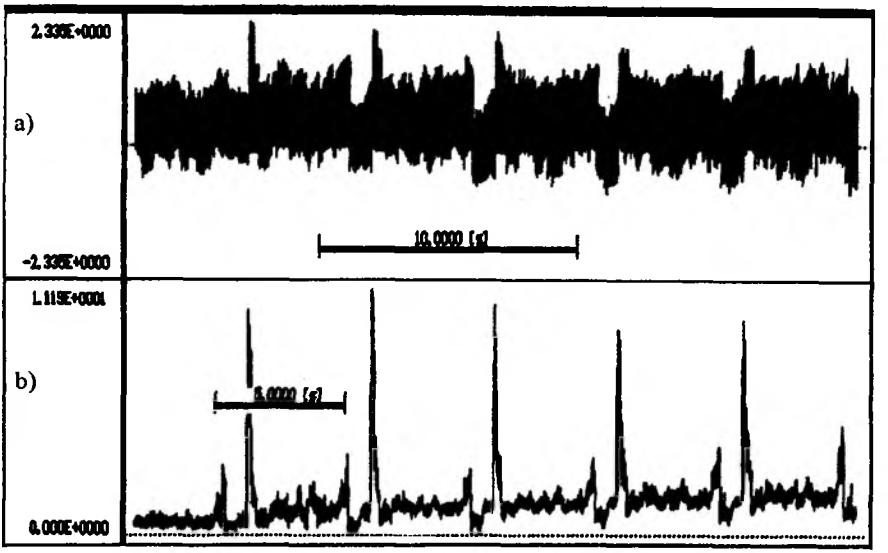

Rys.3. Przykładowe przebiegi prądu silnika posuwu a), składowej głównej b) i składowej posuwowej c) siły skrawania podczas toczenia miejsc regenerowanych przez napawanie
Fig.3. Examples of feed motor current (a) and main (b) and feed (c) cutting force components recorded during machining of areas regenerated by welding

z bieżącej produkcji. Badania przebiegały w warunkach ustalonych przez proces technologiczny obróbki zestawów kolejowych. Tym samym można uznać, że warunki skrawania odpowiadały typowym warunkom pracy w Zakładach Naprawczych Taboru Kolejowego.

Wyniki tych badań posiadają więc charakter identyfikacji procesu toczenia zestawów kolejowych przez pryzmat sił skrawania i mogą być uogólniane na wszystkie zestawy kolejowe. Zakres przeprowadzonych badań był na tyle szeroki, by objąć wszystkie najczęściej występujące zakłócenia. Na rys. 2 , 3 i 4 przedstawiono przykładowe oscylogramy z pomiaru sił skrawania dla przejścia zgrubnego. Przykłady te wskazują na znaczną zmienność sił skrawania przy toczeniu zestawów kolejowych i dobrze obrazują ogólny wynik badań.

## 3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ SIŁ SKRAWANIA PRZY TOCZENIU ZESTAWÓW

Dla zobiektywizowania wyników badań poddano je obróbce statystycznej według klasycznych wskaźników jakości, jak: średnia z próby, odchylenie standardowe od średniej,

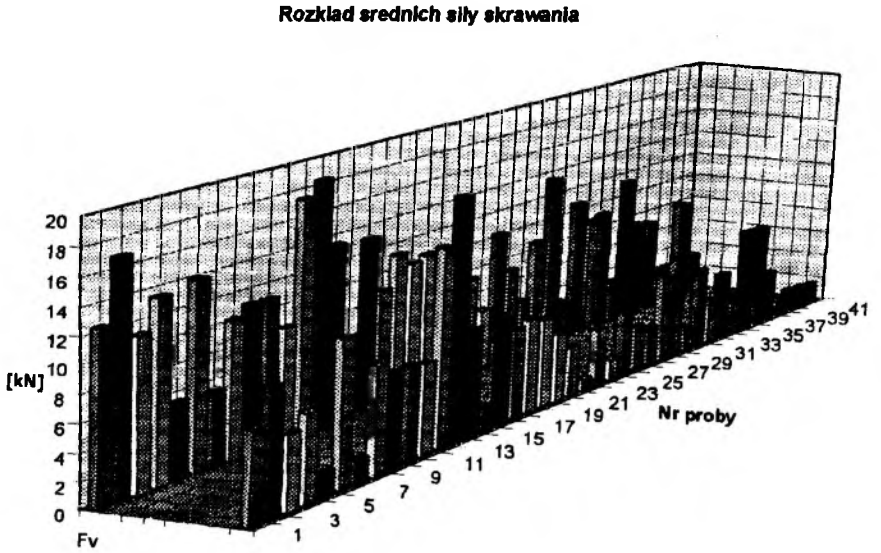



Rys.4. Przykładowy przebieg prądu silnika posuwowego a) i składowej posuwowej siły skrawania b) podczas skrawania lokalnych utwardzeń

Fig.4. Examples of feed motor current (a) and feed component of cutting force (b) recorded during machining of locally hardened areas.

wartość maksymalna z próby, trend. Ocenę statystyczną przeprowadzono w odniesieniu zarówno do pojedynczego przebiegu (dla jednego przebiegu, po dyskretyzacji uzyskiwano 5000 do 7000 punktów pomiarowych), jak i w odniesieniu do wszystkich prób. Na rys. 5 przedstawiono przykładowo rozkład średnich sił (głównej, posuwowej) wyznaczonych dla każdej z 41 prób skrawaniowych.

Wykres ten obrazuje, z jakim statystycznie zakresem zmian średniej siły skrawania należy się liczyć, poddając obróbce losowo wybrany zestaw kolejowy. Stosunek największej wartości średniej do najmniejszej mieści się w zakresie 10:1 (w zależności od składowej siły).



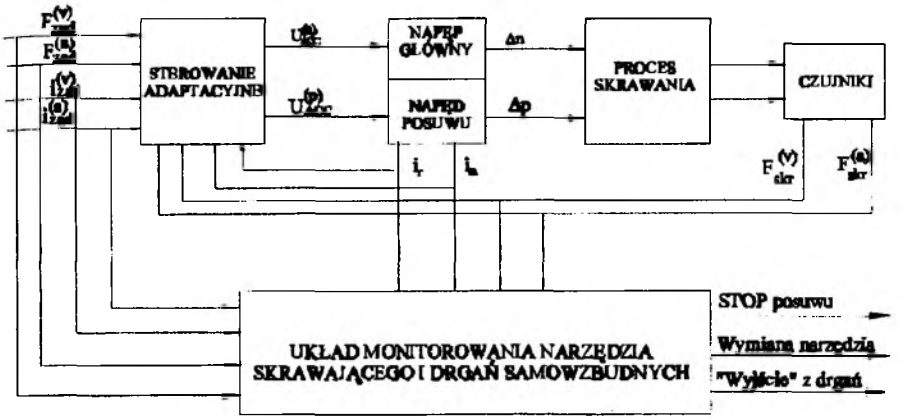

Rys.5. Rozkład średnich wartości składowych: głównej i posuwowej siły skrawania z 41 prób skrawaniowych

Fig.5. The distribution of average values of main and feed components of cutting force obtained from 41 cutting tests

## 4. STRATEGIA STEROWANIA PROCESEM TOCZENIA ZESTAWÓW KOLEJOWYCH

Przeprowadzone badania wykazały, że proces toczenia zestawów kolejowych odbywa się w warunkach szerokich zmian warunków skrawania. Zmienność warunków oceniana przez pryzmat sił skrawania statystycznie jest większa niż 1:4. Obróbce zestawów kolejowych towarzyszą zarówno silne wahania składowej wolnozmiennej siły skrawania (potencjalne uzasadnienie celowości zastosowania sterowania adaptacyjnego), jak i zmiany o charakterze impulsowym. Skrawanie lokalnych utwardzeń i miejsc napawanych jest najczęstszą przyczyną przyspieszonego zużycia płytek ostrzowych ( potencjalne uzasadnienie celowości zastosowania układu nadzorującego). Badania wykazały również, że niezwykle częstym przypadkiem jest pojawienie się drgań samowzbudnych. Zarówno w przypadku pojawiania się drgań samowzbudnych, jak i toczenia lokalnych utwardzeń i miejsc napawanych niezbędna okazywała się ingerencja operatora w celu zmniejszenia parametrów obróbkowych. W przeciwnym przypadku następowało wykruszenie lub wyłamanie płytki ostrzowej.

W świetle powyższych wniosków wydaje się, iż proces toczenia zestawów kolejowych powinien przebiegać pod nadzorem układu adaptacyjno-nadzorującego, którego schemat blokowy przedstawiono na rys. 6.




Rys.6. Schemat blokowy układu nadzorującego skrawanie zestawów kolejowych: $F^{(v)}$, $F^{(a)}$ - składowe siły skrawania, $i^{(r)}$, $i^{(a)}$ - prąd silników posuwowych, $U^{(n)}$, $U^{(p)}$ - sygnały wyjściowe z układu sterowania adaptacyjnego sterujące prędkością wrzeciona i posuwem, $\Delta n$ - zmiana prędkości wrzeciona, $\Delta p$ - zmiana posuwu

Fig.6. The block diagram of supervision system for wheel-set machining: $F^{(v)}$, $F^{(a)}$ - components of cutting force, $i^{(r)}$, $i^{(a)}$ - currents of feed drives, $U^{(n)}$, $U^{(p)}$ - output signals of adaptive control system, $\Delta n$ - change of spindle speed, $\Delta p$ - change of feed

Układ sterowania adaptacyjnego ACC steruje bieżącą wartością posuwu $\Delta p$ tak, aby składowa wolnozmienna siły skrawania utrzymywana była na poziomie $F_{ZAD}$. Natomiast układy wykrywania lokalnych utwardzeń i wykrywania drgań uaktywniają się stosownie do potrzeb, przyczyniając się do okresowej, stopniowej korekcji prędkości wrzeciona o wartości $\Delta n$. Układ kontroli stanu narzędzia powoduje wycofanie narzędzia ze strefy skrawania w przypadku jego katastroficznego zużycia.

## 6. PODSUMOWANIE

Zastosowanie nowoczesnych, numerycznie sterowanych obrabiarek do obróbki zestawów kolejowych wprowadziło konieczność automatycznego nadzoru przebiegu tej obróbki. Dotychczasową rolę operatora musi przejąć układ automatycznej regulacji, który będzie reagował na takie zakłócenia, jak: toczenie lokalnych utwardzeń, drgania samowzbudne, obróbka miejsc napawanych itd. Zaproponowany schemat blokowy układu adaptacyjno-nadzorującego może taką rolę pełnić. Wymaga to jednak opracowania prototypu takiego układu oraz jego przebadania w warunkach produkcyjnych.

## Literatura

[1] Opracowanie układu sterowania adaptacyjnego dla tokarek kołowych. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej NB-242/RMT-1./85, wykonanej na zlecenie F.O. „RAFAMET" w Kuźni Raciborskiej w IBM Politechniki Śląskiej pod kierunkiem prof. T. Tyrlika, Gliwice 1988.

[2] Opracowanie koncepcji, konstrukcji oraz modelu czujnika siły skrawania na tokarce kołowej. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej NB-275/RMT-1/87, wykonanej w ramach CPBP 02.04 w IBM Politechniki Śląskiej pod kierunkiem prof. T. Tyrlika, Gliwice 1987.

[3] Badania zmienności siły skrawania na tokarkach kołowych. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej NB-150/RMT-1/88, wykonanej w ramach CPBP 02.04 w IBM Politechniki Śląskiej pod kierunkiem prof. T. Tyrlika, Gliwice 1988.

Recenzent: doc. dr inż. Zbigniew Ginalski

Wpłynęło do redakcji: 10.07.1995 r.

## Abstract

The paper considers a research on supervision and adaptive control systems designed for wheel-set machining. First, the main disturbances occurring during machining are discussed. Especially, fluctuations in the cutting force caused by changes in depth of cut and workpiece material hardness are analysed. The measurements were taken in the industrial conditions during the regeneration operation done on the wheel sets worn out due to intensive exploitation. The results of the investigations have pointed out that there is a need for applying a system to control the process under investigation. The research is summarised with a proposition of an adaptive control system that takes into account an adequate strategy of reacting not only to fluctuations in depth of cut, but accidental fluctuations in the hardness of the machined material as well.