

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Alternatywny pozycjoner biegunowy dla klasycznego kartezyjskiego aparatu ruchowego laserowego urządzenia grawerującego

ROMAN TROCHIMCZUK

KATEDRA AUTOMATYKI I ROBOTYKI, WYDZIAŁ MECHANICZNY, POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA

Słowa kluczowe: pozycjonowanie, pozycjoner biegunowy, laserowa obróbka szkła

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono koncepcję mechanicznego systemu wykonawczego nowego pozycjonera biegunowego, który jest alternatywą dla klasycznego rozwiązania aparatu ruchowego urządzenia grawerującego opartego na kartezyjskim stole krzyżowym. Omówiono przykładowe scenariusze przemieszczeń ramienia obróbczego oraz obiektu obrabianego w pozycjonerze biegunowym. Przeprowadzono wstępną analizę sztywności proponowanego rozwiązania, która przekłada się na ocenę dokładności obróbki (jakości pozycjonowania laserowej wiązki obróbczej). Prezentowane w pracy rozwiązanie przyczynić się może do wprowadzenia nowej jakości w technikach laserowego grawerowania szkła.

A new alternative polar positioning system for cartesian positioning system used in laser engraving device

Keywords: positioning, polar positioning system, laser glass engraving

ABSTRACT

A novel conception of the construction of mechanical actuator system – polar positioning system which is an alternative to classic Cartesian cross table of laser device for engraving glass and other transparent dielectrics is presented in the work. Sample scenarios of movements of the working arm and the glass workpiece in polar positioning system are discussed. A preliminary analysis of the stiffness of the proposed solution which allows evaluation of machining accuracy (the quality of positioning the laser beam) is presented as well. A novel solution presented in this article of positioner may contribute to the new quality in techniques of laser glass engraving.

1. WSTĘP

Ciekawym i coraz bardziej rozwijającym się kierunkiem wykorzystania laserowych technik zdobniczych szkła jest grawerowanie podpowierzchniowe. Zamodelowany komputerowo obiekt (dwu- lub trójwymiarowy) odwzorowywany jest laserem w postaci punktowego obiektu uformowanego w przestrzeni obiektu obrabianego – szkła (przykład – Rys. 1) [1]. Głównymi parametrami określającymi tego typu mechatroniczne systemy obróbcze jest ich wydajność oraz jakość formowanej przez laser powierzchni.



Rysunek 1 Przykładowy obiekt trójwymiarowy grawerowany laserem w przestrzeni szklanej bryły (wymiały: 40 x 40 x 40 mm; 15777 punktów struktury tworzących obiekt)

Realizację postawionych wymagań zapewnić można podwyższając parametry lasera (instrumentu obróbczego) albo wpływając na algorytmy sterowania pozycjonerem. Można też modyfikować konstrukcję samego układu pozycjonującego wiązkę obróbczą [1]. Jakość grawerowanego lasera w szkłe odwzorowania, a tym samym jakość produktu finalnego (kubika), zależy przede wszystkim od tego, jakie będzie pozycjonowanie. Wśród wielu czynników wpływających na jakość pozycjonowania można wymienić przede wszystkim: płynność, szybkość i dokładność [1, 2]. Cechy te znacząco przyczyniają się do rynkowej konkurencyjności wytwarzanego produktu, wpływając na końcową jakość produktu oraz możliwości wytwórcze, które pozwalają na zaspokojenie potrzeb rynku. Wskutek niepełnego pozycjonowania, tj. przejścia od jednego punktu do kolejno grawerowanego (formowanego) z różnymi, znacznymi wartościami prędkości i przyspieszeń układu pozycjonującego, powstają znaczne siły bezwładności. Wpływa to na szybsze zużycie komponentów mechatronicznego urządzenia grawerującego, jak

i na jakość powierzchni formowanego obiektu. Z punktu widzenia możliwości obróbczych systemu grawerującego istotne staje się maksymalne wykorzystanie charakterystyk roboczych instrumentu obróbczego. W przypadku tego typu urządzeń jest to najczęściej utworzenie maksymalnej liczby punktów struktury formowanego w szkłe obiektu, w założonym okresie czasu (w stałym takcie lasera impulsowego – 50 Hz, 100 Hz lub więcej). Dlatego też pozycjonowanie powinno być dostatecznie szybkie, aby każdy z wytworzonych impulsów laserowych mógł być wykorzystany do utworzenia punktu struktury obiektu trójwymiarowego. W przypadku, gdy pozycjonowanie nie będzie wystarczająco dokładne, kolejno formowane punkty struktury mogą nakładać się na siebie lub też będą znajdować się w różnych odległościach od siebie. Wskutek tego zostanie zniszczona struktura obiektu przez powstanie pęknięcia, odbiegającego znacznie rozmiarem i formą od pozostałych punktów struktury lub też zaburzona zostanie forma tworzonego w szkłe odwzorowania.

2. KLASYCZNY APARAT RUCHOWY Z POZYCJONEREM KARTEZJAŃSKIM

Analizując układy pozycjonujące wiązkę obróbczą stosowane w obecnie dostępnych na rynku rozwiązaniach systemów do laserowego grawerowania szkła można jednoznacznie stwierdzić, że w zasadzie większość z nich bazuje na rozwiązaniach pozycjonerów pracujących w układach kartezjańskich [1]. Związane jest to między innymi z faktem, że klasyczne rozwiązania, stosowane w obecnie wytwarzanych obrabiarkach, niejednokrotnie wzorowane są na rozwiązaniach jeszcze z czasów, kiedy do sterowania maszyn nie używano techniki komputerowej. Niemożliwe do realizacji rozwiązania sprzed kilkunastu czy też kilkudziesięciu lat można dzisiaj z powodzeniem wprowadzić do praktyki inżynierskiej w postaci jednolitego urządzenia mechatronicznego, dzięki powiązaniu w jednym produkcie komponentów mechanicznych, elektronicznych i informatycznych. Powszechnie stosowanym w laserowych urządzeniach grawerujących rozwiązaniem pozycjonera jest stół krzyżowy kartezjański [1]. Zbudowany jest on zazwyczaj z napędów i przekładni pracujących w układzie wrzeciono-nakrętka. Tutaj służy on do przemieszczania materiału obrabianego i laserowej wiązki obróbczej. W płaszczyźnie XY przemieszczany jest materiał obrabiany (tu wykonywane są

główne przemieszczenia przy obróbce pojedynczej warstwy obiektu). Oś Z wykorzystywana jest do ogniskowania wiązki formującej obiekt wewnątrz szkła (tu następuje przejście na kolejną warstwę). Tego typu rozwiązanie jest jednak obarczone pewnymi niedogodnościami [3]. Do głównych należy zakwalifikować przede wszystkim fakt, że wraz ze zwiększeniem zakresu przemieszczeń oraz zwiększeniem maksymalnych wartości prędkości i przyspieszeń, następny w typoszeregu napęd ma większe gabaryty. Zwiększenie wymiarów pozycjonera skutkuje - poza zwiększeniem gabarytów całego systemu grawerującego - również wzrostem powstających w systemie sił bezwładności. Powstaające wskutek tego drgania mechaniczne wpływają na wzrost poziomu hałasu, jednocześnie powodując przedwczesne zużycie komponentów systemu oraz silnie pogarszają jakość obiektu formowanego. Z racji powiązania napędów w płaszczyźnie XY (jeden napęd niesie drugi) główna niedogodność powstaje tu z racji dużych mas ruchomych i wynikających stąd ograniczeń dynamiki napędu, który niesie inny napęd.

Wymienionych wad pozbawiony jest opracowany przez autora nowy pozycjoner biegunowy, omawiany w dalszej części pracy, który dzięki prostej konstrukcji, niskiemu kosztowi wytworzenia oraz sterowaniu komputerowemu może stanowić alternatywne rozwiązanie dla typowych, powszechnie stosowanych pozycjonerów kartezjańskich [2, 3]. Przy opracowywaniu omawianego w dalszej części pracy rozwiązania poczyniono następujące założenia [1-3]:

- kolumna ramienia obróbczego powinna umożliwiać swobodne przemieszczenie go nad obiektem obrabianym;
- obracalna kolumna ramienia obróbczego powinna znajdować się jak najbliżej stołu obróbczego, a długość ramienia obróbczego powinna być możliwie najkrótsza; przy tym ramię powinno mieć konstrukcję lekką i sztywną – wpłynie to przede wszystkim na zmniejszenie błędów pozycjonowania i powstających sił bezwładności;
- dobór parametrów napędu związanych z jego dokładnością zależeć będzie od długości obrotowego ramienia obróbczego.

Aby spełnić warunek możliwie najniższej masy ramienia obróbczego, konieczne jest fizyczne oddzielenie od ramienia obróbczego emitera lasera, ze względu na jego wymiary oraz masę. Umieszczenie go na ramieniu obróbczym w postaci głowicy

laserowej znacznie zwiększyłoby gabaryty i masę ramienia, co zważywszy na bezwładność takiego układu nie miałyby racji bytu.

3. SZTYWNOŚĆ KONSTRUKCJI POZYCJONERA A DOKŁADNOŚĆ OBRÓBKİ LASEREM

Jednym z istotnych czynników wpływających bezpośrednio na dokładność obróbki laserem z wykorzystaniem danego aparatu ruchowego jest sztywność danej konstrukcji [1, 2, 5]. Tu miarą dokładności będzie ugięcie (odkształcenie) konstrukcji na skutek oddziałujących sił bezwładności. Można więc założyć, że dokładność będzie tym większa, im większa jest sztywność rozpatrywanej konstrukcji.

Klasyczne rozwiązanie pozycjonera kartezjańskiego (dla układu nieruchoma wiązka obróbcza – ruchomy przedmiot obrabiany) opiera się zazwyczaj na stole krzyżowym XY utworzonym z połączonych ze sobą pozycjonerów jednoosiowych. Napęd przekazywany jest z silnika krokowego poprzez przekładnię śrubową do stołu pozycjonującego. Powiązanie ruchów w dwóch osiach pozwala na przemieszczanie obiektu obrabianego w płaszczyźnie, a tym samym na formowanie pojedynczych warstw tworzonej struktury odwzorowania. Taki układ jest układem szeregowym, w którym poza sztywnością i tłumieniem zakłada się dodatkowo luzu w całej konstrukcji [1, 2, 5] (Rys. 2A). Wynika to ze sposobu modelowania regulowanych układów wielociałowych, przyjętego powszechnie w literaturze z zakresu mechatroniki i robotyki. Całkowitą sztywność omawianego rozwiązania można zatem wyrazić za pomocą zależności:

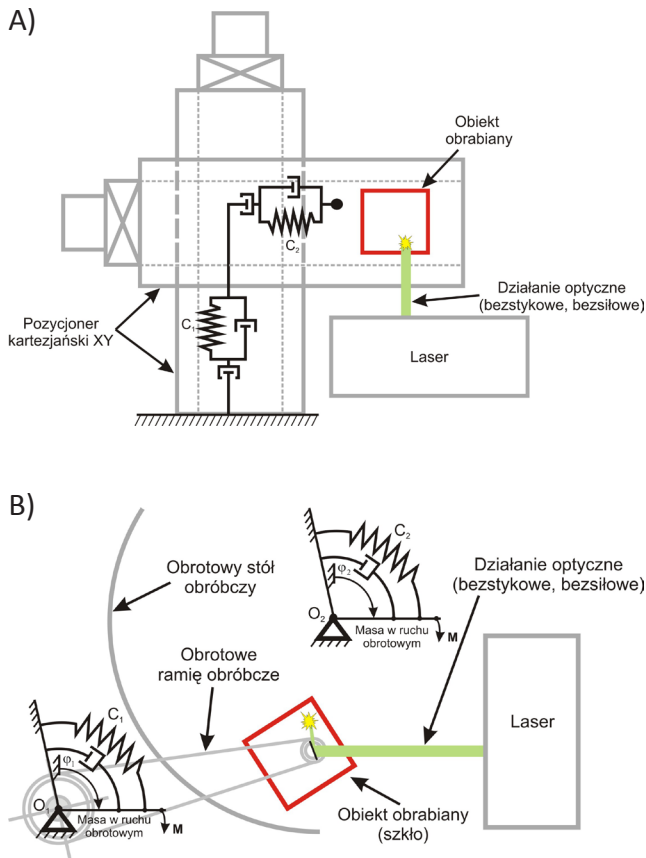
$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}, \quad (1)$$

gdzie:

C_1 – sztywność osi X pozycjonera,

C_2 – sztywność osi Y pozycjonera.

Analiza aparatu ruchowego pozycjonera, przeprowadzona z uwzględnieniem możliwych układów pozycjonujących wiązkę laserową i materiał obrabiany [1], skłoniła autora do zaproponowania innego podejścia do pozycjonowania materiału i wiązki obróbczej niż kartezjańskie układy. Wzorowane jest ono na układach spotykanych w twardych dyskach. Podejście to, według wiedzy autora, nie jest stosowane w praktyce budowy laserowych urządzeń do grawerowania szkła.



Rysunek 2 Sztywności w:

A) kartezjańskim i B) biegunowym aparacie ruchowym

I tak w przypadku nowego pozycjonera biegunowego (Rys. 2B), jako modyfikacji wspomnianej konstrukcji klasycznej, poszczególne sztywności występują w układzie równoległym [1, 2, 5]. Całkowita sztywność urządzenia sprowadza się więc do sumy sztywności ramienia obróbczego i obrotowego stołu obróbczego, co można zapisać zależnością:

$$C = C_1 + C_2, \quad (2)$$

gdzie:

C_1 – sztywność ramienia obróbczego pozycjonera,
 C_2 – sztywność stołu obróbczego pozycjonera.

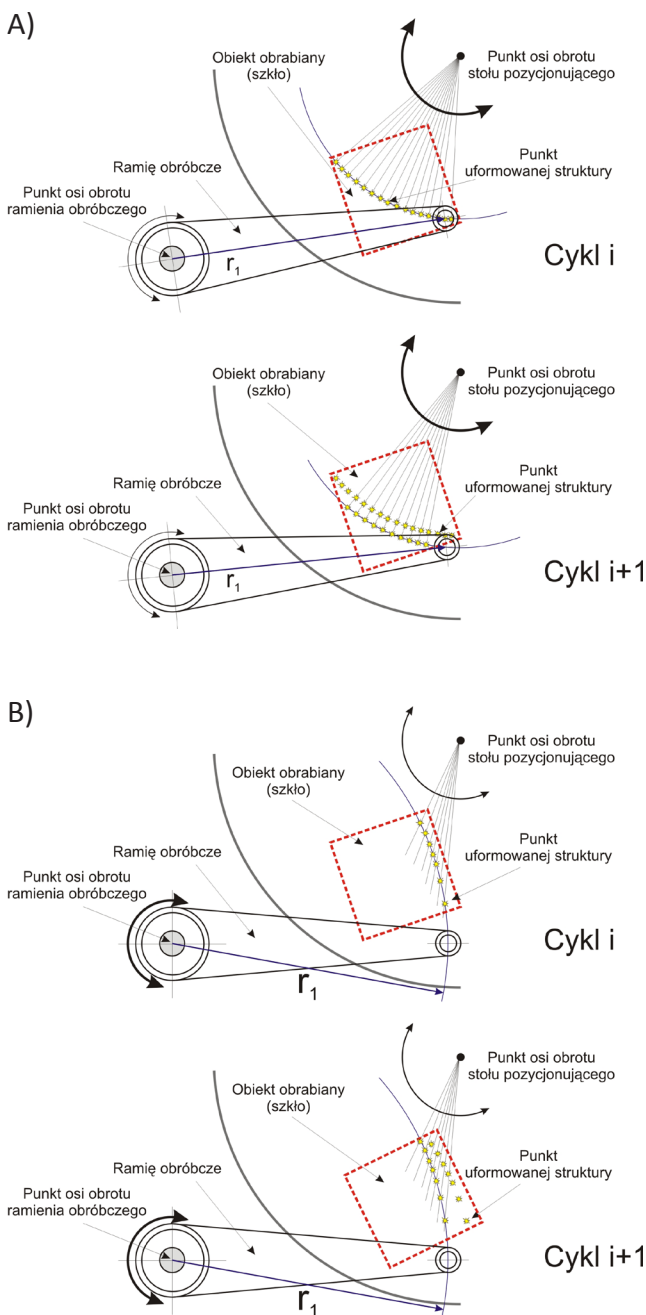
Obróbka trójwymiarowego odwzorowania wykonywana jest warstwowo, poczynając od warstw położonych najniżej, przechodząc kolejno do warstw wyżej położonych. Wynika to z faktu, że lokalne mikropęknięcie mogłoby „przesłonić” obszar, do którego dotrzeć powinno ognisko skupionej wiązki laserowej. Nałożenie się w tym miejscu mikropęknięć spowodowałoby wspomniane wcześniej zniszczenie formowanego odwzorowania. Z racji warstwowego charakteru obróbki w obu omawianych przypadkach analiza sprowadza się tylko do przemieszczeń pozycjonerów w płaszczyźnie

XY – stąd nie rozpatrywano tu współrzędnej Z, służącej tylko do przejścia na następną warstwę [2, 6]. Korzystny argument sztywności konstrukcji oraz argument związany z niższymi kosztami wytworzenia proponowanego rozwiązania w stosunku do dokładnych osi kartezjańskich, skłoniły autora do opracowania własnej konstrukcji pozycjonera biegunowego (opis pkt. 5). Przy opracowaniu koncepcji pozycjonera dodatkowo brano pod uwagę argument zwiększonej wydajności i szybkości pracy urządzeń działających w układzie biegunowym. Innym, równie istotnym argumentem są niższe koszty wytworzenia prostych par obrotowych w stosunku do prowadnic liniowych. W pozycjonerze kartezjańskim XY dokładność przemieszczenia zależy będzie w głównej mierze od dokładności wykonania prowadnic oraz od zapewnienia prostopadłości osi względem siebie. Czynnikiem ten w znaczący sposób podraża konstrukcję, a tym samym wpływa na wzrost ceny całego systemu obróbczego.

4. SCENARIUSZE PRZEMIESZCZEŃ RAMIENIA OBRÓBCZEGO I OBIEKTU OBRABIANEGO

Aby uzyskać pełniejszy opis koncepcji biegunowego układu pozycjonującego wiązkę obróbczą i element obrabiany, należy przeanalizować sposób wykonywania kolejnych punktów struktury formowanego odwzorowania. Formowanie kolejnych punktów może przebiegać według założonych dwóch scenariuszy [1, 7, 8]. W pierwszym zakłada się, że ramię obróbcze wykonuje główny ruch kierując wiązkę obróbczą w przestrzeń obiektu obrabianego (Rys. 3A). To samo działanie podejmowane jest w stosunku do wszystkich kolejno umieszczonych obiektów. Następnie ramię jest przemieszczane o zadany kąt umożliwiając stworzenie kolejnej „ścieżki”. W tym przypadku siły bezwładności eliminowane są przez zapewnienie stałej prędkości obrotowej stołu obróbczego. Po przejściu nad kolejnymi obiektami ramię obróbcze przemieszczane jest o nieznaczną wartość kątową. Trzeci wymiar formowanego odwzorowania tworzony jest poprzez zmianę długości ogniskowej specjalnym systemem soczewek ramienia obróbczego. W przypadku tego scenariusza łatwiej jest zapewnić równe odległości pomiędzy punktami tworzonymi w kolejnych przejściach lasera. Można wskazać tu analogię do przytaczanego wcześniej przykładu dysku twardego. Prędkość obrotowa stołu obróbczego na zadanym promieniu jest stała

(w dysku – talerza obrotowego), natomiast ramię obróbcze (w dysku – głowica magnetyczna) przemieszczane jest nieznacznie. Układ taki zapewni niezmienną siłę bezwładności (po osiągnięciu zakładanej prędkości obrotowej), powstałych od obrotowego stołu obróbczego. W drugim scenariuszu (Rys. 3B) ramię obróbcze przemieszcza się wahlwie nad obiektem obrabianym umieszczonym na stole obróbczym. Po utworzeniu pierwszej „ścieżki” obiekt przesuwany jest przez obrót stołu o zadaną wartość kątową.



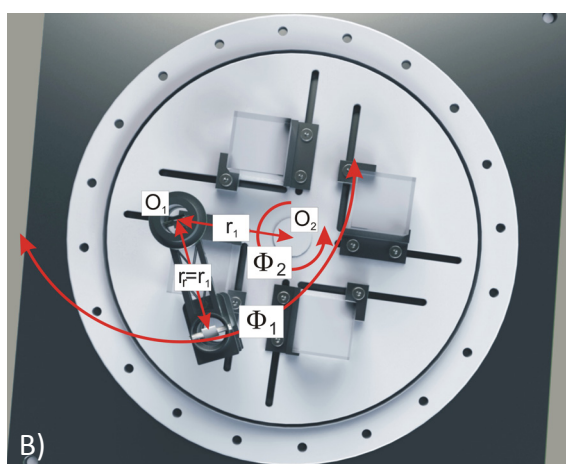
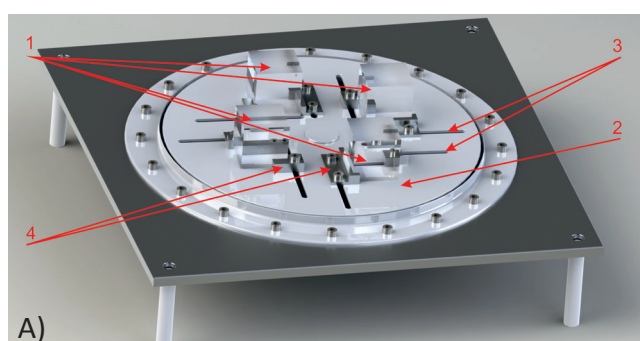
Rysunek 3 Scenariusze wypełniania obiektu punktami tworzącymi strukturę odwzorowania

W przypadku tego scenariusza punkty formowane w pierwszym cyklu, na danym torze, będą od siebie równoodległe. Kiedy natomiast przejdziemy do następnego cyklu obróbki, okaże się, że nie jesteśmy w stanie zapewnić w jednym przejściu równych odległości pomiędzy kolejno formowanymi punktami na torach obróbki. W jednym skrajnym położeniu odległość pomiędzy torami będzie inna niż w drugim położeniu [4]. Przypadek ten wskazuje, że pomimo korzystniejszego z punktu widzenia dynamiki urządzenia układu (poruszane są mniejsze masy) i ograniczeń związanych z powstawaniem w trakcie obróbki sił bezwładności, konieczne byłoby tu zapewnienie odpowiedniego oprogramowania sterującego. Pozwoliłoby ono wybierać punkty na możliwych do realizacji torach obróbki obiektu. W rezultacie niekoniecznie jednak wiązałyby się to z polepszeniem wydajności systemu grawerującego.

5. PROPONOWANE ROZWIĄZANIE POZYCJONERA BIEGUNOWEGO

Aby można było uformować punkt obiektu w dowolnym punkcie przestrzeni, konieczne jest kątowe pozycjonowanie stołu obróbczego. Stół taki obracany jest wokół osi O_2 o zadany kąt φ_2 (Rys. 4B). Ogólnym i głównym założeniem przy opracowaniu koncepcji stołu obróbczego było przede wszystkim to, aby umożliwił on pewne zamocowanie obiektu obrabianego (bryły szkła) [2, 3]. Konieczność spełnienia tego warunku wynika z faktu, że obiekty obrabiane będą poruszać się w trakcie obróbki z określoną, stałą prędkością obrotową. Poza wspomnianym wymaganiem dzięki zastosowaniu obrotowego urządzenia można ograniczyć przestrzeń załadunku materiału poddawanego obróbce, a tym samym bardziej „odizolować” strefę oddziaływania na otoczenie pracy odbitych od powierzchni zewnętrznych szkła wiązek laserowych. System sterujący obrotem stołu obróbczego powinien zapewniać również płynną regulację prędkości obrotowej. W celu pełnego wykorzystania możliwości obróbczych oferowanych przez laser, konieczne jest zapewnienie takich przemieszczeń, aby można było wykorzystać 100, 200 lub więcej impulsów generowanych przez w ciągu 1 sekundy. Czas trwania pojedynczego impulsu laserowego mieści się w zakresie od 4 ns do 6 ns, a kolejny impuls, biorąc pod uwagę np. laser 200 Hz, generowany jest w takcie co 5 ms. W związku z powyższym przejście do kolejno formowanego

punktu struktury powinno nastąpić w przedstawionym wyżej okresie czasu. W momencie, kiedy nie będzie zachodzić konieczność umieszczenia punktu w lokalnym obszarze obiektu formowanego, specjalny układ mechaniczny przystosowany do formowania wiązki laserowej, a co za tym idzie nie będzie oddziaływać ona na strukturę obiektu obrabianego (szkła). Dla potrzeb opracowania projektu konstrukcji przyjęto, że maksymalny rozmiar obiektu obrabianego powinien zamykać się w rozmiarze 100 x 100 x 100 mm, a opracowana konstrukcja powinna zapewniać jednoczesne zamocowanie czterech obiektów obrabianych. Warunek ten zapewni przede wszystkim zwiększenie wydajności obróbki całego systemu grawerującego, co w przypadku wykorzystania układu dla celów komercyjnych jest znaczącym argumentem. Proponowane koncepcyjne rozwiązanie stołu obróbczego przedstawiono na Rysunku 4A. Zgodnie z przyjętymi założeniami poddawane obróbce szklane bryły (kubiki – oznaczone na Rysunku 4 jako 1) zamocowane są na powierzchni obrotowego stołu obróbczego 2, z wykorzystaniem specjalnych mocowań 4. Mocowania te umożliwiają dostosowanie rozmiaru obszaru mocowania do rozmiaru szklanej bryły.



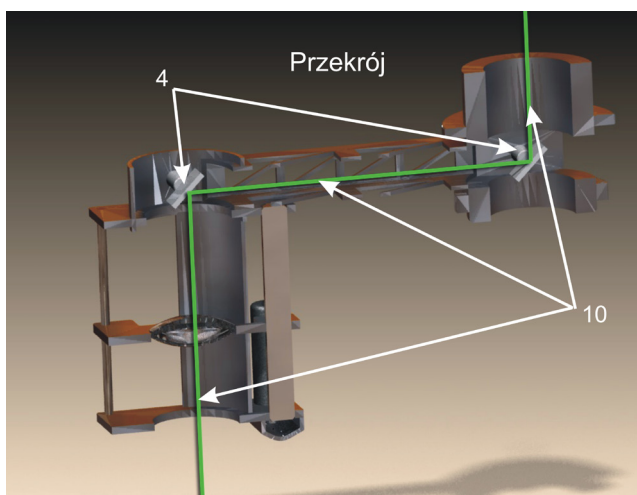
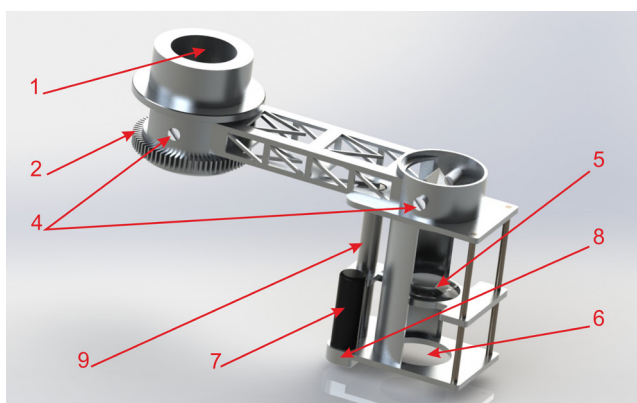
Rysunek 4 Rozwiązanie stołu obróbczego dla biegunowego aparatu ruchowego urządzenia grawerującego: A) widok ogólny, B) widok ramienia nad stołem obróbczym

Wynika to m.in. z faktu, że obróbce mogą być poddawane obiekty wejściowe różnych rozmiarów. Dopasowanie do rozmiaru następuje dzięki przesunięciu do żądanej pozycji mocowań w specjalnie wydrążonych kanalikach 3 na powierzchni stołu obrotowego. Ostateczne ustalenie pozycji następuje po dociśnięciu mocowania do powierzchni stołu i płaszczyzny obrabianego szkła śrubą z łbem imbusowym.

Projektując sterowanie przemieszczeniami stołu obróbczego należy wziąć pod uwagę fakt, że poza utrzymaniem stałej wartości prędkości obrotowej stołu konieczna jest też jej możliwa regulacja w określonym zakresie. Wynika to z przyjęcia założenia, że na danym stałym promieniu r_1 stół obraca się z taką prędkością, która zapewni wykorzystanie maksymalnej liczby impulsów lasera. Przyjęto również, że promień ten stanowi połowę promienia przestrzeni obróbczej stołu obrotowego. Wartości potrzebnych prędkości kątowych dla danego promienia można wyznaczyć korzystając z ogólnych zależności na prędkość kątową ω . Za Δt przyjętą należy wtedy czas generacji kolejnego impulsu lasera, natomiast zmianę wartości kąta $\Delta\alpha$ wyliczyć można z zależności na długość łuku okręgu, który dla pierwszych obliczeń w przybliżeniu może być przyjęty jako minimalna odległość pomiędzy kolejno formowanymi punktami struktury. Zapewnienie stałej wartości prędkości obrotowej stołu obróbczego, wraz z zamocowanymi na nim kubikami, wpłynie na redukcję powstających sił bezwładności. Napęd stołu stanowić będzie odpowiednio dobrany silnik krokowy połączony z precyzyjną przekładnią harmoniczną, o przełożeniu większym niż 1:2000. Dodatkowy podział kroku silnika zrealizowany będzie poprzez użycie do sterowania napędem karty sterownika pracującej w trybie mikrokrokowym.

Ramię obróbcze wraz z omawianym stołem pozycjonującym obiekt obrabiany tworzą pozycjoner biegunowy. W założeniu konstrukcja ramienia winna umożliwić ukierunkowanie wiązki obróbczej w dowolny punkt przestrzeni obrabianej bryły szklanej. Jednocześnie układ optyczny związany z ramieniem obróbczym powinien zapewnić zmianę położenia ogniska wiązki laserowej w takim zakresie, aby można było uformować dowolne punkty przestrzennego odwzorowania o założonym maksymalnym rozmiarze. Ramię obróbcze powinno zapewnić również taką rozdzielczość przesunięcia, aby możliwe było przemieszczenie ogniska w odległości od punktu do punktu, ok.

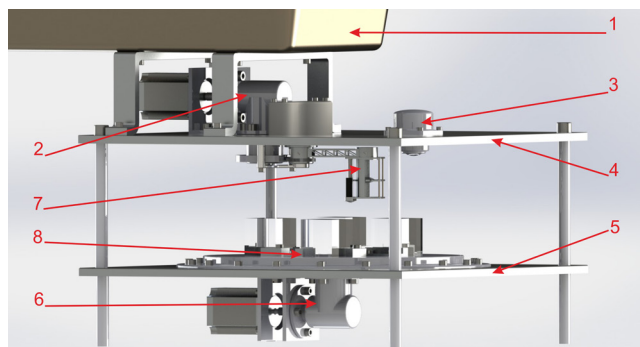
200 mikrometrów. Materiał użyty do budowy ramienia powinien być sztywny i lekki. Długość jego powinna być maksymalnie najkrótsza (długość uzależniona będzie od wymiaru obrotowego stołu roboczego), a jednocześnie powinna być taka, aby mogła zapewnić pokrycie obszaru roboczego stołu. Pozwoli to ograniczyć negatywny wpływ oddziałujących sił bezwładności [2]. Aby spełnić tak postawione wymagania, zaprojektowano ramię obróbcze w postaci takiej, jak przedstawiono na Rysunku 5. Obróbcza wiązka laserowa 10 kierunkowana jest przez układ optyczny w przestrzeń tulei 1 zaznaczonej na Rysunku 5. Tuleja ta wykorzystywana jest do mocowania ramienia obróbczego w korpusie aparatu ruchowego i zapewnia możliwość obrotu ramienia o określony kąt. Dodatkowo na wspomnianej tulei wykonany jest wieniec zębaty 2, który w połączeniu z napędem z przekładnią harmoniczną pozwala na uzyskanie dodatkowego przełożenia dla pojedynczego kroku (przemieszczenia). Zamocowane jest tam również zwierciadło 4 odbijające wiązkę laserową i kierunkujące ją w stronę drugiego zwierciadła 4, którego zadaniem jest skierowanie wiązki na skupiający układ optyczny 5.



Rysunek 5 Rozwiązanie ramienia obróbczego dla biegunowego aparatu ruchowego

Układ ten zapewnia możliwość regulacji wysokości ogniska wiązki formującej, która przechodząc przez przestrzeń oznaczoną na Rysunku 5 jako 6, kierowana jest w przestrzeń kubika. Sterowanie wysokością oddziaływania ogniska odbywa się dzięki wykorzystaniu dodatkowego napędu 7 z odpowiednią przekładnią 8. Służy on do przemieszczania w osi Z, przez układ typu wrzeciono – nakrętka 9, sprzężonej soczewki skupiającej 5.

Zakładany ruch ramienia obróbczego dla kąta φ_1 przewiduje się w zakresie $(0, \pi)$. Długość ramienia r_r powinna odpowiadać wspomnianej wcześniej długości promienia r_1 stołu obróbczego. Za długość ramienia r_r przyjąć należy nie rozmiar całej konstrukcji, lecz odległość mierzoną pomiędzy wiązką obróbczą wchodzącą i wychodzącą z ramienia obróbczego. Oś obrotu ramienia O_1 powinna znajdować się na przecięciu z promieniem r_1 stołu obróbczego (Rys. 4B). Tak przyjęte parametry pozwolą na zapewnienie pełnego oddziaływania wiązki laserowej na kubiki zamocowane na stole obrotowym, a także umożliwią maksymalne skrócenie ramienia i zmniejszenie wartości oddziałujących na jego konstrukcję sił bezwładności powstających przy przemieszczaniu. Proponowany biegunowy aparat ruchowy składa się z dwóch zasadniczych modułów: jeden związany jest płytą konstrukcyjną 4 z ramieniem obróbczym 7 (Rys. 6), natomiast drugi moduł połączony z płytą 5, na której zamontowano obrotowy stół obróbczy 8. Do napędu wspomnianych komponentów używane są zespoły silnika krokowego z odpowiednimi przekładniami harmonicznymi – 2, 6. Dodatkowo nad płytą górną 4 zamocowany jest emiter lasera impulsowego 1 – typu Nd:YAG, zintegrowany z odpowiednim układem optycznym, układem sterowania, zasilania i chłodzenia. Komponentem, który uzupełnia koncepcję aparatu ruchowego pozycjonera, jest system sensoryczny 3 (Rys. 6). Wykorzystywany jest on do zliczania liczby defektów utworzonych w strukturze obiektu obrabianego. Jego istnienie wymuszone jest faktem konieczności zapewnienia pętli sprzężenia zwrotnego w przypadku sytuacji awaryjnej, np. powstałej po utracie zasilania lub awaryjnego zatrzymania pracy systemu formowania przez samego użytkownika.



Rysunek 6 Biegunowy aparat ruchomy laserowego urządzenia grawerującego

6. WNIOSKI

W trakcie projektowania wydajnego pozycjonera mechatronicznego konieczne staje się szersze spojrzenie na procesy i komponenty związane z mechanicznym systemem wykonawczym oraz elektronicznym systemem informacyjnym, a także na sprzężenia (relacje, przepływy) zachodzące pomiędzy nimi. Powstałe urządzenie powinno być pewne w działaniu, tanie, funkcjonalne, łatwe w obsłudze i niezawodne [2]. Nie należy zapominać przy tym, że poza integracją poszczególnych podsystemów, konieczne jest uzyskanie efektu synergii. W rozumieniu inżynierskim mówiąc „synergia” ma się na myśli nowe, nieosiągalne charakterystyki urządzenia. Stąd też dokładność pozycjonowania, wynikająca ze sztywności i prostoty konstrukcji, oraz łatwość przeliczenia pozycji przez

komputer przekładają się na niski koszt wytworzenia proponowanego urządzenia, przy zachowaniu wysokiej jakości obróbki. Analiza sztywności pozycjonera biegunowego daje podstawę do przyjęcia tezy, że prostymi rozwiązaniami da się zrealizować dokładne pozycjonowanie wiązki lasera w przestrzeni formowanego obiektu. Zwiększenie dokładności urządzenia grawerującego wpływa natomiast pośrednio na zwiększenie wydajności i podwyższenie parametrów samego procesu laserowej obróbki szkła. Synergia (tu rozumiana jako pojawienie się nowych, dotychczas nieosiągalnych charakterystyk pozycjonatorów) w przypadku pozycjonatorów biegunowych wynika m.in. z innego (nieklasycznego) sposobu myślenia, które zostało umożliwione dzięki zastosowaniu sterowania komputerowego do przemieszczania prostych mechanizmów (par) obrotowych [1, 3]. Przedstawione prototypowe rozwiązanie alternatywnego pozycjonera biegunowego będzie wykorzystane do przeprowadzenia dalszych badań symulacyjnych potwierdzających zasadność przyjętego rozumowania oraz budowy prototypu urządzenia i sprawdzenia jego użyteczności w warunkach warsztatowych.

LITERATURA

- [1] Trochimczuk R., Mechatroniczne pozycjonowanie wiązki lasera impulsowego w urządzeniach do formowania obiektów trójwymiarowych w szkło – rozprawa doktorska, AGH, Kraków, 2009.
- [2] Trochimczuk R., Studium projektowe mechanicznego systemu wykonawczego pozycjonera biegunowego do laserowego urządzenia grawerującego, W: Projektowanie mechatroniczne. Zagadnienia wybrane, pod red. T. Uhla, AGH, Kraków, 2011, 193-201.
- [3] Trochimczuk R., Nowej konstrukcji pozycjoner biegunowy dla urządzeń do podpowierzchniowego grawerowania laserem struktur przestrzennych, Acta Mechanica et Automatica Vol. 4, nr 1, Białystok, 2010, 96-100.
- [4] Trochimczuk R., Gawrysiak M., Analysis of polar positioning system in laser device for glass engraving, Solid State Phenomena, Vols. 147-149 (2009), Trans Tech Publications, Switzerland, Zurich, 2009, 107-112.
- [5] Trochimczuk R., Synergia na przykładzie pozycjonowania wiązki lasera w mechatronicznych urządzeniach do grawerowania szkła, W: Projektowanie mechatroniczne. Zagadnienia wybrane, pod red. T. Uhla, AGH, Kraków, 2010, 155-163.

- [6] Trochimczuk R., Analiza biegunowego pozycjonera laserowego urządzenia do formowania trójwymiarowych obiektów w szkle, W: Teoria maszyn i mechanizmów, pod red. J. Wojnarowskiego, I. Adamiec-Wójcik, Wydawnictwo ATH, Bielsko-Biała, 2008, 367-374.
- [7] Trochimczuk R., Gawrysiak M., Analiza przemieszczeń pozycjonera biegunowego laserowego urządzenia grawerującego, W: Projektowanie mechatroniczne. Zagadnienia wybrane, pod red. T. Uhla, AGH, Kraków, 2008, 159-167.
- [8] Trochimczuk R., Gawrysiak M., Koncepcja biegunowego aparatu ruchowego pozycjonera urządzenia grawerującego, W: Projektowanie mechatroniczne. Zagadnienia wybrane, pod red. T. Uhla, AGH, Kraków, 2007, 201-208.