INNOWACYJNE PROCESY TECHNOLOGICZNE

INNOWACYJNE PROCESY TECHNOLOGICZNE

Redakcja:
Antoni Świć

LUBLIN 2011

RECENZENCI:

Prof. dr hab. inż. Wiktor Taranenko
Dr hab. inż. Marek Janczarek, prof. nadzw.

Opracowanie redakcyjne: mgr Tomasz Kusz

Wydanie publikacji dofinansowane przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego

© Copyright by
Lubelskie Towarzystwo Naukowe
Lublin 2011

Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiejkolwiek postaci jest zabronione.

Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

ISBN 978-83-62-025-11-4

WYDAWCA: Lubelskie Towarzystwo Naukowe
Plac Litewski 2, 20-080 Lublin

DRUK: Wydawnictwo-Drukarnia „Liber-Duo”
ul. Długa 5, 20-346 Lublin

SPIS TREŚCI

AGNIESZKA SKOCZYLAS, KAZIMIERZ ZALESKI
Wpływ parametrów nagniatania tocznego powierzchni stali C45 po przecinaniu wiązką laserową na wybrane właściwości warstwy wierzchniej 7

IRENEUSZ ZAGÓRSKI, PAWEŁ PIEŚKO
Wpływ parametrów technologicznych na wartość wybranych wskaźników skrawalności lotniczych stopów AL oraz Mg 19

PAWEŁ PIEŚKO, IRENEUSZ ZAGÓRSKI
Analiza dokładności obróbki, frezami trzpieniowymi o zmiennej sztywności, tulei cienkościennych wykonanych ze stopu AlMn1 33

PIOTR BORAL, ANDRZEJ PIOTROWSKI, TADEUSZ NIESZPOREK
Wykorzystanie sterowników PLC w automatyzacji produkcji 47

EDWARD GAWLIK, STANISŁAW GIL
Informacyjny system doboru obrabiarek w projektowaniu procesu technologicznego obróbki 56

KAZIMIERZ SZATKOWSKI
Postępowanie z wyrobem niezgodnym 64

PAWEŁ OBSTAWSKI, DARIUSZ CZEKALSKI
Wizualizacja procesu pozyskiwania energii w hybrydowym systemie źródeł odnawialnych 77

TOMASZ GORECKI
Metodyka skracania czasu przezbrojeń SMED 84

f

AGNIESZKA SKOCZYLAS
KAZIMIERZ ZALESKI

Wpływ parametrów nagniatania tocznego powierzchni stali C45 po przecinaniu wiązką laserową na wybrane właściwości warstwy wierzchniej

1. Wprowadzenie

Cięcie wiązką laserową jest niezawodną, szeroko stosowaną technologią w produkcji elementów maszyn. Uważane jest za alternatywną metodę do cięcia mechanicznego dzięki dużej elastyczności procesu, możliwości uzyskania dużej ilości półwyrobów w krótkim czasie z różnego rodzajów materiałów oraz prawie bezodpadową produkcją. Do cięcie wiązką laserową nie jest potrzebne specjalne oprzyrządowanie, ponieważ jest to bezkontaktowa operacja, a ponadto technologia ta nie wymaga drogich i wymiennych narzędzi. Podczas procesu cięcia wiązką laserową nie oddziałuje siła mechaniczna, która może uszkodzić cienką ściankę lub delikatną powierzchnię obrabianą [1,2].

Jakość półwyrobu otrzymanego po przecinaniu wiązką laserową opisana jest za pomocą chropowatości powierzchni, twardości strefy przy powierzchni cięcia oraz zasięgu strefy wpływu ciepła. Uzależniona jest ona od wielu czynników. Do determinantów wpływających na jakość wyrobu finalnego technologii cięcia wiązką laserową należy zaliczyć: rodzaj i grubość przecinanego materiału, prędkość cięcia, moc lasera, rodzaj i ciśnienie gazu towarzyszącego procesowi, częstotliwość impulsowania oraz położenie ogniskowej. W dotychczas spotkanych publikacjach został zaprezentowany wpływ poszczególnych czynników na stan warstwy wierzchniej [1,3,4,7,9].

Niestety bardzo często dokładność wymiarowo- kształtowa nie spełnia wymagań postawionych przez konstruktora danego wyrobu. Półfabrykat otrzymany w wyniku cięcia wiązką laserową cechuje się dużą tolerancją wykonania oraz głębokim utwardzeniem od krawędzi cięcia, wynoszącą od 200 μm do 400 μm [za 8]. Stąd konieczność poddania takich powierzchni obróbce wykończeniowej.

W pracy [7] autorzy analizowali wpływ warunków cięcia wiązką laserową na jakość przedmiotów ze stali S235 (St3) i stali nierdzewnej Cr-Ni i ich właściwości mechaniczne. W celu sprawdzenia założenia, że pewne właściwości przecinanego materiału mogą być wywołane obecnością termicznej strefy wpływu, usunięto tą strefę, frezując 200 μm w głąb. Usunięcie tej strefy nie wpłynęło praktycznie na właściwości wytrzymałościowe, nastąpił jedynie wzrost plastyczności.

Razumov i inni w swojej pracy przedstawiają możliwość poprawy jakości powierzchni czołowej bijaka oraz podziałowej matrycy prasy rewolwerowej po cięciu wiązką laserową, wykonanych ze stali szybkotnącej R2M8 (wg normy rosyjskiej). Obróbką wykończeniową było diamentowe wygładzanie. Po przeprowadzonej obróbce została utworzona nowa powierzchnia różniąca się jakościowo od powierzchni po przecinaniu wiązką laserową. Wskutek diamentowego wygładzania została usunięta prążkowana struktura, charakterystyczna dla procesu cięcia laserem. Otrzymano powierzchnie o dobrej jakości (Ra= 0,317 μm). Po przeprowadzonej obróbce zaobserwowano strukturalne i fazowe przemiany w metalu. Efektem wygładzania diamentowego był także wzrost twardości strefy wpływu lasera na odcinku 200 μm od powierzchni [8].

W publikacji Popov, i inni [za 8] przedstawiono mechaniczne szlifowanie jako obróbkę wykończeniową mającą na celu redukcję grubości utwardzonej warstwy. Szlifowanie poprawia wymagany kształt wyrobu wstępnego z odpowiednią dokładnością lecz często nie poprawia jakości powierzchni. Spowodowane jest to pojawieniem się naprężeń rozciągających, pęknięć oraz linii pozostałych po szlifowaniu na warstwie wierzchniej, które są źródłem koncentracji naprężeń oraz obniżają nośność podłoża metalu.

Jednym ze sposobów obróbki wykończeniowej stosowanej w celu poprawy jakości powierzchni oraz właściwości warstwy wierzchniej elementów maszyn może być nagniatanie toczne. Przeprowadzając nagniatanie można uzyskać powierzchnie o dobrej jakości a także wprowadzać naprężenia ściskające w obrabianą warstwę wierzchnią, które odgrywają istotną role we wzroście twardości powierzchni, umownej granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie [5,6].

Celem przeprowadzonych badań doświadczalnych była ocena wpływu wybranych parametrów nagniatania na jakość powierzchni otrzymanej w wyniku przecinania wiązką laserową.

2. Metodyka badań

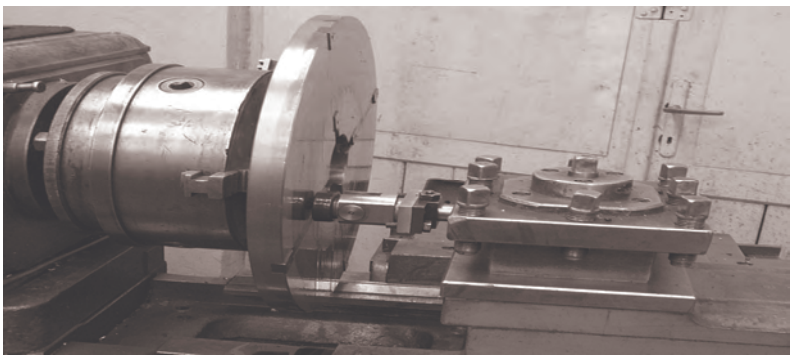
W badaniach wykorzystano próbki ze stali C45 (oznaczenie według PN-93/ H-84019), które zostały wykonane przy użyciu wycinarki laserowej LASER Amada 3000 W. Zostały one wykonane na wymiar 4 x 8 x 100 mm, przy wykorzystaniu tlenu jako gazu roboczego oraz stosując parametry standardowe (tabela I).

Przed operacją wycinania laserowego badane próbki zostały poddane wyżarzaniu ujednorodniającemu w temperaturze 860°C w czasie 30 minut w celu redukcji stanu naprężeń własnych wprowadzonych przez obróbki poprzedzające cięcie wiązką laserową.

TABELA I. Zestaw parametrów wykonania próbek

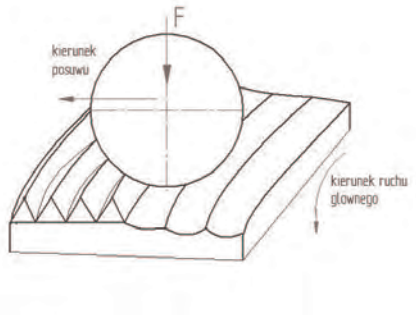
Nazwa parametru	Wartość parametru
Prędkość cięcia [mm/min]	900
Moc [W]	2000
Częstotliwość [Hz]	1100
Ciśnienie gazu [MPa]	0,05
Ogniskowa [mm]	1,5

Następnie powierzchnie po cięciu wiązką laserową poddano nagniataniu tocznemu. Zostało one przeprowadzone na tokarce uniwersalnej C11/MB produkcji bułgarskiej, znajdującej się w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji na Politechnice Lubelskiej (rys. 1).



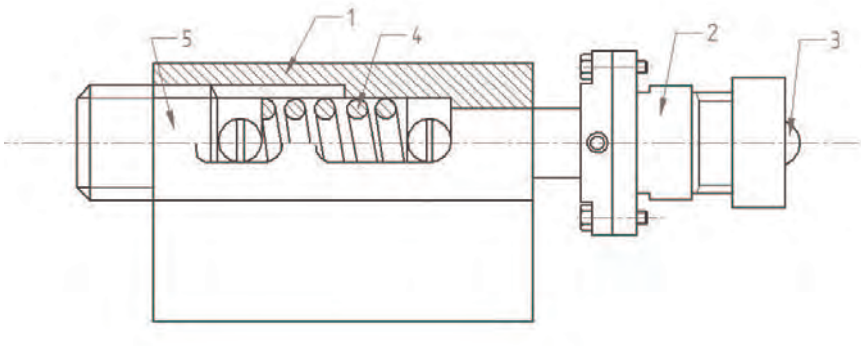
Rys. 1. Stanowisko badawcze

Próbki badane zamocowano w specjalnym uchwycie, była to tarcza z czterema rowkami na płaskie próbki o maksymalnej szerokości 15 mm, która wykonywała ruch obrotowy. Element nagniatający zamocowany w imaku tokarki wykonywał ruch posuwowy, będąc równocześnie dociskany ze stałą siłą F do przedmiotu obrabianego. Model nagniatania tocznego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Model nagniatania tocznego

Jako nagniatak zastosowano przyrząd składający się z elementu nagniatającego, którym była stalowa kulka o średnicy 16 mm oraz zespołu wywierającego siłę docisku (rys.3). Maksymalna siła docisku jaka mogła zostać wywarta to 1000N.



Rys. 3. Schemat nagniataka: 1-korpus, 2- głowica, 3- stalowa kulka nagniatająca, 4- sprężyna, 5- śruba zapewniając ściskanie sprężyny

Podczas nagniatania tocznego zastosowano następujące zestawy parametrów. Przyjęta została stała prędkość nagniatania v_c= 24,08 m/min, zmienna natomiast była siła docisku nagniataka do przedmiotu obrabianego w zakresie F = 150÷750 N oraz posuw f = 0,05÷0,51 mm/obr.

Pomiaru chropowatości powierzchni dokonano za pomocą profilografometru laboratoryjnego Surtronic 3+ firmy Taylor Hobson, wyposażonego w diamentową końcówkę w kształcie pryzmy. Pomiary zostały dokonane na powierzchni po cięciu wiązką laserową prostopadle do kierunku działania promienia oraz na powierzchni po nagniataniu tocznym, również prostopadle do śladów obróbki. W związku z wystąpieniem charakterystycznych stref o różnej chropowatości pomiaru dokonano w strefie wejścia i wyjścia wiązki laserowej w materiał przecinany. Taki sam schemat pomiarów chropowatości przyjęto dla powierzchni nagniatanej.

Badania mikrotwardości wykonano metodą Vickersa, przy obciążeniu 300 g (HV0,3), wykorzystując mikrotwardościomierz LM 700AT firmy LECO. Pomiary zostały wykonane na powierzchni po nagniataniu, po wcześniejszym ich przygotowaniu, (szlifowanie wodnym papierem ściernym). Pomiaru dokonano także na powierzchni po cięciu wiązką laserową.

3. Wyniki

Przed przystąpieniem do prób nagniatania tocznego dokonano pomiaru chropowatości powierzchni po cięciu wiązką laserową. W tabeli II przedstawiono zbiorcze zestawienie otrzymanych wyników pomiarów.

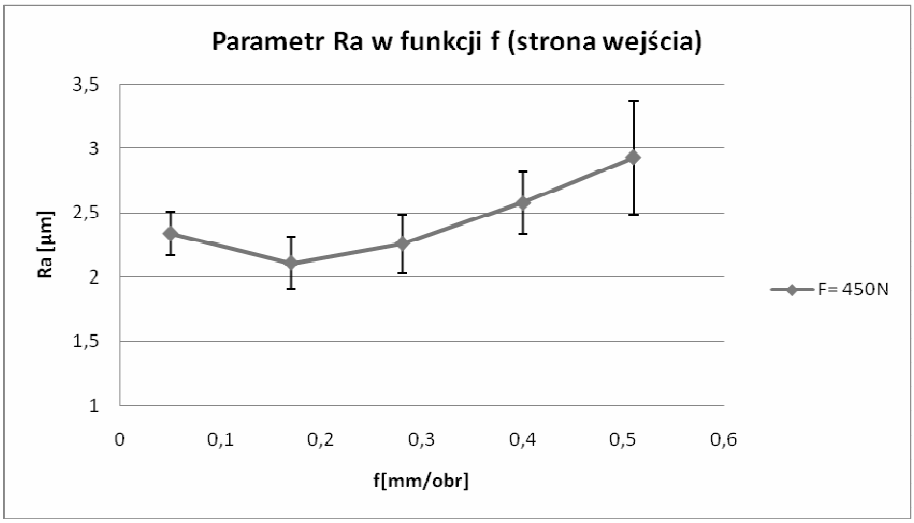
TABELA II. Wyniki pomiarów parametrów chropowatości powierzchni po cięciu laserem

	Ra [μm]	Rq [μm]	Rz [μm]	Rt [μm]	Ry [μm]	RSm [μm]
przy wejściu promienia	3,27	4,21	19,52	27,16	26,13	115,41
przy wyjściu promienia	4,77	6,05	26,01	35,47	32,79	160,06

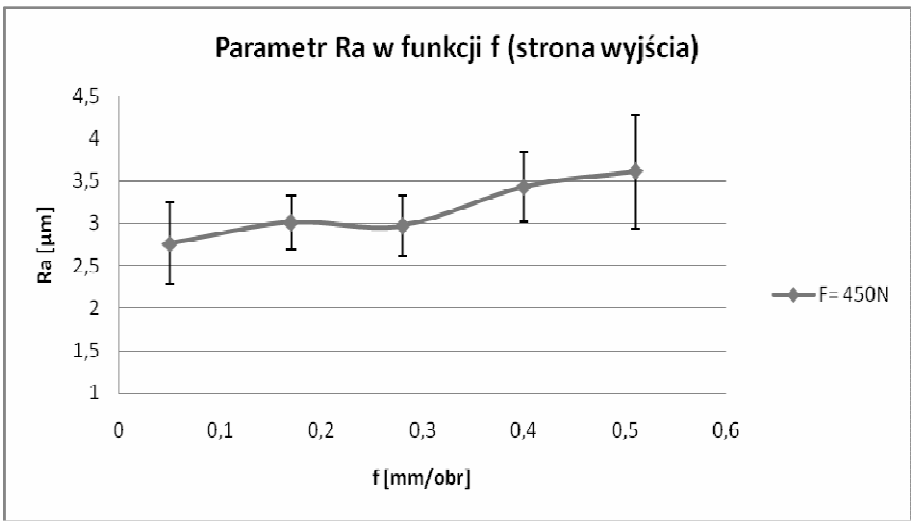
Po przeprowadzonych próbach nagniatania i pomiarze chropowatości otrzymane wyniki poddano analizie w funkcji zastosowanych posuwów oraz sił docisku F.

Na rysunku 4 i 5 przedstawiono wpływ posuwu na chropowatość powierzchni po nagniataniu przy stałej wartości siły docisku F = 450N dla strony wejścia i wyjścia wiązki laserowej w przedmiot obrabiany. Analizując otrzymane wyniki dla strony wejścia można zauważyć, że wraz ze wzrostem posuwu nieznacznie zmniejsza się wartość parametru Ra, do osiągnięcia minimum dla f= 0,17 mm/obr, powyżej tej wartości zaobserwowany jest wzrost chropowatości powierzchni. Rozpatrując chropowatość w funkcji posuwu dla strony wyjścia widoczny jest wzrost wartości parametru Ra wraz ze zwiększaniem się posuwu.

Po przeanalizowaniu obydwu wykresów zauważalne jest, że korzystniejsze jest realizowanie procesu nagniatania z mniejszymi wartościami posuwu. Dzięki zastosowaniu takich parametrów element nagniatający powoduje większą deformacje powierzchni obrabianej, co pozwala na uzyskanie gładszej powierzchni.



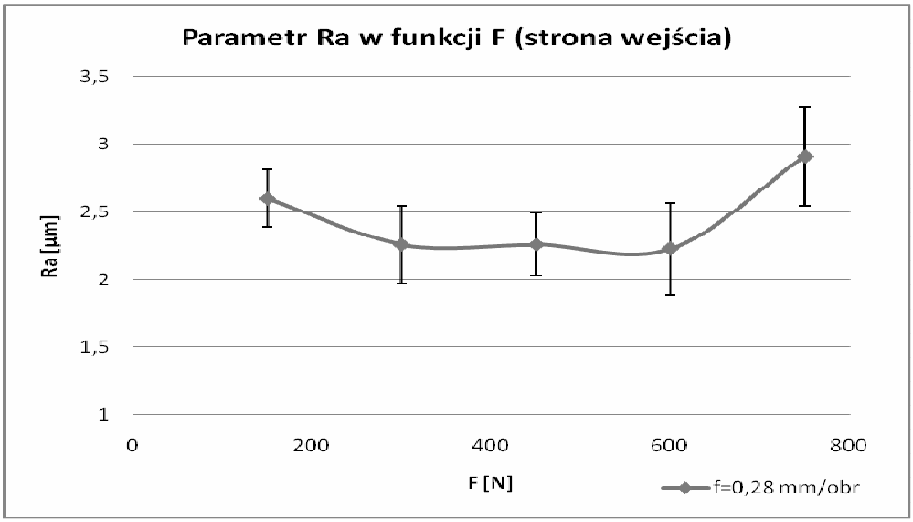
Rys. 4. Parametr Ra w funkcji posuwu nagniatania dla strefy wejścia promienia



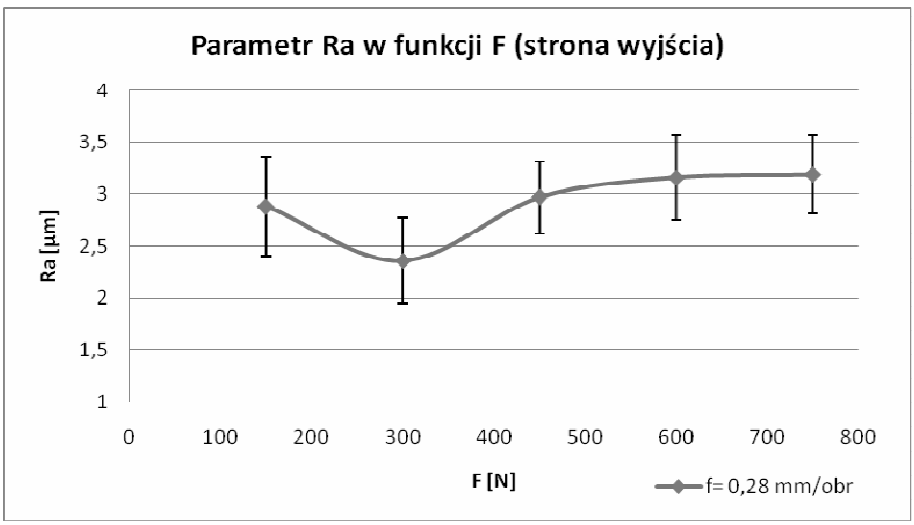
Rys. 5. Parametr Ra w funkcji posuwu nagniatania dla strefy wyjścia promienienia

Analizując parametr Ra w funkcji siły docisku przy stałej wartości posuwu, równej f = 0,28 mm/obr dla strony wyjścia (rys. 6) zauważalny jest na początku spadek chropowatości powierzchni do minimum, potem następuje wzrost. Przy wzroście siły docisku występuje głębsza penetracja elementu nagniatającego (kulki) w głąb metalicznej powierzchni i następuje bardziej skuteczne wyrównanie mikronierówności po cięciu wiązką laserową. Wzrost chropowatości dla siły docisku F większej od 750 N może być wywołany występowaniem fali poprzedzającej element nagniatający, która powoduje płynięcie materiału podczas nagniatania.

Analizując wpływ siły docisku F na chropowatość obrobionej powierzchni (rys. 7) dla strony wyjścia można zauważyć, że dla początkowych wartości sił następuje spadek, potem stabilizacja wartości parametru Ra.



Rys. 6. Parametr Ra w funkcji siły docisku dla strefy wejścia promienia



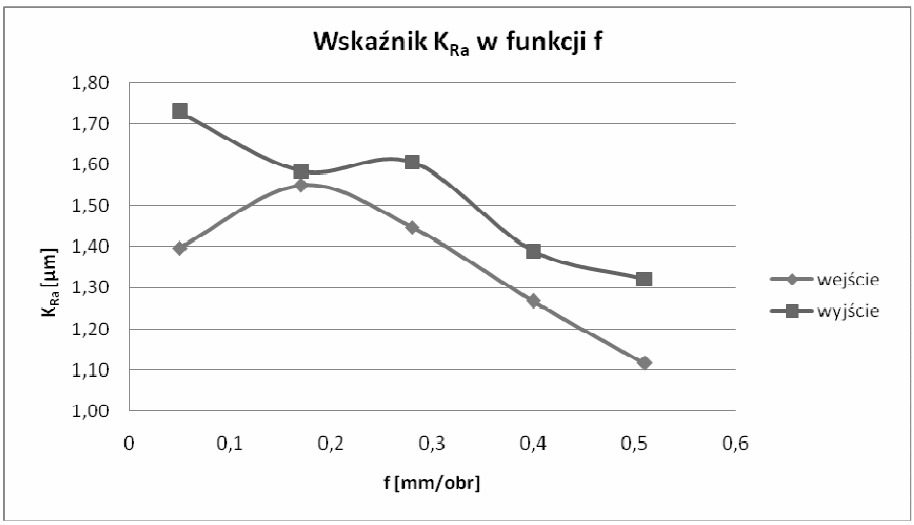
Rys. 7. Parametr Ra w funkcji siły docisku dla strefy wyjścia promienia

W celu ukazania efektywności poprawy jakości powierzchni po cięciu wiązką laserową za pomocą nagniatania tocznego wyznaczono wskaźnik zmniejszania chropowatości K_{Ra} [10]:

$$K_{Ra} = \frac{Ra'}{Ra} \qquad (1)$$

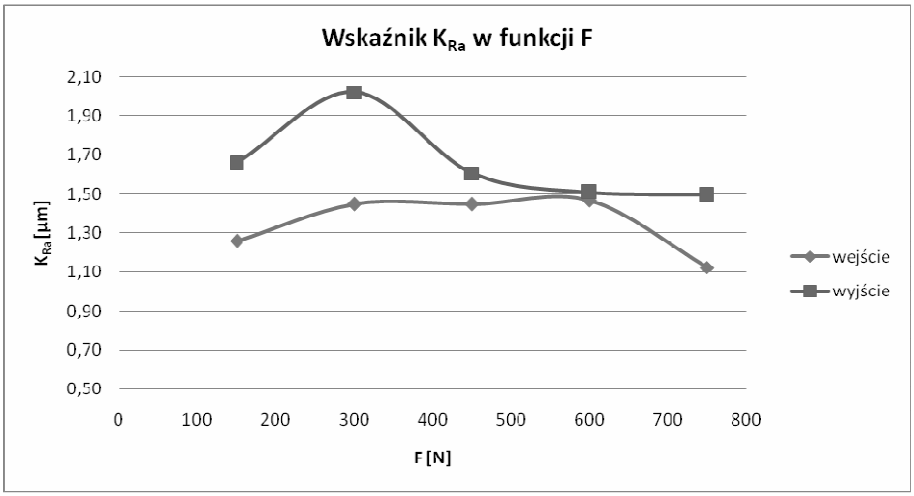
gdzie:
Ra'- średnia arytmetyczna rzędnych profilu powierzchni przed nagniataniem (po cięciu wiązką laserową),
Ra- średnia arytmetyczna rzędnych profilu powierzchni (chropowatości) po nagniataniu

Na rysunku 8 przedstawiono zależność wskaźnika zmniejszania chropowatości K_{Ra} w funkcji posuwu f dla strefy wejścia i wyjścia promienia laserowego. Wskaźnik ten informuje, w jakim stopniu poprawiła się chropowatość powierzchni po nagniataniu w stosunku do obróbki cięciem wiązką laserową. Im jego wartość jest większa tym chropowatość powierzchni po obróbce wykończeniowej jest mniejsza od chropowatości po obróbce poprzedzającej. Dla strefy wejścia promienia wskaźnik K_{Ra} zawiera się w przedziale 1,12 – 1,55 natomiast dla strefy wyjścia 1,32 -1,73.



Rys. 8. Wskaźnik zmniejszania chropowatości K_{Ra} w funkcji posuwu f dla strefy wejścia i wyjścia promienia

Rozpatrując wpływ siły docisku na wskaźnik zmniejszania się chropowatości K_{Ra} (rys. 9) najbardziej efektywna obróbka powierzchni po cięciu wiązką laserową ma miejsce dla siły 600 N. Następuje deformacja prążkowanej struktury powstałej po cięciu wiązką laserową. Wskaźnik zmniejszania chropowatości K_{Ra} dla strefy wejścia wynosi 1,12- 1,47, natomiast dla strefy wyjścia 1,5- 2,02.

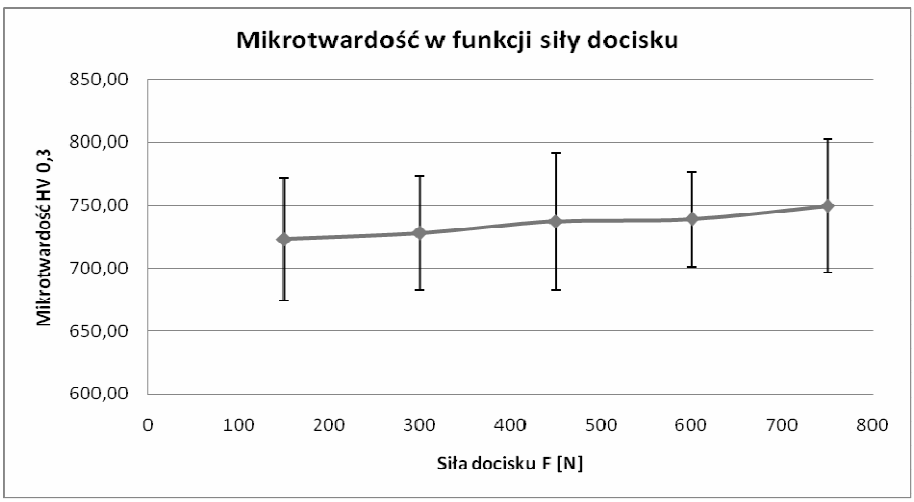


Rys. 9. Wskaźnik zmniejszania chropowatości K_{Ra} w funkcji siły docisku dla strefy wejścia i wyjścia promienia

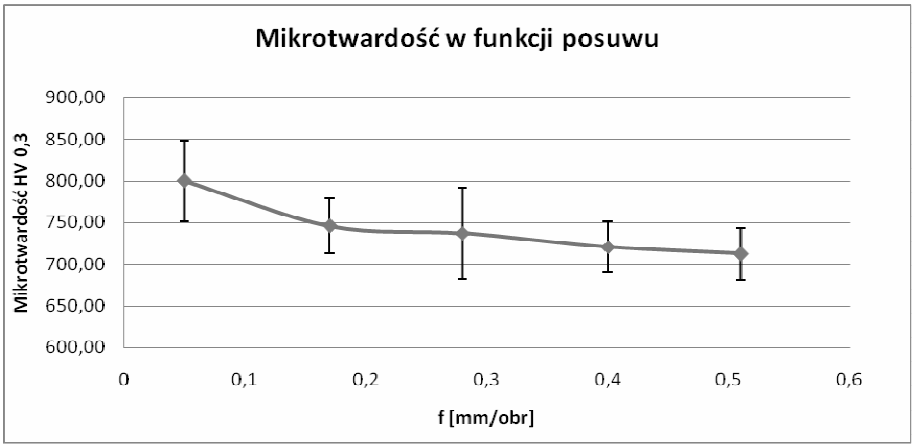
Przeprowadzony pomiar mikrotwardości na powierzchni wykazał umocnienie obrabianej powierzchni. Mikrotwardość HV0,3 na powierzchni po cięciu wiązką wynosiła 698.

Analizując wpływ sił docisku na mikrotwardość (rys.10) można zauważyć, że wzrost siły powoduje wzrost twardości. Spowodowane jest to wzrostem plastycznych deformacji, czego efektem jest wzrost twardości obrabianej powierzchni.

Rozpatrując wpływ posuwu na twardość, można zauważyć, że wzrost posuwu powoduje spadek twardości obrabianej powierzchni. Omawianą zależność przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 10. Mikrotwardość w funkcji siły docisku



Rys. 11. Mikrotwardość w funkcji posuwu

4. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań wpływu warunków nagniatania tocznego powierzchni po przecinaniu wiązką laserową na wybrane właściwości warstwy wierzchniej wynika, że obróbka nagniataniem powoduje zmniejszenie chropowatości powierzchni i zwiększenie mikrotwardości warstwy wierzchniej.

W wyniku cięcia wiązką laserową uzyskano powierzchnie o zróżnicowanej chropowatości z charakterystycznymi strefami. Celem nagniatania tocznego było uzyskanie powierzchni o jak najmniejszej wartości parametru Ra. Po przeprowadzonej obróbce dla strefy wejścia promienia uzyskano chropowatość mniejszą o 10%- 35% niż przed nagniataniem, natomiast dla strefy wyjścia o 24%-50%.

Wzrost siły docisku powoduje spadek chropowatości powierzchni, jest to spowodowane głębszą penetracją elementu nagniatającego, co powoduje plastyczną deformację, dzięki czemu zostaje wygładzona struktura z charakterystycznymi prążkami.

Wzrost posuwu powoduje pogorszenie stanu obrabianej powierzchni.

W wyniku nagniatania tocznego nastąpiło umocnienie warstwy wierzchniej. Mikrotwardość mierzona na powierzchni obrabianej wzrosła od 2% do 13% w stosunku do mikrotwardości powierzchni po cięciu wiązką laserową.

Uzyskane wstępnie wyniki wskazują na potrzebę prowadzenia dalszych badań nad nagniataniem powierzchni przedmiotów wycinanych wiązką laserową w celu opracowania najkorzystniejszych warunków obróbki tak aby uzyskać powierzchnie o małej chropowatości, pozbawionej charakterystycznych prążków oraz posiadającą wysoki stopień umocnienia. Poprawa stanu warstwy wierzchniej przedmiotów wycinanych za pomocą wiązki laserowej pozwoliłaby na wzrost jakości eksploatacyjnej elementów wytwarzanych za pomocą tej technologii.

LITERATURA

1. Danilov V. I., Zuev L. B., Kuznetsova N. I., Malov A. N., A. M., Formin V. M. and Shulyatev V.B., Specific features of laser cutting of steel sheets and monitoring of sample quality after laser influence, *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2006 Vol. 47, No. 4, 608-615
2. Ghany K. A., Newishy M., Cutting of 1.2 mm thick austenitic stainless sheet using pulsed and CW Nd: YAG laser, *Journal of Material Processing Technology* 2005 vol. 168, 438-447
3. Haduch J., Szczepanik M., Wpływ wybranych parametrów technologicznych na jakość warstwy wierzchniej blach OH18N9 po cięciu laserowym, *Mechanika. Kwartalnik AGH*, tom 23 zeszyt 4/2004, s. 447-459
4. Hanadi G. S., Mohy S. M., Yehya B., Wafaa A. A., CW Nd: YAG laser cutting of ultra low carbon steel thin sheets using O_2 assist gas, *Journal of Materials Processing Technology* 2008 vol. 196, 64-72.
5. Hassan A. M., The effects of ball- and roller-burnishing on the surface roughness and hardness of some non-ferrous metals. *Journal of Materials Processing Technology* 1997 vol. 72, 385–391
6. Low K.O., Wong K.J., Influence of ball burnishing on surface quality and tribological characteristics of polymers under dry sliding conditions, *Tribology International* 2011 vol. 4, 144–153
7. Rajaram N., Sheikh- Ahmad J., Cheraghi S. H., CO_2 laser cut quality of 4130 steel. *International Journal of Machine Tool & Manufactur.* 2003 vol. 43, 351-358
8. Razumov M. S., Zubkov N.S. and Afanas' eva L. E., Effect of diamond smoothening on the structure and properties of the deposited metal in the laser affected zone. *Metal Science and Heat Treatment* 2009 vol. 51, 606-609
9. Skoczylas A., Zaleski K., Wpływ parametrów technologicznych cięcia wiązką laserową na wybrane właściwości warstwy wierzchniej stali S235JR. W: *Zastosowanie informatyki w inżynierii produkcji*. red. Świć A. Wyd. Lubelskie Towarzystwo Naukowe Lublin 2009, s. 82-92
10. Szczepanik S., Polowski W., Czechowski K., Wojtaszek M., Krawiarz J., Badania możliwości zastosowania nagniatania tocznego do obróbki wykańczającej kompozytów Al.- Sic *Kompozyty* 2007 vol. 2, s. 87-92

Wpływ parametrów nagniatania tocznego powierzchni stali C45 po przecinaniu wiązką laserową na wybrane właściwości warstwy wierzchniej

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań chropowatości powierzchni obrobionej oraz mikrotwardości po nagniataniu tocznym powierzchni stali C45 po przecinaniu wiązką laserową. Stwierdzono że, nagniatanie toczne pozwala na zmniejszenie chropowatości oraz umocnienie warstwy wierzchniej. Właściwości warstwy wierzchniej po nagniataniu tocznym zależą od siły docisku ograz posuwu.

Słowa kluczowe: cięcie wiązką laserową, nagniatanie toczne, obróbka wykończeniowa, chropowatość powierzchni, mikrotwardość

The Influence of ball burnishing parameters of C45 steel after laser beam machining on selected surface layer properties

Abstract

The article presents the results of roughness testing and mircohardness of C45 steel surface after laser beam machining and ball burnishing. It was concluded that ball burnishing allows decreasing roughness and consolidating surface layer. Surface layer properties after ball burnishing are dependent on burnishing force and feed.

Key words: laser cutting, ball burnishing, finishing, surface roughness, microhardness

Informacje o autorach:

Mgr inż. Agnieszka Skoczylas
Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska
Ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin
Tel. (081) 538 47 07
e-mail: a.skoczylas@pollub.pl

Dr hab. inż. Kazimierz Zaleski, prof. PL
Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska
Ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin
Tel. (081) 538 42 38
e-mail: k.zaleski@pollub.pl

IRENEUSZ ZAGÓRSKI
PAWEŁ PIEŚKO

Wpływ parametrów technologicznych na wartość wybranych wskaźników skrawalności lotniczych stopów Al oraz Mg

1. Wstęp

Obróbka frezowaniem znajduje obecnie coraz szersze zastosowanie zwłaszcza przy wykonywaniu elementów ze stopów lekkich. Na potrzeby przemysłu lotniczego czy motoryzacyjnego wytwarzane są takie elementy jak wręgi, wsporniki, podłużnice, różnego rodzaju obudowy oraz drobne elementy wyposażenia. Jednym z podstawowych wymagań stawianych narzędziom skrawającym jest zapewnienie odpowiedniej jakości powierzchni po obróbce. Zastosowanie wysokoobrotowych wrzecion we współczesnych frezarkach CNC pozwala na uzyskanie zadowalającej jakości powierzchni finalnej obrabianych elementów. Wpływa to zatem na zmniejszenie kosztów produkcji (wyeliminowanie operacji szlifowania stopów lekkich), wzrost wydajności wytwarzania a co za tym idzie skrócenie czasu potrzebnego do wykonania produktu. Dąży się więc do tego, by frezowanie mogło być pierwszą a zarazem ostatnią operacją w procesie wykonywania (wytwarzania) określonego elementu [3, 4, 8].

Charakterystyczną cechą nowoczesnych elementów lotniczych, wykonywanych ze stopów lekkich, jest ich jednolita konstrukcja. Elementy te mają charakterystyczny kształt określany często w języku technologicznym jako konstrukcje „kieszeniowe" [5]. Innym przykładem jest wykonywanie kształtowych części odlewanych (zwykle pod ciśnieniem), z odlewniczych stopów aluminium lub magnezu.

2. Właściwości wybranych stopów Al oraz Mg

Zarówno stopy aluminium jak i stopy magnezu możemy podzielić na stopy odlewnicze oraz stopy przeznaczone do przeróbki plastycznej.

Stopy aluminium oraz stopy magnezu znormalizowane są w następujących normach: stopy Al. do przeróbki plastycznej, zawiera norma PN-EN 573-3:2005 (gatunków jest ponad 120), odlewnicze stopy Al., zawiera norma PN-EN 1780-2:2004 (gatunków jest blisko 40), stopy Mg do przeróbki plastycznej, zawiera norma PN-H-88051:1964 (wycofana bez zastąpienia), odlewnicze stopy Mg, zawiera norma PN-EN 1753:2001.

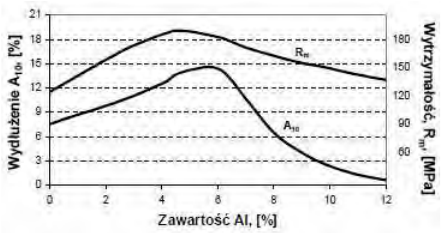
Odlewnicze stopy magnezu charakteryzują się małą gęstością (ok. 1,74g/cm^3), oraz dobrą lejnością i niskim skurczem.

Ponadto, magnez nie jest agresywny w stosunku do form ze stali chromowej, dlatego żywotność form i komór do wtryskiwania jest wyraźnie wydłużona. Ze względu na małą przewodność cieplną magnezu w stosunku do Al, można uzyskiwać odlewy o znacznie cieńszych ściankach. Na uwagę zasługuje również korzystna relacja wytrzymałości do gęstości, odporność na korozję, dobra obrabialność, zdolność do nadawania kształtu, duże zasoby magnezu w wodzie morskiej i wreszcie możliwość pełnego recyklingu [6].

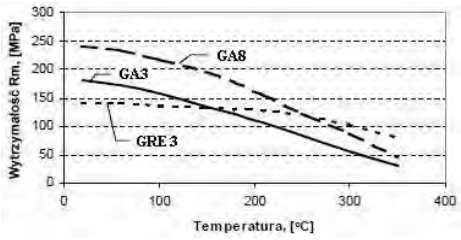
Do najważniejszych właściwości fizycznych stopów aluminium, wpływających na jego skrawalność należy zaliczyć [7]:
- dużą rozszerzalność cieplną - należy to uwzględnić tam gdzie wymagana jest duża dokładność wymiarowa. Niezbędne jest stosowanie obfitego chłodzenia;
- mały moduł sprężystości - duża elastyczność jest przyczyną odkształceń przedmiotu w trakcie intensywnie przeprowadzanej obróbki, jak również odkształceń wynikających z zamocowania przedmiotu;
- dużą przewodność cieplną - przyczynia się do szybszego odprowadzenia ciepła z ostrza narzędzia i obniżenia jego temperatury co zwiększa jego trwałość.

Ze względu na korzystną, wzajemną relację właściwości mechanicznych w stosunku do własności odlewniczych, stopy magnezu uważane są za interesujące tworzywa konstrukcyjne nowej generacji. Firma Audi zastosowała stop magnezu o symbolu AZ91HP (stop o wysokiej czystości i odporności na korozję), jako materiał na odlew pięciobiegowej przekładni [6].

a)



b)



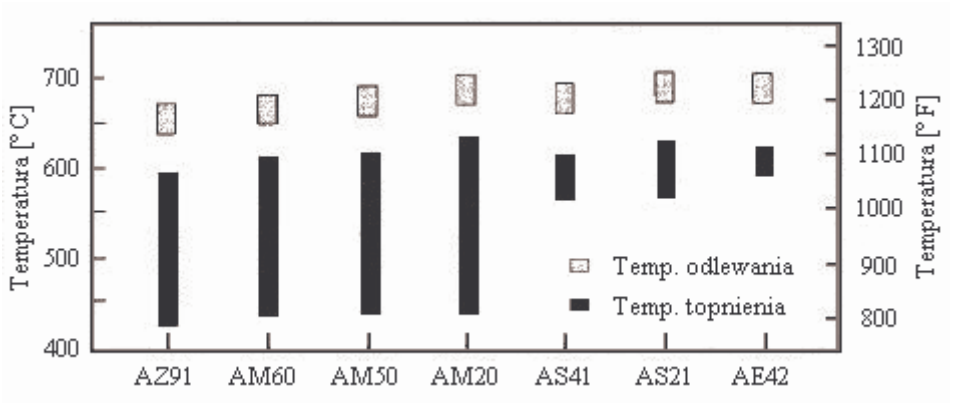
Rys. 2.1. a) Wpływ dodatku aluminium na wytrzymałość na rozciąganie oraz plastyczność odlewniczych stopów Mg-Al., b) Wpływ temperatury na właściwości wytrzymałościowe (R_m) stopów magnezu: GA8 (MgAl8ZnMn), GA3 (MgAl3ZnMn) i GRE3 (MgRE3Zr) [6]

W tabeli 1 podano skład chemiczny oraz typowe właściwości fizyczne wybranych stopów aluminium oraz stopów magnezu.

TABELA 1. Skład chemiczny oraz właściwości fizyczne wybranych stopów Al oraz Mg [3, 6, 12]

Gatunek materiału		7075	2024	AZ31	AZ91HP
Skład chemiczny %	Cu	1,2–2,0	4,2	0,05	0,016
	Mn	0,3	0,6	0,2-1,0	0,17
	Mg	2,1–2,9	1,5	reszta	reszta
	Cr	0,18–0,28	≤0,1	-	-
	Zn	5,1–6,1	≤0,25	0,7-1,3	0,72
	Si	0,4	≤0,2	-	0,03
	Fe	0,5	≤0,5	-	0,002
	Ti	0,2	≤0,15	-	-
	Al	reszta	reszta	2,5-3,5	9,45
	inne	-	Zr+Ti ≤0,2	Ca 0,04	Ni 0,025
Właściwości fizyczne	Rm [MPa]	510	185-470	280	200-240
	$Rp_{0,2}$ [MPa]	440	75-325	-	150-170
	ρ [g/cm^3]	2,81	2,78	1,77	1,8

Dla przykładu stop AZ91 krystalizuje w przedziale temp. 598-430ºC. Dane te są istotne dla określenia temperatur zapłonu stopu. Stopy magnezu palą się powyżej temp. topnienia, gdy zapewniona jest nieprzerwana możliwość łączenia się lotnych atomów Mg z tlenem [2].



Rys. 2.2. Zakres temperatur topnienia oraz odlewania dla typowych stopów Mg [2]

Stopy magnezu w porównaniu do stopów aluminium uzyskują przy temperaturze pokojowej i nieco podwyższonej słabsze właściwości wytrzymałościowe. Przy wytrzymałości zmęczeniowej, różnice te są już mniejsze. Stopy magnezu są w porównaniu do stopów aluminium wrażliwsze na działanie karbu. Niższy moduł Younga E jest zaletą stopów magnezu, ponieważ właściwość ta polepsza odporność na udary, spiętrzenie sił w krótkim czasie, co w konsekwencji polepsza właściwości tłumiące w aspekcie akustycznym (przykładem są obudowy silników i przekładni zębatych). Wszystkie stopy magnezu nadają się wyśmienicie do wszelkiej obróbki skrawaniem. Zauważyć należy, że ze względu na wyższe prędkości skrawaniem, uzyskuje się większe wióry. Zmniejszenie gabarytu wiórów przeciwstawia się to, że małe wióry jak i pyłki magnezu są bardzo łatwopalne. Ekstremalnie negatywny potencjał elektryczny magnezu, powoduje zastosowania antykorozyjnego powlekania powierzchni (technologie to natrysk lub galwanizacja powierzchni z zawartością chromu) [12].

TABELA 2. Stopy magnezu oraz aluminium przeznaczone do wykonywania odlewów ciśnieniowych wg DIN 1729, DIN 9715 oraz DIN 1725

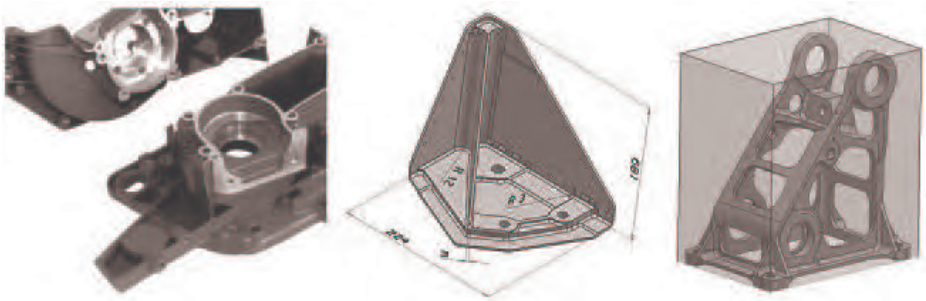
Nazwa	Rp 0,2	Rm	A10	HB5/250	Odp. na zginanie
	N/mm²	N/mm²	%		N=50*106 N/mm²
MgAl9Zn1	150-170	200-250	0,5-3	65-85	50-70
AlSi12	140-180	220-280	1-3	60-80	60-70
AlSi12(Cu)	140-200	220-300	1-3	60-80	70-80
AlSi10Mg	140-200	220-300	1-3	70-90	70-90

3. Przykłady zastosowania stopów Al oraz Mg w przemyśle

W przemyśle lotniczym przyjęto stosować pewne specyficzne określenia elementów charakterystyczne tylko dla tej dziedziny przemysłu. Elementy „kieszeniowe" to głównie tzw. „części sztywne" pod względem technologicznym, mające zwartą budowę, stosunkowo grube i niewysokie ścianki, charakteryzujące się pewnym mocowaniem [1]. Elementy te posiadają zwykle zamkniętą konstrukcję.

„Części o małej sztywności" pod względem technologicznym należy, określić jako części mające cienkie, wysokie ścianki lub charakteryzujące się niepewnym mocowaniem [1]. Części te posiadają zwykle tzw. otwartą konstrukcję.

a) b) c)



Rys. 3.1. Przykłady elementów lotniczych: a) obudowa wykonana ze stopu Mg, b) część o małej sztywności, c) wspornik układu sterowania [1, 9]

4. Problematyka obróbki stopów lekkich

Obróbka skrawaniem stopów lekkich związana jest z silnymi odkształceniami obrabianych materiałów. Na potrzeby przemysłu lotniczego, wykonywane są elementy zwane popularnie tzw. „elementami kieszeniowymi", które to wytwarzane są głównie ze stopów Al. Elementy te wykonywane są z pełnych półfabrykatów, w związku z tym podczas obróbki usuwane jest ponad 90% materiału obrabianego, a zdarza się również, że końcowy produkt często nie przekracza 5% masy półfabrykatu [5].

Wykonując obróbkę skrawaniem stopów magnezu, poprzez toczenie bądź frezowanie, należy unikać zabiegów obróbkowych z niewielką głębokością skrawania ($a_p \leq 1mm$) lub przejść związanych z przejazdami narzędzia po powierzchni obrobionej bez zadawania jakiejkolwiek głębokości skrawania. Podczas takich zabiegów występuje największe prawdopodobieństwo zapłonu drobnych wiórów na skutek niepotrzebnego tarcia materiału narzędzia o materiał obrabiany.

Podczas obróbki stopów Mg należy zwracać również szczególna uwagę na stan ostrza, tzn. nie należy obrabiać narzędziami stępionymi lub zużytymi. Obróbkę stopów magnezu (przy niewielkich partiach produkcyjnych, tj. do kilkudziesięciu sztuk) możemy z powodzeniem prowadzić narzędziami wykonanymi ze stali szybkotnącej, nie zapominając o stosowaniu tzw. „ostrej geometrii" (kąty przyłożenia w zakresie $12 \div 20^o$, kąty natarcia w zakresie $9 \div 15^o$).

Obrabiając stopy magnezu należy pamiętać, podobnie jak przy obróbce kompozytów węglowych, o powstawaniu pyłu magnezowego, który oprócz tego że jest szkodliwy dla zdrowia człowieka, również niekorzystnie wpływa na trwałość takich elementów obrabiarki jak prowadnice czy łożyska. Należy stosować obrabiarki z tzw. „zakrytymi" prowadnicami.

Odmienne podejście charakteryzuje strategię obróbki w przypadku elementów kwalifikowanych jako „części sztywne" oraz „części o małej sztywności". Strategia obróbki „części sztywnych" powinna polegać na

wybraniu największej możliwej ilości materiału (krótkie narzędzia o dużych średnicach) z maksymalnymi głębokościami skrawania. Obróbka wykańczająca prowadzona jest następnie narzędziami mniej sztywnymi, o odpowiednich cechach geometrycznych (zależnie od wymiarów promieni naroży i wysokości ścianek), zapewniającymi wykonanie części zgodne z dokumentacją konstrukcyjną. Naddatki na ściankach po obróbce zgrubnej, pozostawione do obróbki wykończającej powinny być minimalne (0,1–0,3mm). Standardowe podejście do obróbki „części o małej sztywności" powoduje zastosowanie nieekonomicznych parametrów skrawania. Proces nie jest stabilny, w rezultacie powierzchnia obrabianej części może nosić ślady drgań narzędzia, a koszt wykonania elementu jest bardzo duży. Strategia obróbki takich części powinna polegać na zminimalizowaniu drgań układu OUPN wynikających z niesztywności przedmiotu obrabianego. Można to uczynić używając do mocowania bardzo drogie, skomplikowane i kłopotliwe do stosowania przyrządy podciśnieniowe, lub odpowiednio rozkładając naddatki podczas frezowania. Naddatki pozostawione po narzędziu zbierającym największą ilość materiału, powinny być odpowiednio dobrane tak, aby w następnym zabiegu obróbki „na gotowo" w miejscu styku ostrza narzędzia z materiałem obrabianym (w punkcie, w którym generują się drgania) część była maksymalnie sztywna. W przypadku długich narzędzi (np. gdy stosunek l/d=9) obróbkę prowadzi się z bardzo dużymi posuwami, maksymalną średnicą, ale głębokości skrawania są minimalne i stanowią około 2% średnicy narzędzia (eliminacja drgań) [1].

5. Skrawalność stopów Al oraz Mg

W katalogach producentów narzędzi skrawających podawane są jedynie zalecane parametry skrawania dla stopów aluminium, często natomiast pomija się jakiekolwiek wytyczne służące do określania obszarów pracy danym narzędziem przy obróbce stopów magnezu. Skrawalność stopów aluminium [7] zależy przede wszystkim od składu chemicznego i struktury stopu (stanu materiału), która wiąże się bardzo ściśle z obróbką cieplną. Zawartość krzemu w stopie w ilości 10-12% stanowi istotną granicę wskazującą na jego skrawalność. Powyżej tej zawartości Si, podczas obróbki występuje zwiększone zużycie ostrzy narządzi.

Niektórzy producenci [12] podają, że stopy magnezu można obrabiać zarówno z większymi prędkościami skrawania jak i większymi prędkościami ruchu posuwowego niż stopy aluminium, powodując tym samym większą efektywność obróbki. Trwałość narzędzi, w przypadku obróbki stopów magnezu może być kilkukrotnie większa niż jest to możliwe przy obróbce stopów Al. [11, 12]. Ogólnie należy stwierdzić, że za wytyczne służące do doboru parametrów technologicznych, należy stosować te, podane jako zalecane do obróbki aluminium z grupy stopów przeznaczonych do przeróbki plastycznej oraz stopów z zawartością krzemu do ok. 10% Si.

Zarówno stopy aluminium jak i magnezu przeznaczone do przeróbki plastycznej, będą wykazywać skłonność do tzw. „zalepiania" narzędzi skrawających, powstawania narostu oraz powlekania (najczęściej powierzchni natarcia) cienką warstewką Al. bądź Mg. Odlewnicze stopy aluminium oraz magnezu, ze względu na sposób ich otrzymywania (poprzez odlewanie) będą wykazywać większą kruchość, mniejszą ciągliwość oraz skłonność do tworzenia krótszych segmentowych wiórów podczas obróbki.

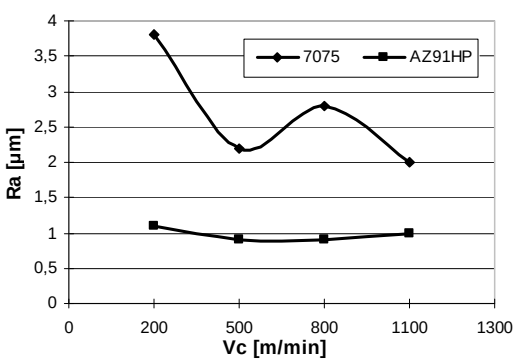
Poza tym jak wiadomo [11] przy obróbce stopów magnezu występuje kilka ograniczeń. Oprócz w/w do najistotniejszych zaliczyć należy skłonność do samozapłonu drobnych wiórów i pyłów magnezowych podczas obróbki „na sucho" oraz niebezpieczeństwo wybuchu, na skutek tworzenia się wodoru, na świeżo obrobionych powierzchniach i wiórach w temperaturze pokojowej, przy zastosowaniu chłodzenia emulsjami mieszalnymi z wodą. Producenci cieczy chłodząco-smarujących jak np. firmy Oemeta lub Azoterm zalecają stosowanie własnych produktów (emulsji) typu ESTRAMET 575 MG lub TRIM E805 dedykowanych do obróbki stopów Mg.

Dedykowaną metodą obróbki stopów lekkich jest metoda obróbki szybkościowej HSM. Metoda ta pozwala na otrzymanie wysokiej jakości powierzchni obrobionej (gdzie chropowatość powierzchni obrobionej $Ra \leq 1\mu m$). Czas obróbki w przypadku tej metody jest znacznie krótszy niż przy obróbce konwencjonalnej. Dodatkowe korzyści [5], wynikające z obróbki szybkościowej to ograniczenie tworzenia się zadziorów, lepsze odprowadzanie wióra, zwiększona stabilność procesu, uproszczone oprzyrządowanie oraz niewielkie siły skrawania (ekonomiczna obróbka części cienkościennych wykonywanych ze stopów Al).

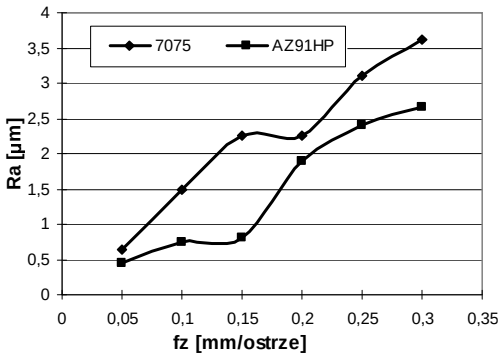
Do metod oceny skrawalności [10] możemy zaliczyć metody oceny chropowatości powierzchni po obróbce oraz pomiar sił w procesie skrawania.

Na rys. 5 przedstawiono wpływ zmiany prędkości skrawania oraz posuwu, na parametr chropowatości Ra, dla obróbki frezowaniem narzędziem o geometrii typu Kordell firmy Sandvik, o średnicy d=16mm oraz liczbie ostrzy z=3.

a)



b)



Rys. 5.1. Wpływ zmiany parametru chropowatości Ra wywołanej przez: a) zmianę prędkości skrawania Vc, b) zmianę posuwu fz, dla stopu Al. 7075 oraz stopu Mg AZ91HP [3]

6. Program oraz wyniki badań

Głównym celem badań było porównanie takich wskaźników skrawalności jak siły skrawania oraz chropowatość powierzchni po obróbce, dla popularnych stopów Al. oraz Mg stosowanych w przemyśle lotniczym. Zmieniano następujące parametry technologiczne: prędkość skrawania Vc, posuw na ostrze fz oraz głębokość skrawania ap.

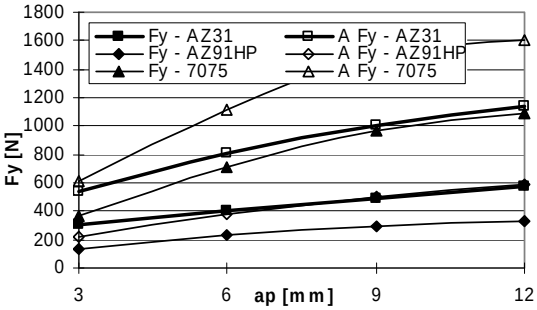
Obróbkę przeprowadzono na pionowym centrum obróbkowym FV 580A z systemem sterowania Fanuc 0iMC. Jako narzędzie został wykorzystany frez 2-ostrzowy ø12 mm z grupy frezów do metali lekkich DIN 6528, firmy Fenes. Do pomiaru sił zastosowany został siłomierz firmy Kistler 9257B i wzmacniacz 5017B. Siłomierz ten pozwala mierzyć siły w zakresie (-5 kN do +5kN). Do pomiaru chropowatości obrobionych powierzchni wykorzystano profilometr Surtronic3+, firmy Taylor-Hobson. Przy próbie frezowania zastosowano przedziały parametrów: a_p=(3–12) mm, f_z=(0,05–0,3) mm/ostrze, V_c=(150–300) m/min. Przyjęto również stałą szerokość frezowania a_e=10 mm.

Na podstawie otrzymanych wyników przedstawiono zależności składowych sił skrawania, ich amplitud oraz wybranych parametrów chropowatości w funkcji technologicznych parametrów obróbki.

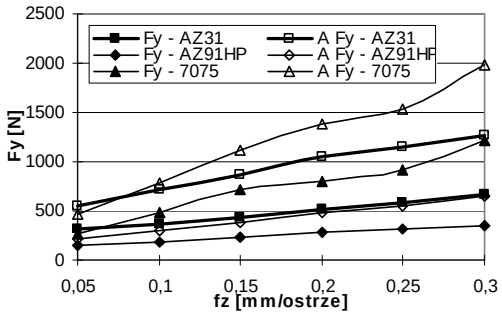
6.1. Siły skrawania

Na rys. 6 przedstawiono zależność składowej Fy w funkcji głębokości skrawania ap oraz posuwu na ostrze fz, natomiast na rys. 7 wpływ prędkości skrawania Vc na składowe Fx oraz Fy.

a)



b)

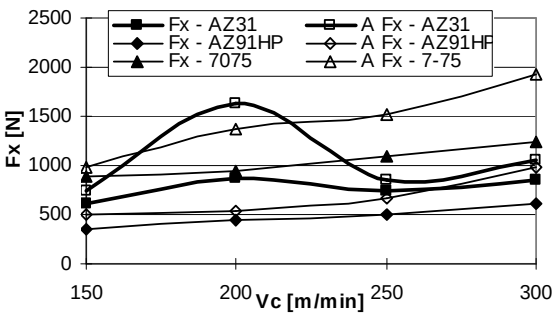


Rys. 6.1.1. Wpływ parametrów technologicznych na siły skrawania oraz ich amplitudy: a) głębokości skrawania ap na składową Fy; b) posuwu na ostrze fz na składową Fy

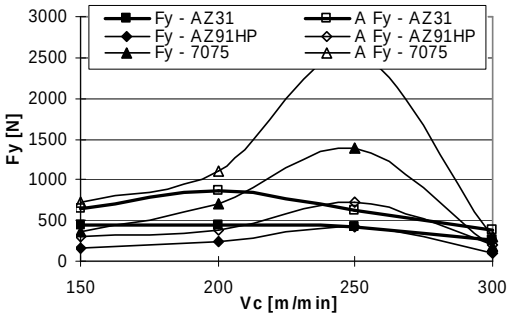
Z rys. 6 wynika, że wzrost zarówno głębokości skrawania a_p jak i posuwu na ostrze f_z powoduje wzrost składowej siły skrawania Fy oraz jej amplitudy AFy.

Największy wzrost siły oraz jej amplitudy występował w przypadku stopu Al. 7075, najmniejszy zaś w przypadku obróbki odlewniczego stopu magnezu AZ91HP.

a)



b)



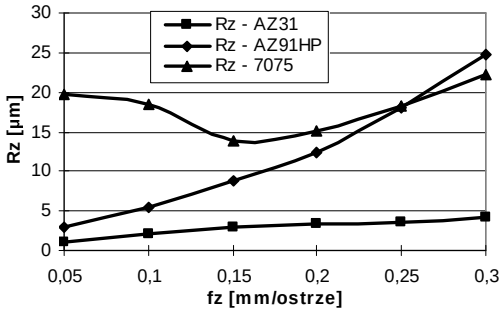
Rys. 6.1.2. Wpływ prędkości skrawania Vc na siły skrawania oraz ich amplitudy: a) wpływ na składową Fx; b) wpływ na składową Fy

Z rys. 7 wynika kilka ważnych spostrzeżeń, ze względu na stabilność prowadzenia obróbki. Stop AZ31 wykazuje wzrost a następnie spadek składowej Fx oraz jej amplitudy AFx, a największą wartość amplitudy siły otrzymujemy dla prędkości skrawania V_c=200m/min i wynosi ona AFx=1631N, natomiast wartość siły w tym punkcie wynosi Fx=870N. Wartości siły Fx oraz jej amplitudy AFx dla pozostałych stopów, tj Al. 7075 oraz AZ91HP, wykazują tendencję wzrostową w miarę wzrostu prędkości skrawania V_c, przy czym niższe wartości składowej Fx i jej amplitudy AFx wykazuje stop Mg AZ91HP. Inaczej przedstawia się charakterystyka Fy, AFy w funkcji V_c. Wszystkie obrabiane stopy lekkie wykazują tendencje wzrostową siły Fy i jej amplitudy AFy w zakresie prędkości skrawania V_c do 250m/min, natomiast powyżej tej prędkości spadek siły i jej amplitudy. Wpływa to korzystnie na stabilność prowadzonej obróbki (mniejsze siły powodują mniejsze odkształcenia). Największy wzrost siły Fy i jej amplitudy AFy wystąpił dla stopu Al. 7075 i dla prędkości skrawania V_c=250m/min wartości te wyniosły: Fy=1389N oraz AFy=2564N.

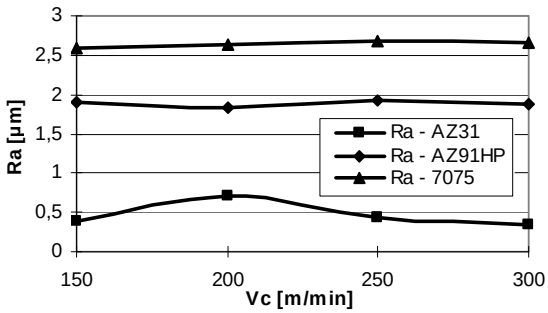
6.2. Chropowatość powierzchni

Na rys. 8 przedstawiono wpływ posuwu na ostrze fz oraz prędkości skrawania Vc na parametry chropowatości powierzchni Ra oraz Rz.

a)



b)



Rys. 6.2. Wpływ parametrów technologicznych na chropowatość powierzchni: a) wpływ posuwu na ostrze fz na parametr Rz; b) wpływ prędkości skrawania Vc na parametr Ra

Rys. 8 przedstawia wpływ posuwu f_z oraz prędkości skrawania V_c na parametry chropowatości Ra oraz Rz. Interesujące jest, że przy posuwie fz=0,3mm/ostrze parametr Rz nie przekracza 25µm dla stopów AZ91HP oraz 7075, natomiast dla stopu AZ31 Rz<5µm. Wpływ prędkości skrawania V_c na parametr Ra nie wykazuje znacznych zmian parametru chropowatości powierzchni.

7. Podsumowanie oraz wnioski

Przeprowadzone badania wskazują na dobrą skrawalność wymienionych stopów. Stop AZ31 posiada mniejszą chropowatość powierzchni od stopów AZ91HP i Al. 7075. Na zainteresowanie zasługuje fakt spadku siły skrawania Fy oraz jej amplitudy przy prędkości V_c=300m/min. Przeprowadzone badania należy poszerzyć o zakres technologicznych parametrów skrawania charakteryzujących obróbkę szybkościową stopów lekkich, analizując zwłaszcza stabilność obróbki (wpływ składowych sił skrawania oraz ich amplitud).

Przeprowadzone badania dotyczyły analizy składowych sił Fx oraz Fy, pominięto natomiast składową Fz oraz jej moment MFz, co należy uwzględnić również w dalszych badaniach. Kolejne badania powinny ponadto być poszerzone o narzędzia o różnych cechach geometrycznych oraz dla różnych materiałów narzędziowych (pokrycie narzędzia lub płytki skrawające z PKD).

LITERATURA

[1] Bochenko J.: Analiza warunków obróbki stopów Al w aspekcie sztywności obrabianych elementów, Raport 2009, POIG. 01.01.02-00-015/08-00

[2]Barton G., Deinzer G., Baumgart H.: Wybrane zagadnienia wytwarzania i eksploatacji elementow maszyn ze stopu magnezu. Journal of Kones Internal Combustion Engines, 11/2004, s. 29-34

[3] Matuszak J., Zaleski K.: Badania chropowatości powierzchni i mikrotwardości warstwy wierzchniej wybranych stopów aluminium i magnezu po obróbce frezowaniem. Monografia IV Szkoły Obróbki Skrawaniem, Łódź 2010, s. 349-356

[4] Kłonica M., Kuczmaszewski J.: Badania właściwości energetycznych warstwy wierzchniej wybranych stopów Al. i Mg po obróbce frezowaniem. Monografia IV Szkoły Obróbki Skrawaniem, Łódź 2010, s. 341-348

[5] Kuczmaszewski J.: Efektywność wytwarzania elementów lotniczych ze stopów aluminium i magnezu. Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Oficyna Wyd. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2011, s. 7-18

[6] Piątkowski J., Binczyk F.: Właściwości i zastosowanie odlewniczych stopów Mg-Al. Archiwum Odlewnictwa. PAN Katowice, 4/2002, s. 426-433

[7] Pieśko P.: Właściwości fizyczne, chemiczne, technologiczne i użytkowe stopów Al. Analiza wpływu dodatków stopowych na skrawalność stopów Al. Ocena i analiza sił skrawania. Raport 2009, POIG. 01.01.02-00-015/08-00

[8] Pieśko P., Józwik J., Jacniacka E., Włodarczyk M.: Analiza jakościowa i ilościowa wpływu wysięgu narzędzia na siły skrawania i stan powierzchni po obróbce. International Conference „Automation in Production Planning and Manufacturing, Zilina 2009, s. 36-45

[9] Zagórski I.: Magnez i jego stopy. Właściwości fizyczne, chemiczne, technologiczne i użytkowe stopów Mg. Analiza wpływu dodatków stopowych na skrawalność stopów Mg. Ocena i analiza sił skrawania. Raport 2009, POIG. 01.01.02-00-015/08-00

[10] Zagórski I.: Znaczenie temperatury w strefie skrawania w aspekcie bezpiecznej obróbki stopów Mg. Raport 2010, POIG. 01.01.02-00-015/08-00

[11] Zagórski I., Kuczmaszewski J.: Badania porównawcze skrawalności stopów magnezu AZ 91 HP i AZ 31. Monografia IV Szkoły Obróbki Skrawaniem, Łódź 2010, s. 137-144

[12] http://www.ntp.com.pl/

Praca realizowana w ramach projektu Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Wpływ parametrów technologicznych na skrawalność lotniczych stopów Al oraz Mg

Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie frezowania, właściwości oraz zastosowanie wybranych stopów Al oraz Mg, skrawalność oraz problematykę obróbki stopów lekkich, program badań oraz wyniki dotyczące sił skrawania oraz chropowatości powierzchni po obróbce frezowaniem, podsumowanie, wnioski, dane literaturowe.

Słowa kluczowe: skrawalność, stopy Al., stopy Mg, stopy lekkie, wskaźniki skrawalności

Influence of technological parameters on the machinability of Al and Mg aviation alloys

Abstract

The paper describes the use of milling, properties and application of selected Al and Mg alloys, machinability and machining problems of light alloys, a program of research and the results concerning cutting forces and surface roughness after milling, summary and conclusions, the data references.

Key words: machinability, Al alloys, Mg alloys, light alloys, machinability indicators

Wpływ parametrów technologicznych na skrawalność lotniczych stopów Al oraz Mg

Ireneusz Zagórski
Paweł Pieśko

Informacje o autorach

mgr inż. Ireneusz Zagórski
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin
Tel. (81) 538 42 37
e-mail: i.zagorski@pollub.pl

mgr inż. Paweł Pieśko
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin
Tel. (81) 538 42 37
e-mail: p.piesko@pollub.pl

PAWEŁ PIEŚKO
IRENEUSZ ZAGÓRSKI

Analiza dokładności obróbki, frezami trzpieniowymi o zmiennej sztywności, tulei cienkościennych wykonanych z stopu AlMn1

1. Wstęp

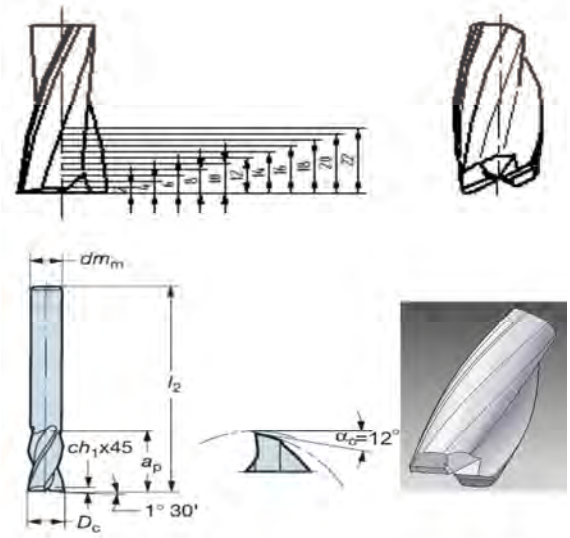
W współczesnych konstrukcjach lotniczych, pomimo coraz szerszego stosowania nowoczesnych materiałów jak np. kompozyty, elementy wykonane ze stopów aluminium stanowią nawet do 80% całkowitej ich masy. Najczęściej, jako półfabrykaty do wykonywania tych konstrukcji stosowane są przerobione plastycznie durale w postaci płyt o różnej grubości. Są to z reguły, ze względu na konieczne obniżenie masy, cienkościenne elementy kieszeniowe o znacznej głębokości i skomplikowanej geometrii. Najczęściej stosowanym rodzajem obróbki jest frezowanie metodami HSM i HPC, w trakcie której ubytek masy sięga nawet 97%. Powyższe uwarunkowania wymagają stosowania narzędzi o dużych wysięgach, więc małej sztywności przy jednoczesnej konieczności zapewnienia dużej wydajności obróbki. Wiąże się to z powstawaniem odkształceń zarówno narzędzia jak i przedmiotu obrabianego. Odkształcenia przedmiotu obrabianego związane mogą być również z naprężeniami wywołanymi przez siły przyłożone w celu jego zamocowania, jak również przez naprężenia wewnętrzne skumulowane w przerobionych plastycznie półfabrykatach. W przypadku elementów cienkościennych implikuje to powstawanie znacznych deformacji, które często są nie możliwe do usunięcia i powodują powstawanie braków.

Pojawia się więc, dla tego typu elementów, konieczność analizy wpływu parametrów technologicznych obróbki oraz powstających w jej trakcie odkształceń narzędzia i przedmiotu obrabianego na ich dokładność geometryczną.

W pracy podjęto próbę eksperymentalnego wyznaczenia wpływu stosunku długości wysięgu narzędzia do jego średnicy (L/d) na dokładność geometryczną oraz jakość powierzchni obrabianego elementu w postaci cienkościennej tulei.

2. Przebieg eksperymentu

Podczas wykonanych prób zastosowano dwa frezy pełnowęglikowe bez pokrycia, firmy Sandvik Coromant. Frezy o średnicy 12mm posiadały dwa ostrza oraz geometrią dedykowaną do obróbki stopów metali grupy ISO N (stopy aluminium, magnezu, miedzi itp.). Widok narzędzi oraz ich podstawowe parametry geometryczne przedstawiono na rys.1.



Rys. 1. Widok i geometria narzędzi zastosowanych do badań

Wysięg narzędzi regulowano poprzez ich odpowiednie wysunięcie i mocowanie w oprawkach z tulejami sprężystymi. Dla każdego z narzędzi zastosowano trzy różne długości wysięgu. Zestawianie poszczególnych wysięgów narzędzi przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Zestawianie wysięgów narzędzi

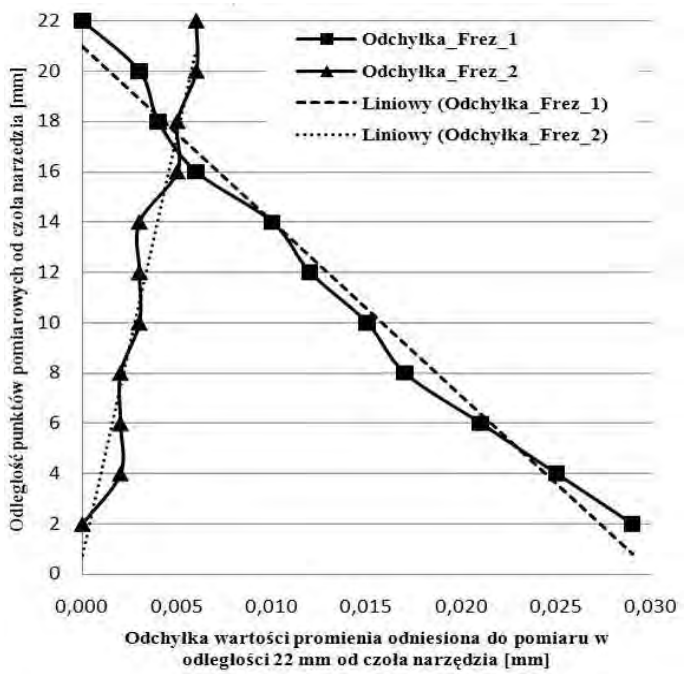
Lp.	Oznaczenie	dł. wysięgu narzędzia L [mm]	Stosunek długości do średnicy narzędzia L/d
1	Frez1_dł.1	40 mm	3,33
2	Frez1_dł.2	45 mm	3,75
3	Frez1_dł.3	50 mm	4,17
4	Frez2_dł.1	55 mm	4,58
5	Frez2_dł.2	60 mm	5,00
6	Frez2_dł.3	65 mm	5,42

Na dokładność wykonywanych elementów w bezpośredni sposób przekłada się dokładność wykonania narzędzi. W celu sprawdzenia i ewentualnego skorygowania niedokładności narzędzi, wykonano pomiary ich promieni za pomocą optycznego systemu pomiarowego NC4, którego podstawowe parametry techniczne zawarto w tabeli 2. Punkty pomiarowe rozmieszczono, co 2mm na całej długości krawędzi skrawającej biorącej udział w procesie obróbki zgodnie z rys. 1. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 2.

TABELA 2. Specyfikacja techniczna sondy NC4 [17]

Sposób pomiaru	bezdotykowy, laserowy pomiar narzędzia i detekcja uszkodzeń narzędzi w dowolnym miejscu wzdłuż wiązki laserowej.
Kierunki działania	$\pm X$, $\pm Z$
Typowa powtarzalność 2 σ	±0,25 μm
Minimalna średnica mierzonego narzędzia	0,2 mm
Odległość pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem	225 mm

Z otrzymanych wyników pomiaru (rys.2) można stwierdzić, że pierwszy frez jest zbieżny w kierunku części chwytowej natomiast drugi w kierunku czoła. Zbieżność ta w przypadku drugiego narzędzia jest nieznaczna (0,006 mm) w odróżnieniu do narzędzia pierwszego, dla którego wynosi 0,03 mm na długości 22mm. Zmiany promienia narzędzia na długości krawędzi skrawającej uwzględniono przy pomiarach gotowych elementów.



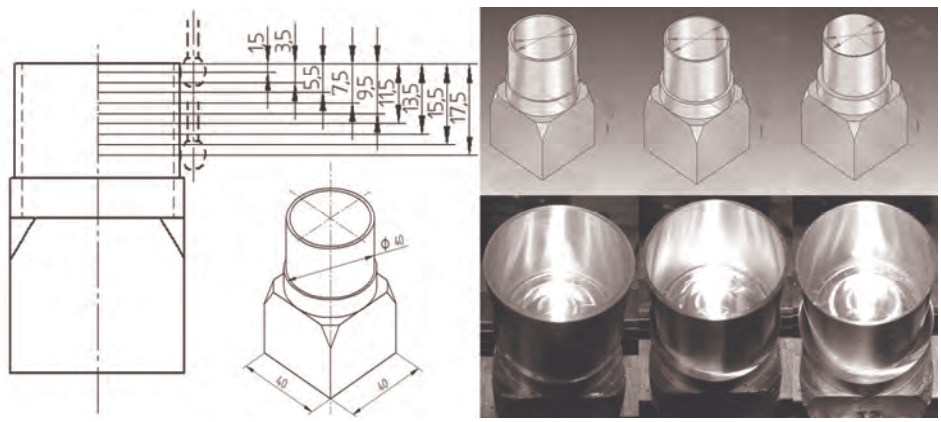
Rys. 2. Odchyłka wartości promienia odniesiona do pomiaru w odległości 22 mm od czoła narzędzia

Jako materiał na próbki zastosowano walcowany pręt o przekroju kwadratowym 40x40 mm wykonany ze stopu AlMn1. Właściwości tego stopu przedstawiono w tabeli 3. Charakteryzuje się on bardzo dużą podatnością do obróbki plastycznej na gorąco i na zimno, jest dobrze spawalny oraz odporny na korozję. Posiada stosunkowo dobrą skrawalność. Głównym problemem podczas obróbki skrawaniem jest jego duża plastyczność, która powoduje powstawanie narostów oraz „zalepianie" powierzchni natarcia.

TABELA 3. Oznaczenia oraz właściwości stopu AlMn1 [5]

Znak		Znak		Znak		Cecha
wg. PN-EN 573-3		wg. ASTM		wg. PN-76/88026		
EN AW-AlMn1		3103		AlMn1		PA1
Wł. mechaniczne				Wł. fizyczne		
Rm [MPa]	$Rp_{0,2}$ [MPa]	A %	HB	α [1/K^o]	Temp. top.[C^o]	ρ [g/cm^3]
80-230	35-180	1-35	27-62	≤23,1	640-655	2,71

Próbki frezowano wstępnie z zewnątrz na głębokości 22 mm, na trzy rożne średnice: f=38, f=36, f=34 mm. Po obróbce dokonano pomiaru powstałych w ten sposób walców. Następnie próbki frezowano wewnątrz zgrubnie na głębokość 30 mm pozostawiając naddatek 1 mm na obróbkę wykańczającą. Po obróbce wykańczającej, wykonywanej w jednym przejściu na głębokości 22 mm otrzymywano elementy w postaci tulei cienkościennych o średnicach wewnętrznych: f=35, f=34, f=33 mm i grubościach ścianek odpowiednio: 1,5; 1,0; 0,5 mm. W tak otrzymanych elementach mierzono zarówno zewnętrzne jak i wewnętrzne powierzchnie walcowe w punktach przedstawionych na rys.3.



Rys. 3. Widok próbek oraz położenie punktów pomiarowych

Pomiary średnic zewnętrznych i wewnętrznych wykonano bezpośrednio na obrabiarce z zastosowaniem sondy dotykowej OMP60, której specyfikację techniczną przedstawiono w tabeli 4.

TABELA 4. Specyfikacja techniczna sondy OMP60 [17]

Kierunki działania	$\pm X$, $\pm Y$, $\pm Z$	
Typ transmisji	optyczna: podczerwień 360^0	
Zakres transmisji	6m	
Powtarzalność jednokierunkowa 2σ	$\pm$ 1μm	
Nacisk pomiarowy płaszczyzna *XY* minimum płaszczyzna XY maksimum w kierunku osi +*Z*	 0,75 N 1,4 N 5,3 N	
Droga przełączania płaszczyzna XY w kierunku osi +*Z*	 $\pm 18^0$ 11 mm	
Niepewność pomiaru sondą OMP60		
Kierunek pomiaru	osi X	osi Y
Wymiar płytki, mm	100	100
Średnia, mm	100,008	100,006
Niepewność standardowa u_A, mm	0,00037	0,00037
Złożona niepewność standardowa *u*, mm	0,00053	0,00053
Niepewność rozszerzona *U*, mm	0,0011	0,0011
Poprawka P_{Ex}, mm	-0,008	-0,006

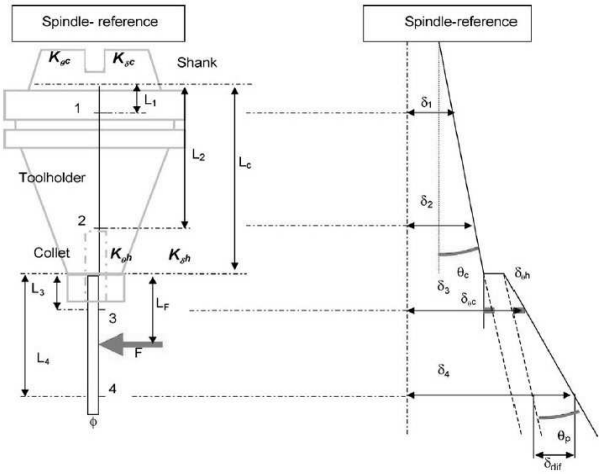
W trakcie przeprowadzonych prób zastosowano stałe parametry obróbki:

- obróbka zgrubna:
  - prędkość skrawania v_c= 200 m/min,
  - posuw na ostrz f_z = 0,025 mm/ostrze
  - głębokość skrawania a_p = 5 mm
- obróbka wykańczająca:
  - prędkość skrawania v_c= 300 m/min,
  - posuw na ostrz f_z = 0,015 mm/ostrze
  - głębokość skrawania a_p = 22 mm.

3. Wyniki pomiarów i ich analiza

Wzrost długości wysięgu narzędzia powoduje obniżenie jego sztywności a co za tym idzie zwiększenie odkształceń w trakcie obróbki pod wpływem sił skrawania. Odkształceniu ulega jednak nie tylko samo narzędzie, lecz cały układ narzedzie-oprawka-wrzeciono (rys.4). Trudne było by więc wyznaczenie zarówno odkształceń jak i sztywności tak skomplikowanego układu.

W niniejszej pracy w celu wyznaczenia sztywności tego układu posłużono się analizą modalną.



Rys. 4. Odkształcenia układu narzędzie-oprawka-wrzeciono [16]

Współczynnik tłumienia wyznaczono z zależności [7]:

$$\zeta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_n} \tag{1}$$

gdzie:

ζ - współczynnik tłumienia

ω_1, ω_2, ω_n - częstotliwości wyznaczone z przebiegów rys.5

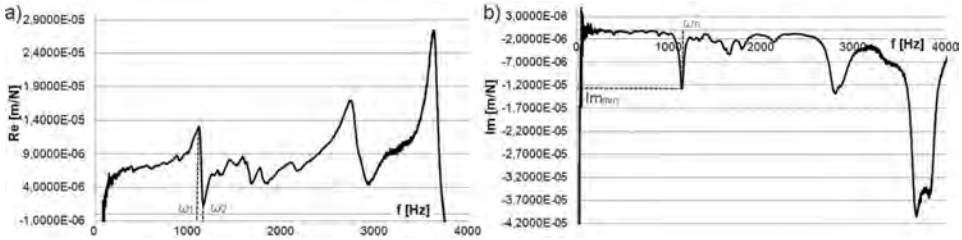
a następnie wyznaczono sztywność [7]:

$$k = \frac{-1}{2\zeta \,\mathrm{Im}_{\min}}[N/m] \tag{2}$$

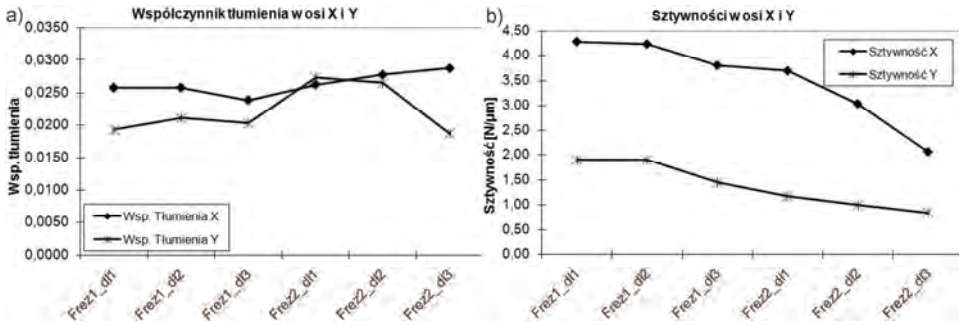
gdzie:

k - sztywność

$\mathrm{Im}_{\min}$ - wartość części urojonej odpowiadająca częstotliwości ω_n (rys.5b)



Rys. 5. Przykładowa odpowiedz układu narzędzie-oprawka-wrzeciono na wymuszenie a) część rzeczywista, b) część urojona



Rys. 6. Wyznaczone dla rożnych wysięgów narzędzi, na podstawie analizy modalnej a) współczynnik tłumienia oraz b) sztywność układu narzędzie-oprawka-wrzeciono

Na wykresie przedstawionym na rys. 6b widoczny jest wyraźny spadek sztywności układu narzędzie-oprawka-wrzeciono wraz z wydłużeniem wysięgu narzędzia. Przy założeniu niezmienności sztywności oprawki i wrzeciona można przyjąć, że powyższe zmiany spowodowane są wzrostem stosunku wysięgu narzędzia do jego średnicy L/d.

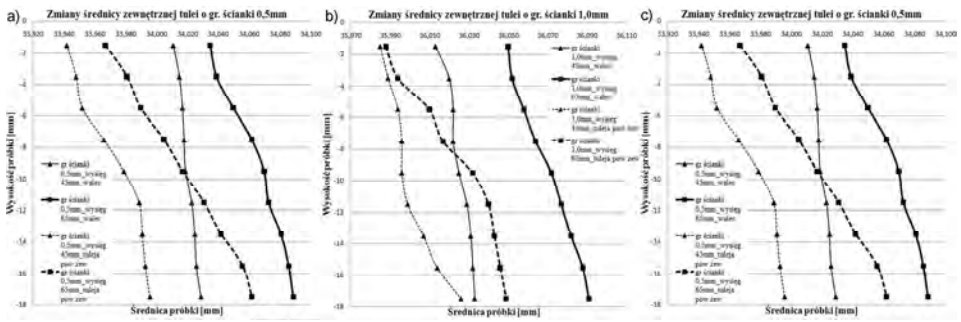
W aspekcie zmian sztywności narzędzia przeprowadzono analizę dokładności geometrycznej wykonanych elementów. W celu wyznaczenia błędów walcowości, po obróbce powierzchni zewnętrznej, dokonano pomiarów średnic walców w punktach pomiarowych przedstawionych na rys.3. Następnie, po obróbce powierzchni wewnętrznej, powtórzono pomiar średnic walców oraz wykonano pomiar średnic otworów, w tych samych punktach pomiarowych. Porównanie wyników pomiarów dla walców i tulei o różnych grubościach ścianki dla dwu skrajnych wartości wysięgu (frez1_dł.1 - L=40mm oraz frez2_dł.3 - L=65mm) przedstawiono na rys.7. Linią ciągła zaznaczono wyniki pomiaru średnic walców:

a) średnica walca 38mm – szerokość frezowania a_e = 1,0 mm
b) średnica walca 36mm – szerokość frezowania a_e = 2,0 mm
c) średnica walca 34mm – szerokość frezowania a_e = 3,0 mm

Natomiast linią przerywaną zaznaczono pomiary tych samych średnic po wykonaniu otworów odpowiednio o średnicach i grubościach ścianek:

a) średnica otworu 35mm – grubość ścianki 1,5 mm
b) średnica otworu 34mm – grubość ścianki 1,0 mm
c) średnica otworu 33mm – grubość ścianki 0,5 mm

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić wzrost średnicy mierzonych zewnętrznych powierzchni walcowych w kierunku dolnej ich podstawy. W rezultacie obróbki uzyskujemy powierzchnię stożkową o różnej zbieżności w zależności od wysięgu narzędzia oraz szerokości frezowania. Wzrost różnicy średnic (rys.8) mierzonych przy górnej i dolnej podstawie jest coraz większy w miarą zwiększania się stosunku L/d narzędzia, co jest spowodowane zmniejszaniem się sztywności freza, a więc zwiększonym jego odkształceniem. Wzrost tej różnicy występuje również przy zwiększaniu szerokości frezowania, co można zaobserwować również na rys.8. Wynika to ze zwiększenia sił skrawania, wraz ze wzrostem przekroju warstwy skrawanej, co wywołuje większe odkształcenia zarówno układ narzedzie-oprawka-wrzeciono jak i przedmiotu obrabianego.

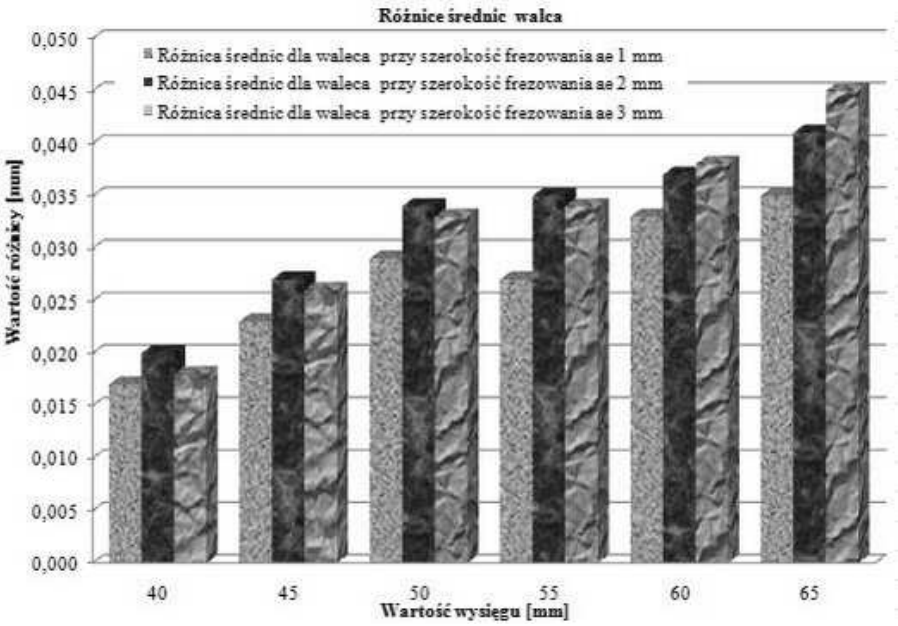


Rys. 7. Zmiany średnicy powierzchni zewnętrznej tulei a) gr. ścianki 1,5mm szerokość frezowania walca 1mm, b) gr. ścianki 1,0mm szerokość frezowania walca 2mm, c) gr. ścianki 0,5mm szerokość frezowania walca 3mm,

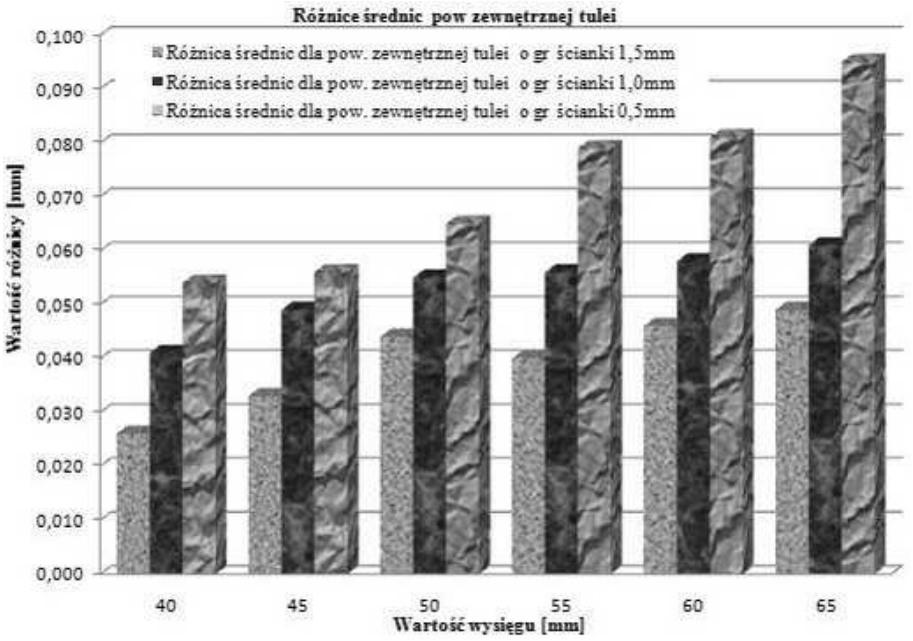
Porównujac pomiary walca oraz zewnetrznej powierzchni tulei można zobserwować zmniejszenie średnic po wykonaniu otworów (rys.7, 8, 9). Zwiększa się również kąt pochylenia zewnętrznych ścianek tulei w stosunku do pomiarów ścian walca (przed wykonaniem otworu) co widać na rys. 7. Nastapuje więc odkształcenie ścianek tulei polegające na ich przesunięciu w kierunku osi. Podstawa tulei jest utwierdzona więc nie ulega przemieszczeniu, natomiast odkształcenia przy górnej krawędzi tulei są największe. W rezultacie otrzymujemy na zewnętrznej powierzchni tulei stożek o większej zbieżności niż dla walca przed wykonaniem otworu. Wynika to prawdopodobnie z relaksacji naprążeń wewnętrznych podczas wykonywania obróbki zgrubnej otworu.

W przypadku pomiarów średnic wewnętrznej powierzchni walcowej tulei stwierdzono również powstawanie powierzchni stożkowych zbieżnych w kierunku górnej podstawy (rys.10). Wyjatek stanowi otwór uzyskany dla tulei o grubości ścianki równej 0,5 mm przy najmniejszym wysiegu narzedzia. W tym przypadku przy górnej podstawie tulei średnica otworu jast mniejsza niż przy podstawie dolnej. Jest to prawdopodobnie spowodowane powstawaniem, w trakcie obróbki otworu, odkształceń sprężystych „wypychających" stosunkowo cienką ścianką tulej na zewnątrz. Sztywność narzędzia w tym przypadku jest wysoka a więc jego odkształcenie nie kompensuje odkształcenia sprężystego ścianki tulei.

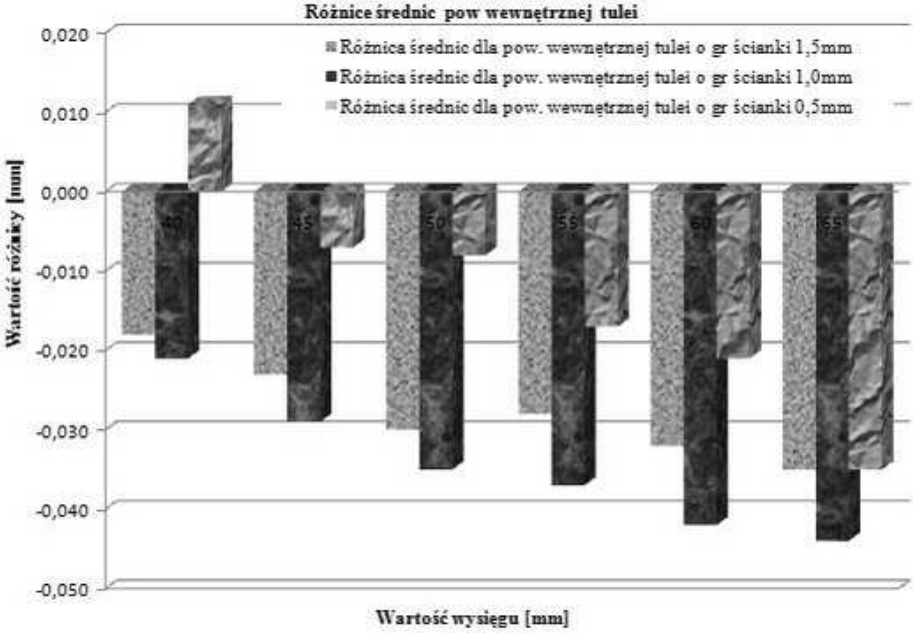
Zmiany średnic zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni tulei wpływają na zmiany grubości jej ścianki (rys.11). Można zaobserwować wzrost tej grubości w kierunku podstawy tulei.



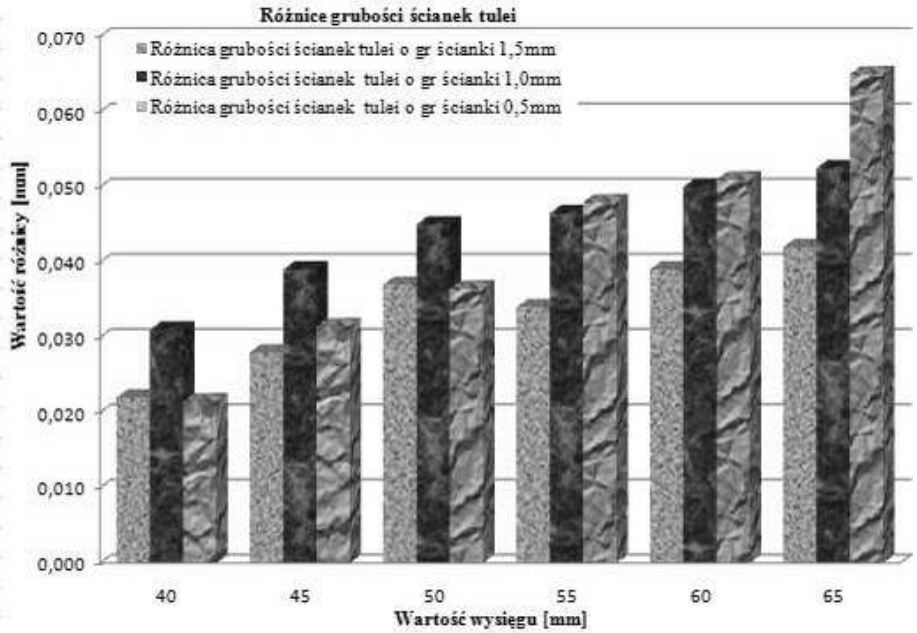
Rys. 8. Różnice pomiędzy średnicami walców mierzonymi przy górnej i dolnej podstawie dla różnych wysięgów narzędzia oraz różnych szerokości frezowania



Rys. 9. Różnice pomiędzy średnicami zewnętrznych powierzchni tulei mierzonymi przy górnej i dolnej podstawie dla różnych wysięgów narzędzia oraz różnych grubości ścianek

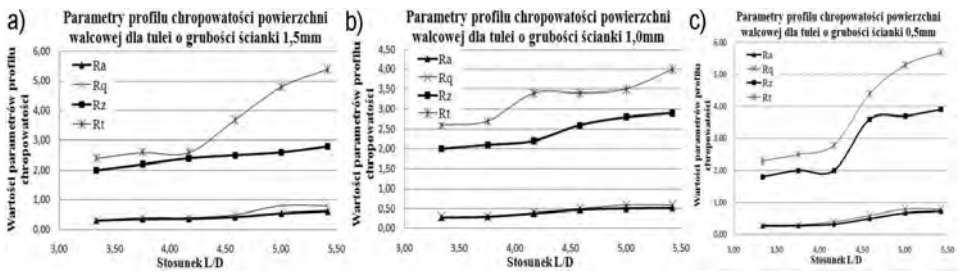


Rys. 10. Różnice pomiędzy średnicami wewnętrznych powierzchni tulei mierzonymi przy górnej i dolnej podstawie dla różnych wysięgów narzędzia oraz różnych grubości ścianek



Rys. 11. Różnice pomiędzy grubościami ścianek tulei mierzonymi przy górnej i dolnej podstawie dla różnych wysięgów narzędzia oraz różnych grubości ścianek

W trakcie badań wykonano również pomiary parametrów profilu chropowatości obrobionych powierzchni. Wyniki tych pomiarów, dla rożnych grubości ścianek tulei oraz różnych stosunków L/d narzędzia, przedstawiono na rys.12. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że zmiana grubości ścianki tulei (w rozpatrywanym zakresie) praktycznie nie ma wpływu na jakość obrobionej powierzchni. Natomiast w przypadku zmian długości narzędzia wpływ ten jest istotny, szczególnie w przypadku drugiego narzędzia.



Rys. 12. Parametry profilu chropowatości dla zewnętrznych powierzchni tulei o grubościach ścianek a) 1,5mm, b) 1,0mm, c) 0,5mm, w zależności od stosunku L/d

4. Podsumowanie i wnioski

Wartość stusunku L/d narzedzia, a więc i jego sztywności w znaczacy sposób wpływa na dokładność geometryczną oraz jakść powierzchni obrabianych przedmiotów. Jest to szczególnie istotne w przypadku elemntów cienkościennych, które w trakcie obróbki mogą ulegać znacznym odkształceniom zarówno plastycznym jak i sprężystym.

Powstające siły skrawania powodują wzajemne odpychanie narzędzia i przedmiotu obrabianego, a więc ich odkształcenie. W przypadku narzędzia odkształcenie to rośnie w miarą spadku jego sztywności oraz wzrostu przekroju warstwy skrawnej (wzrostu oporów skrawania). Dla narzędzi o małej sztywności, konieczne jest więc stosowanie zmniejszonych przekrojów warstwy skrawanej oraz właściwej technologi i strategi obróbki. W celu polepszenia dokładności geometrycznej należy stosować zmienną kompensację promienia narzędzia w zależności od zastosowanego wysięgu, aby było to możliwe konieczny jest dokładny jego pomiar przed obróbką. Duży wpływ na dokładność wykonania przedmiotu mają prawdopodobnie naprążenia własne skumulowane w „przygotówce", jest to szczególnie istotne dla konstrukcjach cienkościennych o dużych gabarytach. Niestety trudno jest określić ich wartości lub wyeliminować je całkowicie.

LITERATURA

1. Akesson H., Smirnova T. Smirnova, Hakansson L., Lago T., Claesson I., Investigation of the Dynamic Properties of a Milling Tool Holder, Blekinge Institute of Technology, Research report No. 07:2009.
2. Bera T.C., Desai K.A., Rao P.V.M., Error compensation in flexible end milling of tubular geometrie, Journal of Materials Processing Technology 211, 2011 s.24–34.
3. Bravo U., Altuzarra O., Lo´pez de Lacalle L.N., Stability limits of milling considering the flexibility of the workpiece and the machine, International Journal of Machine Tools & Manufacture 45, 2005 s.1669–1680.
4. Budny E., Kacperski T., Sztywność elementów w budowie maszyn. Prace naukowe. Mechanika. Z.183. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
5. Dobrzański L.A., Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. WNT, 2007.
6. Drozd K., Analiza wpływu sztywności narzędzia na dokładność wymiaru i stabilność procesu obróbkowego. Praca Inżynierska. Politechnika Lubelska, Lublin, 2009.
7. Ewins D.J. Modal Testing: Theory and Practice. Research Studies Press, Letchworth, England, 1984.
8. Górski E., Obróbka skrawaniem, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 1982.
9. Górski E., Poradnik frezera, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1999
10. Jacniacka E., Semotiuk L., Pieśko P., Niepewność pomiaru wewnątrzobrabiarkowego systemu pomiarowego z zastosowaniem sondy OMP60, Przegląd Mechaniczny, Warszawa, 06/2010.

11. Jer-Shyong Tsai, Chung-Li Liao, Finite-element modeling of static surface errors in theperipheral milling of thin-walled workpieces, Journal of Materials Processing Technology 94, 1999 s.235-246.
12. Pieśko P., Jacniacka E., Józwik J., Włodarczyk M., Analiza jakościowa i ilościowa wpływu wysięgu narzędzia na siły skrawania i stan powierzchni po obróbce, 10th International Conference „Automation in Production Planning and Manufacturing" Zilina 4-6.05.2009, Slovakia. Published by Scientific and Technical Society at the University of Zilina, 2009.
13. Poradnik CoroGuide, AB Sandvik Coromant, Szwecja, 2007.
14. Poradnik Obróbki Skrawaniem, AB Sandvik Coromant, Szwecja, 2010.
15. Ratchev S., Liu S., Becker A.A., Error compensation strategy in milling flexible thin-wall parts, Journal of Materials Processing Technology, 2005 s.673–681.
16. Salgado M.A., Lopez de Lacalle L.N., Lamikiz A., Evaluation of the stiffness chain on the deflection of end-mills under cutting forces, International Journal of Machine Tools & Manufacture 45, 2005 s.727–739.
17. Strona internetowa: www.renishaw.com.pl - Materiały informacyjne firmy Renishaw.

Praca realizowana w ramach projektu Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Analiza dokładności obróbki, frezami o zmiennej sztywności, tulei cienkościennych wykonanych z stopu AlMn1

Streszczenie

W artykule opisano wpływ sztywności frezów na dokładność oraz jakość powierzchni elementów cienkościennych wykonanych ze stopów aluminium. Analizie poddano również zmiany dokładności wykonania tego typu elementów w wyniku zmian przekroju warstwy skrawanej oraz uzyskiwanej grubości ścianki.

Słowa kluczowe: dokładność obróbki, obróbka stopów aluminium, obróbka elementów cienkościennych, sztywność narzędzi

Analysis of the accuracy machining, milling cutters with variable stiffness, thin-walled sleeve made of an alloy AlMn1

Abstract

The paper describes the influence of stiffness on the accuracy of milling cutters and surface quality of thin-walled parts made of aluminum alloys. We analyzed the changes in accuracy of such components due to changes in cross-section of cut and thickness obtained.

Key words: accuracy of machining, machining of aluminum alloys, machining thin-walled elements, tools stiffness

Analiza dokładności obróbki, frezami o zmiennej sztywności, tulei cienkościennych wykonanych z stopu AlMn1

PAWEŁ PIEŚKO
IRENEUSZ ZAGÓRSKI

Informacje o autorach

mgr inż. Paweł Pieśko
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin
Tel. (81) 538 42 37
e-mail: p.piesko@pollub.pl

mgr inż. Ireneusz Zagórski
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin
Tel. (81) 538 42 37
e-mail: i.zagorski@pollub.pl

PIOTR BORAL
ANDRZEJ PIOTROWSKI
TADEUSZ NIESZPOREK

Wykorzystanie sterowników PLC w automatyzacji produkcji

Wprowadzenie

Zmechanizowane i zautomatyzowane stanowiska pracy, sterowane przez układy elektroniczne, wyręczają ludzi od niebezpiecznych, czasochłonnych i monotonnych zadań, eliminując zagrożenia i błędy powstałe na skutek zmęczenia pracowników. Wzrasta więc zapotrzebowanie na systemy sterowania, działające w różnych warunkach, odporne na niską czy wysoką temperaturę otoczenia, zapylenie powietrza, wilgoć, czy duże drgania urządzeń w sąsiedztwie. Zostały w tym celu opracowane programowalne sterowniki logiczne PLC (ang. Programmable Logic Controller), które, za pomocą czujników i specjalnych modułów wejściowych, w czasie rzeczywistym, odczytują parametry otoczenia i stan sterowanego obiektu czy procesu, analizują je, a za pomocą modułów wyjściowych i układów wykonawczych, odpowiednio reagują według napisanego programu. Kontrolują często pracę wielu pojedynczych urządzeń i obiektów przemysłowych [2, 11, 13, 17], a nawet całych procesów produkcyjnych [5, 12, 15, 16].

Łatwość programowania sterowników oraz ich uniwersalny charakter spowodowały ich rozpowszechnienie praktycznie we wszystkich procesach automatyzacji produkcji. Możliwość zdalnego przeprogramowania sterownika PLC jest z punktu widzenia użytkownika najbardziej interesującą cechą systemu sterowania realizowanego przy jego użyciu. Sterowniki można programować metodą tekstową w języku IL (Instruction List) [7, 14, 18] listy instrukcji i języku strukturalnym ST (Structured Text) oraz metodą graficzną w języku schematów drabinkowych LD (Ladder Diagram) [1] i języku schematów blokowych FBD (Function Block Diagram) [6, 10]. Wszystkie metody ich programowania są znormalizowane i opisane normą IEC 1131-3 [3].

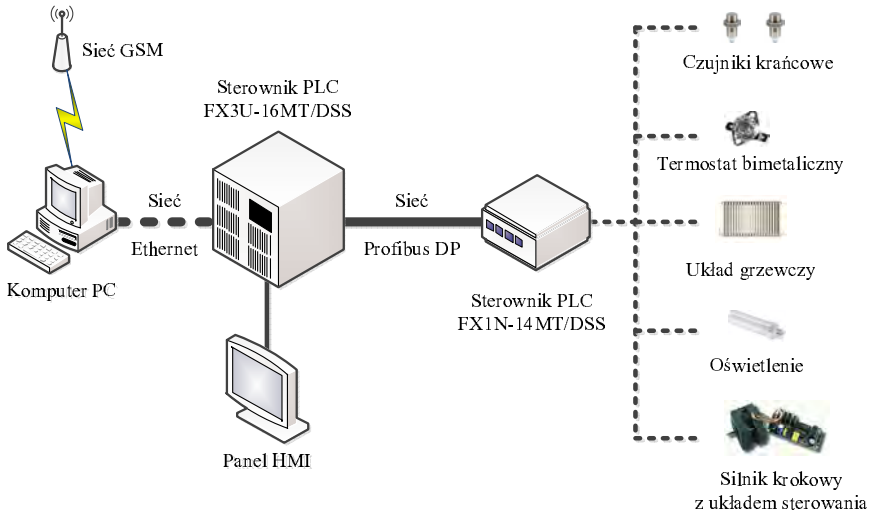
Automatyzacja procesu produkcyjnego rozpoczyna się od ustalenia warunków początkowych (analizy procesu technologicznego). Na tej podstawie określamy ilość niezbędnych elementów wejściowych (czujniki) i elementów wykonawczych (silniki, elektrozawory, itp.), a w konsekwencji rodzaj układu sterownia (ilość wejść/wyjść analogowych i cyfrowych, wielkość pamięci, szybkość procesora, niezbędne moduły dodatkowe).

Poniżej podano przykład wykorzystania sterowników PLC do sterowania modelem szklarni, odzwierciedlającym istniejące w rzeczywistości obiekty szklarniowe oraz procesu technologicznego produkcji roślinnej. Jest to jedno ze stanowisk do nauki programowania sterowników PLC na przykładzie ich zastosowania do aplikacji przemysłowych. Prawidłowa uprawa roślin pod osłonami uzależniona jest od kontrolowania i utrzymywania warunków klimatycznych, takich jak temperatura, wilgotność, oświetlenie i nasłonecznienie, czy podlewanie i nawożenie roślin. Są to elementy specyficzne dla każdego typu produkcji roślinnej. Producent w ciągu roku kalendarzowego zmienia uprawy, co pociąga za sobą potrzebę zmiany procesu technologicznego, a w konsekwencji przeprogramowania wykorzystywanych sterowników PLC. Zastosowanie modułów komunikacyjnych i połączenie z komputerami klasy PC [12], a także stosowanie paneli operacyjnych HMI (Human Machine Interface) [8], umożliwiają zdalne, bieżące monitorowanie parametrów klimatycznych wewnątrz szklarni bez wychodzenia z pomieszczenia kontrolnego (najczęściej z domu). Zastosowanie odpowiedniego oprogramowania, umożliwia zapamiętanie oraz wizualizację otrzymanych pomiarów z wszystkich czujników, a także zdalne sterowanie na odległość, (zmianę parametrów procesu technologicznego) parametrami produkcji roślin.

Budowa stanowiska

Zostało zbudowane specjalne stanowisko dydaktyczne w postaci obiektu ochronnego (szklarni lub cieplarni) do uprawy roślin [4]. Do sterowania wykorzystano kompaktowe sterowniki PLC FX3U-16MT/DSS ze zintegrowanym zegarem czasu rzeczywistego oraz FX1N-14MT/DSS połączone siecią przemysłową Profibus DP za pomocą dedykowanych modułów FX3U-64DP-M (master) i FX0N-32NT-DP (slave) (rys. 1). Jest to novum w stosunku do stosowanych rozwiązań. W typowym gospodarstwie szklarniowym sterowniki są umieszczone w poszczególnych obiektach, zbierają informację z czujników w nich rozmieszczonych i sterują pracą urządzeń wykonawczych, czyli nadzorują proces technologiczny w ramach jednego pomieszczenia. Wykorzystanie sieci przemysłowej całkowicie zmienia tą sytuację. Zastosowanie jednego, dodatkowego, sterownika nadzorującego (master) zintegrowanego z panelem operatorskim HMI (wizualizacja procesu) umożliwia automatyczne i zdalne nadzorowanie pracą wszystkich dodatkowych sterowników (stają się wówczas sterownikami typu slave), które, oprócz sterowania procesem uprawy, przekazują dane do sterownika centralnego (rys. 1). Tworzony jest scentralizowany układ sterowania z elementami układu rozproszonego. Wykorzystanie odpowiedniego medium transmisyjnego (ekranowana skrętka lub światłowód) umożliwia połączenie obiektów przemysłowych znajdujących się w odległości nawet kilkuset metrów. Ciekawostką jest wykorzystanie medium bezprzewodowego (fal radiowych) do zdalnego informowania operatora o anormalnych sytuacjach w nadzorowanych

pomieszczeniach (np. awaria oświetlenia), a nawet wyświetlania danych o stanie urządzeń na ekranie telefonu komórkowego lub komputera.

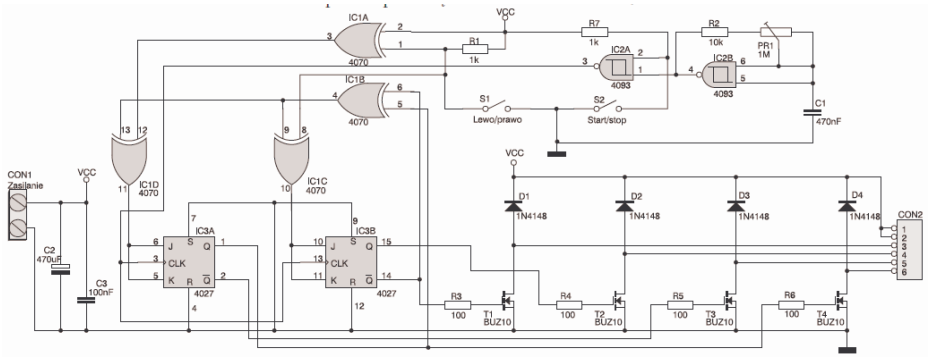


Rys. 1. Schemat logiczny wykonanego modelu

Elementami regulującymi przepływ powietrza są uchylne lub przesuwne wietrzniki, umieszczone na dachu i ścianach bocznych szklarni. Sterownik PLC FX1N-14MT/DSS analizując otrzymane z czujników temperatury dane reguluje stopniem otwarcia klap (zwiększając lub zmniejszając ich otwarcie, w zależności od warunków panujących wewnątrz i na zewnątrz szklarni). Dodatkowo, ze względów bezpieczeństwa, skrajne położenia wietrznika (maksymalnie otwarty lub zamknięty), określają czujniki krańcowe (zbliżeniowe i położeniowe). Przy zbyt niskiej temperaturze (zamknięcie wietrznika nie wystarcza), następuje samoczynne załączenie układu grzewczego. Układ grzewczy podłączony jest do wyjścia sterownika PLC. Sterowanie ogrzewaniem możliwe jest dzięki zastosowaniu odpowiednich czujników temperatury. W modelu zastosowano termostat bimetaliczny (obudowany; napięcie 24V), działający w zakresie temperatur 25-35°C. Czujniki tego typu podają sygnał do sterownika w ten sposób, że dla temperatury maksymalnej zmienia on swój stan z wysokiego na niski, a w temperaturze minimalnej z niskiego na wysoki, powodując włączenie lub wyłączenia układu grzewczego. W warunkach rzeczywistych stosuje się czujniki podające wartość temperatury (w stopniach), która jest odczytywana i analizowana przez sterownik.

Wietrznik wprawiany jest w ruch, za pomocą silnika krokowego unipolarnego PM255-48 (48 kroków/obr (7,5°/krok), zasilanie 24V, rezystancja 65Ω) – rys. 2. Generator impulsów prostokątnych zbudowany jest z bramek z układem Schmitta – IC3. Częstotliwość pracy tego generatora, a tym samym prędkość obrotowa silnika, określona jest wartością rezystancji R1+PR1 oraz pojemności kondensatora C1. Za pomocą potencjometru PR1 możemy ją zmieniać w szerokim zakresie uzależnionym od możliwości sterowanego silnika

krokowego (w tym przypadku od 2obr/min do 80 obr/min). Fragment układu z bramkami ExOR i przerzutnikami J-K tworzy licznik modulo 4, na którego wyjściach, w takt impulsu zegarowego „przemieszcza się" poziom wysoki. Przełącznik S1 służy do zmiany kierunku pracy licznika, a tym samym do zmiany kierunku obrotów silnika, którego cewki przełączane są zgodnie ze stanem na wyjściu licznika. Za pomocą przełącznika S2 możemy zatrzymać i uruchomić silnik. Cewki czterofazowego silnika krokowego zasilane są za pośrednictwem czterech tranzystorów T1..T4 [9].



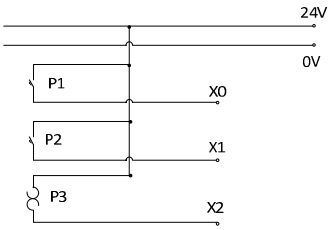
Rys. 2. Schemat elektryczny sterownika silnika krokowego

Układ sterowania silnika krokowego został podłączony do sterownika FX1N-14MT/DSS w ten sposób, że jedno wyjście jest podłączone do stycznika S1, a drugie do stycznika S2. Sterownik PLC odczytuje stan czujnika temperatury (niski/wysoki) i w zależności od tego stopniowo otwiera lub zamyka (ze skokiem 7.5°) wietrznik. Po zadanym okresie czasu (2 minuty) odczytuje kolejny raz stan czujnika temperatury i po jego analizie, obraca wietrznik do kolejnej pozycji lub, jeżeli temperatura osiągnęła zakładaną wartość, pozostawia wietrznik w pozycji aktualnej. Dodatkowo zastosowano dwa przełączniki krańcowe. Jeden sygnalizuje pozycję zamknięcia wietrznika, a drugi maksymalnego otwarcia. Pełnią one rolę bezpieczników w sytuacjach awaryjnych sygnalizując brak możliwości wychylenia wietrznika w określonym kierunku. Schemat połączenia czujników wejściowych wietrznika przedstawiono na rys. 3, gdzie:

P1 – czujnik dotykowy, określający położenie krańcowe zamknięcia wywietrznika,

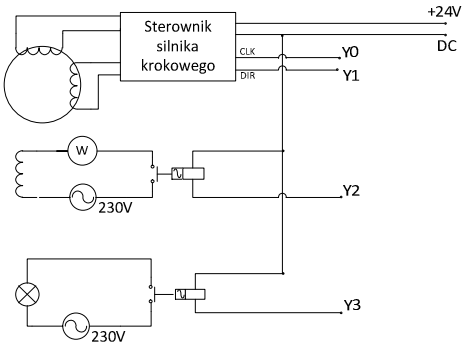
P2 – czujnik dotykowy, określający maksymalne otwarcie wywietrznika,

P3 – czujnik temperatury.



Rys. 3. Schemat elementów wejściowych układu sterującego

W zbudowanym stanowisku, elementami odpowiadającymi świetlówkom, wykorzystywanym w rzeczywistym obiekcie szklarniowym, są dwie żarówki diodowe. Czujniki wejściowe zasilane są napięciem zmiennym 24V i tym samym napięciem poprzez zwarcie obwodu na czujniku sterowane są wejścia wykorzystanego w projekcie sterownika (rys. 4).

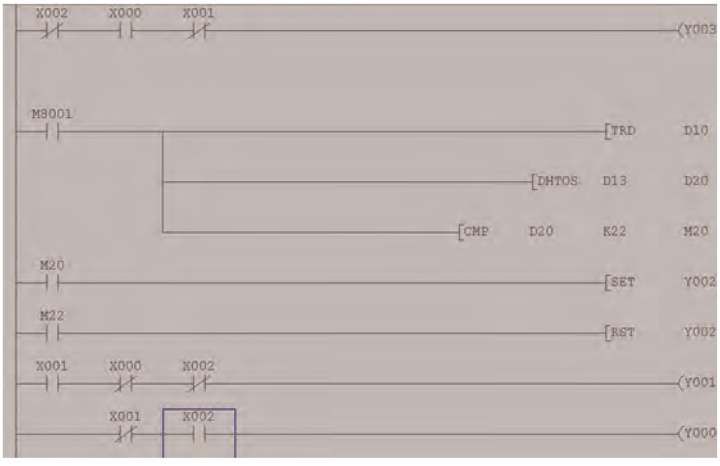


Rys. 4. Schemat elementów wyjściowych układu sterującego

Program sterujący omawianego stanowiska, został opracowany przy pomocy oprogramowania GX Developer firmy Mitsubishi kompatybilnego ze wszystkimi sterownikami MELSEC serii Q i FX. W aplikacji można pracować także bez fizycznego połączenia ze sterownikiem za pomocą symulatora GX Simulator [4]. W języku drabinkowym LD [1] stworzono aplikację sterującą pracą wszystkich elementów wchodzących w skład opracowanego układu sterowania (rys. 5). Wyjścia oznaczone Y0 oraz Y1 doprowadzone są do sterownika silnika krokowego. Pojawienie się sygnału na wyjściuY0/Y1 powoduje otwieranie/zamykanie wietrznika.

Ze względu na ograniczenia sterownika FX1N-14MT/DSS do sterowania włączaniem i wyłączaniem oświetlenia wykorzystano funkcje sterownika FX3U-16MT/DSS. W określonych godzinach, wykorzystując sieć Profibus DP, przesyła on rozkazy (dane) do sterownika slave (FX1N-14MT/DSS), który reguluje stan oświetlenia. Wykorzystana została funkcja zegara czasu rzeczywistego TRD, za pomocą której możliwe jest ustawienie wybranych dni

oraz godzin. Sterownik master (FX3U-16MT/DSS) może regulować oświetlenie dla dowolnej liczby obiektów szklarniowych. Jest to zatem rozwiązanie bardzo uniwersalne. Wykorzystanie sieci przemysłowej pozwala zaś na uzupełnianie brakujących w prostych sterownikach PLC funkcji. Dodatkowo sterownik master nadzoruje proces technologiczny w poszczególnych obiektach analizując podawane mu przez sterowniki slave informacje. Są one następnie wizualizowane na panelu operatorskim HMI, a w sytuacjach awaryjnych powiadamiany jest operator. Sterownik FX3U-16MT/DSS pełni także rolę łącznika (specjalizowany bridge) między siecią przemysłową Profibus DP i siecią komputerową LAN, do której podpięty jest komputer sterujący. Specjalna aplikacja uruchomiona na komputerze pozwala na zdalną analizę stanu procesu technologicznego oraz ewentualną modyfikację jego parametrów. Odbywa się to za pośrednictwem modułu master, do którego wysyłamy żądania zamiany parametrów procesu. Master analizuje zmiany i na podstawie adresu urządzenia slave wysyła dane do konkretnego, odpowiedzialnego za dane pomieszczenie, sterownika.



Rys. 5. Fragment kod programu sterującego

Podsumowanie

Rozwój technologii mikroprocesorowej w ostatnich dekadach znacznie przyczynił się do automatyzacji procesów produkcyjnych we wszystkich dziedzinach życia. Celem jest nie tylko podnoszenie wydajności czy opłacalności, ale także zwiększenie bezpieczeństwa i poprawy standardów pracy, niezagrażających ludzkiemu życiu. W przypadku bardziej złożonych aplikacji stosuje się układy sterujące wykorzystujące sterowniki swobodnie programowalne – PLC (Programmable Logic Controller). Okazuje się, że taki układ sterowania jest mniej skomplikowany, dużo bardziej niezawodny i nierzadko tańszy niż układ zrealizowany na bazie styczników i przekaźników.

Co więcej, systemy sterowania bazujące na sterownikach PLC są bardzo elastyczne. Umożliwiają bowiem wykorzystanie jednakowego sprzętu do różnych zastosowań.

W opracowanym modelu obiektu szklarniowego wykorzystano możliwości sterowników PLC oraz sieci przemysłowych. W efekcie powstał scentralizowany (jeden sterownik master), ale również rozproszony (wiele czujników, różne sieci) układ sterowania łączący sterowniki, panele operatorskie i zwykłe komputery PC. Jest to rozwiązanie uniwersalne. Tradycyjny układ sterowania procesem uprawy roślin w szklarniach został rozbudowany przez dołożenie jednego sterownika PLC (master), modułów sieciowych oraz mediów transmisyjnych. Pozornie jest to rozwiązanie droższe, ale jak wykazały doświadczenia, zalety przewyższają wady. Można stosować tańsze sterowniki slave, a brakujące funkcje mogą być realizowane przez jeden sterownik centralny. Sterowniki slave pełnią w tym momencie tylko rolę przekaźników, wykonując rozkazy wydane przez sterownik master. Zaletą jest łatwa rozbudowa sieci oraz możliwość pełnego nadzoru nad procesem technologicznym. Zmiana parametrów następuje za pomocą panelu operatorskiego HMI lub komputera PC (umieszczonego w dowolnym miejscu, np. w domu). Operator z jednego miejsca jest w stanie nadzorować pracą całego, nawet bardzo rozbudowanego, zespołu szklarni. W sytuacjach wyjątkowych modem komórkowy, podłączony do komputera PC, wysyła sygnał alarmowy (SMS) na telefon. W przyszłości planowana jest rozbudowa systemu w kierunku umożliwienia operatorowi reakcji na zaistniałą sytuację awaryjną przez wysłanie SMS z komendą zmieniającą dany parametr procesu technologicznego.

Szybki rozwój technologii sieciowych stworzył możliwość pracy sterowników w sieci przemysłowej, tworzenie systemu sterowania rozproszonego bez centralnego elementu, jak również wymianę danych między poszczególnymi sterownikami. Takie rozwiązanie przyczynia się do zmniejszenia stopnia skomplikowania okablowania i jednocześnie zwiększenia niezawodności działania systemu. Oprócz łączy kablowych i światłowodowych coraz powszechniej stosuje się bezprzewodową transmisję danych oraz systemy oparte o moduł GSM. Moduły wyposażone w funkcje związane z komunikacją z siecią Intranet/Internet pozwalają kontrolować stan sterownika i sterowanie nim poprzez przeglądarkę internetową.

LITERATURA

1. Flada S.: Programowanie sterowników PLC w języku drabinkowym. Wydawnictwo BTC, Legionowo 2010.
2. Honczarenko J.: Obrabiarki sterowane numerycznie. WNT, Warszawa 2008.
3. Kasprzyk J.: Programowanie sterowników przemysłowych. WNT, Warszawa 2006.
4. Kokot D.: Przykład programowania sterowników PLC. Politechnika Częstochowska, Praca magisterska napisana pod kierunkiem Boral P., Częstochowa 2010.

5. Mikulczyński T.: Automatyzacja procesów produkcyjnych. WNT, Warszawa 2006
6. Mitsubishi Electric: Software manual α simple application controller.. Manual No. JY992D74001 Revision H, Date 9/2003.
7. Mitsubishi Electric: Programming Manual FX3U/FX3UC/FX3G. Manual No. JY997D16601 Revision F, Date 6/2009.
8. Mitsubishi Electric: Połączenie GT1020/GT1030 z serią FX. Instrukcja uruchamiania. 2008.
9. Najprostszy sterownik silnika krokowego, Elektronika praktyczna 8/2001, str.23-24
10. Nowakowski W.: LOGO w praktyce. BTC, Warszawa 2006.
11. Olszewski M.: Urządzenia i systemy mechatroniczne. REA, Warszawa 2009.
12. Piotrowski A.: „Sieci przemysłowe w sterowaniu maszyn", Praca zrealizowana w ramach programu Kapitał Ludzki, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2009
13. Schmid D., Baumann A., Kaufmann H., Paetzold H., Zippel B.: Mechatronika. REA, Warszawa 2002.
14. Siemens: SIMATIC S7-200. Podręcznik obsługi systemu sterownikowego. Warszawa 2006.
15. Solnik W., Zajda Z.: Komputerowe sieci przemysłowe Profibus DP i MPI. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
16. Solnik W., Zajda Z.: Komputerowe sieci przemysłowe Uni-Telway i magistrala rozszerzenia TSX. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
17. Szafarczyk M., Śniegulska-Grądzka D., Wypysiński R.: Podstawy układów sterowań cyfrowych i komputerowych. MIKOM, Warszawa 2007.
18. www.mitsubishi-automation.pl/products/compactplc.html, Podręcznik użytkownika Fx3U advanced programming manual

Wykorzystanie sterowników PLC w automatyzacji produkcji

Streszczenie:
W artykule przedstawiono możliwości zastosowania sterowników PLC i sieci przemysłowych w automatyzacji produkcji na przykładzie uprawy roślin pod osłonami. Opisano budowę i zasadę działania stanowiska dydaktycznego w postaci modelu szklarni, wykorzystywanego do nauki programowania sterowników PLC.

Słowa kluczowe: Automatyzacja procesów produkcyjnych, sterowniki PLC.

The use of PLC in automation

Abstract:
The article presents the possibility of PLC and industry networks in automation of production in the cultivation of plants in greenhouses. Describes the construction and operation of teaching post in a model of a greenhouse, which is used to learn PLC programming.

Keywords: Automation of production processes, PLCs.

Wykorzystanie sterowników PLC w automatyzacji produkcji

PIOTR BORAL
ANDRZEJ PIOTROWSKI
TADEUSZ NIESZPOREK

Informacje o autorach

Dr inż. Piotr Boral
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki
Politechnika Częstochowska
Ul. Dąbrowskiego 69
42-201 Częstochowa
tel. 34 32 50-509
e-mail: piotrek@itm.pcz.pl

Dr inż. Andrzej Piotrowski
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki
Politechnika Częstochowska
Ul. Dąbrowskiego 69
42-201 Częstochowa
tel. 34 32 50-509
e-mail: apiotr@itm.pcz.pl

dr hab. inż. Tadeusz Nieszporek, prof. P.Cz.
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki
Politechnika Częstochowska
Ul. Dąbrowskiego 69
42-201 Częstochowa
tel. 34 32 50-509
e-mail: tadek@itm.pcz.pl

EDWARD GAWLIK
STANISŁAW GIL

Informacyjny system doboru obrabiarek w projektowaniu procesu technologicznego obróbki

Wstęp

Jednym z podstawowych systemów w projektowaniu procesu technologicznego obróbki jest system doboru obrabiarek [1], które należą do głównych środków produkcji w procesie produkcyjnym wyrobu. W celu zapewnienia optymalnego doboru obrabiarek ze względu na czas obróbki i koszt jednostkowy operacji obróbki, informacja wejściowa systemu powinna zawierać następujące dane:

- zidentyfikowaną klasę przedmiotu obrabianego (wałek, tuleja, tarcza, ...),
- charakterystykę geometryczno-technologiczną półfabrykatu i gotowego przedmiotu oraz stanów pośrednich wynikających z naddatków na obróbkę skrawaniem,
- roczny program produkcyjny wyrobu i wynikający z niego roczny program produkcyjny części,
- listę dopuszczalnych sposobów ustalenia przedmiotu,
- sekwencję zabiegów obróbki i ich charakterystykę dla każdego sposobu ustalenia przedmiotu.

Informacja wyjściowa systemu zawiera:

- listę dobranych obrabiarek wraz z pełną ich charakterystyką,
- czas obróbki i koszt jednostkowy operacji realizowanej na każdej z dobranych obrabiarek.

Charakterystyka systemu doboru obrabiarek

System doboru obrabiarek powinien zawierać niezbędne działania projektowe umożliwiające ich optymalny wybór z istniejącej bazy danych na podstawie określonych kryteriów, zgodnie z hierarchią ich ważności (rys. 1).

W pierwszym etapie projektowym należy dokonać wstępnego doboru obrabiarek przyjmując podstawowe kryteria. Umożliwi to zmniejszenie liczności zbioru obrabiarek do dalszej analizy w celu uzyskania listy obrabiarek spełniających pozostałe kryteria doboru. W etapie tym podstawowymi kryteriami doboru obrabiarek są:

- roczny program produkcyjny przedmiotu,
- klasa przedmiotu obrabianego,

– charakterystyka geometryczno-technologiczna półfabrykatu oraz gotowego przedmiotu.

Roczny program produkcyjny przedmiotu zależy głównie od rocznego programu produkcyjnego wyrobu, do którego ten przedmiot należy. Roczny program produkcyjny wyrobu można określić na podstawie zamówienia klienta lub popytu na dany wyrób na rynku. Pozwoli to na określenie rodzaju produkcji, a następnie rocznego programu produkcyjnego przedmiotu (i-tej części w wyrobie) W_i ze wzoru [2]

$$W_i = W\, m_i \left(1+\frac{z_i}{100\%}\right)\left(1+\frac{b_i}{100\%}\right) \tag{1}$$

gdzie: W – roczny program produkcyjny wyrobu [szt/rok], m_i – liczba i-tej części w wyrobie, z_i – ilość części zapasowych [%], b_i – przewidywany procent braków [%] .

W zależności od rocznego programu produkcyjnego wyrobu i jego masy można określić rodzaj produkcji [3], [4] który umożliwi wyselekcjonowanie obrabiarek z bazy danych na podstawie tego kryterium. W produkcji jednostkowej, małoseryjnej i średnioseryjnej stosuje się obrabiarki uniwersalne (ogólnego przeznaczenia), natomiast w produkcji wielkoseryjnej i masowej obrabiarki produkcyjne, specjalne i zespołowe [4].

Klasa przedmiotu obrabianego może decydować o doborze obrabiarek, jeśli w bazie danych obrabiarek podano przeznaczenie do obróbki określonej klasy przedmiotów np. szlifierka kłowa do wałków.

Charakterystyka geometryczno-technologiczna półfabrykatu oraz gotowego przedmiotu zawiera takie dane, jak:

– masa półfabrykatu, gatunek materiału,
– kształt, wymiary, chropowatość powierzchni, dokładność wymiarowo-kształtową półfabrykatu i gotowego przedmiotu,
– zbiór powierzchni obrabianych i ich charakterystyka geometryczno-technologiczna,
– zbiór sposobów obróbki, za pomocą których można zrealizować obróbkę określonych powierzchni.

Dane te umożliwią dalszą selekcję obrabiarek z listy uprzednio dobranych. Aby to było możliwe, baza danych powinna zawierać pełną charakterystykę możliwości technologicznych obrabiarek.

W drugim etapie projektowym należy dokonać sprawdzenia dobranych w pierwszym etapie obrabiarek ze względu na dalsze kryteria. Kryteriami tymi są:

– sekwencja zabiegów obróbki i ich charakterystyka dla każdego sposobu ustalenia przedmiotu,
– dopuszczalne sposoby ustalenia przedmiotu.

Sekwencja kolejnych zabiegów obróbki wraz z pełną ich charakterystyką niezbędnych do usunięcia naddatków na obróbkę. Kolejna selekcja obrabiarek ze względu na to kryterium polega na sprawdzeniu możliwości ich realizacji. W szczególności należy sprawdzić:

- czy możliwa jest realizacja wszystkich ruchów roboczych z określonymi parametrami skrawania [5],
- czy wymagana moc silnika napędu głównego obrabiarki P_{sw} dla wszystkich ruchów roboczych spełnia warunek [3], [6]

$$P_{sw} \geq \frac{P_e}{\eta} \tag{2}$$

gdzie: η - współczynnik sprawności obrabiarki. Dla tokarek z silnikami o średniej mocy (3 ÷ 25 kW) przy obciążeniu znamionowym, współczynnik sprawności waha się w granicach 0,7 ÷ 0,9. Biorąc pod uwagę, że częściej w operacjach tokarskich występuje pewne niedociążenie silnika można przyjąć η = 0,75; P_e – efektywna moc skrawania [kW] obliczona z następującego wzoru [6]

$$P_e = \frac{F_c \, \upsilon_c}{60000} \tag{3}$$

gdzie: F_c – główna siła skrawania [N], υ_c – prędkość skrawania [m/min].

Jeżeli warunek określony wzorem (2) jest spełniony, należy sprawdzić czy moc silnika napędu głównego danej obrabiarki będzie właściwie wykorzystana. W tym celu należy obliczyć współczynnik wykorzystania mocy silnika ε z następującego wzoru [3]

$$\varepsilon = \frac{P_{sw}}{P_{sd}} \tag{4}$$

gdzie: P_{sd} – moc silnika danej obrabiarki [kW].

Obliczony współczynnik wykorzystania mocy silnika sprawdzanej obrabiarki powinien zawierać się, dla określonego rodzaju produkcji, w odpowiednim przedziale [2]:

- dla produkcji jednostkowej i małoseryjnej – $\varepsilon \in$ <0,4; 1>,
- dla produkcji średnioseryjnej – $\varepsilon \in$ <0,6; 1>,
- dla produkcji wielkoseryjnej i masowej – $\varepsilon \in$ <0,8; 1>.

Jeżeli obliczona, na podstawie wzoru (4) wartość współczynnika wykorzystania mocy mieści się w jednym z podanych wyżej przedziałów dla danej wielkości produkcji, to dobrana obrabiarka spełnia postawione kryterium

doboru. Zatem powinno być spełnione, wynikające z powyższych wzorów, ograniczenie energetyczne (warunek pełnego wykorzystania mocy) w postaci

$$P_e(a_p, f, \upsilon_c) \leq P_{sd}\, \eta \tag{5}$$

gdzie: a_p – głębokość skrawania [mm], f – posuw roboczy [mm/obr] .

W przypadku obróbki zgrubnej często stawia się warunek pełnego wykorzystania mocy przy jednoczesnej minimalizacji kosztu jednostkowego obróbki K_j

$$P_e(a_p, f, v_c) \leq P_{sd}\, \eta\, \varepsilon \tag{6}$$

$$K_j(a_p, f, v_c) \leq K_{j\,min} \tag{7}$$

Dopuszczalne sposoby ustalenia przedmiotu wynikają z analizy ustalenia przedmiotu, której celem jest uzyskanie optymalnego sposobu ustalenia przedmiotu dla określonego podzbioru sekwencji zabiegów obróbki. Selekcja obrabiarek ze względu na to kryterium będzie możliwa, jeśli w bazie dach obrabiarek będą podane wszystkie sposoby ustalenia przedmiotu możliwe do zrealizowania na danej obrabiarce.

W trzecim etapie projektowym należy określić czas i koszt realizacji operacji obróbki na każdej z dobranych obrabiarek po ich sprawdzeniu w drugim etapie projektowym. Czas realizacji operacji obróbki T serii przedmiotów o liczności n można określić ze znanego w literaturze wzoru [3], [7]

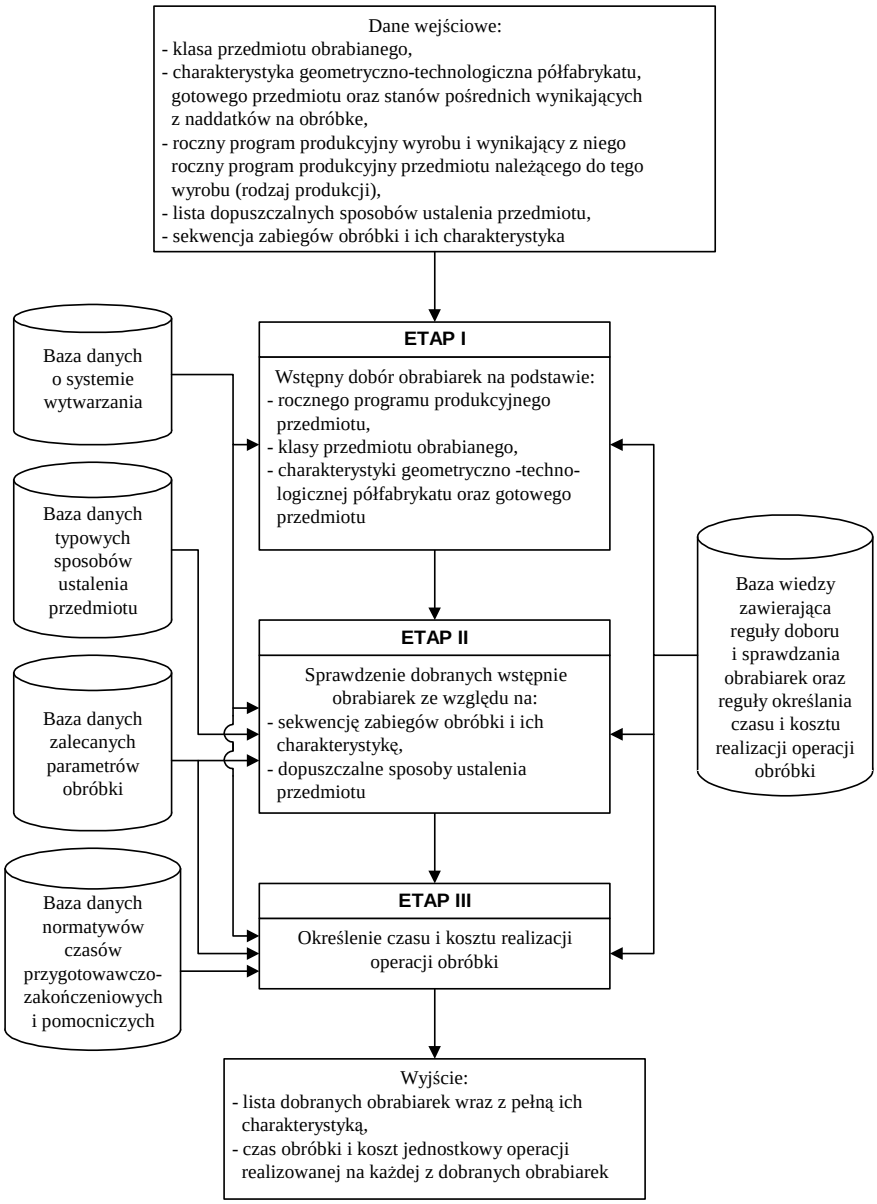
$$T = T_{pz} + n\, t_j \tag{5}$$

gdzie: T_{pz} – czas na czynności przygotowawczo-zakończeniowe [min], t_j – czas jednostkowy [min].

Koszt operacji obróbki można określić znając czas jej realizacji T oraz stawkę godzinową operatora. Jeżeli czynności przygotowawczo-zakończeniowe na stanowisku wytwarzania wykonuje ustawiacz, koszt operacji obróbki można określić znając czas czynności przygotowawczo-zakończeniowych, liczność serii przedmiotów, stawkę godzinową ustawiacza, czas jednostkowy operacji oraz stawkę godzinową operatora [3], [7]. Wyselekcjonowane w trzecim etapie projektowym obrabiarki należy uszeregować według rosnących czasów i kosztów realizacji operacji. Pozwoli to na racjonalny wybór tych obrabiarek, które zapewnią realizację zamówienia na określony wyrób lub zaspokojenie popytu określonego wyrobu na rynku.

W systemie wykorzystywane są następujące bazy danych:

– baza danych o systemie wytwarzania zawierająca dane o obrabiarkach i ich wyposażeniu, dane o dostępnych narzędziach skrawających, dane o oprzyrządowaniu przedmiotowym i narzędziowym, dane o narzędziach i oprzyrządowaniu pomiarowym,



Rys. 1. Schemat systemu doboru obrabiarek

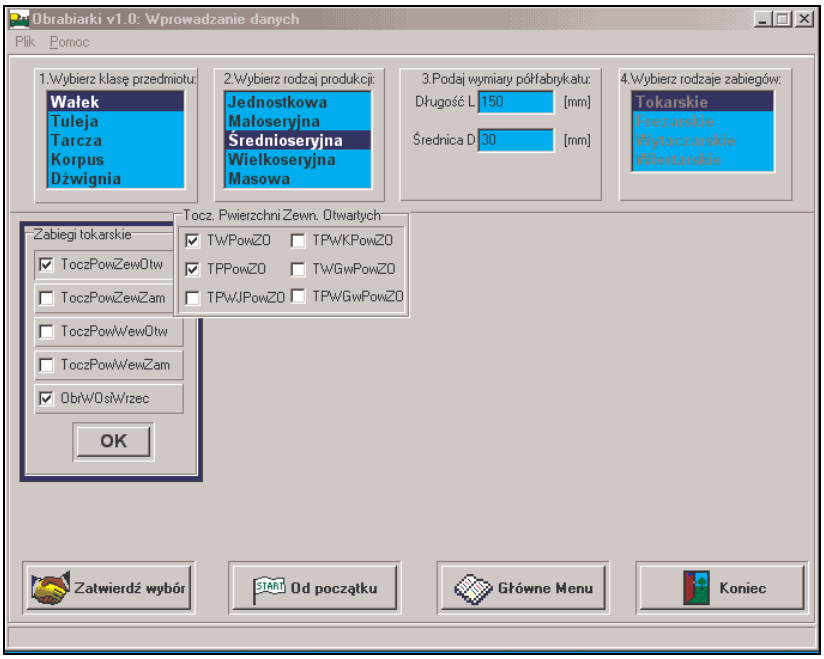
– baza danych typowych sposobów ustalenia przedmiotu dla różnych klas przedmiotów,
– baza danych zalecanych parametrów obróbki,
– baza danych normatywów czasów czynności przygotowawczo-zakończeniowych i czynności pomocniczych dla różnych operacji obróbki.

Baza danych jest opracowana w systemie otwartym, można poszerzać zbiory wprowadzając nowe charakterystyki techniczne obrabiarek i modyfikować zawarte w niej dane.

System korzysta również z bazy wiedzy technologicznej zawierającej reguły i zasady wstępnego doboru obrabiarek, a następnie ich sprawdzania na podstawie omówionych kryteriów oraz reguły i zasady określania czasu i kosztu realizacji operacji obróbki.

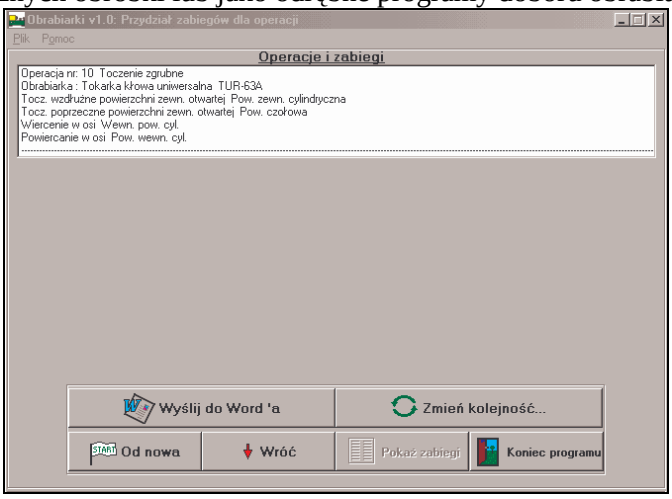
Podsumowanie

Przedstawiona w referacie koncepcja systemu doboru obrabiarek została wykorzystana do opracowania wspomaganych komputerowo programów doboru obrabiarek na podstawie przyjętych kryteriów dla operacji tokarskich. Programy opracowano przy wykorzystaniu aplikacji Microsoft Access oraz pakietu Borland Delphi (rys. 2, rys. 3).



Rys. 2. Okno z przykładowymi danymi dla operacji tokarskiej

Opracowane programy mogą znaleźć zastosowanie w biurach technologicznych jako moduły systemu projektowania procesów technologicznych obróbki lub jako odrębne programy doboru obrabiarek.



Rys. 3. Wynik doboru obrabiarki dla operacji toczenia zgrubnego

System doboru obrabiarek może być włączony jako moduł systemu wspomaganego komputerowo projektowania procesów technologicznych obróbki (CAPP). Zaproponowana koncepcja i opracowane na jej podstawie programy komputerowe pozwalają na szybki i racjonalny dobór obrabiarek, powodując wzrost efektywności procesu produkcyjnego.

LITERATURA

1. Duda J., Gawlik E., Kwatera M., Koncepcja pakietu programów do wspomaganego komputerowo projektowania procesów technologicznych obróbki (PPTO). Materiały konferencji nt. *Systemy oprzyrządowania w budowie maszyn SOP' 95*. Kraków – Białystok 1995, s.29-36.

2. Gawlik E., Materiały pomocnicze do ćwiczeń z projektowania procesów technologicznych (praca nie publikowana), Politechnika Krakowska, Kraków, 2000.

3. *Poradnik inżyniera. Obróbka skrawaniem.* Tom1, Tom 2, Tom 3. Warszawa, WN-T, 1991, 1992, 1993.

4. Feld M., *Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn*, Warszawa, WNT, 2000.
5. Normatywy technologiczne obróbki skrawaniem. Instytut Obróbki Skrawaniem. Warszawa, Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego „WEMA", 1979.

6. Filipowski R., Marciniak M., *Techniki obróbki mechanicznej i erozyjnej*, Warszawa, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2000.

7. Karpiński T., *Inżynieria Produkcji*. Koszalin, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2002.

Informacyjny system doboru obrabiarek w projektowaniu procesu technologicznego obróbki

Streszczenie
W artykule przedstawiono koncepcję systemu doboru obrabiarek w projektowaniu procesu technologicznego obróbki. Przedstawioną koncepcję zweryfikowano opracowując wspomagane komputerowo programy doboru obrabiarek na podstawie przyjętych kryteriów dla operacji tokarskich.
Słowa kluczowe: klasa przedmiotu, wymagana moc silnika, warunek wykorzystania mocy, czas realizacji operacji obróbki

Information system for machine tool selection in manufacturing process planning

Abstract
The paper presents the concept of the system for machine tool selection in manufacturing process planning. The presented concept was verified by the development of the computer programs for the machine tool selection in turning operations using assumed criteria.
Key words: workpiece class, required motor power, the condition for power utilization, machining operation time

Informacyjny system doboru obrabiarek w projektowaniu procesu technologicznego obróbki

EDWARD GAWLIK, STANISŁAW GIL

Informacje o autorach

Dr inż. Edward Gawlik
Zakład Projektowania Procesów Wytwarzania
Wydział Mechaniczny
Politechnika krakowska
al. Jana Pawła II 37
31-864 Kraków
tel: 12 64 83 263
e-mail: gawlik@m6.mech.pk.edu.pl

Dr inż. Stanisław Gil
Zakład Projektowania Procesów Wytwarzania
Wydział Mechaniczny
Politechnika krakowska
al. Jana Pawła II 37
31-864 Kraków
tel: 12 64 83 282,
e-mail: gil@m6.mech.pk.edu.pl

KAZIMIERZ SZATKOWSKI

Postępowanie z wyrobem niezgodnym

Wprowadzenie

Współczesna produkcja cechuje się coraz większym zawansowaniem technologicznym. Wykorzystuje się coraz bardziej skomplikowane często sterowane komputerowo urządzenia oraz metody i techniki organizacji produkcji, zarówno w obszarze przygotowania produkcji jak i produkcji seryjnej. Jednak wszystkie te nowoczesne rozwiązania nie chronią całkowicie przyszłej produkcji przed powstawaniem błędów, które mogą doprowadzić do powstania wyrobów, co do których mogą istnieć podejrzenia, że bez obawy mogą być wykorzystane w dalszych etapach produkcji. Najprościej wyroby takie określić można jako braki produkcyjne i wyeliminować je z dalszej produkcji. Jednak praktyka przemysłowa dowodzi, że w konkretnych przypadkach tryb postępowania z takimi wyrobami może być bardziej złożony.

Celem niniejszego artykułu jest prezentacja i ocena metodyk postępowania z wyrobem niezgodnym na przykładzie dwóch przedsiębiorstw regionu lubelskiego, tj. WSK PZL w Świdniku i Roto Frank w Lubartowie.

Z uwagi na dotychczasowe doświadczenia przedsiębiorstw z wyrobami niezgodnymi metody postępowania z takimi wyrobami umownie podzielono na dwa rodzaje, tj. tradycyjne i nowoczesne. Podeście tradycyjne przypisano do WSK PZL z uwagi na własną, wypracowaną w trakcie długoletniej działalności produkcyjnej, metodykę postępowania z wyrobami niezgodnymi. Natomiast podejście nowoczesne odniesiono do Roto Frank, które do tego celu zaadaptowało rozwiązania podobne do rozwiązań przedsiębiorstw japońskich.

Sposób postępowania z wyrobem niezgodnym w pierwszym przedsiębiorstwie przedstawiony jest na przykładzie procesu montażu belki ogonowej śmigłowca, a w przypadku drugiego przedsiębiorstwa na przykładzie montażu okien dachowych. Jedno i drugie przedsiębiorstwo do montażu wyrobu finalnego wykorzystuje zarówno części wytworzone we własnym zakresie jak i części pochodzące od kooperantów.

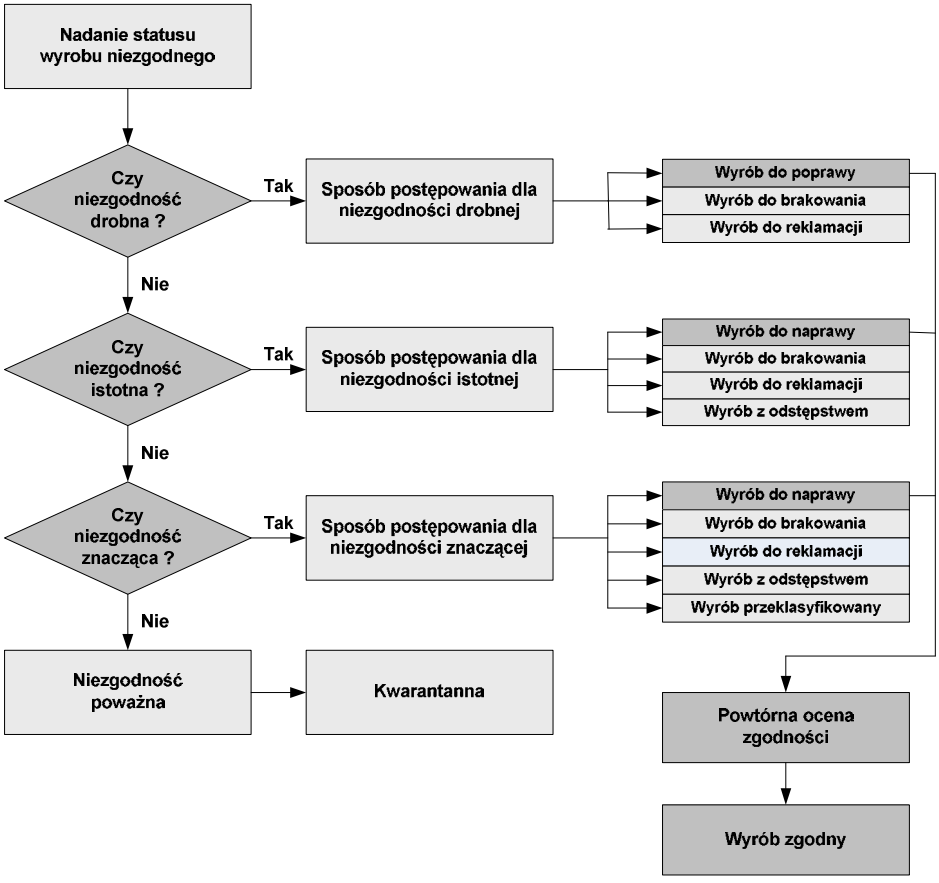
1. Postępowanie z wyrobem niezgodnym w ujęciu tradycyjnym

Każde przedsiębiorstwo prowadząc produkcję opiera się o pewne wzorce. Wzorce te mogą być wypracowane samodzielnie w wyniku prowadzenia długoletniej działalności produkcyjnej lub adoptowane z zewnątrz. WSK PZL jest przedsiębiorstwem, który w trakcie swojej długoletniej działalności

wypracował szereg własnych wzorców i standardów prowadzenia działalności produkcyjnej. Jednym z tych standardów jest standard postępowania z wyrobem niezgodnym. Z uwagi na pewną ciągłość i niezmienność podejścia do tego problemu postępowanie z wyrobem niezgodnym w tym przypadku nazwano podejściem tradycyjnym.

1.1. Identyfikacja i klasyfikacja niezgodności wyrobu

Każdy wyrób, w którym stwierdzono niezgodność jest w pierwszej kolejności odłączony od wykonywanej partii, oznakowany, zarejestrowany jako niezgodny i umieszczony w obszarze uniemożliwiającym dalsze wykorzystanie. Dalszy tryb postępowania z takim wyrobem przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Procedura identyfikacji, klasyfikacji i postępowania z wyrobem niezgodnym
Źródło: Opracowanie własne, na podstawie materiałów uzyskanych z WSK PZL

W przypadku wystąpienia niezgodności wyrobu, która wpływa na bezpieczeństwo lub niezawodność wyrobu uruchamiana jest procedura postępowania z wyrobem niezgodnym. Istotną rolę w tej procedurze odgrywa dokumentacja, której zadaniem jest informowanie o statusie wyrobu i terminach dalszych działań związanych z wyrobem. Dokumentami określającymi i identyfikującymi status wyrobu niezgodnego są:

- Karta Poprawkowa.
- Wykaz Defektów.
- Książka Niezgodności.
- Karta Usterek.
- Przywieszka wyrobu.
- Protokół reklamacyjny.
- Protokół z Rozpatrzenia Reklamacji.

Wszystkie wyroby niezgodne są przechowywane w wydzielonych miejscach, są to: palety, pojemniki, regały oraz wydzielone pomieszczenia.

1.2. System oznaczania wyrobów

Z uwagi na specyfikę produktu (bezpieczeństwo lotu) wszystkie materiały, części i zespoły podlegają w WSK PZL identyfikacji w każdej fazie procesu produkcyjnego poprzez system specjalnych przywieszek. Każda przywieszka posiada swój charakterystyczny kolor oraz zestaw informacji niezbędnych do jednoznacznego określenia statusu wyrobu w całym procesie produkcyjnym. Dotyczy to zarówno wyrobów dobrych jak i tych u których stwierdzono niezgodność. Rodzaje zastosowanej identyfikacji materiałów i wyrobów zestawiono w tabeli nr 1.

TABELA 1. Rodzaje wybranych przywieszek wykorzystywanych w firmie

Lp.	Rodzaj przywieszki	Forma i kolor przywieszki
1	Przywieszka materiałowa	zielona
2	Przywieszka materiałowa - reklamacja	żółta z czerwonym paskiem
3	Przywieszka części / zespołu	zielona
4	Przywieszka wyrobu niezgodnego	żółta
5	Przywieszka (wysyłkowa) lub tabliczka identyfikacyjna	biała

Źródło: Opracowanie własne, na podstawie materiałów uzyskanych z WSK PZL.

Kontrolę zgodności wyrobu dokonują kontrolerzy jakości poprzez porównanie wyspecyfikowanych wymagań dla wyrobów i wyników oceny uzyskanych na podstawie: oględzin wyrobu, pomiarów i badań.

1.3. Sposoby postępowania z wyrobem niezgodnym

Możliwe są następujące sposoby postępowania z wyrobami niezgodnymi[1]:

- skierowanie wyrobu do poprawy lub naprawy,
- za zgodą klienta dopuszczenie wyrobu z odstępstwem.
- podjęcie decyzji o brakowaniu wyrobu,
- uruchomienie procesu reklamacji wyrobu.

Wyroby, co, do których istnieje pewność lub podejrzenie, że są niezgodne należy:

- oddzielić od wyrobów zgodnych,
- nadać status wyrobu niezgodnego,
- oznaczyć,
- odizolować w wydzielonym obszarze.

Naprawa wyrobu

Proces naprawy realizowany jest w oparciu o opracowaną dokumentację konstrukcyjną i technologiczną na naprawę wyrobu. Przebieg naprawy prowadzony jest i dokumentowany jest w odrębnie wyemitowanej Karcie Przewodniej. Po zakończeniu naprawy wyrób poddawany jest powtórnej ocenie zgodności
w celu stwierdzania skuteczności naprawy. W przypadku naprawy wyrobu z niezgodnością znaczącą potwierdzenie naprawy dokonywane jest w Karcie Usterek.

Dopuszczenie wyrobu z odstępstwem

Decyzja o wykorzystaniu wyrobu z niezgodnością podejmowana jest w trybie przeglądu niezgodności istotnej lub znaczącej, gdy:

- poziom niezgodności nie wpływa w istotny sposób na bezpieczeństwo i docelowe wykorzystanie wyrobu.
- istnieje podejrzenie, że proces naprawy mógłby naruszyć lub osłabić dotychczas zmontowaną konstrukcję wyrobu.

Brakowanie wyrobu

Podstawą uruchomienia procedury brakowania wyrobu jest wystawienie przez kontrolera jakości - Karty Braków. Wyrób przeznaczony do brakowania powinien być:

- umieszczony w izolatorze braków (specjalne pomieszczenie),
- trwale oznakowany stemplem i przywieszką,
- fizycznie uszkodzony w stopniu uniemożliwiającym pierwotne wykorzystanie wyrobu,
- skutecznie kontrolowany dopóki nie zostanie fizycznie zniszczony.

[1] Procedura systemowa PS-19 - WSK PZL.

Reklamacja wyrobów niezgodnych

Uruchamiana jest wyłącznie w przypadku wyrobów u których stwierdzono niezgodność, a pochodzących od kooperantów.

1.4. Działania profilaktyczne i zabezpieczające

Biorąc pod uwagę dość tradycyjne podejście po problematyki postępowania z wyrobem niezgodnym przedsiębiorstwo WSK położyło duży nacisk na wykrywaniu niezgodności wyrobu już w jak najwcześniejszym etapie procesu produkcyjnego. W tym celu zaadoptowana została metoda Kontroli Pierwszej Sztuki (FAI - *First Article Inspection*).

Istotą tej metody jest wykonanie określonych działań kontrolnych na pierwszej wyprodukowanej sztuce wyrobu lub jednej z części pierwszej partii produkcyjnej wytwarzanej w sposób seryjny, mający na celu sprawdzenie zgodności wyrobu.

Kontrola FAI polega na sprawdzeniu, czy wyrób (część, zespół) i proces jego wykonania jest zgodny z dokumentacją techniczną (definicją wyrobu), produkcyjną i jakościową.

Sprawdzenie zgodności lub niezgodności pierwszej sztuki polega na wykonaniu następujących czynności:

1. Poprawnego oznaczenia części, zespołu, wyrobu.
2. Kontroli dokumentacji technicznej pod kątem jej kompletności i ważności.
3. Sprawdzenia zgodności materiału z dokumentacją konstrukcyjną.
4. Przedstawienia wyników badań, jeśli były one wymagane.
5. Przedstawienia dokumentów potwierdzających wykonanie procesów i badań specjalnych wymaganych w dokumentacji konstrukcyjnej.
6. Wykonania zestawienia wszystkich wymiarów z rysunku konstrukcyjnego (kontrola wymiarowa).
7. Wykonania sprawozdania z FAI.

W ramach FAI możliwe są następujące działania:

- Akceptacja wyrobu - materiały, instrukcje technologiczne, narzędzia, procesy specjalne, maszyny oraz procedury zastosowane podczas procesu wykonania wyrobu są zgodne z dokumentacją.
- Zwolnienie warunkowe - dopuszczenie do produkcji materiału lub wyrobu z niezakończoną procedurą kontroli. Proces ten może być uruchomiony tylko w przypadku zagrożenia realizacji terminu zamówienia.

1.5. Wady i zalety tradycyjnego postępowania z wyrobem niezgodnym

W przedstawionym wyżej sposobie postępowania z wyrobem niezgodnym można wskazać na jego następujące zalety i wady.

Zalety:

- Możliwość prowadzenia pełnego rejestru niezgodności, co pozwala na jej pełne monitorowanie.
- Możliwość obliczania wskaźników niezgodności wyrobów, co pozytywnie wpływa na podejmowanie działań profilaktycznych.
- Jasna i czytelna procedura klasyfikacji niezgodności wyrobu i dalszego z nim postępowania.
- Pełna identyfikacja wyrobów niezgodnych poprzez zastosowanie kolorowych przywieszek, oraz skuteczne odizolowanie wyrobu niezgodnego w oznaczonych miejscach odkładczych.
- Możliwość powoływania zespołów specjalistów z różnych dziedzin w celu wypracowania decyzji co do dalszych losów wyrobów niezgodnych w przypadkach spornych.

Wady:

- Długi cykl decyzyjny dotyczący losów wyrobu niezgodnego, co może powodować przerwy w produkcji.
- Długi czas postępowania z reklamacją wyrobu niezgodnego.
- Brak dostatecznych sposobów zapobiegania występowaniu błędów produkcyjnych.

2. Postępowanie z wyrobem niezgodnym w ujęciu nowoczesnym

Sposób postępowania z wyrobem niezgodnym w Roto Frank jak i wiele innych standardów produkcyjnych wprowadzone zostały w przedsiębiorstwie na wzór standardów obowiązujących w przedsiębiorstwach japońskich stąd postępowanie to można określić ujęciem nowoczesnym.

2.1. Sposób postępowania z wyrobem niezgodnym

Postępowanie z wyrobem niezgodnym obejmuje[2]:

- wykrycie niezgodności,
- oznaczenie (odseparowanie wyrobu niezgodnego),
- analizę przyczyn niezgodności,
- ustalenie sposobu postępowania,
- przeprowadzenie działań,
- weryfikację skuteczności wprowadzonych działań,
- wprowadzenie działań korygujących, jeśli są potrzebne.

W odróżnieniu od przedsiębiorstwa WSK PZL, Roto Frank prowadzi produkcję średnioseryjną. Dlatego główny nacisk w postępowaniu z wyrobem niezgodnym położono na profilaktykę, tj. niedopuszczeniu do powstania niezgodności. Jeśli jednak taka niezgodność miałaby wystąpić, to należy ją jak najwcześniej wykryć i wyrób taki skutecznie odseparować od innych w specjalnym miejscu, tzw. strefie STOP.

[2] Standard postępowania z wyrobem niezgodnym w Roto Frank.

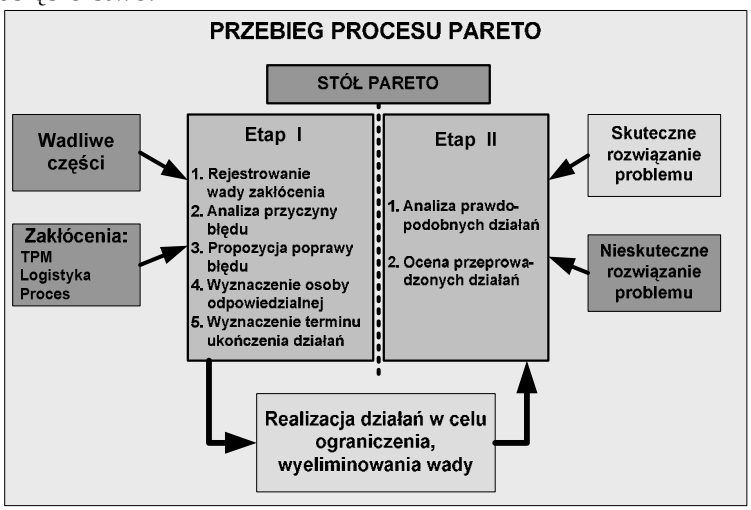
2.3. Zapobieganie powstawaniu błędów produkcyjnych

Przedsiębiorstwo Roto Frank stosuje całą gamę przedsięwzięć zapobiegających powstawaniu błędów produkcyjnych. Są to zarówno przedsięwzięcia z szeroko rozumianego systemu zarządzania jakością (*Total Quality Management*), jak i rozwiązania wzorujące się na japońskich metodach i technikach organizacji produkcji wspomagających ten proces. Są to także rozwiązania własne. Do ciekawszych i mniej znanych sposobów zapobiegania powstawaniu błędów i stosowanych przez przedsiębiorstwo można zaliczyć:

- Stoły Pareto.
- Poka Yoke.
- Stanowiska treningowe (z jap. *Dojo*).
- Mobilne stanowiska pomiarowo-kontrolne.
- System wewnętrznej autokontroli.
- Wyposażenie stanowisk roboczych w proste przyrządy kontrolne.

Stoły Pareto

Celem stołu Pareto jest usystematyzowanie działań związanych z pojawianiem się i usuwaniem błędów w trakcie realizacji procesów produkcyjnych bez względu na to, czy za błędy te odpowiedzialni są kooperanci, czy przedsiębiorstwo.



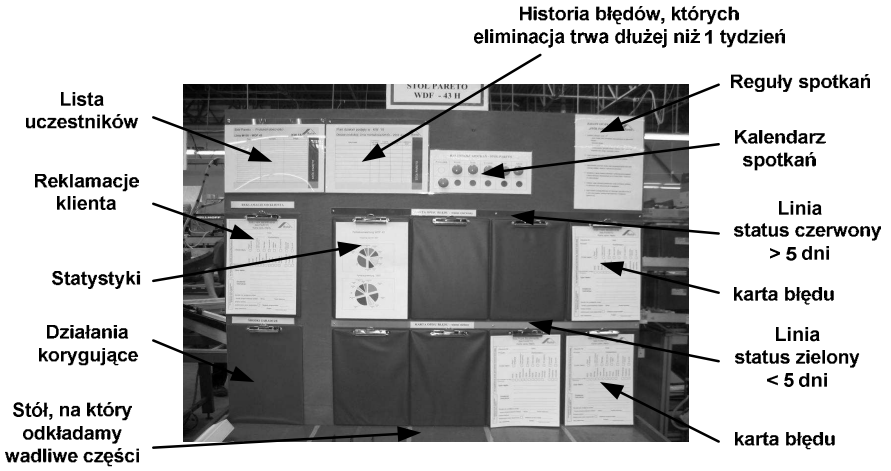
Rys. 2. Przebieg procesu Pareto

Źródło: Opracowano na postawie materiałów firmy Roto Frank

Rozwiązywanie problemów związanych z niezgodnością wyrobów na własną rękę w różnych miejscach realizacji procesów produkcyjnych mogłoby rozmyć działania zmierzające do systemowego rozwiązania powyższego problemu.

Dlatego idei stołu Pareto przyświeca „żelazna" reguła, którą sformułować można następująco - ***żadna zła lub wybrakowana część nie może być usunięta z produkcji, zanim nie przejdzie przez stół Pareto*.**

Sposób postępowania z wadliwymi częściami i inymi zakłóceniami pojawiającymi się w trakcie procesów produkcyjnych przedstawiono na rys. 2. Natomiast wygląd stołu Pareto przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Wygląd stołu Pareto
Źródło: Opracowano na postawie materiałów firmy Roto Frank

Stół Pareto jest tylko narzędziem umożliwiającym przejrzysty i uporządkowany sposób postępowania z pojawiającymi się błędami produkcyjnymi, dlatego efektywność jego zależy przede wszystkim od dyscypliny i konsekwencji jaką narzucą sobie sami pracownicy.

Byłoby to jednak niedoskonałe narzędzie, jeśli ograniczałoby się tylko do usuwania błędów produkcyjnych bez możliwości formułowania działań profilaktycznych.

Poka Yoke

Istotą *Poka-Yoke* jest stwarzanie takich warunków produkcyjnych w których błąd nie może się zdarzyć, albo będzie natychmiast zauważony. Ponieważ najczęstszą przyczyną powstawania błędów jest człowiek, dlatego główny nacisk
w *Poka Yoke* położony został na wyeliminowanie czynnika ludzkiego i jego wpływu na możliwość powstawania błędów procesowych.

Urządzenia *Poka Yoke* powinny być bardzo proste, dlatego najczęściej są to zwykłe kołki pozycjonujące, wyłączniki krańcowe, liczniki, tacki lub pojemniki do odmierzania ilości części itp. Rzadko kiedy postulowane są urządzenia z zastosowaniem zaawansowanej automatyki przemysłowej.

Stosowanie metody *Poka Yoke* jest niezwykle skuteczne w eliminacji błędów szczególnie tam gdzie lubią się one powtarzać. Doświadczenia przedsiębiorstwa Roto Frank wskazują, że metoda ta jest o wiele bardziej efektywna niż jakakolwiek kontrola jakości dlatego powinna być stosowana wszędzie tam gdzie jest możliwość jej zastosowania, tj. szczególnie na stanowiskach montażowych.

Stanowisko treningowe (z jap. *Dojo***)**

Stanowisko treningowe jest przeznaczone dla nowych pracowników, lub dla obecnie zatrudnionych, którzy podczas wykonywania operacji technologicznych popełniają błędy. Istotą tych stanowisk jest nabycie pożądanych umiejętności poprzez trening.

Na miejscach treningowych są ćwiczone te operacje podczas których najczęściej popełniane są błędy produkcyjne. Stanowisko to jest specjalnie przygotowane i wyposażone. Na stanowisku znajduje się:

- pełna dokumentacja techniczna,
- informacja o obowiązujących kryteriach jakości,
- laptop z nagraniem prawidłowego montażu,
- prawidłowo i nie prawidłowo wykonane elementy w celu dla zobrazowania problemu.

Szkolenia prowadzi mistrz zmianowy odpowiedzialny za obszar w którym występuje wada bądź gdzie jest przyuczany nowy pracownik.

Długość szkolenia jest uzależniona indywidualnie od umiejętności każdego pracownika.

Rys. 4. Stanowisko treningowe *„Dojo”*
Źródło: Na postawie materiałów uzyskanych z Roto Frank

Mobilne stanowisko kontrolne

Do kontroli dostaw na magazyn znajduje zastosowanie ruchome stanowisko kontrolne na którym znajdują się wszystkie potrzebne do kontroli narzędzia i pomoce.

Wózek wyposażony jest w laptop z podłączeniem do sieci bezprzewodowej, na którym jest dostęp do bazy danych , rysunków, jak również do systemu SAP. Zwalnianie materiałów odbywa się w miejscu jego skontrolowania, tj. zaraz po rozładunku dostawy.

System wewnętrznej autokontroli

W przedsiębiorstwie Roto Frank wdrożony został i jest przestrzegany system wewnętrznej autokontroli w ramach, którego pracownik odpowiada za jakość na swoim stanowisku pracy. W tym celu stworzono odpowiednie instrukcje autokontroli, tj. Standardowe Procedury Operacyjne (SPO) w których sprecyzowane są kryteria jakości obowiązujące na danym stanowisku roboczym. Stosowanie i przestrzeganie tych procedur ma doprowadzić do takiej sytuacji w której wyrób wykonany jest prawidłowo za pierwszym razem, innymi słowy danego stanowiska roboczego nie może opuścić wyrób niezgodny.
Badania w ramach autokontroli mogą obejmować:
- sprawdzenie wymiarów przy zmianie ustawień seryjnych,
- ocenę wizualną wg. obowiązujących kryteriów,
- pomiar momentu obrotowego zamontowanych wkrętów.

Autokontrola ułatwia utrzymać wysoką jakość oferowanych przez przedsiębiorstwo wyrobów. Za przeprowadzanie kontroli opisanych w instrukcjach autokontroli lub Standardowych Procedurach Operacyjnych odpowiedzialni są pracownicy produkcyjni i nadzorujący ich Team Leaderzy. Wyniki kontroli, tam gdzie to konieczne są dokumentowane w kartach kontrolnych.

Przyrządy kontrolne

W celu przyspieszenia kontroli jakości wykorzystuje się coraz większą ilość specjalistycznych przyrządów kontrolnych. Przyrządy te ułatwiają i znacznie przyśpieszają kontrolę wyrobu na różnych etapach procesu produkcyjnego. Przyrządy te najczęściej kontrolują prawidłowość wymiarów i rozmieszczenia okuć okiennych.

2.4. Wady i zalety nowoczesnego postępowania z wyrobem niezgodnym

Analizując sposób postępowania z wyrobem niezgodnym w ujęciu nowoczesnym zauważyć w nim można następujące zalety i wady.

Zalety:

- Krótki cykl decyzyjny dotyczący wyrobu niezgodnego, co nie powoduje przerw w produkcji.
- Przenoszenie odpowiedzialności za jakość wyrobów na dostawców i kooperantów.
- Kładzenie dużego nacisku na profilaktykę, tj. zapobieganiu powstawania błędów produkcyjnych.

Wady:

- Działania skierowane przede wszystkim na skuteczne wyeliminowanie wyrobu niezgodnego z dalszego procesu produkcyjnego, a nie na możliwość jego ewentualnej naprawy.
- W przyjętej do stosowania procedurze brak stopniowania stanu niezgodności wyrobu, co prowadzi wyłącznie do jego brakowania.

Podsumowanie

Analiza działań dotycząca wyrobu niezgodnego w jednym i drugim przedsiębiorstwie pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Zauważyć można dużą presję na jak najszybsze wykrycie wyrobu niezgodnego, tj. zanim trafi on na wydział montażu. W przypadku wyrobu własnego – już w pierwszym etapie procesu produkcyjnego. Natomiast w przypadku wyrobów pochodzących od kooperantów – zaraz po rozładunku samochodu dostawczego.
2. Duża presja na taką organizację stanowisk montażowych, żeby było niemożliwe popełnienie błędu (wzorowanie się na japońskich standardach organizacji produkcji).
3. W obydwu przypadkach zauważyć można wzrost znaczenia i wykorzystania specjalistycznych pomocy i narzędzi wspomagających zarówno czynności kontrolne jak i ułatwiające czynności montażowe. Zabezpiecza to przed „rozrastaniem" się błędów w końcowej fazie montażu wyrobu.
4. W jednym i drugim przedsiębiorstwie zauważyć można zwiększoną rolę działań profilaktycznych mających na celu przeciwdziałania powstawaniu błędów, a także ich przenoszenia na późniejsze etapy procesu produkcyjnego np. metoda *First Article Inspection* lub stoły Pareto.

LITERATURA

1. Harris R., Harris C., Wilson E., *Doskonalenie przypływu materiałów*, Center for Technology Transfer, Wrocław 2004.
2. Imai M., *Gemba Kaizen, Zdroworozsądkowe, niskokosztowe podejście do zarządzania*, MT Biznes, Warszawa 2006.

Materiały zakładowe
1. Procedura systemowa PS-19.
2. Standard postępowania z wyrobem niezgodnym.
3. Normy AS 9100, PN-EN-14001.

Postępowanie z wyrobem niezgodnym

Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę dotyczącą postępowania z wyrobem niezgodnym na przykładzie dwóch przedsiębiorstw regionu Lubelskiego. Z uwagi na różny sposób dochodzenia do stosowanych w przedsiębiorstwie metodyk postępowania z wyrobem niezgodnym podzielono je umownie na metodę tradycyjną i nowoczesną. Tradycyjny sposób postępowania przypisano WSK PZL, natomiast podejście nowoczesne odniesiono do Roto Frank.

W wyniku przeprowadzonej analizy i oceny sposobu funkcjonowania obydwu metodyk we wskazanych przedsiębiorstwach stwierdzono, że o obszarze postępowania z wyrobem niezgodnym przedsiębiorstwa stosują bardzo podobne rozwiązania. Różnią się jednak znacznie w zakresie stosowania działań profilaktycznych mających za zadanie zapobiec powstawaniu błędów produkcyjnych. Choć jedno i drugie przedsiębiorstwo przywiązuje do działań tych duże znaczenie, to jednak przedsiębiorstwo Roto Frank stosuje większy ich zakres.

Słowa kluczowe: wyrób, niezgodność, błędy, postępowanie, produkcja.

Dealing with a Defective Product

Abstract

This article analyzes the problem of different types of a company approach to dealing with a faulty product based on the example of two companies operating within the Lublin region. Different ways in which companies arrive at the methodology of dealing with a faulty product, prompts us to conventionally refer to these two types of approach as a traditional and modern method. We ascribe the traditional method to WSK PZL while the modern approach will be characteristic of the Roto Frank.

Having analyzed and evaluated the system of operation of the two methodologies in the chosen companies we concluded that the companies use similar solutions to deal with a faulty product. Where they differ, however, is in the choice of preventive measures that they undertake to avoid production errors. Although both companies consider the measures important, it is the Roto Frank whose range of those measures is larger.

Key words: product, defectiveness, errors, measures, production.

Postępowanie z wyrobem niezgodnym

KAZIMIERZ SZATKOWSKI

Informacja o autorze

Dr inż. Kazimierz Szatkowski
Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa
Wydział Zarządzania
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38D
20-618 Lublin
tel. 693182785
e-mail: k.szatkowski@pollub.pl

PAWEŁ OBSTAWSKI
DARIUSZ CZEKALSKI

Wizualizacja procesu pozyskiwania energii w hybrydowym systemie źródeł odnawialnych

Wstęp

Systemy hybrydowe to systemy wytwarzające energię elektryczną lub energię elektryczną i ciepło przy współpracy odnawialnego i konwencjonalnego źródła energii. Podczas eksploatacji systemów hybrydowych występują pewne problemy związane m.in. z okresową dostępnością zasobów energii źródła odnawialnego, czego przykładem może być energetyka słoneczna, czy też z możliwością odzyskania części energii np.: energii cieplnej z czynnika chłodzącego silnik spalinowy zasilany biogazem, który stanowi integralną część turbogeneratora. Z tychże względów tworzy się tak zwane hybrydowe systemy kombinowane, które składają się z kilu źródeł energii odnawialnej. Połączenie kilku źródeł energii odnawialnej w hybrydowym systemie kombinowanym zapewnia ciągłość dostaw energii zwiększając stabilność energetyczną systemu, optymalizację wykorzystania dostępnych zasobów energii odnawialnej, możliwość odzysku i wykorzystania energii wytwarzanej podczas przetwarzania energii z OZE na inną użyteczną formę energii.

W warunkach Polski najbardziej rozwijającym się, a zarazem najczęściej stosowanym źródłem OZE zarówno w instalacjach wielkoskalowych jak i wśród odbiorców indywidualnych jest energetyka słoneczna [5], która zapewnia efektywne przetwarzanie energii promieniowania słonecznego w miesiącach marzec-wrzesień [1]. Z tego też względu często w hybrydowych instalacjach wielkoskalowych stosuje się drugie źródło energii odnawialnej np.: sprężarkową pompę ciepła. Istotnym problemem eksploatacyjnym występującym w takim kombinowanym systemie hybrydowym jest niska sprawność przemian energetycznych poszczególnych segmentów systemu [4]. Problem prawdopodobnie jest rezultatem standardowych regulatorów stosowanych do sterowania odrębnie pracą poszczególnych segmentów systemu. Standardowe regulatory różnicowe stosowane w instalacjach słonecznych pompach ciepła czy konwencjonalnych źródłach energii mają ograniczone możliwości techniczne [2]. Zwiększenie sprawności przemian poszczególnych segmentów systemu, a w rezultacie zwiększenie sprawności całego systemu można uzyskać przez odpowiednie sterowanie przepływem strumieni energii adekwatne do panujących warunków eksploatacyjnych. Takie sterowanie pracą kombinowanego systemu hybrydowego można zrealizować za pomocą swobodnie programowalnych sterowników PLC. Zastosowanie sterownika PLC posiada również tę zaletę, że umożliwia wizualizację procesu konwersji energii

wraz z możliwością zdalnej kontroli z wykorzystaniem programów typu SCADA.

Przykładowa aplikacja przedstawiona zostanie na przykładzie kombinowanego systemu hybrydowego zasilającego w energię cieplną Ośrodek Edukacji Ekologicznej i Wypoczynku w Budach Grabskich.

Opis techniczny obiektu

W latach 1998 – 2001 zespół naukowy Zakładu Gospodarki Energetycznej wdrożył kombinacyjny hybrydowy system pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, którego zadaniem jest przygotowanie ciepłej wody użytkowej dla budynków Ośrodka Edukacji Ekologicznej i Wypoczynku w Budach Grabskich [3]. Ośrodek dysponuje dwoma budynkami, budynkiem pracowni dydaktycznych i budynkiem hotelowym Centralne ogrzewanie w obu budynkach realizowane jest za pomocą kotłowni olejowej, a ciepła woda użytkowa pozyskiwana jest z kombinowanego hybrydowego systemu źródeł odnawialnych. System bazuje na współpracy instalacji słonecznej złożonej z segmentu kolektorów płaskich i kolektorów próżniowych wraz ze sprężarkową pompą ciepła z dolnym źródłem energii w postaci wymiennika gruntowego. Zasadniczy segment systemu zapewniający pokrycie zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową w miesiącach marzec – październik stanowi segment złożony z 20 cieczowych płaskich kolektorów słonecznych *HELIOSTAR 200* firmy *THERMOSOLAR*, o łącznej powierzchni 40 m^2(rys. 1).

Rys. 1. Segment kolektorów płaskich wraz z budynkiem hotelowym

Segment kolektorów płaskich jest umieszczony na konstrukcji wolnostojącej o południowej orientacji i nachylonej do poziomu pod kątem 30^o.

Ponieważ w obiegu kolektorów słonecznych znajduje się uzdatniony czynnik na bazie glikolu, toteż transformacja ciepła odbywa za pośrednictwem wymiennika płytowego *CB 27* firmy *Alfa-Laval* o rozwiniętej powierzchni wymiany ciepła 0,9 m^2. Ciepła woda użytkowa gromadzona jest w zaizolowanym termicznie zasobniku o objętości 1000 dm^3.

W przypadku słabych warunków słonecznych i dużych rozbiorów cieplej wody użytkowej w miesiącach letnich funkcję wspomagającą segment słoneczny realizuje sprężarkowa pompa ciepła *PC 12,5 A* wyprodukowana przez *ZM TARNÓW*. W miesiącach październik – marzec pompa ciepła jest podstawowym źródłem energii cieplnej w systemie.

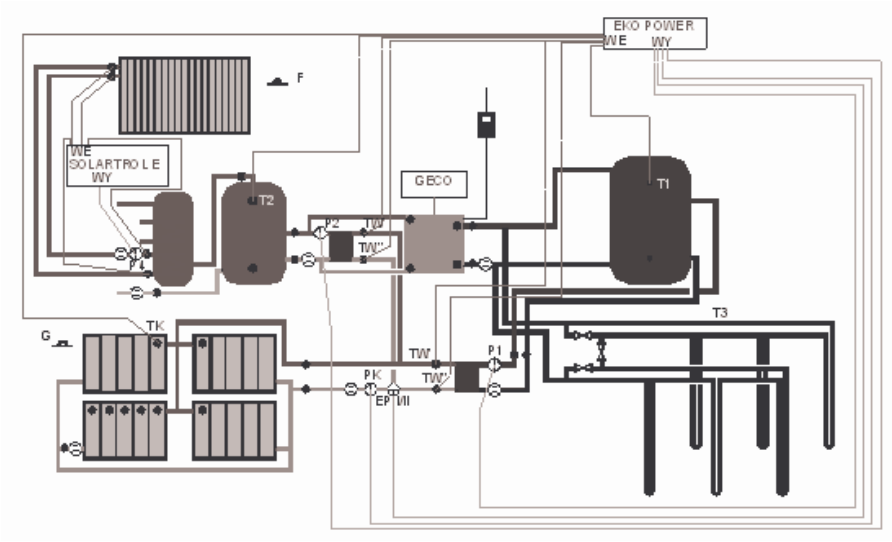
Nominalna moc grzewcza pompy ciepła wynosi według danych producenta 12,5 kW. Niższym źródłem energii dla pompy ciepła jest pionowy wymiennik gruntowy wykonany z rur polietylenowych o średnicy 40 mm. Rurociągi w kształcie „U" umieszczono w 6 odwiertach o głębokości 30 m każdy połączonych na głębokości 1,5 m poziomymi odcinkami o długości sumarycznej 60 m. Rurociągi mają łączną długość 420 m, oraz objętość 530 dm^3.

W celu zapewnienia stabilności systemu przy szczytowych obciążeniach system uzupełniono segmentem kolektorów próżniowych tubowych *VITOSOL 300* firmy *VIESSMANN*. Segment złożony z 2 paneli o łącznej powierzchni 6 m^2 został umieszczony na dachu budynku gospodarczego o wystawie zachodnio-południowej i kącie nachylenia 40^o. Czynnik pośredniczący z wewnętrznego wymiennika jednostki absorbującej kierowany jest do wymiennika wężownicowego umieszczonego w zasobniku o pojemności 300 dm^3 szeregowo podłączonym z głównym zasobnikiem CWU o pojemności 1000 dm^3.Kolektory próżniowe zapewniają wysokosprawne podgrzewanie wody użytkowej do temperatury $55 \div 60^oC$. Zasobnik 300 dm^3 stanowi także zbiornik dogrzewu szczytowego przy wykorzystaniu źródła konwencjonalnego – przez drugą wężownicę dołączoną do obiegu cieplnego kotłowni olejowej.

Dotychczasowy układ sterowania i monitoringu pracy systemu

Dotychczas pracą poszczególnych segmentów zarządzały trzy oddzielne regulatory, przez co rozkład i przepływ strumieni ciepła w systemie był dość przypadkowy. Zarówno w segmencie kolektorów słonecznych płaskich jak i próżniowych zastosowano standardowe regulatory różnicowe, włączające lub wyłączające pompy cyrkulacyjne w zależności od zadanego gradientu temperatur pomiędzy wodą w zasobniku a temperaturą czynnika w instalacji solarnej. W segmencie kolektorów płaskich zastosowano regulator Eko-Power a w segmencie kolektorów próżniowych regulator Solartrol-E. Algorytm sterowania pracą pompy ciepła realizowany był przez jej wewnętrzny sterownik G_EKO, który załączał pompę gdy temperatura wody w zasobniku obniżała się poniżej wartości granicznej 47°C.

W celu analizy rozkładu strumieni energii i temperatur w poszczególnych segmentach systemu jego praca była monitorowana. Do pomiaru temperatury wykorzystano 48 półprzewodnikowych czujników LM35, pomiar przepływu masy zrealizowano za pomocą wodomierzy z impulsatorami a do pomiaru natężenia promieniowania słonecznego na płaszczyznach segmentów słonecznych wykorzystano dwa pyranometry. Pomiar wymienionych wartości fizycznych zrealizowano poprzez karty pomiarowe zainstalowane w komputerze klasy PC ze specjalistycznym oprogramowaniem umożliwiającym archiwizację.



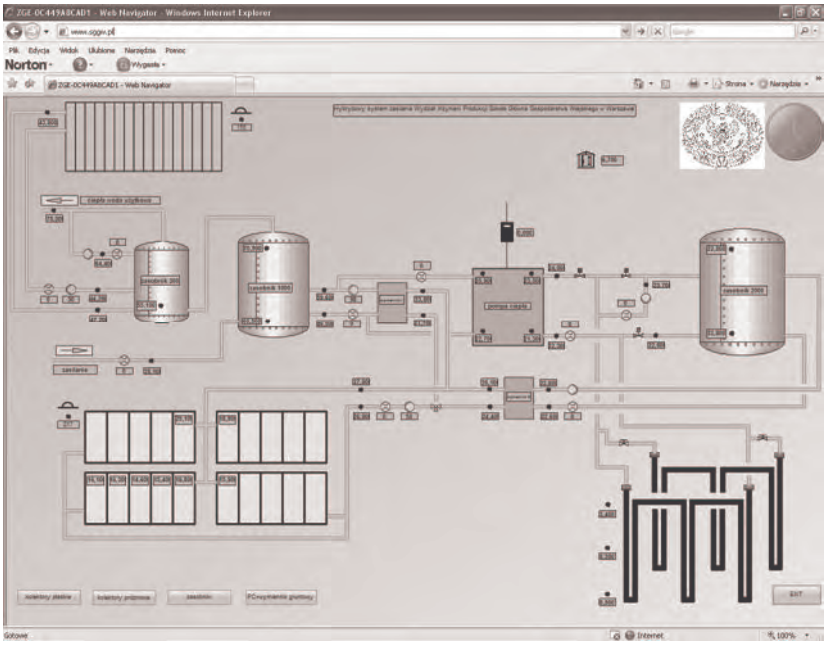
Rys. 2. Schemat układu sterowania pracą systemu

Przy takiej konfiguracji i zastosowanym układzie sterowania system pokrywał zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową nawet przy obciążeniach krytycznych, jednakże sprawności przemian poszczególnych segmentów były na znacznie niższym poziomie niż gdyby poszczególne segmenty pracowały jako systemy monowalętne. Ponadto dodatkowym problemem był monitoring pracy systemu i zmiana zadanych wartości progowych w poszczególnych segmentach systemu gdyż system znajduje się 80 kilometrów od Warszawy.

Nowatorska koncepcja sterowania i monitoringu pracy systemu

W celu wyeliminowania wymienionych problemów eksploatacyjnych opracowano i wdrożono nowatorska koncepcję sterowania i monitoringu pracy kombinowanego systemu hybrydowego z wykorzystaniem swobodnie programowanego sterownika PLC oraz programu typu SCADA (rys.3). System przebudowano również pod względem połączeń hydraulicznych co umożliwia pośrednią akumulację nadwyżek energii cieplnej z segmentu słonecznego

w wymienniku gruntowym. Dotychczasowe półprzewodnikowe czujniki pomiaru temperatury zastąpiono termorezystorami PT1000, a standardowe pompy cyrkulacyjne pompami z możliwością płynnej regulacji wydatku.



Rys. 3. Wizualizacja systemu w programie WinCC

Jako centralną jednostkę sterującą zastosowano sterownik S7-300-2DP firmy Siemens, do której dołączono: 8 modułów RTD, moduł wejść i wyjść analogowych oraz moduł wejść i wyjść dyskretnych. Tak rozbudowana jednostka sterująca umożliwia ujednolicenie układu sterowania z monitoringiem pracy całego systemu a dzięki połączeniu sterownika z programem WinCC za pomocą protokołu Profibus wizualizację zdalny monitoring pracy systemu oraz archiwizację danych pomiarowych.

Podsumowanie

Zastosowanie swobodnie programowalnego sterownika PLC umożliwia ujednolicenie algorytmu pracy poszczególnych segmentów hybrydowego systemu zasilania. Ponadto możliwości aplikacyjne sterownika PLC przy odpowiednim doborze hydraulicznych elementów wykonawczych takich jak: pompy cyrkulacyjne z możliwością płynnej regulacji wydatkiem umożliwiają stosowanie nowatorskich algorytmów sterowania między innymi z zastosowaniem regulatora fuzzy. Poprzez rozbudowanie sterującej jednostki centralnej o dodatkowe moduły i zastosowanie programu typu SCADA istnieje możliwość monitoringu oraz zdalnej kontroli pracy systemu co jest dodatkową zaletą takiego rozwiązania.

LITERATURA

1. Chochowski A., Czekalski D.: Zasoby energii słonecznej w rejonie warszawskim. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 1996. Nr 6
2. Chochowski A., Czekalski D.: Charakterystyka pozyskiwania energii słonecznej w instalacjach z kolektorami cieczowymi. Część I. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja. 1996. Nr 9
3. Chochowski A. Czekalski D. Obstawski P.: Monitorowanie funkcjonowania hybrydowego systemu odnawialnych źródeł energii. Przegląd Elektrotechiczny 2009. Nr 8. str. 92-95
4. Chochowski A., Obstawski P., Czekalski D.: Właściwości dynamiczne płaskich kolektorów słonecznych. Przegląd Elektrotechniczny. 2010. Nr 6.
5. Czekalski D., Obstawski P.: Wydajność słonecznych systemów grzewczych w domach jednorodzinnych na podstawie badań eksploatacyjnych. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja. 2008. Nr 1.

Wizualizacja procesu pozyskiwania energii w hybrydowym systemie źródeł odnawialnych

Streszczenie

W artykule przedstawiono nowatorską koncepcję sterowania i monitoringu pracy kombinowanego systemu hybrydowego opartą na swobodnie programowalnym sterowniku PLC. Takie rozwiązanie umożliwia optymalizację sprawności przemian energetycznych w poszczególnych segmentach systemu a w rezultacie całego systemu poprzez możliwość stosowania nowatorskich algorytmów sterowania. Dzięki zastosowaniu programu typu SCADA możliwa jest wizualizacja procesu pozyskiwania energii rejestracja danych pomiarowych oraz zdalny monitoring pracy sytsemu.

Słowa Kluczowe: system hybrydowy, sterownik PLC, SCADA, odnawialne źródła energii

Visualization of process of logging energy in hybrid system of renewable sources of energy

Abstract

In article introduced the innovatory conception steerings and monitoring of work of wangled hybrid system on leaning on freely programmable PLC controller. Such solution makes possible optimization of efficiency of energetistic alternatively in individual segments of system and in result of whole system across possibility of usage of innovatory algorithms of steering. Use of programme of SCADA type passable visualization of process of logging of energy, registration of measuring data and remotely - controlled monitoring of work of sytsem.

Key words: hybrid system, PLC controller, SCADA, renewable sources of energy

Wizualizacja procesu pozyskiwania energii w hybrydowym systemie źródeł odnawialnych

PAWEŁ OBSTAWSKI
DARIUSZ CZEKALSKI

Informacje o autorach

Dr inż. Paweł Obstawski

Katedra Podstaw Inżynierii

Wydział Inżynierii Produkcji

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

Ul. Nowoursynowska 166

02-787 Warszawa

tel. 022- 59-34-606

e-mail: pawel_obstawski@sggw.pl

Dr inż. Dariusz Czekalski

Katedra Podstaw Inżynierii

Wydział Inżynierii Produkcji

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

Ul. Nowoursynowska 166

02-787 Warszawa

tel. 022- 59-34-606

e-mail: dariusz_czekalski@sggw.pl

TOMASZ GORECKI

Metodyka skracania czasu przezbrojeń SMED

Wstęp

Z roku na rok rewolucja technologiczna w obrębie rozwoju przemysłu jest coraz bardziej zauważalna. Stawia to zakłady produkcyjne przed nowymi wyzwaniami, którym sprostać będą mogły tylko te, które przy minimalnym nakładzie czasu i kosztów będą w stanie dostarczyć na rynek jak najwięcej swoich produktów przy jednoczesnym zachowaniu ich wysokiej jakości. W ostatnich latach Lean Manufacturing (LM) staje się coraz bardziej popularne w naszym kraju, wiedza na temat szczupłego wytwarzania przychodzi do przedsiębiorstw produkcyjnych z krajów, gdzie jest już powszechnie znana i stosowana, głównie jako jeden z czynników usprawniania oraz obniżania kosztów produkcji.

SMED jako narzędzie szczupłej produkcji

Obniżanie kosztów produkcji jest jednym z głównych celów każdego przedsiębiorstwa, dlatego obecnie firmy chętnie zaczynają stosować LM, eliminując dzięki temu wykonywanie czynności nie dodających wartości produktowi. Zgodnie z tą filozofią należy produkować tylko to, co jest potrzebne tylko wtedy, kiedy jest potrzebne. Podstawową zasadą w odchudzonym wytwarzaniu jest eliminacja wszelkiego marnotrawstwa, a skoncentrowanie się na czynnościach, które dodają wartości wytwarzanemu produktowi - zgodnie z wymaganiami klienta. Główne rodzaje marnotrawstwa to: zbędny ruch, zbędne zapasy, braki, zbędny transport, oczekiwanie, zbędne przetwarzanie, nadprodukcja.

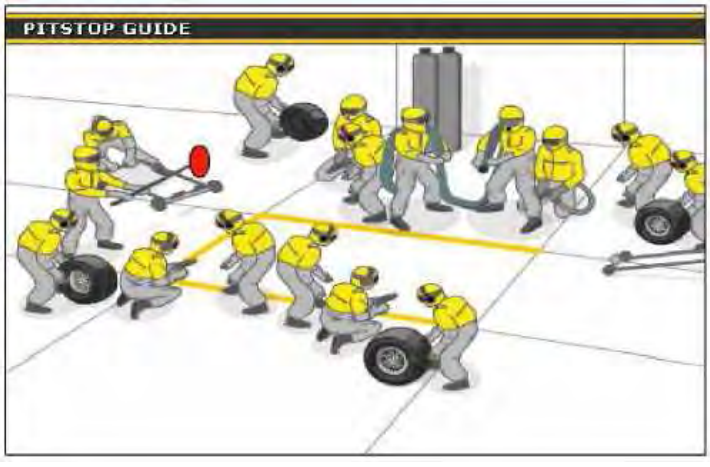
Metoda SMED - skracanie czasów przezbrojeń bolidu

Znakomitym przykładem obrazującym metodę „SMED” jest Pit Stop Formuły 1 (rys.1). Jest to rodzaj przezbrojenia bolidu, w którym szczególnie widać nacisk na skracanie czasu (gdyż niejednokrotnie setne sekundy decydują o zwycięstwie bądź przegranej kierowcy).

Rys. 1 Pit Stop Formuły 1

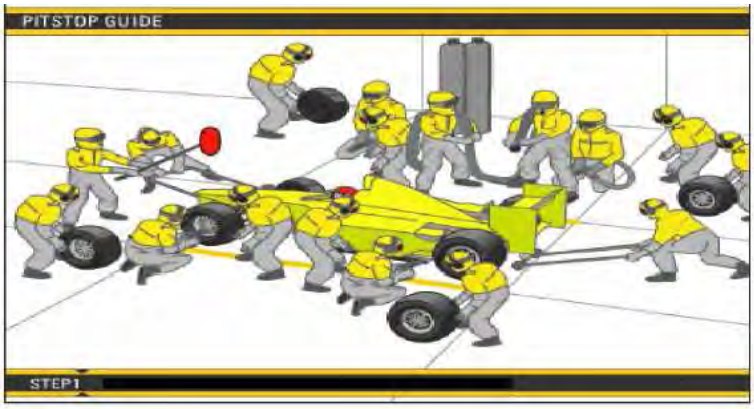
Rysunki od 2 do 8 [1] przedstawiają szczegółowo proces „przezbrajania" bolidu Formuły 1.

W pełni przygotowana i gotowa do zmiany opon i zatankowania paliwa grupa mechaników oczekuje na zjazd bolidu z toru (rys.2).



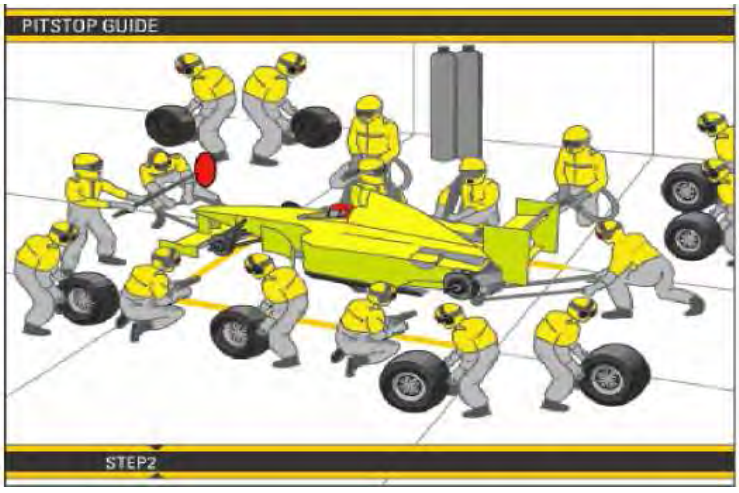
Rys. 2 Grupa mechaników oczekująca na bolid

Kierowca parkuje bolid w wyznaczonym miejscu (w tym przypadku zaznaczone przez żółty prostokąt) (rys.3). Mechanik odpowiadający za bezpieczeństwo całej operacji zapala czerwone światło które jest sygnałem dla pozostałych mechaników do wykonania swoich operacji, tj. podniesienia auta i odkręcenia śrub przy kołach. Kolejni mechanicy czekają w pogotowiu z nowym kompletem opon podgrzanych do temperatury około 70^{o} C.

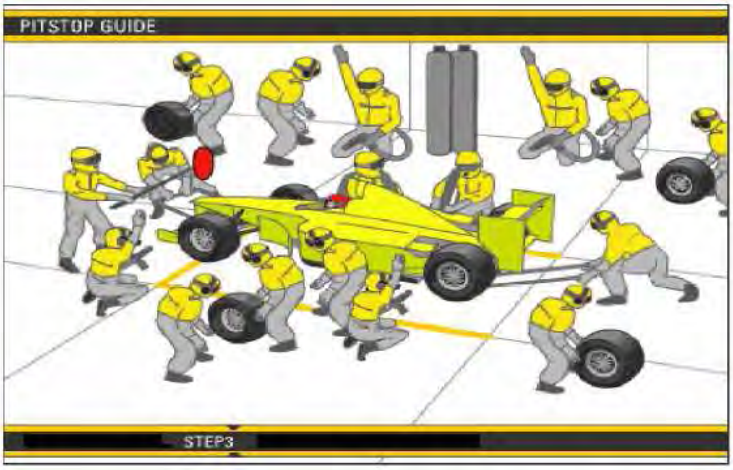


Rys. 3 Wjazd bolidu do pit stopu

Zużyte opony są wymieniane (rys.4). W tym samym czasie dwóch mechaników do zbiornika pompuje paliwo (rys.5).

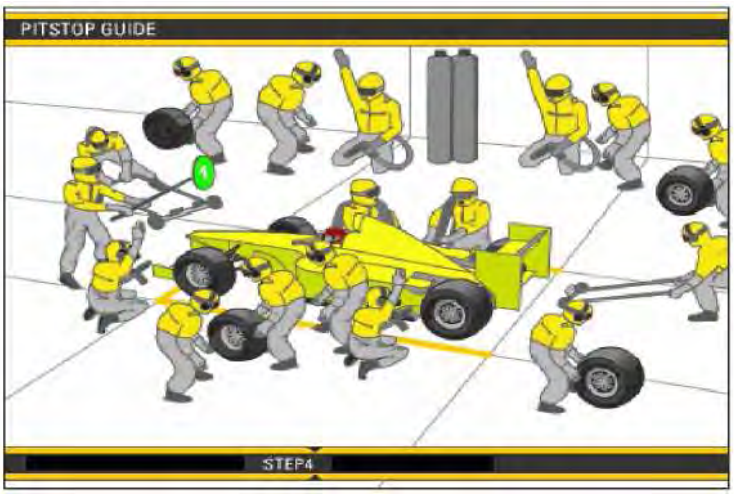


Rys. 4 Wymiana opon



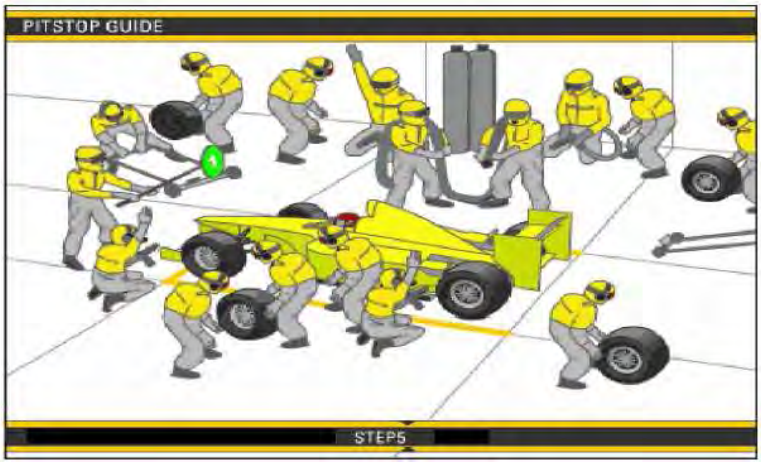
Rys. 5 Tankowanie bolidu

Usunięcie zużytych opon i przykręcenie nowych (czas operacji to setne części sekundy) mechanicy sygnalizują przez podniesienie ręki- koniec operacji (rys. 6).



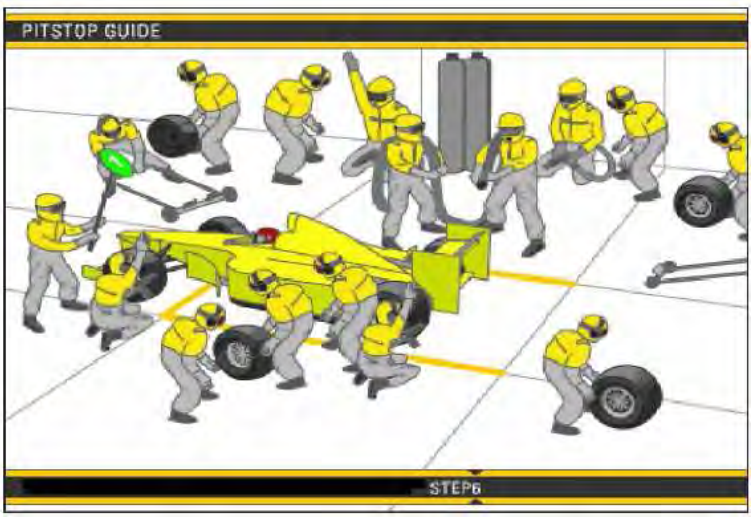
Rys. 6 Koniec operacji wymiany opon

Tankowanie to najniebezpieczniejsza i najdłuższa część zadania - wymaga najwięcej uwagi i czasu (rys.7). Bolid jest już zatankowany, a podnośniki opuszczone.



Rys. 7 Koniec operacji tankowania

Gdy wszyscy mechanicy odsuwają się od bolidu, osoba odpowiadająca za bezpieczeństwo upewnia się czy wszyscy zakończyli „przezbrojenie” po czym daje zielony znak kierowcy do startu (rys.8).



Rys. 8 Start bolidu

Cały proces jest tak zorganizowany, by trwał jak najkrócej. Obecnie najszybszym zespołem w pit stopie jest Team MCLARENA, który „przezbraja” bolid w około 4 s.

Istota metody oraz korzyści z zastosowania

Metoda SMED (*ang. Single Minute Exchange of Die)* to wymiana narzędzia w ciągu jednocyfrowej liczby minut; została opracowana w Japonii przez Shigeo Shingo. Głównym celem jej stosowania jest radykalne skrócenie czasu trwania przezbrojeń maszyn. Istotną nowością metody SMED jest rozróżnienie czynności wykonywanych podczas przezbrojeń na dwa rodzaje:

● przezbrojenia *wewnętrzne*, które mogą być wykonywane tylko przy wyłączonej maszynie (np. zakładanie i zdejmowanie oprzyrządowania, kół bolidu), oraz

● przezbrojenia *zewnętrzne*, które operator może wykonywać podczas pracy maszyny (np. dostarczenie oprzyrządowania z magazynu na stanowisko, podgrzanie opon itp).

Takie rozróżnienie umożliwia rozgraniczenie, a następnie przekształcenie przezbrojeń wewnętrznych na zewnętrzne. W wyniku zastosowania takiego toku postępowania S. Shingo dokonał radykalnych usprawnień przebiegu procesu przezbrajania, przynoszących nawet ponad 90- procentowe skrócenie czasu postoju maszyn. Inne korzyści wynikające ze stosowania metody SMED to [3]:

– redukcja długich serii produkcyjnych,
– redukcja stanów magazynowych,
– zwiększenie elastyczności produkcji,
– skrócenie czasu wykonania wyrobów (poprzez redukcję czasu oczekiwania na obróbkę),
– zmniejszenie kosztów robocizny przy przezbrajaniu,
– zwiększenie dostępności maszyn,
– podniesienie produktywności wąskich gardeł,
– zmniejszenie zużycia materiałów związanego z przezbrojeniem,
– niższy koszt wytworzenia produktu,
– podniesienie stopnia wykorzystania posiadanego wyposażenia,
– eliminacja liczby błędów przy przezbrojeniach,
– podniesienie jakości wyrobów,
– poprawa bezpieczeństwa pracowników,
– uproszczenie gospodarki narzędziowej,
– obniżenie wymagań w odniesieniu do umiejętności pracowników.

Etapy metody SMED

1) Przygotowanie- podczas tego etapu zostaje podjęta decyzja, na którym stanowisku lub grupie stanowisk będą prowadzone prace związane z redukcją czasu przezbrojeń. W tym celu należy sporządzić szczegółowy opis badanego procesu przezbrajania oraz zarejestrować go na filmie. Następnym krokiem jest analiza zarejestrowanego filmu. W trakcie gromadzone są wyjaśnienia i komentarze operatorów maszyn dotyczące przebiegu przezbrojenia oraz ewentualne sugestie zmian organizacyjnych.

2) Rozgraniczenie przezbrojenia wewnętrznego i zewnętrznego

W tradycyjnie realizowanym przezbrojeniu wszystkie lub zdecydowana większość czynności jest wykonywana podczas postoju maszyny. Podczas rozgraniczania czynności można posłużyć się [5]:

● listą kontrolną (*checklist*), której stosowanie ma na celu wyeliminowanie pomyłek i przeoczeń w trakcie przygotowywania przezbrojenia wewnętrznego i prowadzi do skrócenia czasu związanego z wykonaniem serii próbnej. Lista kontrolna zawiera wykaz:

– pracowników przeszkolonych do wykonywania danego typu przezbrojeń,

– niezbędnych narzędzi, części, materiałów i procedur,

– wartości nastaw poszczególnych parametrów pracy urządzeń, przy których można wznowić produkcję. Listy kontrolne opracowywane są dla konkretnej maszyny lub operacji przezbrojenia.

● tablica weryfikacyjna [4], która jest uzupełnieniem listy kontrolnej. Płyta z naniesionymi symbolami lub opisami poszczególnych części i narzędzi umożliwia szybką wizualną weryfikację skompletowania niezbędnych przedmiotów. W trakcie przezbrojenia zewnętrznego poszczególne narzędzia, części i materiały są umieszczane na przeznaczonych dla nich miejscach tablicy. Brak jakiegokolwiek elementu jest natychmiast widoczny. W formie tablicy weryfikacyjnej możliwe jest także zorganizowanie przystanowiskowego

zestawu narzędzi. Należy przyjąć wówczas zasadę: *„każda rzecz ma swoje miejsce, każdemiejsce przeznaczone jest dla jednej rzeczy”*.

3) Przekształcenie przezbrojeń wewnętrznych w zewnętrzne

Przekształcenie przezbrojeń wewnętrznych w przezbrojenia zewnętrzne jest najtrudniejszym z etapów metody SMED. Dokonanie zmiany jest jednak niezbędne w celu radykalnego skrócenia czasu przezbrojenia. Dysponując listą czynności wewnętrznych, przygotowaną w trakcie realizacji etapu przygotowania i rozgraniczenia przezbrojeń, należy poszukiwać takich rozwiązań, które:

– uproszczą realizację przezbrojeń wewnętrznych, skracając w ten sposób czas ich trwania,

– umożliwią zredukowanie liczby przezbrojeń wewnętrznych, nawet kosztem zwiększenia liczby przezbrojeń zewnętrznych czy też wydłużenia czasu ich realizacji.

W wielu przypadkach etap ten zdominowany jest przez usprawnienia o charakterze bardziej technicznym niż organizacyjnym. Stosowane rozwiązania najczęściej polegają na opracowaniu zmian w konstrukcji narzędzi, maszyn i urządzeń. W trakcie opracowywania sposobów zmiany przezbrojeń wewnętrznych w przezbrojenia zewnętrzne wskazane jest:

● ***Standaryzacja*** . Prawidłowo przeprowadzona standaryzacja wiąże się z przeprowadzeniem analizy funkcji każdego z elementów wyposażenia, część po części i zastąpienia jak największej ich liczby jednym rodzajem. Pozwala to wyraźnie zredukować czas przezbrojenia, upraszcza organizację pracy, eliminuje konieczność poszukiwania właściwych narzędzi i ogranicza potrzebę regulacji.

● ***Wykorzystanie przyrządów pośredniczących***. Zastosowanie przyrządów takich jak: uchwyty samocentrujące, podkładki dystansowe, redukcje, kasety, klamry itp., pozwala na przeprowadzenie przezbrojenia w analogiczny sposób jak w przypadku różnych narzędzi, części lub maszyn. Podobny cel ma stosowanie innych przyrządów pośredniczących – eliminują one część żmudnych regulacji i związanych z nimi próbnych partii wyrobów.

● ***Dublowanie części i podzespołów maszyn.*** [2] W podejściu tym zakłada się, że każdy element może być przygotowywany „zewnętrznie" do momentu, w którym niezbędna jest maszyna lub któryś z jej układów. Aby dokonać tego typu konwersji, w wielu przypadkach niezbędne staje się zakupienie lub wykonanie dodatkowych części lub nawet całych podzespołów (modułów) maszyny. Po zastosowaniu takiego rozwiązania postój urządzenia trwa tyle czasu, ile jest potrzebne na podmienienie danego podzespołu - koła bolidu.

● ***Wcześniejsze podgrzewanie (preheating)***. W przypadku gdy dla prawidłowego przebiegu procesu produkcyjnego niezbędne jest osiągnięcie temperatury wyższej od temperatury otoczenia, możliwe jest zastosowanie wstępnego podgrzewania. Skraca się tym samym czas, w którym maszyna nagrzewa się do określonej temperatury, lub ogranicza się liczbę wadliwych elementów wykonanych w trakcie stabilizowania się tego parametru.

● ***5 pytań dlaczego* („*5 why?"*)**. Osiągnięcie dobrych wyników na etapie zmiany wymaga zrozumienia rzeczywistych funkcji i celu wszystkich czynności podejmowanych w trakcie przezbrojenia wewnętrznego, a następnie opracowania sposobów na przekształcenie ich w przezbrojenia zewnętrzne. Zalecane jest w takich przypadkach pięciokrotne zadawanie pytania „dlaczego?" odnośnie do obszarów: co się wykonuje, kto wykonuje, jak się wykonuje, gdzie się wykonuje, kiedy się wykonuje.

● ***Metody kreatywne***. Ze względu na konieczność opracowania i wdrożenia, podczas dokonywania przemiany nowych rozwiązań, szczególnie uzasadnione staje się korzystanie z takich metod jak burza mózgów, analogia czy też inne metody i techniki twórczego myślenia.

4) Końcowa racjonalizacja poszczególnych elementów operacji przezbrojenia

To ostatni etap metody SMED. Na wstępie usprawnieniu poddaje się przebieg przezbrojeń wewnętrznych, a w następnej kolejności przezbrojeń zewnętrznych.

Racjonalizacja przezbrojeń wewnętrznych

Zastosowanie połączeń szybkomocujących.

Ze względu na wady śrub, takie jak: długi czas dokręcania i odkręcania, możliwość zgubienia w trakcie demontażu, konieczność stosowania narzędzi, podatność na uszkodzenia, niebezpieczeństwo mylenia rozmiarów śrub lub nakrętek, przy usprawnieniu przebiegu przezbrojenia wewnętrznego zastępuje się tradycyjne połączenia śrubowe łączeniami szybkomocującymi. Łączenia tego typu charakteryzują się tym, że:

– przytrzymują obiekty w zadanym położeniu,

– zwolnienie i zamocowanie przytrzymywanego obiektu następuje szybko,

– przy zaciskaniu i zwalnianiu wymagają niewielkiego wysiłku,

– w wielu przypadkach nie wymagają użycia narzędzi,

– mogą być zamocowane na stałe do maszyny, nie występuje zatem możliwość ich zgubienia.

Istnieje wiele rodzajów połączeń szybkomocujących. Ich wybór uzależniony jest między innymi od takich czynników, jak: rodzaj, gabaryty i masa mocowanego elementu, możliwości warsztatu, który ma takie połączenie wykonać, kosztów zakupu itp.

Równoległa realizacja operacji przezbrojenia. Zaplanowanie równoległego wykonywania czynności przez kilku, kilkunastu (w bolidzie) pracowników jest szczególnie istotne przy przezbrajaniu obiektów o dużych gabarytach. Skierowanie, w odpowiednim momencie, do realizacji przezbrojenia dodatkowych osób eliminuje konieczność wielokrotnego przechodzenia wokół maszyny. Ponadto takie czynności, jak np. centrowanie lub mocowanie dużego i ciężkiego narzędzia, przebiegają wielokrotnie szybciej.

Krótko trwające oderwanie ich od dotychczasowych obowiązków w istotny sposób skróci czas przestoju przygotowywanej maszyny. Przy opracowywaniu przebiegu pracy równoległej niezbędne jest szczegółowe określenie zadań poszczególnych pracowników oraz zgranie zespołu poprzez przeprowadzenie szkoleń i prób praktycznych. Przy projektowaniu i późniejszym opisywaniu przebiegu pracy można wykorzystać karty przebiegu czynności zespołowych i wykresy przedstawiające drogi przemieszczania się poszczególnych pracowników.

Eliminacja regulacji. Regulacja jest związana z wykonywaniem próbnych partii wyrobów i może zająć nawet 50% całkowitego czasu przezbrojenia. Konieczność regulacji wynika z potrzeby uzyskania odpowiednich wartości przez wszystkie parametry procesu produkcyjnego. Sytuacją idealną jest całkowite wyeliminowanie regulacji i związanej z nią serii próbnej. Wymaga to jednak ustawienia w trakcie przezbrojenia wewnętrznego prawidłowych nastaw poszczególnych parametrów pracy maszyny. Eliminację regulacji lub przynajmniej jej znaczne ograniczenie i tym samym radykalne skrócenie czasu niezbędnego na wykonanie wszystkich czynności powiązanych z serią próbną można dokonać poprzez:

– wyposażenie wszystkich wykorzystywanych przy regulacjach pokręteł, dźwigni, suwaków itp. w skale numeryczne oraz odnotowanie ich prawidłowych ustawień na liście kontrolnej,

– umieszczenie przy elementach regulacyjnych mierników prezentujących aktualne wartości poszczególnych parametrów,

– zastosowanie szablonów do szybkiego ustawiania prawidłowych pozycji narzędzia,

– naniesienie linii centrujących i punktów bazowych na elementach maszyn,

– zastosowanie rozwiązań wykorzystujących system najmniejszej wspólnej wielokrotności.

Racjonalizacja przezbrojeń zewnętrznych

Przebieg przezbrojenia zewnętrznego powinien być podporządkowany realizacji przezbrojenia wewnętrznego – mającego bardziej krytyczne znaczenie dla czasu trwania przestoju stanowiska. Dlatego usprawnienie czynności przezbrojenia zewnętrznego przeprowadzana jest jako ostatnia. Podejmowane działania nie wpłyną już na skrócenie czasu przestoju maszyny. Ich celem jest zmniejszenie pracochłonności procesu przezbrojenia. Na tym etapie stosuje się racjonalizację przechowywania narzędzi, części i materiałów oraz racjonalizację transportu narzędzi i materiałów.

Racjonalizacja przechowywania narzędzi, części i materiałów. Konieczne staje się przeprowadzenie analizy zapotrzebowania na narzędzia, części i materiały. Wszelkie zmiany w tym zakresie powinny znaleźć swoje odzwierciedlenie w liście kontrolnej. Następnie określa się, jakie przedmioty będą znajdowały się na stałe na stanowisku pracy. Dla często wykorzystywanych przedmiotów przygotowuje się miejsca przechowywania na stanowisku. Pozostałe narzędzia, części i materiały będą każdorazowo dowożone z magazynów lub, w przypadku części o dużych gabarytach, z wyznaczonych pól odkładczych.

Racjonalizacja transportu narzędzi i materiałów. Zmiany w transporcie narzędzi i części można rozpocząć od wprowadzenia ręcznych wózków narzędziowych, na których umieszcza się wszystkie konieczne podczas przezbrojenia przedmioty, pozwalające na to masą i gabarytami. Zespół zajmujący się racjonalizacją transportu wybiera, poprzez analizę jak największej liczby możliwych rozwiązań, najlepszy dla danych warunków sposób dostarczania części i narzędzi na stanowisko.

Podsumowanie

Przezbrajanie bolidu to dobry przykład obrazujący zastosowanie metody SMED. Cały skomplikowany proces: zjazd bolidu z toru, wymiana kół, tankowanie i powrót na tor trwa klika sekund. Zastosowanie prostej metody opartej w głównej mierze na obserwacjach, później na propozycji wprowadzenia zmian, usprawnień może przynieść wymierne korzyści w postaci skrócenia czasu przezbrajania bolidu. Rozgraniczenie przezbrojeń zewnętrznych i wewnętrznych umożliwia wprowadzenie efektywnych zmian organizacyjnych procesie przezbrajania. Metoda SMED jest czynnikiem usprawnia oraz obniżania kosztów produkcji.

LITERATURA

1. http:www.scribid.com
2. Claunch J.W.. Set-Up-Time Reduction, Irwin Professional Publishing.1996
3. Lord E., Shing"s Strategies for Set-up Reduction, Visual Communications Jurnal, 1998
4. Martyniak Z., Nowe metody organizacji i zarządzania, Wydawnictwo AE, Kraków 1998
5. Walczak M., Techniki organizatorskie w strukturze metody MED., Zeszyt naukowy nr 713 AE, Kraków 2006

Streszczenie

W artykule zaprezentowano metodę skracania czasów przezbrojeń SMED jako jedno z nowoczesnych narzędzi służących do skracania czasów przezbrojeń na przykładzie bolidu Formuły 1. Wyjaśniono istotę metody oraz korzyści z jej stosowania. Omówiono sposoby zmiany przezbrojeń wewnętrznych w przezbrojenia zewnętrzne.

Słowa kluczowe: SMED, metoda przezbrojeń, przezbrojenia wewnętrzne, przezbrojenia zewnętrzne

Abstract

The paper presents a method to shorten the time of SMED as a retooling of the modern tools to shorten the time retooling the example of a Formula 1 car. They have explain the essence of the method and benefits from its application. Discussed ways to change the internal retooling in external retooling.

Key words: SMED method, retooling, internal retooling, external retooling

Informacja o autorze

dr inż. Tomasz Gorecki
Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36
e-mail: t.gorecki@pollub.pl