

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **214214**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **394452**

(51) Int.Cl.
B21D 26/12 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **05.04.2011**

(54) **Sposób i układ do kształtowania laserowego płyt lub blach
według zadanego kształtu powierzchni rozwijalnej o tworzących równoległych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
24.10.2011 BUP 22/11

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
28.06.2013 WUP 06/13

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA, Kielce, PL
INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW
TECHNIKI POLSKIEJ AKADEMII NAUK,
Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ZYGMUNT MUCHA, Warszawa, PL
JACEK WIDŁASZEWSKI, Warszawa, PL
RYSZARD GRADOŃ, Kielce, PL
PAWEŁ TRELA, Kielce, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Antoni Garstka

PL 214214 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób kształtowania płyt lub blach według zadanego kształtu powierzchni rozwijalnej o tworzących równoległych, poprzez nagrzewanie wiązką laserową lub podobnymi źródłami ciepła, które pozwalają na doprowadzanie ciepła w sposób lokalny, do wybranych obszarów materiału. Przykładami takich źródeł lub nośników ciepła są strumień plazmy, skoncentrowany płomień gazowy lub grzałka indukcyjna.

Przez kształtowanie płyt rozumiane jest celowe wywoływanie trwałych zmian kształtu materiału wyjściowego dla uzyskania jego wymaganego kształtu końcowego. W procesach produkcyjnych kształtowanie płyt lub blach tradycyjnie realizowane jest metodami mechanicznymi. Tak przebiegają procesy gięcia i tłoczenia na prasach, gięcia za pomocą walców i wyoblania.

W procesach naprawczych i niekiedy w procesach wytwórczych od kilkudziesięciu lat stosowane jest kształtowanie lub prostowanie blach, płyt i kształtowników walcowanych poprzez ogrzewanie płomieniami gazowymi. Metody takiego kształtowania opierają się na zgromadzonym metodą prób i błędów doświadczeniu wyspecjalizowanych pracowników. Do ukształtowania zadanej powłoki przez nagrzewanie wiązką laserową lub podobnym nośnikiem ciepła trzeba określić sposób nagrzewania, a więc kształt i położenie ścieżek lub obszarów nagrzewania i podstawowe parametry tego nagrzewania: moc wiązki, jej prędkość przemieszczania i wielkość na powierzchni materiału.

Z opisu patentowego PL nr 155 358 oraz US nr 5 228 324 znany jest sposób gięcia przedmiotów metalowych poprzez nagrzewanie i chłodzenie materiału wzdłuż wybranej linii. Opisany jest tam mechanizm gięcia przedmiotów metalowych bez użycia sił zewnętrznych, tylko poprzez oddziaływanie cieplne. Nie jest jednak przedstawiona metoda uzyskiwania zadanego kształtu powierzchni formowanego przedmiotu. Ponadto, przedstawiony w tych opisach sposób gięcia przedmiotów metalowych dopuszcza doprowadzenie do częściowego nadtopienia i wypływu materiału.

Sposób gięcia i doginania powłok o rozwijalnej powierzchni środkowej przy użyciu wiązki energetycznej znany jest z opisu US nr 5 719 374. Sposób ten polega na wykorzystaniu źródła ciepła o średnicy znacznie większej od grubości blachy, do gięcia płyt i blach pod działaniem tak zwanego mechanizmu wyboczeniowego. Opis ten nie podaje sposobu uzyskiwania dowolnej zadanej wielkości deformacji, ani sposobu uzyskiwania zadanego końcowego kształtu powłoki.

C. Liu i Y. L. Yao w artykule zatytułowanym „Optimal and robust design of the laser forming process” (Journal of Manufacturing Processes, 2002, Vol. 4, No. 1, str. 52-66) przedstawili metody optymalizacji do wyznaczania parametrów procesu kształtowania powłoki rozwijalnej o tworzących równoległych. Narzucali warunek stałej odległości ścieżek nagrzewania lub rozkład odległości ścieżek zadany funkcją potęgową. W obu przypadkach uzyskiwanie złożonych kształtów wiąże się z koniecznością dobierania wielkości kąta gięcia dla każdej ścieżki laserowej. Eksperymentalny dobór kąta gięcia silnie ogranicza efektywność procesu i zmniejsza dokładność kształtowania.

Y. J. Shi, J. Chen, Y. G. Qi i Z. Q. Yao w artykule zatytułowanym „Processing strategy for laser forming of complicated singly curved shapes” (Materials Science and Technology, 2009, Vol. 25, No 7, str. 925-930) zaproponowali metodę projektowania procesu kształtowania powłok rozwijalnych o tworzących równoległych wykorzystując obszerną bazę danych numerycznych wiążących kąt zgięcia z prędkością przemieszczania wiązki laserowej.

Metoda została zaprezentowana na przykładzie powłoki, której kierownica miała kształt sinusoidalny. Zadana krzywa $y(x)$ opisująca kształt kierownicy jest przez autorów dzielona na segmenty przyjmując stały skok współrzędnej x pomiędzy granicami segmentów. Po rozwinięciu krzywej $y(x)$ wzdłuż linii prostej otrzymuje się pewien rozkład granic segmentów, który przez autorów został przyjęty jako rozkład ścieżek nagrzewania. Przy takim rozkładzie ścieżek, kąty zgięcia które trzeba uzyskać termicznie na poszczególnych ścieżkach, w ogólności są różne. Jest to zjawisko niekorzystne ze względu na dokładność kształtowania. Metoda ta obciążona jest tą samą wadą jak metoda opisana w poprzednim artykule (Y. J. Shi, J. Chen, Y. G. Qi i Z. Q. Yao), w której występuje konieczność dobierania kąta gięcia dla każdej laserowej ścieżki.

Znane są też inne artykuły opisujące metody kształtowania powierzchni rozwijalnych o tworzących równoległych, w których występuje konieczność dobierania kąta gięcia płyt dla każdej ścieżki laserowej dla uzyskania zadanego kształtu płyty lub blachy. Podejmowane w tym celu wysiłki wielu zespołów badawczych świadczą o praktycznych potrzebach realizacji takich zadań.

Sposób kształtowania laserowego płyt lub blach według zadanego kształtu powierzchni rozwijalnej o tworzących równoległych, według wynalazku charakteryzuje się tym, że dla kształtu kierownicy

powierzchni zadanego w postaci funkcji $y = f(x)$ w układzie współrzędnych Oxy przyjętym tak, że dla $x = 0$ zachodzi $f(x) = 0$ oraz $df(x)/dx = 0$, przyjmuje się stałą wartość kąta zgięcia dla każdego przejścia wiązki laserowej i wyznacza się odległości kolejnych ścieżek wiązki od początku przyjętego układu współrzędnych Oxy według zależności:

$$L_n = \int_0^{x_n} \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx$$

gdzie $n = 1, 2, \dots$ jest numerem ścieżki, x_n jest rozwiązaniem równania:

$$f'(x_n) - \operatorname{tg}(\alpha_b),$$

a następnie oddziałuje się wiązką laserową na powierzchnię obrabianego przedmiotu i jednocześnie w sposób ciągły rejestruje się temperaturę zarówno powierzchni pod wiązką laserową, jak też na powierzchni przedmiotu po przeciwnej stronie i na podstawie analizy tej temperatury wyznacza się czas kolejnego przejścia wiązki. Proces kształtowania prowadzi się w zakresie temperatur powyżej temperatury uplastycznienia oraz poniżej temperatury topnienia. Dla przedmiotów ze stali węglowych proces kształtowania laserowego prowadzi się w temperaturze poniżej przemiany eutektoidalnej.

Układ do kształtowania laserowego płyt lub blach według zadanego kształtu powierzchni rozwijalnej o tworzących równoległych, według wynalazku charakteryzuje się tym, że zawiera pirometr mierzący temperaturę przedmiotu obrabianego pod wiązką laserową, drugi pirometr mierzący temperaturę przedmiotu po stronie przeciwnej względem wiązki oraz miernik kąta zgięcia połączone ze sterownikiem procesu. Korzystnie miernikiem kąta zgięcia jest triangulacyjny miernik odległości, a sterownikiem procesu jest komputer PC.

Prezentowany wynalazek pozwala uniknąć wspomnianych niedogodności dobierania kąta gięcia dla każdej laserowej ścieżki, gdyż zakłada, że kąt zgięcia dla każdej laserowej ścieżki ma jednakową wartość, co pozwala stosować jeden zestaw parametrów laserowej obróbki.

Rozwiązanie według wynalazku pozwala na uzyskanie zadanego kształtu płyty lub blachy po jednokrotnej sekwencji przejść wiązki laserowej. Proces kształtowania wymaga przygotowania tylko jednego zestawu parametrów technologicznych, to jest mocy wiązki, jej prędkości i rozmiarów wiązki na powierzchni materiału (średnicy w przypadku wiązki o przekroju kołowym, a szerokości i długości w przypadku wiązki o przekroju prostokątnym), których zastosowanie daje zgięcie o kąt α_b .

Układ według wynalazku pozwala na precyzyjny pomiar kąta gięcia otrzymywanego przy pojedynczym przejściu wiązki laserowej po powierzchni obrabianego materiału. Układ ten służy także do pomiaru i kontroli temperatury początkowej materiału przed każdym przejściem wiązki oraz maksymalnej temperatury powierzchni w miejscu padania wiązki. Przedstawiony układ pomiaru temperatury pozwala spełnić dwa warunki istotne dla zabezpieczenia przed niekorzystnymi zmianami struktury materiału kształtowanego i dla zapewnienia wysokiej powtarzalności procesu kształtowania:

1) aby maksymalna temperatura materiału w procesie nie przekraczała temperatury dopuszczalnej ze względu na zmiany strukturalne, zmiany stanu powierzchni lub inne efekty oddziaływania na materiał,

2) aby podczas kształtowania laserowego powierzchni czasy przerw pomiędzy przejściami wiązki można było tak dobierać, aby zapewnić stałą temperaturę początkową materiału dla chwili początkowej każdego przejścia.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia przykład powierzchni rozwijalnej o tworzących równoległych, fig. 2 - schemat układu do kształtowania laserowego, fig. 3 - wykres przebiegu temperatury na powierzchni przedmiotu pod wiązką laserową, fig. 4 - wykres przebiegu temperatury na powierzchni przedmiotu po przeciwnej stronie niż wiązka laserowa, fig. 5 - wykres przebiegu kąta zgięcia płyty ze stali nierdzewnej, fig. 6 - widok ukształtowanego przedmiotu według kierownicy parabolicznej, fig. 7 - widok tylnej powierzchni ukształtowanego przedmiotu według kierownicy parabolicznej, a fig. 8 - widok ukształtowanego przedmiotu o kształcie zadanym w postaci dwóch połączonych powierzchni walcowych z przeciwnymi krzywiznami.

Dla zadanego kształtu obrabianego przedmiotu przyjmuje się układ współrzędnych Oxy tak, że dla $x = 0$ zachodzi $f(x) = 0$ oraz $df(x)/dx = 0$.

Układ do kształtowania laserowego płyt lub blach według zadanego kształtu powierzchni rozwijalnej o tworzących równoległych, przedstawiony schematycznie na fig. 2, zawiera pirometr PW mierzący temperaturę przedmiotu obrabianego pod wiązką laserową, drugi pirometr PP mierzący temperaturę przedmiotu po stronie przeciwnej względem wiązki oraz miernik kąta zgięcia połączone ze sterownikiem procesu S. Miernikiem kąta zgięcia jest triangulacyjny miernik odległości MO. Sterownikiem procesu S jest komputer PC.

Na figurze 3 przedstawiono przebieg temperatury próbki w plamce laserowej, to jest pod wiązką, podczas serii 13 przejść wiązki przy mocy lasera $P = 700$ W i prędkości skanowania $V = 1$ m/min. Płytką ze stali nierdzewnej posiadała grubość 2 mm i wymiary 50 x 150 mm. Temperatura próbki w plamce wiązki lasera CO_2 była mierzona w sposób ciągły, bezkontaktowo, przy użyciu pirometru PW (fig. 2), którego zakres pomiarowy wynosił 250-1650°C. Pirometr ten był związany z ruchomą wiązką lasera CO_2 i nacelowany w środek plamki laserowej. Pozwoliło to rejestrować maksymalną temperaturę próbki podczas nagrzewania laserowego. Przebieg temperatur pokazuje, że przy użyciu przedstawionego układu można zapewnić spełnianie warunku, aby maksymalna temperatura powierzchni płyty nie osiągała na przykład wartości temperatury topnienia. Dla wystąpienia efektu gięcia maksymalna temperatura materiału w miejscu nagrzewanym wiązką musi być większa od temperatury krytycznej, przy której materiał traci właściwości sprężyste i pod wpływem naprężenia termicznego pojawiają się odkształcenia plastyczne. Dla stali niskowęglowej ta krytyczna temperatura w typowych warunkach usztywnienia obszary ogrzewanego wynosi ok. 600°C. Kontrola i możliwość sterowania maksymalną temperaturą nagrzewania jest niezbędna, gdy konieczne jest uniknięcie niepożądanych przemian fazowych w materiale, np. przemiany martenzytycznej. Przy użyciu przedstawionego układu możliwe jest na przykład zapewnienie, aby maksymalna temperatura stali węglowej nie dochodziła do temperatury przemiany eutektoidalnej i była ograniczona do poziomu na przykład 700°C.

Figura 4 przedstawia wykres przebiegu temperatury na powierzchni przedmiotu po przeciwnej stronie niż wiązka laserowa, w środkowej części płyty, podczas serii przejść wiązki lasera CO_2 ze stałym czasem przerwy między przejściami, wynoszącym 12 sekund.

Zastosowano pirometr oznaczony PP o zakresie pomiarowym 50-400°C, który był związany z kształtowaną płytą i stale wycelowany w jej środek na powierzchni tylnej. Z wykresu widać, że w trakcie serii przejść wiązki laserowej temperatura materiału w chwilach początkowych kolejnych nagrzewañ nie ma wartości stałej, lecz narasta. Dobierając czas przerwy pomiędzy przejściami wiązki nagrzewającej, a więc zapewniając dostateczne schłodzenie swobodne lub wymuszone kształtowanego elementu, możliwe jest spełnienie drugiego warunku, że w serii przejść wiązki temperatura początkowa dla każdego przejścia wiązki laserowej będzie stała.

Na figurze 5 pokazano uzyskane stałe przyrosty kąta zagięcia w czasie serii 13 przejść wiązki laserowej, przy utrzymywaniu stałej temperatury początkowej dla każdego przejścia wiązki poprzez dobór przerw czasowych między przejściami.

Figury 6 i 7 przedstawiają widoki ukształtowanego przedmiotu według kierownicy parabolicznej, a fig. 8 - widok ukształtowanego przedmiotu o kształcie zadanym w postaci dwóch połączonych powierzchni walcowych z przeciwnymi krzywiznami.

P r z y k ł a d 1

Kształtowanie powłok rozwijalnych o tworzących równoległych według zadanej powierzchni parabolicznej.

Dla zadanego kształtu przedmiotu o powierzchni parabolicznej opisanej funkcją kształtu $y = kx^2$, gdzie $k = 1/4$ [1/cm], zostały wyznaczone kolejne ścieżki przejść wiązki laserowej według zależności:

$$L_n = \int_0^{x_n} \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx$$

Po podstawieniu funkcji kształtu $y = kx^2$ do tej zależności otrzymujemy następujący wzór na odległości kolejnych ścieżek od punktu początkowego paraboli $x = 0$, $y = 0$:

$$L_n = \frac{1}{4k} \left(\frac{\text{tg } n\alpha_b}{\cos n\alpha_b} + 1n \frac{1 + \sin n\alpha_b}{\cos n\alpha_b} \right)$$

Po podstawieniu wartości współczynnika $k = 1/4$ paraboli otrzymamy rozkład odległości L_n kolejnych ścieżek od punktu zerowego, wyrażonych w milimetrach:

$$L_n[\text{mm}] = 10 \left(\frac{\text{tg } n\alpha_b}{\cos n\alpha_b} + 1n \frac{1 + \sin n\alpha_b}{\cos n\alpha_b} \right)$$

Kształtowana płytką była wykonana ze stali nierdzewnej o grubości 2 mm i o wymiarach 50 x 150 mm. Aby zapewnić powtarzalną i wysoką absorpcyjność dla promieniowania lasera CO₂ powierzchnia płytki została wstępnie utleniona.

Wiązka laserowa była przemieszczana w poprzek próbki zamocowanej w pozycji pionowej wzdłuż kolejnych ścieżek, których odległości od punktu zerowego $x = 0$, $y = 0$ były zadawane jako kolejne wartości L_n ($n = 1, 2, \dots$). Zastosowano następujące parametry wiązki laserowej: moc $P = 700$ W, prędkość przemieszczania $v = 1$ m/min, wielkość przekroju wiązki na powierzchni materiału wynosiła 10×3 mm. Dla takich parametrów nagrzewania kąt zgięcia próbki przy jednym przejściu wiązki wynosił $\alpha_b = 3^\circ$. Kąt zgięcia próbki był mierzony bezdotykowo przy użyciu laserowego triangulacyjnego miernika przemieszczenia MO. Wartość kąta wyznaczana była z zależności $\alpha_b = \arctg(U/R)$ na podstawie mierzonego przemieszczenia U i odległości R punktu pomiaru przemieszczenia od środka wiązki laserowej (fig. 2).

Maksymalna temperatura mierzona przy pomocy pirometru PP utrzymywana była na poziomie 380°C . Wartość temperatury początkowej, sterowana czasem przerw między przejściami wiązki, wynosiła 350°C .

P r z y k ł a d 2

Kształtowanie powłok rozwijalnych o tworzących równoległych według zadanej powierzchni elipsyjnej i cylindrycznej.

Kształt elipsy zapisany w formie parametrycznej, gdy spełniony jest warunek, że początek układu współrzędnych znajduje się w najniższym punkcie obwodu elipsy, można przedstawić w postaci parametrycznej:

$$x = a \sin t; y = b (1 - \cos t)$$

gdzie: a , b - duża i mała półoś elipsy.

Położenie ścieżek laserowych wyznacza się według zależności:

$$L_n = \int_0^{t_n} \sqrt{[x'(t)]^2 + [y'(t)]^2} dt$$

gdzie t_n jest rozwiązaniem równania $g(t_n) = \text{tg}(n\alpha_b)$, przy założeniu, że przy każdym przejściu wiązki płytką zagina się o ten sam kąt α_b , natomiast $g(t) = \frac{y'(t)}{x'(t)}$.

Po podstawieniu zależności $x = a \sin t$; $y = b (1 - \cos t)$ do równania:

$$L_n = \int_0^{t_n} \sqrt{[x'(t)]^2 + [y'(t)]^2} dt$$

otrzymujemy:

$$L_n = a \int_0^{t_n} \sqrt{1 - \frac{a^2 + b^2}{a^2} \sin^2 t} dt$$

gdzie t_n jest kątem, który znajdziemy z równania $g(t) = \frac{b}{a} \text{tg}(t_n) = \text{tg}(n\alpha_b)$.

Stąd górną granicę całkowania można wyznacza się z zależności: $t_n = \arctg\left(\frac{a}{b} \text{tg}(n\alpha_b)\right)$ i po scałkowaniu otrzymamy zależność rozkładu ścieżek dla ćwiartki elipsy w postaci wyrażonej przez całkę eliptyczną:

$$L_n = aE \left[e, \arctg\left(\frac{a}{b} \text{tg}(n\alpha_b)\right) \right]$$

gdzie: $E(e, t_n)$ - całka eliptyczna niepełna drugiego rodzaju, w której mimośród elipsy:

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

zawiera się w przedziale $0 < e < 1$, kąt t_n spełnia zależności:

$$0 < t_n = \arctg\left(\frac{a}{b} \operatorname{tg}(n\alpha_b)\right) < \frac{\pi}{2},$$

α_b jest wyrażonym w radianach kątem zagięcia płyty przy jednym przejściu wiązki laserowej.

W szczególnym przypadku, gdy $a = b = r$, mimośród $e = 0$, a rozkład ścieżek będzie jednorodny, o stałym kroku L : $L = nr \alpha_b$ [rad], gdzie r - promień powierzchni walcowej.

W ten sposób można projektować rozkłady ścieżek dla zadanej powłoki walcowej o promieniu r lub eliptycznej, przy czym promień walca lub półosie elipsy dla powierzchni zewnętrznej będą większe o grubość płyty.

Dla kształtu o profilu zadanym funkcją dowolną lub w postaci zbioru punktów został opracowany program komputerowy, dzięki któremu można wyznaczać rozkłady ścieżek laserowych dla kształtowania różnych powłok o powierzchniach rozwijalnych z tworzącymi równoległymi. Zadany kształt profilu można aproksymować szeregiem potęgowym odpowiedniego stopnia i następnie, przy zadanej wartości kąta gięcia dla jednego przejścia, wyznaczać położenia ścieżek wiązki laserowej. Ścieżki te spełniają rolę tworzących równoległych powierzchni rozwijalnej.

Rozwiązanie według wynalazku pozwala kształtować powłoki opisane poprzez funkcje kształtu kierownicy jako krzywe walcowe, eliptyczne, hiperboliczne, jak i wszelkiego typu spirale oraz dowolne gładkie krzywe zadane szeregiem potęgowym.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób kształtowania laserowego płyt lub blach według zadanego kształtu powierzchni rozwijalnej o tworzących równoległych, **znamienny tym**, że dla kształtu kierownicy powierzchni zadanego w postaci funkcji $y = f(x)$ w układzie współrzędnych Oxy przyjętym tak, że dla $x = 0$ zachodzi $f(x) = 0$ oraz $df(x)/dx = 0$, przyjmuje się stałą wartość kąta zgięcia (α_b) dla każdego przejścia wiązki laserowej i wyznacza się odległości kolejnych ścieżek wiązki od początku przyjętego układu współrzędnych Oxy według zależności:

$$L_n = \int_0^{x_n} \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx$$

gdzie $n = 1, 2, \dots$ jest numerem ścieżki, x_n jest rozwiązaniem równania: $f(x_n) = \operatorname{tg}(n\alpha_b)$, a następnie oddziałuje się wiązką laserową na powierzchnię obrabianego przedmiotu i jednocześnie w sposób ciągły rejestruje się temperaturę zarówno powierzchni pod wiązką laserową, jak też powierzchni przedmiotu po przeciwnej stronie i na podstawie analizy tej temperatury wyznacza się czas kolejnego przejścia wiązki.

2. Sposób, według zastrz. 1, **znamienny tym**, że proces kształtowania prowadzi się w zakresie temperatur powyżej temperatury uplastycznienia oraz poniżej temperatury topnienia.

3. Sposób, według zastrz. 2, **znamienny tym**, że dla przedmiotów ze stali węglowych proces kształtowania laserowego prowadzi się w temperaturze poniżej przemiany eutektoidalnej.

4. Układ do kształtowania laserowego płyt lub blach według zadanego kształtu powierzchni rozwijalnej o tworzących równoległych, **znamienny tym**, że zawiera pirometr (PW) mierzący temperaturę przedmiotu obrabianego pod wiązką laserową, drugi pirometr (PP) mierzący temperaturę przedmiotu po stronie przeciwnej względem wiązki oraz miernik kąta zgięcia, połączone ze sterownikiem procesu (S).

5. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że miernikiem kąta zgięcia jest triangulacyjny miernik odległości (MO).

6. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że sterownikiem procesu (S) jest komputer PC.

Rysunki

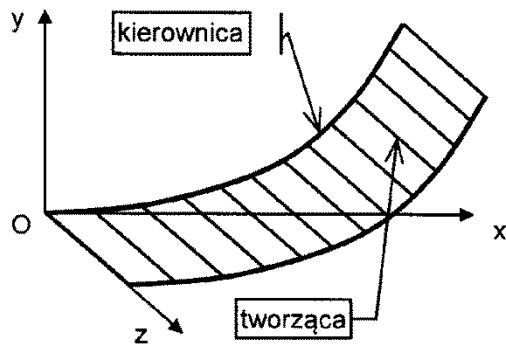


Fig. 1

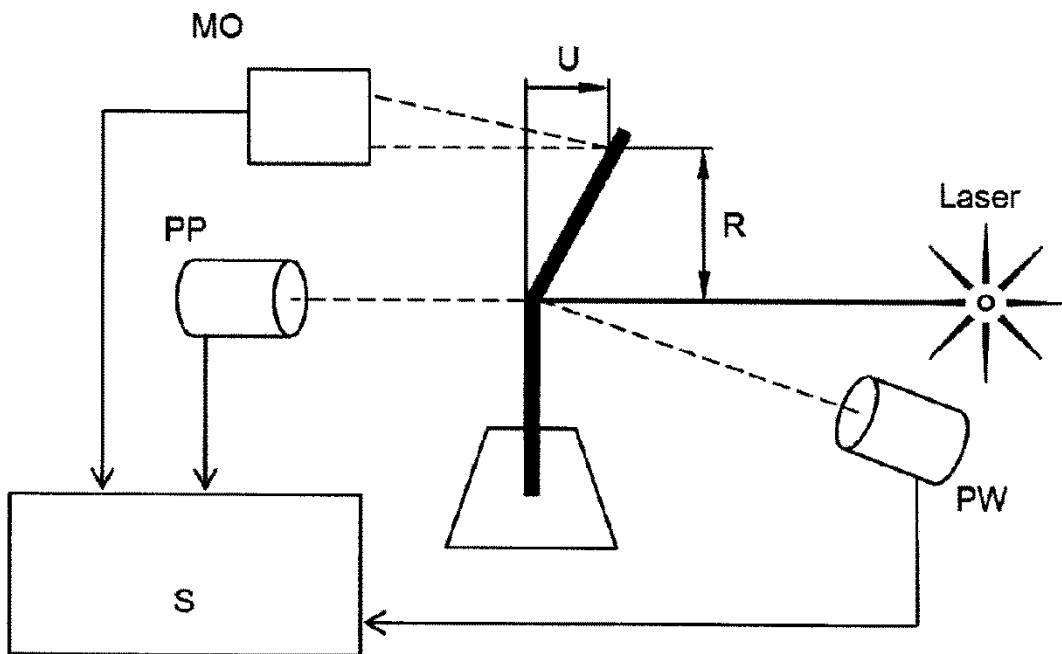


Fig. 2

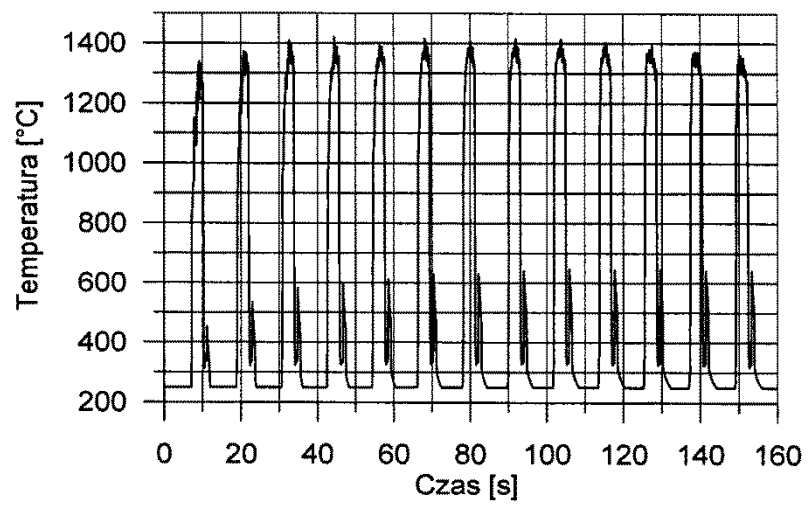


Fig. 3

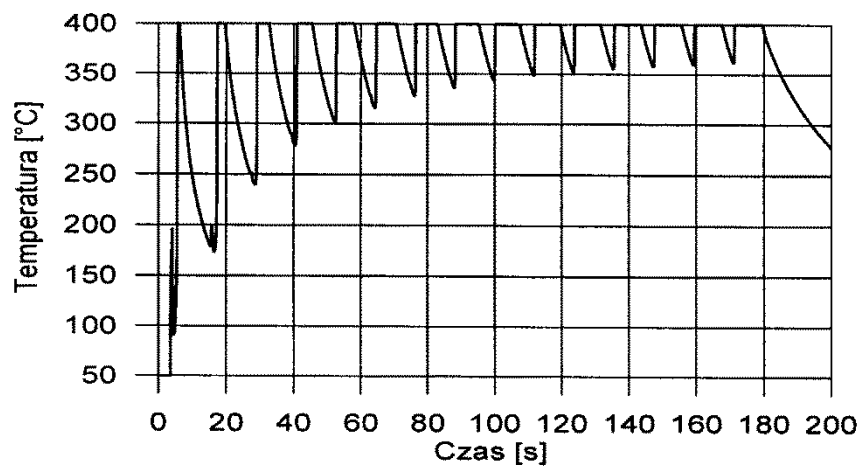


Fig. 4

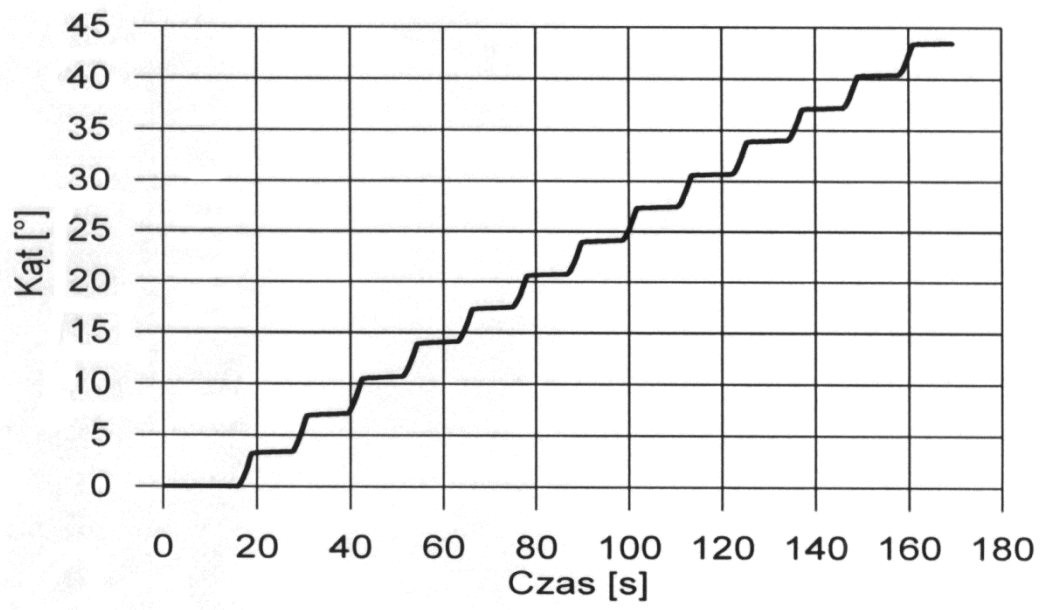


Fig. 5

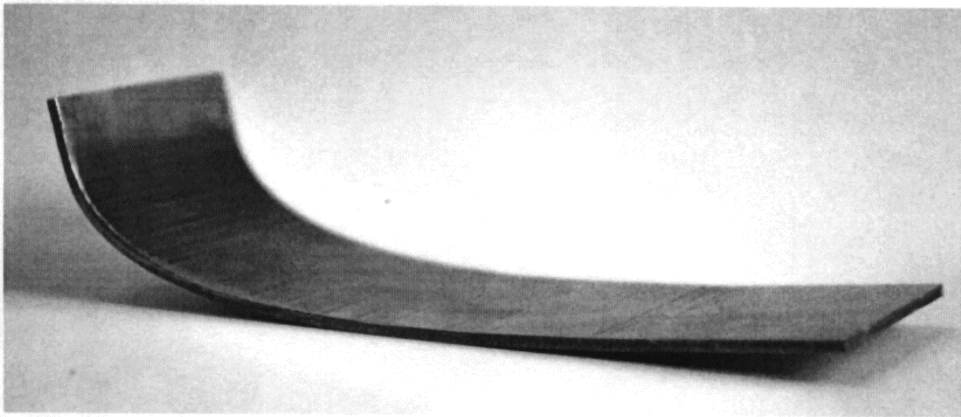


Fig. 6

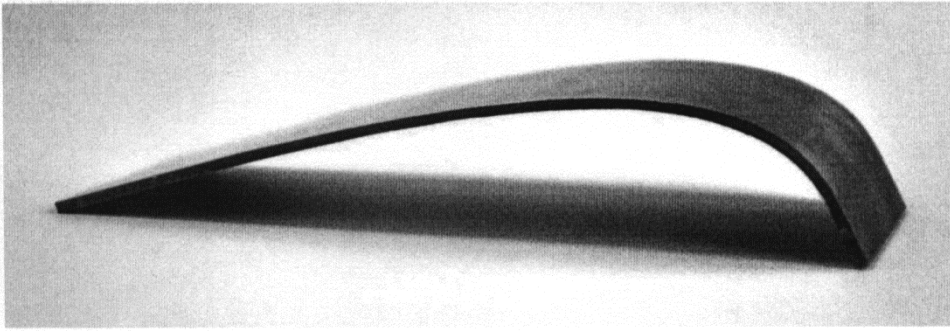


Fig. 7

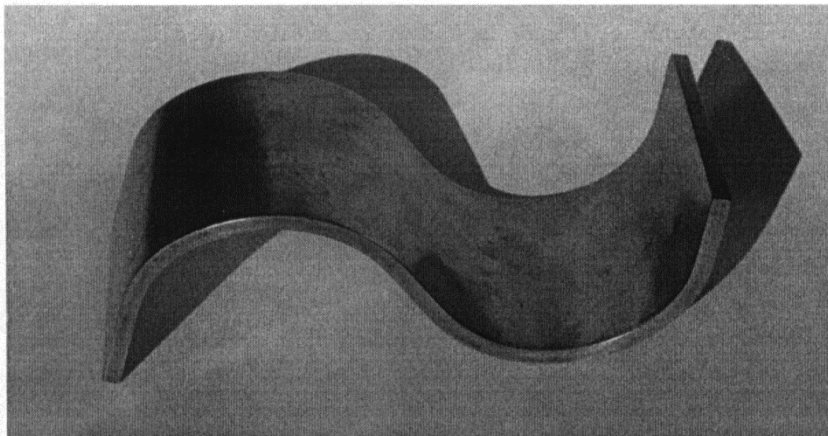


Fig. 8