

ANALIZA MOŻLIWOŚCI SKRÓCENIA CZASU MONTAŻU NARZĘDZI CHIRURGICZNYCH Z PUNKTU WIDZENIA OPTYMALIZACJI KOSZTÓW PRODUKCJI

Zbigniew NAJLEPSZY, Marta GRABOWSKA

Streszczenie: W artykule poruszono zagadnienie wyznaczania ekonomicznie uzasadnionej dokładności obróbki części montażowych w celu przyspieszenia i ułatwienia procesu montażu wykorzystującego metodę montażu z dopasowaniem. Następnie na przykładzie przedsiębiorstwa wytwarzającego metalowe narzędzia chirurgiczne zademonstrowano zastosowanie algorytmu systematyzującego proces optymalizacji procesu wytwórczego w celu obniżenia kosztów produkcji. Algorytm ten bazuje na uzasadnionym ekonomicznie zwiększaniu dokładności wykonania części montażowych.

Słowa kluczowe: montaż, montaż z dopasowaniem, koszty montażu, metoda pełnej zamienności części.

1. Specyfika montażu narzędzi chirurgicznych

Narzędzia chirurgiczne (typu nożyczki) są specyficznym wyrobem przemysłowym wyróżniającym się spośród innych wyrobów przemysłu lekkiego między innymi: ogromną różnorodnością asortymentu, skomplikowanymi filigranowymi kształtami. Ponadto narzędziom chirurgicznym stawia się wysokie wymagania dotyczące ich jakości, takie jak wysoka niezawodność w działaniu oraz wysoka trwałość i wytrzymałość. Cechy te powodują, że proces wytwórczy narzędzi chirurgicznych jest skomplikowany i pracochłonny. Duża pracochłonność procesu wytwórczego narzędzi chirurgicznych przejawia się szczególnie w fazie dopasowywania i montażu, gdzie dwie części półfabrykatu są za każdym razem, indywidualnie dopasowywane do siebie. Ponieważ każdy egzemplarz wyrobu jest dopasowywany i regulowany indywidualnie bez użycia maszyn, proces wytwórczy narzędzi chirurgicznych jest w pewnym sensie rękodziełem. Obserwując przebieg operacji dopasowywania części poprzedzających montaż można dojść do wniosku, że być może są one marnotrawstwem czasu i środków finansowych. Z drugiej jednak strony, użycie droższych, dokładniej wykonanych części montażowych w celu ograniczenia bądź całkowitego wyeliminowania dopasowywania narzędzi chirurgicznych, też nie rozwiązuje problemu nadmiernych kosztów ich wytwarzania. Stąd można wysnuć wniosek, że nie ma jednoznacznej strategii optymalizacji procesu wytwarzania narzędzi chirurgicznych, gdyż użycie części montażowych zarówno dokładnie jak i mniej dokładnie obrobionych ma swoje wady i zalety. W takiej sytuacji należy poszukiwać rozwiązania kompromisowego w celu spełnienia wymagań klienta przy jednoczesnym minimalizowaniu kosztów wytwarzania.

W niniejszym artykule omówiono problematykę optymalnej dokładności wykonania części montażowych narzędzi chirurgicznych z punktu widzenia kosztów ich wytwarzania. Następnie w formie studium przypadku przedstawiono algorytm pozwalający w systematyczny sposób przeanalizować warianty proponowanych zmian procesu

wytwórczego wykorzystującego montaż z dopasowaniem w celu obniżenia całkowitych kosztów produkcji.

2. Montaż i rodzaje montażu ze względu na zamienność części

Proces technologiczny montażu to część procesu produkcyjnego obejmująca kolejne operacje związane z łączeniem oddzielnych jednostek montażowych w jednostkę wyższego rzędu lub wyrób [1], według z góry określonych warunków technicznych, jakim powinno odpowiadać dane połączenie [2]. W montażu stosuje się połączenia zarówno rozłączne (np. śrubowe, klinowe), jak i nierozłączne (np. nitowe, spawane) [2].

W budowie maszyn wyszczególnia się dwa rodzaje montażu ze względu na zamienność części: z pełną zamiennością części oraz z niepełną zamiennością części (zamienność częściowa) [3]. W ramach niepełnej zamienności części wyróżnia się jeszcze trzy rodzaje montażu:

- metoda niepełnej zamienności części,
- metoda selekcyjna,
- metoda kompensacyjna.

Metoda pełnej zamienności montażu opiera się na dokładności wykonania poszczególnych części. Tolerancja ogniwa zamykającego pozwala na składanie zespołu bez uprzedniego dobierania, zestawiania lub dopasowywania poszczególnych elementów. Dla otrzymania wymiarów ogniwa zamykającego o określonych wymiarach konieczne jest, aby tolerancje elementów wchodzących w skład montowanej jednostki były wyższe, niż tolerancja ogniwa zamykającego. Uzyskanie określonych wymiarów ogniwa zamykającego jest tym łatwiejsze, im mniejsza jest liczba ogniw w łańcuchu wymiarowym. Metoda ta ma wiele zalet, między innymi [4]:

- prostą i opłacalną realizację procesu montażu, w którym części bez szczególnego dobierania lub zestawiania mogą być umieszczane w odpowiedniej jednostce montażowej,
- możliwość zatrudnienia pracowników o niezbyt wysokich kwalifikacjach zawodowych,
- możliwość dokonania podziału na prace wykonane w zakładzie produkcyjnym i poza nim,
- łatwiejsze i stosunkowo tanie przeprowadzanie ewentualnych napraw i korekt.

Metoda montażu z pełną zamiennością części jest z punktu widzenia montażu oraz jakości, trwałości i niezawodności wyrobów, korzystniejsza od innych metod montażu [3]. Jednakże wysokie koszty związane z przygotowaniem części montażowych spełniających założenia tej metody przyczyniły się do niezbyt dużej jej popularności. Metoda ta najczęściej jest spotykana w przemyśle precyzyjnym.

Metoda niepełnej zamienności części charakteryzuje się tym, że równoczesne występowanie niekorzystnych, granicznych wartości odchyłek występuje bardzo rzadko. Prawdopodobieństwo wystąpienia niekorzystnych wartości skrajnych maleje wraz z rosnącą liczbą członów w łańcuchach wymiarowych [3]. Wynika stąd, że metoda ta nadaje się szczególnie do montażu wyrobów cechujących się długimi łańcuchami wymiarowymi składającymi się z dużej liczby ogniw. Przykładem takiego wyrobu może być skrzynia biegów, gdzie na wałach osadza się znaczną liczbę elementów typu łożyska, pierścienie synchronizatorów lub koła zębate.

Metoda selekcyjna polega na tym, że przed rozpoczęciem właściwego montażu cała partia części maszyn zostaje zmierzona, a następnie podzielona na grupy w ten sposób, że w każdej z nich są jednostki, których wymiary graniczne zawierają część pola tolerancji wykonania. Metoda montażu selekcyjnego najlepiej nadaje się przy łączeniu części typu tuleja, łożyska toczne lub wałek, choć znane są przypadki kojarzenia jednostek, kiedy wymiarem ogniwa zamykającego jest wypadkowa wymiarów liniowych. Mankamentem tej metody jest trudność uzyskania jednakowych liczb części łączonych w tych samych grupach selekcyjnych. Metodę tę stosuje się w tych przypadkach, gdy ze względów konstrukcyjnych nie ma możliwości rozszerzenia tolerancji ogniwa zamykającego, a zawężenie poszczególnych ogniw łańcucha jest niemożliwe bądź nieopłacalne [3].

Metoda kompensacyjna polega na tym, że żądaną dokładność ogniwa zamykającego otrzymuje się przez zmianę wielkości jednego z ogniw składowych. Zmianę tę otrzymuje się przez:

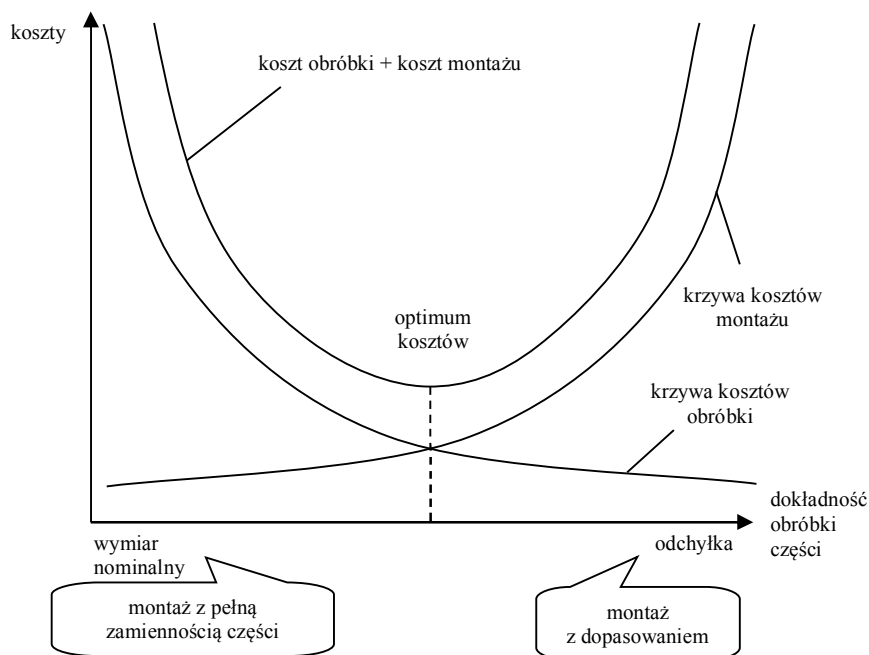
- wprowadzenie do zespołu dodatkowej części tzw. kompensatora,
- zmianę położenia jednego z elementów w stosunku do pozostałych,
- zdjęcie specjalnie zostawionego naddatku na obróbkę na jednym z elementów zespołu.

Dwa pierwsze przypadki to kompensacja konstrukcyjna, a trzeci przypadek to kompensacja technologiczna [3]. Jako wadę metody kompensacyjnej podaje się fakt powiększania się liczby części potrzebnych do zamknięcia łańcucha wymiarowego.

W części literatury przedmiotu podaje się, że rodzajem metody kompensacyjnej jest metoda montażu z dopasowaniem [2], [3]. Zdaniem [5] oraz autorów metoda montażu z dopasowaniem zasługuje na miano oddzielnej - piątej metody montażu, którą można przypisać do metod montażu z niepełną zamiennością części. Cechą szczególną tej metody jest użycie kompensatora technologicznego, którego wymiar zmienia się indywidualnie dla każdego montowanego zespołu w celu uzyskania żądanej dokładności ogniwa zamykającego łańcuch wymiarowy, a także możliwość wykorzystania w produkcji części montażowych o niskiej dokładności wymiarowo-kształtowej. Zmianę tę uzyskuje się poprzez zastosowanie obróbki skrawaniem [3]. Metoda ta ma zastosowanie w produkcji jednostkowej i małoseryjnej [2].

3. Koszty montażu w zależności od dokładności wykonania części

W przypadku stosowania metody montażu z pełną zamiennością części, proces łączenia części jest stosunkowo szybki i tani, jednak koszty obróbki dokładnie wykonanych części montażowych są wysokie (rys. 1). Przeciwnieństwem tej sytuacji jest metoda montażu z dopasowaniem. Częściom montażowym stawia się znacznie niższe wymagania odnośnie dokładności wymiarowo-kształtowej, jednak konsekwencją tego jest konieczność poświęcania dłuższego czasu na montaż [6]. Ponieważ przed zmontowaniem dwóch części należy je wzajemnie do siebie dopasować. Na ogół prace dopasowujące i montażowe musi dokonywać pracownik o wysokich kwalifikacjach.



Rys. 1. Wykres ilustrujący wpływ dokładności obróbki części montażowych na koszty wytworzenia (opracowanie własne na podstawie [3])

Zgodnie z teoretycznym modelem krzywe kosztów obróbki części montażowych oraz kosztów montażu przecinają się (rys. 1) wyznaczając optymalną wartość dokładności obróbki części tak, aby suma kosztów obróbki części i montażu była najniższa. Należy zauważyć, że teoretyczny model stanowi znaczne uproszczenie, gdyż zakłada, że wszystkie części montażowe opisane są tylko jednym wymiarem stanowiącym ogniwo zamykające łańcucha montażowego. W rzeczywistości niemal zawsze części montażowe są opisane więcej niż jednym wymiarem istotnym z punktu widzenia montażu. Ponieważ dokładność wykonania części montażowych jest rozumiana przez autorów jako szerokość pola tolerancji wymiarów tworzących ogniwa zamykające montażowych łańcuchów wymiarowych, przyjęto założenie, że poprawa dokładności będzie się dokonywać na innej zasadzie. Zamiast ustalać optymalną szerokość pola tolerancji każdego z wymiarów istotnego z punktu widzenia montażu, przyjęto zasadę, że zawężenie pola tolerancji powinno być na tyle duże, aby zagwarantować możliwość stosowania metody pełnej zamierności części. Stąd sterowanie dokładnością wykonania części montażowych odbywa się poprzez wybór odpowiedniej liczby kluczowych wymiarów z punktu widzenia montażu. Aby usprawnić proces montażu i w konsekwencji obniżyć koszty wytworzenia, konieczne jest zidentyfikowanie wszystkich montażowych ogniwa zamykających, wykorzystywanych do dopasowywania części tworzących wyrób. Następnie dla każdego z tych ogniwa należy dokonać odrębnej analizy opłacalności zawężenia pola tolerancji. W przypadku części wymiarów podzespołów montażowych można stosunkowo łatwo i niskim kosztem zmniejszyć pole tolerancji wykonania. Mogą też wystąpić wymiary, w przypadku których zawężenie pola tolerancji do szerokości, przy której będzie można stosować montaż z pełną zamiernością części będzie nieopłacalne, np. jeśli wymagana jest znaczna modyfikacja istniejącego procesu technologicznego. Jednak w analizie długoterminowej w

przypadku większości wymiarów ogniów zamykających, oszczędności uzyskane z powodu przyspieszenia prac montażowych powinny pokrywać wydatki inwestycyjne poniesione na uzyskanie dokładniejszego wykonania tych ogniów.

4. Analiza możliwości skrócenia czasu montażu i obniżenia kosztów wytworzenia

Na podstawie wcześniejszych rozważań zaproponowano algorytm postępowania, który może ułatwić menadżerom poszukiwanie oszczędności w procesie produkcyjnym wykorzystującym proces technologiczny montażu bazujący na metodzie z dopasowaniem. Algorytm systematyzuje proces przygotowywania kolejnych wariantów procesu wytwórczego:

ETAP I: przygotowanie chronometrażu czasu dopasowywania i montażu. Chronometraż ten musi być wykonany oddzielnie dla każdej operacji. Na podstawie wyników tego badania określa się, które operacje montażowe (dopasowywanie też jest traktowane jako oddzielna, pomocnicza operacja montażowa) są zbędne z punktu widzenia montażu z pełną zamiennością części. Czyli dokonuje się oceny, które operacje montażowe nie musiałyby być wykonywane, gdyby części montażowe byłyby wykonane w tolerancjach umożliwiających skuteczne wykorzystanie metody pełnej zamienności części.

ETAP II: Metoda montażu z dopasowaniem opiera się na zasadzie, że żadaną dokładność ogniwa zamykającego otrzymuje się przez zdjęcie warstwy specjalnie przewidzianego naddatku lub poprzez odkształcenie plastyczne. A zatem czas poświęcany na operacje, których celem jest fizyczna zmiana wartości wymiaru będącego montażowym ogniwnem zamykającym z punktu widzenia metody montażu z pełną zamiennością części może być marnotrawstwem. Znając zbędne operacje montażowe z punktu widzenia montażu z pełną zamiennością części można przypisać odpowiadające tym operacjom wymiary będące montażowymi ogniwnami zamykającymi. Zadanie to nie zawsze jest oczywiste. Może się zdarzyć sytuacja, gdy montażowy łańcuch wymiarowy wraz z jego ogniwnem zamykającym nie jest ujęty w dokumentacji technologicznej. W takim przypadku konieczne jest samodzielne wyznaczenie ogniwa zamykającego montażowego łańcucha wymiarowego.

ETAP III: Następnym krokiem jest pomiar rozrzutu dla każdego z wymiarów stanowiących montażowe ogniwo zamykające przed wykonaniem operacji związanych z dopasowywaniem. Może się zdarzyć, że wykonanie tego etapu będzie wymagało zaprojektowania i wykonania nietypowych, specjalistycznych przyrządów pomiarowych.

ETAP IV: Wyznaczenie nowych szerokości pól tolerancji dla każdego z montażowych ogniów zamykających tak, aby wszystkie operacje montażowe wykonywane w procesie produkcyjnym wyrobu mogły się odbywać z wykorzystaniem metody pełnej zamienności części.

ETAP V: Dokonanie szacunkowej wyceny kosztów wprowadzenia zmian do procesu produkcyjnego, które byłyby konieczne w celu osiągnięcia wartości montażowych ogniów zamykających w nowo wyznaczonych granicach pól tolerancji. Etap ten jest najbardziej pracochłonny, gdyż należy przygotować oddzielną wycenę kosztów zmian w procesie wytwórczym dla każdego montażowego ogniwa zamykającego. Oznacza to, że należy

wykonać tyle wariantów wycen, ile jest montażowych łańcuchów wymiarowych w analizowanym procesie.

ETAP VI: Obliczenie oszczędności z tytułu przyspieszenia prac montażowych spowodowanych stosowaniem metody pełnej zamienności części. Analogicznie, jak w poprzednim kroku, należy wykonać tyle wariantów spodziewanych oszczędności w procesie montażu, ile jest montażowych ogniw zamykających. Oszczędności te powinny wynikać z efektywnego wykorzystania funduszu czasu pracy linii montażowej. Głównym składnikiem tych oszczędności są niższe koszty robocizny pracowników - montażyстів, gdyż na połączenie tej samej liczby wyrobów potrzebują mniej czasu.

ETAP VII: Porównanie odpowiadających sobie wariantów wyceny kosztów inwestycji z etapu V i potencjalnych oszczędności z etapu VI. Celem zestawienia poszczególnych wariantów procesu produkcyjnego jest wybór tych wariantów, które na tyle przyspieszą proces montażu, że oszczędności z tego tytułu zawiązką pokryją niezbędne inwestycje.

ETAP VIII: Wdrożenie wariantów procesu produkcyjnego, w których oszczędności z tytułu wprowadzonych zmian są wyższe niż inwestycje.

5. Analiza możliwości skrócenia czasu montażu w przedsiębiorstwie produkcyjnym

Zaproponowany w czwartym punkcie niniejszego artykułu algorytm zastosowano w przedsiębiorstwie wytwarzającym metalowe narzędzia chirurgiczne. W procesie produkcyjnym narzędzi chirurgicznych stosuje się montaż z dopasowaniem. Cechą charakterystyczną tej metody montażu jest możliwość wykorzystania w produkcji części montażowych o niskiej dokładności wymiarowo-kształtowej. Przesłanką stosowania tej metody montażu jest fakt, iż łańcuchy wymiarowe części montażowych są krótkie (składają się z od jednego do kilku ogniw) i liczne. To, że montażowe łańcuchy wymiarowe narzędzi chirurgicznych są krótkie, uniemożliwia zastosowanie metody niepełnej zamienności części, natomiast fakt, że łańcuchy wymiarowe są liczne, stanowi barierę uniemożliwiającą zastosowanie montażu opartego o metodę selekcyjną. Ustalono, że w przypadku produkcji narzędzi chirurgicznych jedyną alternatywą dla montażu z dopasowaniem jest metoda montażu z pełną zamiennością części. Metoda ta jest uniwersalna, jednak jej główną wadą jest wysoki koszt obróbki części montażowych. Z drugiej strony zastosowanie metody montażu z pełną zamiennością części, dzięki wysokim wymaganiom stawianym częściom montażowym (duża dokładność wymiarowo-kształtowa komponentów) może przyczynić się do znacznego skrócenia czasu montażu, ponieważ zbędne stanie się każdorazowe, indywidualne dopasowywanie do siebie części montażowych. Dzięki temu możliwe będzie zwiększenie wydajności produkcji, a także skompensowanie nakładów poniesionych na dokładniejszą obróbkę części. Sformułowano hipotezę, że wzrost dokładności wykonania części montażowych zaowocuje zmniejszeniem sumy kosztów obróbki i montażu.

Do analizy (wg algorytmu z pkt. 4) wybrano model narzędzia chirurgicznego - nożyczki chirurgiczne (rys. 2) i przyjęto założenie, że na linii produkcyjnej jest wytwarzany tylko ten jeden wyrób.

ETAP I: W procesie wytwórczym nożyczek operacje montażowe są zgrupowane w trzech etapach. Zgodnie z założeniami algorytmu (pkt. 4) przeprowadzono chronometraż montażu (tab. 1).

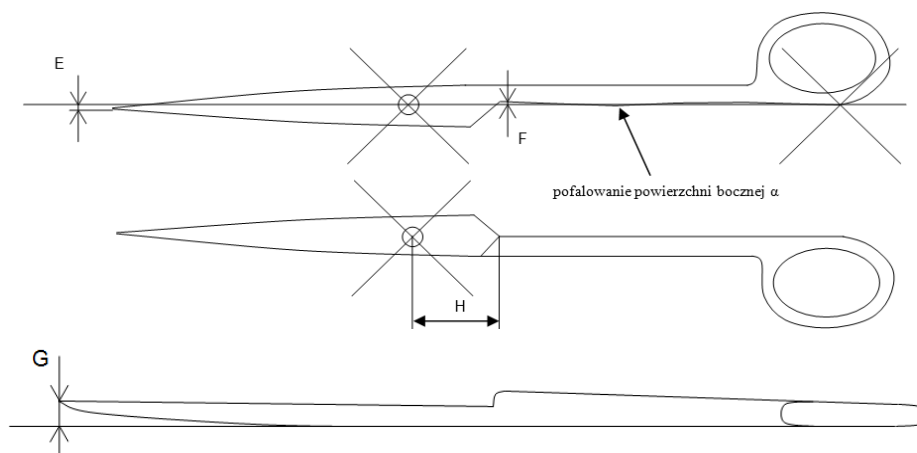
Tab. 1. Wyniki chronometrażu operacji montażowych nożyczek chirurgicznych

Lp.	Etap montażu	Nazwa operacji montażowej	Czas trwania operacji montażowej	Czy z punktu widzenia metody pełnej zamienności części operacja ta tworzy wartość dodaną?	Całkowity czas trwania grupy operacji montażowych dla partii produkcyjnej o standardowej liczebności
1	1	Zapiłowanie fazetki	5 min.	NIE	53min. 27sek.
2		Korekta błędu kształtu α	19min. 31sek.	NIE	
3		Modyfikacja wartości wymiaru F	13min. 33sek.	NIE	
4		Modyfikacja wartości wymiaru E	15min. 23sek.	NIE	
5	2	Montaż	12min. 39sek.	TAK	56min. 33sek.
6		Regulacja oporu pracy nożyczek przez regulację stopnia dokręcenia wkręta	13min. 36sek.	TAK	
7		Zapiłowanie fazetki	5min.	TAK	
8		Modyfikacja wartości wymiaru H	17min. 25sek.	NIE	
9		Modyfikacja wartości wymiaru G	7min. 53sek.	NIE	
10	3	Modyfikacja wartości wymiaru H	7min. 9sek.	NIE	14min. 44sek.
11		Modyfikacja wartości wymiaru F	2min. 9sek.	NIE	
12		Modyfikacja wartości wymiaru E	5min. 26sek.	NIE	

Zródło: opracowanie własne

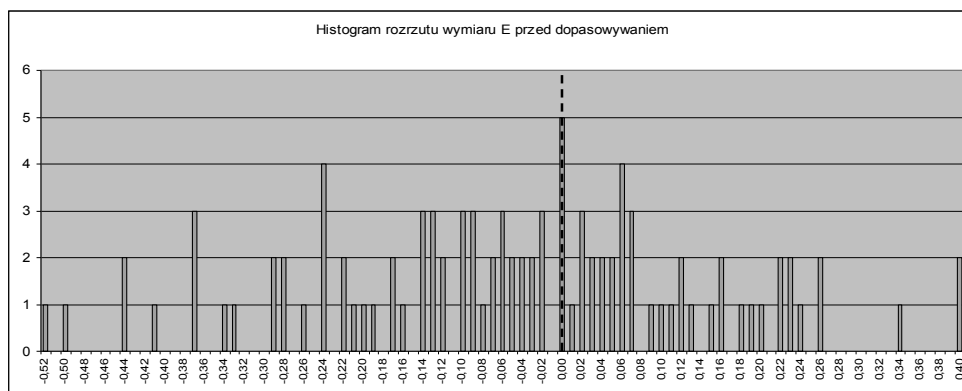
Pierwsza grupa operacji (tab. 1) jest wykonywana przed zahartowaniem półfabrykatów. Druga grupa operacji jest wykonywana po zahartowaniu. Trzecia grupa operacji jest wykonywana, jako uzupełnienie grupy drugiej. Rozdzielenie grupy drugiej od trzeciej jest podyktowane względami technologicznymi.

ETAP II: Na podstawie chronometrażu montażu ustalono, które operacje są zbędne z punktu widzenia montażu z pełną zamiennością części (tab. 1). Następnie ustalono wymiary, których wartości są modyfikowane w ramach tych zbędnych operacji montażowych. Okazało się, że wszystkie operacje dopasowujące są wykonywane z powodu rozrzutu 4 wymiarów (oznaczonych: E, F, G, H) i niedostatecznej płaskości jednej powierzchni (rys. 2). Defekt ten określono jako błąd płaskości powierzchni α . Wszystkie te niedoskonałości części montażowych (półfabrykatów nożyczek) są ogniwami zamykającymi montażowych łańcuchów wymiarowych.



Rys. 2. Kluczowe wymiary z punktu widzenia procesu dopasowywania i montażu nożyczek chirurgicznych (opracowanie własne)

ETAP III: W ramach prowadzonych badań dokonano pomiarów, a następnie na ich podstawie opracowano histogramy rozrzutu dla wymiarów E (rys. 3), F i G przykładowej partii półfabrykatów. Nie udało się dokonać pomiarów stopnia nierówności powierzchni bocznej α ani wymiaru H, gdyż wymagałoby to zapewnienia specjalistycznych przyrządów pomiarowych (przyrządy takie wykonano w celu umożliwienia wykonania pomiarów wymiarów E, F i G). W przypadku wymiaru H ustalono jedynie, że 100% badanych półfabrykatów nie mieściło się w tolerancji przewidzianej w dokumentacji. Wszystkie półfabrykaty miały nie do końca zebrany nadatek pozostawiony na wykonanie operacji frezowana skosu, w wyniku której nadawany jest wymiar H.



Rys. 3. Histogram rozrzutu wymiaru E partii półfabrykatów przed wykonaniem dopasowywania (opracowanie własne)

Analiza przykładowego histogramu (rys. 3) potwierdza, że rozproszenie poszczególnych wartości wymiarowych dla wymiaru E jest znaczne i aby je zmniejszyć stosuje się operacje dopasowujące poprzedzające montaż. Podobne wyniki zaobserwowano dla wymiarów F i G.

ETAP IV: Zestawiając dane dotyczące rozrzutu montażowych ogniów zamykających w analizowanej partii części montażowych z informacją, które części zostały poddane dopasowaniu, a które nie, można wyznaczyć takie granice pola tolerancji, przy spełnieniu których części montażowe nie będą wymagały dopasowania. Po oznakowaniu każdej części montażowej z wybranej partii, a następnie zmierzeniu wartości badanego montażowego ogniwa zamykającego, obserwowano proces dopasowania i montażu. Na tej podstawie podzielono części montażowe na dwa zbiory. Do jednego zbioru przydzielono części, które wymagały dopasowania przed montażem, a w drugim zbiorze znalazły się części, które nie wymagały dopasowania poprzedzającego montaż. W ten sposób empirycznie wyznaczono granice pola tolerancji dla części montażowych, które umożliwiają ich montaż z pominięciem dopasowania:

- granice tolerancji dla wymiaru E: $\langle -0,09\text{mm}; 0,11\text{mm} \rangle$,
- granice tolerancji dla wymiaru F: $\langle -0,01\text{mm}; 0,02\text{mm} \rangle$,
- granice tolerancji dla wymiaru G: $\langle 5,15\text{mm}; 5,35\text{mm} \rangle$ przy założeniu stałego momentu dokręcenia łącznika śrubowego,
- granice tolerancji dla wymiaru H: $\langle 17,0\text{mm}; 17,1\text{mm} \rangle$, takie pole tolerancji jest przewidziane w dokumentacji produkcyjnej. Wymiar H jest jedynym montażowym ogniwem zamykającym, które figuruje w dokumentacji fabrycznej jako wymiar części montażowej z podaną tolerancją wykonania.

ETAP V: Zaproponowano zmiany w procesie obróbki, których wynikiem byłoby zawężenie pola tolerancji wymiarów E, F, G, H do wartości przedstawionych w etapie IV, a także zniwelowanie pofalowania powierzchni α (rys. 2). Oszacowano koszty wprowadzenia tych zmian.

W przypadku zawężenia pola tolerancji wymiaru H do wartości między 17,0 mm, a 17,1 mm, zmiana procesu technologicznego polega na modyfikacji programu sterującego frezarką CNC. Operacja frezowania skosu, podczas której nadawany jest wymiar H, wykonywana jest na frezarce CNC, a rozrzut wymiaru H przekracza pole tolerancji wyznaczone w dokumentacji technologicznej na skutek błędów operatora - nieprawidłowego ustawienia parametrów skrawania. Należy podjąć działania zapobiegawcze, aby zapewnić, że w przyszłości podobne zakłócenie nie wystąpi. Zdaniem autorów koszt tych zmian w procesie produkcyjnym jest stosunkowo niski, obejmuje wartość wynagrodzenia zespołu za czas poświęcony na wprowadzenie zmian, nie wymaga inwestycji w infrastrukturę.

Nadmierne pofalowanie powierzchni bocznej półfabrykatu (błąd α płaskości powierzchni) jest skutkiem tego, że w dokumentacji technologicznej nie wyznaczono pola tolerancji dla tej cechy i nie bada się w odniesieniu do niej jakości wykonania. Modyfikacja procesu produkcyjnego polegałaby na dodaniu tolerancji prostoliniowości powierzchni bocznej do dokumentacji produkcyjnej oraz wdrożenie automatycznego systemu pomiarowo-kompensacyjnego, korygującego ewentualną odchyłkę tego parametru. Proponowane zmiany wiązałyby się z inwestycją w wysokości 80.000zł. Na tę kwotę składają się koszty zakupu: 3 laserowych, liniowych czujników mierzących odległość (65.000zł), pozostałych części w celu automatyzacji pomiaru płaskości powierzchni (5.000zł) oraz koszty pracy automatyka niezbędnej przy wdrażaniu systemu pomiarowo-kompensacyjnego (10.000zł).

Duży rozrzut wymiarów E i F jest związany z zakrzywieniem szpicu odkuwki (wymiar E) w stosunku do teoretycznej osi wzdłużnej oraz stosowaniem niewystarczającej metody kompensacji niezgodności odkuwki (wymiar F). Modyfikując metodę kompensacji wspomnianej wyżej wady odkuwki można równocześnie znacznie zmniejszyć rozrzut

wymiarów E i F w toku produkcji. Kompensacja błędu kształtu odkuwki polega na zastosowaniu zautomatyzowanego, bezdotykowego systemu pomiarowego kompensacyjno-korygującego. Koszt wdrożenia takiego systemu szacowany jest na kwotę 50.000zł. Na tę kwotę składają się koszty zakupu jednego laserowego, liniowego czujnika skanującego (22.000zł), koszt pozostałych części w celu automatyzacji pomiaru profilu odkuwki (8.000zł) oraz koszty pracy automatyka niezbędnej przy wdrażaniu tego systemu pomiarowo-kompensacyjnego (20.000zł).

Nadmierny rozrzut wymiaru G związany jest z brakiem ustalonego pola tolerancji dla tego wymiaru w toku produkcji odkuwki. Wymiar ten nie jest oznaczony w dokumentacji produkcyjnej analizowanego wyrobu. Nadmierny rozrzut wymiaru G ma swoje źródło na etapie obróbki plastycznej odkuwki. W celu redukcji tego rozrzutu niezbędne jest usprawnienie procesu obróbki plastycznej, a dokładnie operacji matrycowego prostowania odkuwek po okrawaniu. Szacunkowy koszt wdrożenia odpowiednich zmian w procesie obróbki plastycznej wiąże się z kwotą 150.000zł.

ETAP VI: Kalkulacja oszczędności w procesie montażu po wprowadzeniu proponowanych zmian opiera się na analizie kosztów robocizny. Zakłada się, że produkowanie dokładniejszych części montażowych i stosowanie montażu z pełną zamiernością części, umożliwi wyeliminowanie etapu dopasowania. Na podstawie chronometrażu z etapu I (tab. 1) oszacowano, ile czasu można dzięki temu zaoszczędzić i porównano to z kosztami robocizny, które w badanym przedsiębiorstwie wynoszą średnio 28zł/h. Do obliczeń przyjęto liczbę dni roboczych w ciągu roku = 226, liczbę zmian = 2, efektywny czas pracy w ciągu zmiany = 7 godzin, liczba stanowisk montażowych = 8:

- oszczędność wynikająca ze stosowania metody montażu z pełną zamiernością części dla łańcucha wymiarowego w którym ogniwem zamykającym jest wymiar H w ciągu roku wynosi: $4986 \text{ h} * 28 \text{ zł/h} = 139\ 608 \text{ zł}$,
- oszczędność wynikająca z całkowitego wyeliminowania błędu powierzchni α z procesu produkcji części w ciągu roku wynosi: $3961 \text{ h} * 28 \text{ zł/h} = 110\ 908 \text{ zł}$,
- oszczędność wynikająca ze stosowania metody montażu z pełną zamiernością części dla łańcucha wymiarowego w którym ogniwem zamykającym są wymiary E i F w ciągu roku wynosi: $8425 \text{ h} * 28 \text{ zł/h} = 235\ 900 \text{ zł}$,
- oszczędność wynikająca ze stosowania metody montażu z pełną zamiernością części dla łańcucha wymiarowego w którym ogniwem zamykającym jest wymiar G w ciągu roku wynosi: $1601 \text{ h} * 28 \text{ zł/h} = 44\ 828 \text{ zł}$.

ETAP VII: Porównanie odpowiadających sobie wariantów: inwestycji (z etapu V) i potencjalnych oszczędności (z etapu VI), zrealizowano z zastosowaniem jednej z metod oceny projektów inwestycyjnych – okresu zwrotu nakładów. Ustalono, że zmiany dotyczące wymiaru H są praktycznie bezkosztowe i zwracają się niemal natychmiast. Modyfikacje dotyczące zwiększenia dokładności wymiarów E i F oraz błędu powierzchni α zwracają się w ciągu jednego roku, a wymiaru G w ciągu 4 lat.

ETAP VIII: Zaleca się wdrożenie wariantów procesu produkcyjnego, w których okres zwrotu inwestycji satysfakcjonuje najwyższe kierownictwo.

6. Wnioski

Podstawowym celem przeprowadzonej analizy było sprawdzenie czy zastąpienie metody montażu z dopasowaniem metodą z pełną zamiernością części umożliwi skrócenie

czasu montażu oraz czy jest opłacalne w sensie finansowym. Na podstawie teoretycznych rozważań i porównania wartości potencjalnych inwestycji z przewidywanymi oszczędnościami, stwierdzono, że jest to opłacalne w odniesieniu do nożyczek chirurgicznych wytwarzanych w wybranym przedsiębiorstwie. Przewiduje się, że stosowanie metody pełnej zamienności części na większą skalę może prowadzić do zmniejszenia liczby braków w toku produkcji, gdyż ograniczony zostanie zakres działań pracowników na rzecz wykorzystania bardziej przewidywalnych i powtarzalnych obrabiarek. Z dotychczasowej praktyki przedsiębiorstwa wynika, że mniej intensywnie dopasowywane nożyczki charakteryzują się lepszymi parametrami pracy, co ma wpływ na zadowolenie i komfort użytkownika. A zatem zastąpienie dopasowywania części montażowych na rzecz szerszego stosowania metody pełnej zamienności części może zaowocować poprawą jakości wyrobu.

Opisane w niniejszym artykule badania są kontynuowane w ramach pracy doktorskiej. Planuje się przeprowadzenie eksperymentów, aby sprawdzić tezę, że większa dokładność części montażowych umożliwi wyeliminowanie lub skrócenie etapu dopasowania. Dąży się też do określenia koniecznej i wystarczającej dokładności części montażowych, ponieważ w analizowanym zagadnieniu kwestia optymalizacji nie jest oczywista (Rys. 1). Większa dokładność oznacza wyższe koszty wytworzenia, a nie zawsze klient lub parametry techniczne wyrobu wymagają takiej precyzji.

Prezentowane wyniki badań, zrealizowane w ramach tematu nr 02/23/DSPB/7640 zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Literatura

1. Łunarski J., Szabajkiewicz W.: Automatyzacja procesów technologicznych montażu maszyn, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1993.
2. Puff T., Sołtys W.: Podstawy technologii montażu maszyn i urządzeń, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1980.
3. E. Richter, W. Schilling, M. Weiseg.: Montaż w budowie maszyn, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1980.
4. Żurek J.: Technologia i organizacja montażu, Wydawnictwo ZMP ZODOK SIMP, Poznań, 1986.
5. Zawora J.: Montaż Maszyn i urządzeń, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 2014.
6. Jayaweera N., Webb P., Johnson C.: Measurement assisted robotic assembly of fabricated aero-engine components, Assembly Automation, 2010, vol. 30, 56-65.

Dr inż. Marta GRABOWSKA
Mgr inż. Zbigniew NAJLEPSZY
Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji
Politechnika Poznańska
60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3
tel./fax.: (0-61) 665 27 98
e-mail: marta.grabowska@put.poznan.pl
zbigniew.najlepszy@doctorate.put.poznan.pl