

NOWEJ KONSTRUKCJI POZYCJONER BIEGUNOWY DLA URZĄDZEŃ DO PODPOWIERZCHNIOWEGO GRAWEROWANIA LASEREM STRUKTUR PRZESTRZENNYCH

Roman TROCHIMCZUK*

*Katedra Automatyki i Robotyki, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 C, 15-351 Białystok

politechnikaroman@interia.pl

Streszczenie: W artykule opisano nową koncepcyjną konstrukcję mechatronicznego pozycjonera biegunowego opracowaną dla potrzeb technologii znakowania i grawerowania podpowierzchniowego szkła i innych przezroczystych dielektryków. Omówiono warunek sztywności konstrukcji pozycjonera (dla przypadku klasycznego kartezjańskiego i rozwiązania proponowanego – biegunowego), wpływający bezpośrednio na dokładność obróbki laserowej. W pracy wskazano również możliwe pola zastosowań opracowanej koncepcji pozycjonera biegunowego. Zaproponowana konstrukcja aparatu ruchowego pozwoli na uzyskanie nowej jakości pozycjonowania (uzyskanie efektu synergii) poprzez połączenie komputerowego sterowania z prostym mechanizmem biegunowym (parami obrotowymi), wzorowanym na konstrukcji dysku twardego komputera osobistego.

1. WPROWADZENIE

Technika znakowania za pomocą lasera umożliwia łatwą personalizację różnych przedmiotów. Nawet przy dużych seriach można każdy przedmiot opisać inaczej, nadając mu kolejny numer, czy też opisując nazwiska kolejnych osób – wszystko to, bez potrzeby przygotowania jakichkolwiek klisz, czy matryc, czyli bez ponoszenia kolejnych kosztów. Istotnym i rozwijającym się polem zastosowań obróbki laserowej jest wykorzystanie formującej wiązki obróbczej do grawerowania podpowierzchniowego szkła lub też innych przezroczystych dielektryków. W większości wypadków powstałe w wyniku takiej obróbki dwu- lub trójwymiarowe odwzorowania (tworzone ze zbioru pojedynczych punktów), wykorzystuje się do celów komercyjnych, np. reklama, przemysł pamiątkarski, a uproszczony proces powstawania i wdrożenia produktu daje możliwość odniesienia konkretnych korzyści rynkowych.

Analizując układy pozycjonujące wiązkę obróbczą 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. Związane jest to między innymi z faktem, iż 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 zagadnień z zakresu mechaniki, elektroniki i informatyki. Takim właśnie produktem jest omawiany w dalszej części pracy nowy pozycjoner biegunowy, który dzięki prostej konstrukcji,

niskiemu kosztowi wytworzenia, oraz sterowaniu komputerowemu, może stanowić alternatywne rozwiązanie dla typowych, powszechnie stosowanych pozycjonerów kartezjańskich (Trochimczuk, 2009b).

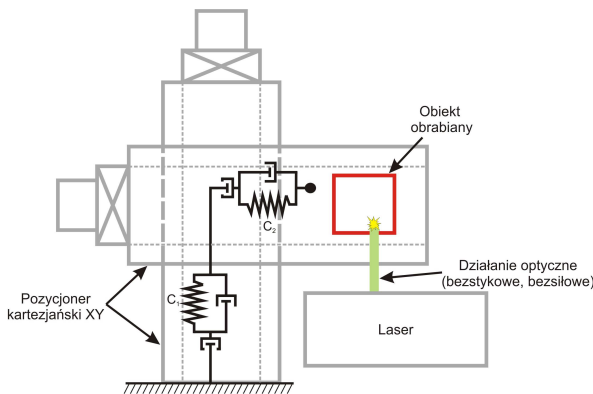
2. DOKŁADNOŚĆ OBRÓBKI A SZTYWNOŚĆ KONSTRUKCJI UKŁADU POZYCJONUJĄCEGO

Istotnym parametrem, który należy brać pod uwagę przy obróbce laserowej (laserem impulsowym) trójwymiarowych odwzorowań, jest dokładność urządzenia formującego. Wiąże się to bezpośrednio z faktem, iż punkty tworzone przez laserową wiązkę obróbczą muszą mieścić się w określonym wymiarze (x-y-z), tj. ok. 200x200x600 mikrometrów. Odległość pomiędzy nimi powinna być co najmniej równa i nie może być mniejsza od rozmiaru pojedynczo formowanego mikropęknięcia. Wynika to z faktu, że formowane w strukturze szkła odwzorowanie może ulec zniszczeniu (niekontrolowane lokalne pęknięcie znaczenie przewyższające rozmiarem i formą standardowe mikropęknięcie), na wskutek nałożenia się na siebie mikropęknięcia nowotworzonego z już wcześniej powstałymi w strukturze szkła. Wspomniana odległość pomiędzy formowanymi wiązką laserową punktami struktury, nie może być również za duża, gdyż wtedy utworzony trójwymiarowy obiekt będzie mniej kontrastowy, a tym samym mniej atrakcyjny z punktu widzenia odbiorcy wytworzonego tą technologią produktu (kubika).

Jednym z istotnych czynników wpływających bezpośrednio na dokładność obróbki jest sztywność konstrukcji aparatu ruchowego (Trochimczuk i Gawrysiak, 2009; Trochimczuk, 2009a). Tu miarą dokładności będzie ugięcie (odkształcenie) konstrukcji na wskutek oddziałujących sił bezwładności. Można więc założyć, że dokładność będzie

tym większa, im większa będzie sztywność rozpatrywanej konstrukcji.

Klasyczne rozwiązanie pozycjonera (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. Przedstawiany układ jest układem szeregowym, w którym poza zjawiskami sztywności i tłumienia zakłada się dodatkowo luzy w całej konstrukcji (Rys.1) (Trochimczuk, 2009a, b).



Rys. 1. Sztywności w kartezyjskim aparacie ruchowym urządzenia grawerującego

Całkowitą sztywność omawianego rozwiązania można wyrazić za pomocą następującej 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.

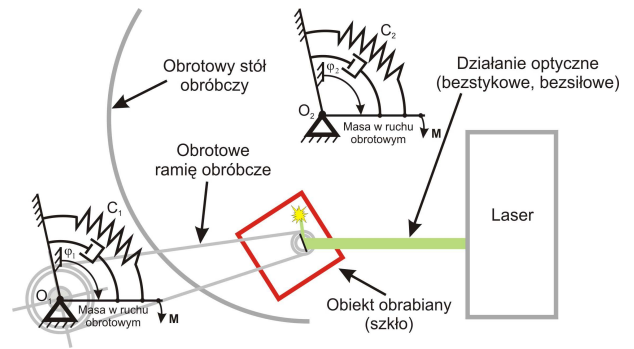
Przeprowadzona analiza aparatu ruchowego pozycjonera, z uwzględnieniem możliwych układów pozycjonujących wiązkę laserową i materiał obrabiany (Trochimczuk, 2009b), skłoniła autora do zaproponowania innego podejścia do pozycjonowania materiału i wiązki obróbczej. Jest ono wzorowane na układach spotykanych w twardych dyskach, czy też w wiertarce do wykonywania otworów w elektronicznych obwodach drukowanych (Müller, 2001). Podejście to, według wiedzy autora, nie jest stosowane w praktyce budowy laserowych urządzeń do grawerowania szkła.

W przypadku pozycjonera biegunowego (Rys. 2) (Trochimczuk i Gawrysiak, 2009; Trochimczuk, 2009a), jako modyfikacji wspomnianej konstrukcji klasycznej poszczególne sztywności występują w układzie równoległym. Całkowita sztywność urządzenia sprowadza się do sumy sztywności ramienia obróbczego i 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.



Rys. 2. Sztywności w biegunowym aparacie ruchowym urządzenia grawerującego

Obróbka trójwymiarowego odwzorowania wykonywana jest warstwowo, zaczynając od warstw położonych najniżej, przechodząc kolejno do warstw wyżej położonych. Wynika to z faktu, że lokalne mikropęknięcia mogłyby „przesłonić” obszar, do którego dotrzeć powinno ognisko skupionej wiązki laserowej (materiał stałby się w tym miejscu nieprzezroczysty). Nałożenie się w tym miejscu mikropęknięć spowodowałoby wspomniane wcześniej zniszczenie formowanego odwzorowania. Z racji warstwowej 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 (Trochimczuk, 2009b).

Korzystny argument sztywnościowy oraz argument związany z kosztami wytworzenia proponowanego rozwiązania, w stosunku do dokładnych osi kartezyjskich, skłonił autora do opracowania konstrukcji pozycjonera biegunowego. Przedstawione prototypowe rozwiązanie będzie wykorzystane do przeprowadzenia dalszych badań symulacyjnych potwierdzających zasadność przyjętego rozumowania, oraz utworzenia rzeczywistego prototypu i sprawdzenia jego użyteczności w warunkach warsztatowych.

Przy opracowaniu koncepcji pozycjonera dodatkowo brano pod uwagę argument zwiększonej wydajności i szybkości pracy urządzeń pracujących w układzie biegunowym. Istotną różnicę można tu zauważyć porównując m.in. czas wykonania typowego cyklu pracy (dla zadania *pick-and-place*) robota kartezyjskiego XYZ i robota typu SCARA – biegunowego. Korzystniej wypada w tym porównaniu robot typu SCARA (ten sam cykl zrealizowano o 0,41 sekundy szybciej) (Trochimczuk, 2009a, b).

Innym, równie istotnym, argumentem jest również czynnik niższych kosztów wytworzenia prostych par obrotowych w stosunku do dokładnych prowadnic liniowych. W kartezyjskich pozycjonerze XY dokładność przemieszczenia zależeć będzie w głównej mierze od dokładności wykonania prowadnic, oraz od zapewnienia prostopadłości osi w stosunku do siebie. Ten czynnik w znaczący sposób podraża konstrukcję, a tym samym wpływa na wzrost ceny całego systemu obróbczego.

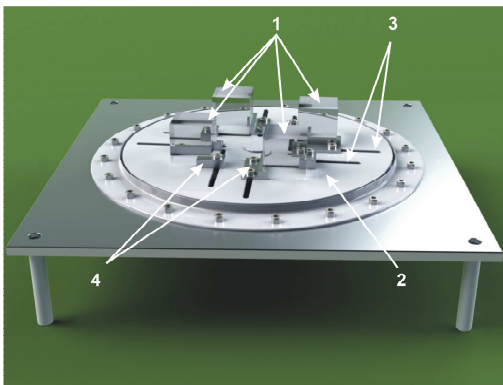
W dalszych rozdziałach opracowania omówione zostaną opracowane koncepcyjne konstrukcje stołu obróbczego, ramienia obróbczego oraz całego aparatu ruchowego pozycjonera biegunowego.

3. KONCEPCYJNE ROZWIĄZANIE OBROTOWEGO STOŁU OBRÓBCZEGO

Aby można było przy obróbce uformować obiekt (punkt) w dowolnym punkcie przestrzeni, konieczne jest kątowe pozycjonowanie stołu obróbczego. Stół taki obraca się wokół osi O_2 , o zadany kąt φ_2 (Rys. 2).

Ogólnym i głównym założeniem przy opracowaniu koncepcji stołu obróbczego było przede wszystkim to, aby umożliwiał on pewne zamocowanie obiektu obrabianego (bryły szkła). Konieczność spełnienia tego warunku wynika z faktu, iż obiekty obrabiane w trakcie obróbki będą poruszać się z określoną, stałą prędkością obrotową. Poza wspomnianym wymaganiem dzięki zastosowaniu obrotowego urządzenia, można ograniczyć przestrzeń ładunku materiału poddawanego obróbce, a tym samym bardziej „odizolować” strefę oddziaływania na otoczenie pracy, odbitych od powierzchni zewnętrznych szkła wiązek laserowych. System sterujący przemieszczeniami stołu obróbczego, wraz z obiektami obrabianymi, powinien zapewniać również płynną regulację prędkości obrotowej. W celu pełnego wykorzystania możliwości obróbczych oferowanych przez instrument formowania trójwymiarowych struktur, konieczne jest zapewnienie takich przemieszczeń, aby można było wykorzystać 100, 200 (lub więcej) impulsów generowanych przez laser impulsowy w ciągu jednej sekundy.

Czas trwania pojedynczego impulsu laserowego mieści się w zakresie od 4ns do 6ns, a kolejny impuls, biorąc pod uwagę, np. laser 200Hz, 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 przysłoni formującą wiązkę laserową, a co za tym idzie nie będzie oddziaływać ona na strukturę obiektu obrabianego (szkła).



Rys. 3. Koncepcyjne rozwiązanie stołu obróbczego dla biegunowego aparatu ruchowego urządzenia grawerującego

Dla potrzeb opracowania projektu konstrukcji przyjęto, że maksymalny rozmiar obiektu obrabianego powinien zamykać się w rozmiarze 100x100x100mm, a opracowana konstrukcja powinna zapewniać jednocześnie zamocowanie czterech obiektów obrabianych. Warunek ten zapewni

przede wszystkim zwiększenie wydajności obróbki całego systemu grawerującego, co w przypadku wykorzystania układu dla celów komercyjnych jest bardzo znaczącym argumentem.

Proponowane koncepcyjne rozwiązanie stołu obróbczego przedstawiono na Rys. 3. Zgodnie z przyjętymi założeniami poddawane obróbce szklane bryły (kubiki) oznaczone na Rys. 3 jako 1 zamocowane są na powierzchni obrotowego stołu obróbczego 2, z wykorzystaniem specjalnych mocowań 4.

Proponowane mocowania umożliwiają dostosowanie rozmiaru obszaru mocowania do rozmiaru szklanej bryły. Wynika to m.in. z faktu, że poddawane obróbce mogą być różnych rozmiarów obiekty wejściowe.

Dopasowanie do rozmiaru kubika 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 utrzymywaniem 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 formujących strukturę odwzorowania. Najkorzystniej jest, aby promień ten stanowił połowę promienia przestrzeni obróbczej stołu obrotowego. Zmianę tego promienia można opisać ogólną zależnością:

$$r_1 = 0,5r \pm i \cdot b, \quad i = -n, \dots, -1, 0, 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

gdzie: r – promień określający całą przestrzeń roboczą stołu; b – minimalna odległość pomiędzy formowanymi punktami struktury; n – współczynnik, przy którym osiągnięte są ekstrema przestrzeni roboczej.

Wartości potrzebnych prędkości kątowych dla danego promienia można wyznaczyć korzystając z ogólnych zależności na prędkość kątową ω . Przyjąć należy wtedy za zmianę czasową Δt – czas generacji kolejnego impulsu lasera, natomiast zmianę wartości kąta $\Delta\alpha$ wyliczyć można z zależności na długość łuku okręgu, który w przybliżeniu może być przyjęty dla pierwszych obliczeń 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. Ich wpływ (w głównej mierze powodują one drgania całego urządzenia) jest niekorzystny z racji na szybsze zużycie komponentów systemu pozycjonowania i całego systemu obróbczego, oraz z racji na pogarszającą się, wraz z powstającymi drganiami, jakość formowanej powierzchni obiektu obrabianego (Trochimczuk, 2009b).

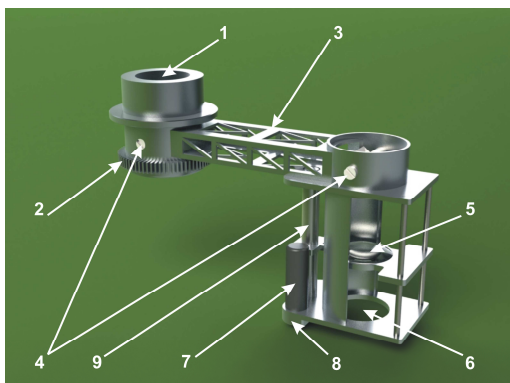
Napęd stołu stanowić będzie odpowiednio dobrany silnik krokowy połączony z precyzyjną przekładnią harmoniczną, o przełożeniu większym niż 1:2000. Dodatkowy podział kroku silnika zrealizowany będzie poprzez użycie, do sterowania napędem, karty sterownika pracującej w trybie mikrokrokowym (*microstep*).

4. KONCEPCYJNE ROZWIĄZANIE KONSTRUKCJI RAMIENIA OBRÓBCZEGO

Ramię obróbcze wraz z omawianym stołem pozycjonującym obiekt obrabiany tworzy pozycjoner biegunowy. Parametrami charakteryzującymi ramię obróbcze są: jego stała długość r_r , oraz kąt obrotu φ_1 wokół osi O_1 (Rys.2).

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 ogniska wiązki laserowej, w takim zakresie, aby można było uformować dowolne punkty przestrzennego odwzorowania o maksymalnym rozmiarze 100x100x100mm.

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, a jednocześnie powinna być taka, aby mogła zapewnić pokrycie obszaru roboczego stołu. Dzięki takiemu założeniu można będzie ograniczyć wpływ oddziaływujących sił bezwładności, które niekorzystnie wpływają na jakość obróbki laserowej.



Rys. 4. Konceptualne rozwiązanie ramienia obróbczego dla biegunowego aparatu ruchowego urządzenia grawerującego

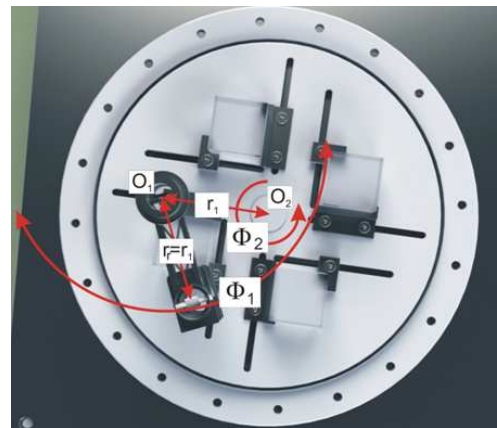
Aby spełnić tak postawione wymagania zaprojektowano ramię obróbcze w postaci takiej, jak przedstawiono na Rys. 4.

Obróbcza wiązka laserowa kierowana jest przez układ optyczny w przestrzeń tulei 1 zaznaczonej na Rys. 4. Tuleja ta wykorzystywana jest do mocowania ramienia obróbczego w korpus aparatu ruchowego i zapewnia jednocześnie możliwość obrotu ramienia o określony kąt. Dodatkowo na wspomnianej tulei wykonany jest wieniec zębany 2, który w połączeniu z napędem z przekładnią harmoniczną, pozwala na uzyskanie dodatkowego przełożenia dla pojedynczego kroku (przemieszczenia).

W tulei zamocowane jest zwierciadło 4 odbijające wiązkę laserową i kierującą ją w stronę drugiego zwierciadła, którego zadaniem jest skierowanie wiązki na skupiający układ optyczny 5. Układ ten zapewnia możliwość regulacji wysokości ogniska wiązki formującej, która przechodząc przez przestrzeń, oznaczoną na Rys. 4 jako 6, kierowana

jest w przestrzeń kubika. Sterowanie wysokością oddziaływania ogniska odbywa się dzięki wykorzystaniu dodatkowego napędu 7. Dzięki połączeniu 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. 5).



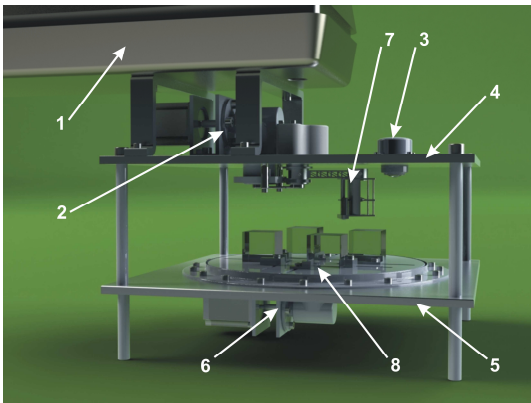
Rys. 5. Widok pozycji ramienia obróbczego nad obrotowym stołem obróbczym

Tak przyjęte parametry pozwolą na zapewnienie pełnego oddziaływania wiązki laserowej na zamocowane na stole obrotowym kubiki (na pokrycie przestrzeni obróbczej), a także na maksymalne skrócenie ramienia i zmniejszenie oddziaływania na jego konstrukcję powstających przy przemieszczaniu sił bezwładności.

5. KONCEPCJA APARATU RUCHOWEGO POZYCJONERA BIEGUNOWEGO URZĄDZENIA GRAWERUJĄCEGO

Na podstawie wyników przeprowadzonej analizy przemieszczeń ramienia obróbczego oraz obiektu obrabianego, a także warunków zmniejszenia masy i długości ramienia obróbczego (Trochimczuk, 2007, 2009b) opracowana została koncepcyjna konstrukcja aparatu ruchowego laserowego urządzenia grawerującego (Rys. 6).

Proponowany aparat ruchowy składa się z dwóch zasadniczych modułów: jeden związany jest płytą konstrukcyjną 4 z ramieniem obróbczym 7 (Rys.6), natomiast drugi moduł związany z płytą 5, na której jest zamontowany 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 (Rys.6) zintegrowany z odpowiednim układem optycznym, układem sterowania, zasilania i chłodzenia.



Rys. 6. Konceptyjne rozwiązanie biegunowego aparatu ruchowego laserowego urządzenia grawerującego

Komponentem, który uzupełnia koncepcję aparatu ruchowego pozycjonera jest system sensoryczny 3 (Rys.6). Wykorzystywany jest on do zliczania ilości defektów utworzonych w strukturze obiektu obrabianego. Jego istnienie wymuszone jest faktem konieczności zapewnienia pętli sprzężenia w przypadku sytuacji awaryjnej, np. powstałej pracy utracie zasilania lub awaryjnego zatrzymania pracy systemu formowania przez użytkownika. Poza tym umożliwia on także rozpoczęcie obróbki od wskazanego punktu (elementu struktury), czy też punktu zapisanego przez system sterowania w niezależnym energetycznie rejestrze kontrolera sterującego pozycjonerem (Trochimczuk, 2009b).

Praca wszystkich komponentów mechanicznego układu wykonawczego (laser, napędy pozycjonera) oraz elektronicznego systemu informacyjnego (m.in. układ sensoryczny) nadzorowane i sterowane będą przez specjalnie napisane, sprzęgające oprogramowanie.

6. MOŻLIWE PERSPEKTYWY WYKORZYSTANIA OPRACOWANEJ NOWEJ KONSTRUKCJI POZYCJONERA BIEGUNOWEGO

Przedstawione rozważania dotyczące pozycjonera mechatronicznego urządzenia do grawerowania szkła, nasuwają pola przyszłych badań. Otrzymane rezultaty analizy pozycjonera biegunowego (Trochimczuk, 2009b) szczególnie zachęcają do głębszego zajęcia się pozycjonowaniem biegunowym w innych obrabiarkach; nie tylko tam, gdzie narzędziem jest laser. Dokładność pozycjonowania, wynikająca ze sztywności i prostoty konstrukcji, oraz łatwość przeliczenia pozycji w czasie rzeczywistym (komputer), przekładają się na niski koszt wytworzenia urządzenia, przy zachowaniu wysokiej jakości obróbki.

Jeśli zaś pozostaniemy przy laserze, to dokładne pozycjonowanie biegunowe może się przydać w zastosowaniach medycznych, np. przy zabiegach okulistycznych. Wykonany trójwymiarowy obraz wnętrza oka, wraz z obszarem, gdzie konieczna byłaby ingerencja chirurga, zdefiniować można tak samo, jak w dowolnym przestrzennym odwzorowaniu.

Innym polem zastosowań prezentowanego pozycjonera biegunowego może być technologia SLM (*Selective Laser Melting*). Istotą tej technologii jest spiekanie przestrzennych struktur, m.in. z proszku tytanowego dla potrzeb tworzenia

prototypów funkcjonalnych dla różnych gałęzi przemysłu. Struktura obiektu obrabianego podobnie jak w przypadku grawerowania laserowego wytwarzana jest warstwa po warstwie, na podstawie zamodelowanego komputerowo wcześniej odwzorowania. Różnica polega w zasadzie tylko na tym, że proces przebiega w osłonie gazowej. W wyniku obróbki laserowej można otrzymać obiekt charakteryzujący się wysoką dokładnością kształtu i gęstością materiału z jakiego został wykonany. Opisane pole zastosowań wykorzystuje się z powodzeniem w medycynie (np. w protezycie stomatologicznej i kostnej), jak i w przemyśle maszynowym.

W przypadku wspomnianych wyżej technologii pozostaje tylko odpowiednio dobrać komponenty systemu mechatronicznego (narzędzie – zamiast np. lasera Nd:YAG – laser CO₂, natomiast zamiast powszechnie używanego pozycjonera kartezyjskiego – proponowany nowy pozycjoner biegunowy). Idea zastosowań pozycjonera dla przytoczonych wyżej przykładów nie ulega większej zmianie.

LITERATURA

1. Müller T. (2001), PCB Drilling Machine – New solution to old problems, *Elektor Electronics*, nr 3, 12-18.
2. Trochimczuk R. (2007), Koncepcja biegunowego aparatu ruchowego pozycjonera urządzenia grawerującego, W: *Projektowanie Mechatroniczne Zagadnienia wybrane, pod red. T. Uhla*, AGH, Kraków, 201-208.
3. Trochimczuk R. (2009a), Synergia na przykładzie pozycjonowania wiązki lasera w mechatronicznych urządzeniach do grawerowania szkła, W: *Projektowanie Mechatroniczne Zagadnienia wybrane, pod red. T. Uhla*, AGH, Kraków.
4. Trochimczuk R. (2009b), Mechatroniczne pozycjonowanie wiązki lasera impulsowego w urządzeniach do formowania obiektów trójwymiarowych w szkłe – rozprawa doktorska, AGH, Kraków.
5. Trochimczuk R., Gawrysiak M. (2009), *Analysis of Polar Positioning System in Laser Device for Glass Engraving, Solid State Phenomena*, Vols. 147-149 (2009), Trans Tech Publications, Switzerland, Zurich, 107-112.

STUDY OF CONSTRUCTION A NEW POLAR POSITIONING SYSTEM FOR LASER DEVICE FOR 3D SUBSURFACE GLASS ENGRAVING

Abstract: New construction of mechatronics polar positioning system of laser device for engraving glass and other transparent dielectrics there is presented in the work. The results of analysis of stiffness Cartesian positioning system and alternative new polar positioning system are presented too. The description of the constructions of working arm and rotation table of polar positioning system is given in the paper. Possible applications of describe polar positioning system are defined. Presented in the work construction of movement device brings the new quality of positioning (a synergy effect) through connection the computer control technology with the simple polar mechanism similar to construction of computer hard drive.

Pracę wykonano w ramach realizacji badań pracy statutowej nr S/WM/1/2008 Katedry Automatyki i Robotyki Wydziału Mechatycznego Politechniki Białostockiej.