

Badanie prototypu indukcyjnego urządzenia do podgrzewania ferromagnetycznego narzędzia do modelowania termicznego woskowych form stomatologicznych

Streszczenie. W pracy przedstawiono badania prototypu urządzenia do podgrzewania ferromagnetycznego narzędzia do kształtowania woskowych form dla protetyki stomatologicznej. Do wykonywania form odlewów w protetyce stomatologicznej stosuje się powszechnie od końca XIX wieku metodę traconego wosku. Po skonstruowaniu dwustanowego podgrzewacza indukcyjnego, przeprowadzono jego gruntowne badania, w celu określenia parametrów elektrycznych oraz termicznego działania na narzędzie. Sprawdzono również niezawodność działania urządzenia przy narzędziach wykonanych z różnych materiałów ferromagnetycznych, otrzymując zadowalające rezultaty.

Abstract. The paper presents a prototype study of a device for heating a ferromagnetic tool for forming wax molds for dental prosthetics. For the implementation of molds in dental prosthetics, the method of lost wax has been widely used since the end of the 19th century. After constructing a two-state induction heater, its thorough tests were carried out to determine the electrical parameters and thermal effect on the tool. The reliability of the device's operation with tools made of various ferromagnetic materials was also checked, obtaining satisfactory results. (Investigation of a prototype of an induction device for heating a ferromagnetic tool for thermal modeling of wax dental molds).

Słowa kluczowe: podgrzewacz indukcyjny, metoda wosku traconego, narzędzia ferromagnetyczne, protetyka stomatologiczna.

Keywords: induction heater, lost wax method, ferromagnetic tools, dental prosthetics.

Wstęp

Protetyka jest dziedziną wiedzy z pogranicza medycyny oraz techniki, zajmująca się uzupełnianiem ubytków tkankowych, narządowych lub czynnościowych przy pomocy sztucznego materiału zastępczego czyli protez. Szczególne znaczenie znalazła w szeroko pojętej dentyście, gdzie wykonuje się w różny sposób protezy zębowe. Wśród wielu obecnie stosowanych metod szczególne znaczenie znalazła metoda „wytapianych modeli” czyli stara „metoda traconego wosku” (zwana również „cire perdue” lub „na wosk tracony”). Proces odlewania tą metodą pozwala uzyskiwać produkty o nietypowych kształtach ze stosunkowo dużą precyzją. Sama metoda odlewania polega na precyzyjnym wykonaniu przestrzennego woskowego wzorca odlewane przedmiotu. Odpowiednio ukształtowany wzorec zostaje umieszczony w specjalnym materiale ogniotrwałym (masie formierskiej). Następnie, po stwardnieniu masy formierskiej, w dowolny sposób usuwa się wosk (np. wypłukując gorącą wodą), wosk może zostać użyty ponownie. Proces zalewania uzyskanej formy odlewniczej materiałem (np. metal, materiał syntetyczny) można prowadzić różnymi metodami: w sposób grawitacyjny, podwyższonego ciśnienia lub próżni. Ponieważ model formowany jest w jednym kawałku i tym samym dokładnie odwzorowuje postać odlewane przedmiotu w całości, możliwe staje się wytwarzanie odlewów o bardzo skomplikowanych kształtach. Po rozbiciu formy otrzymany odlew zazwyczaj poddaje się oczyszczeniu i szlifowaniu [3].

Historia sztucznych zębów [1]

Już w starożytnym Egipcie piętnaście wieków przed naszą erą starożytni dentyści wykonywali zastępniki brakującego uzębienia które mocowali za pomocą złotych drutów do istniejących zębów. Zastępniki wykonywano z ludzkich zębów, przypuszcza się, że były to zęby niewolników. Na ziemi włoskiej w VII wieku przed naszą erą, Etruskowie mocowali w miejsce braków na złote paski mocowane do innych zębów odpowiednio oszlifowane zęby cieląt. Implanty te były bardzo drogie a ich posiadania świadczyło o zamożności właściciela. W IV wieku przed naszą erą grecki lekarz Hipokrates radził, aby w miejsce brakujących

zębów wstawiać nowe wykonane z rogów zwierzęcych, kości słoniowej lub zębów rekina a do istniejących zębów mocować je metalowymi nitkami. W przedkolumbijskiej Ameryce, niektóre plemiona używały protez zębowych wykonanych z odpowiednio obrobionych kłów wilczych. Wstawiane były w miejsce braków, chyba ze względów estetycznych, bo do gryzienia się nie nadawały. Majowie w VII wieku naszej ery do wyrobu zastępników zębów zaczęli stosować odpowiednio obrobione kamienie, muszle a także metal, które częściowo wrastały w szczękę. W Europie aż do początków XVIII wieku stosowano metody podobne do tych zaproponowanych przez Hipokratesa. W 1689 roku pojawił się w Europie opis mocowania zębów zwierzęcych (uzyskanych z obróbki zęba hipopotama) ćwiekiem do korzenia. Za początek współczesnej protetyki przyjmuje się jednak rok 1755, kiedy nadworny dentyista króla Fryderyka Wielkiego, Philips Pfaff (ur.1713 r.; zm.1766 r.) opublikował „Rozprawę o zębach ciała ludzkiego i ich schorzeniach” W pracy tej opisano wykonanie gipsowych modeli szczęk na podstawie woskowych odcisków. W tym czasie w Niemczech artyści rzeźbiarze wykonywali protezy zębowe z drewna na podstawie sporządzonych przez lekarza zwymiarowanych rysunków. W Anglii w 1766 roku rozpoczęto produkcję protez zębowych z porcelany. W okresie poprzedzającym rewolucję francuska znany w Paryżu dentyista Nicolas Dubois de Chemant (ur.1753 r.; zm.1824 r.) wytwarzał sztuczne szczęki całkowicie wykonane z porcelany. W 1791 roku opatentował je w Anglii uzyskując wyłączność na ich produkcję na 14 lat. W 1797 roku opublikował rozprawę o implantach dentyistycznych, w której opisał wiele mostków i protez. Seryjną produkcję porcelanowych protez rozpoczęto w 1825 roku w Filadelfii, a popyt na nie wzrastał w Stanach Zjednoczonych oraz w Europie. Pięciokrotny wzrost spożycia cukru w latach 1850-1880 spowodował gwałtowny wzrost próchnicy zębów. Niedługo po 1880 roku zaczęto wykonywać imitację korzenia zębowego, mimo to zęby nie trzymały się zbyt mocno. W 1934 roku bułgarski chirurg Hans Ablow przytwierdził na stałe ząb do szczęki za pomocą śruby wykonanej ze stopu wipli (stop niklu i żelaza). Od 1952 roku śruby wykonane z wipli zaczęto zastępować śrubami tytanowymi. Tytan po pewnym czasie wchodzi w fuzję z

kością szczęki i jest niemożliwy do usunięcia. W ten sposób mocuje się dziś do szczęki sztuczne zęby, często wykonane metodą traconego wosku.

Metoda traconego wosku

Odewanie metodą traconego wosku jest procesem znanym od ponad 5000 lat temu i służył on w Egipcie, Chinach oraz na Półwyspie Indochińskim do wyrobu biżuterii i figurek. Na terenie Europy metoda ta rozwinęła się w Grecji, w epoce brązu. Na ziemiach polskich ta technika odlewnicza stosowana była do wyrobu narzędzi z brązu około 3000-4000 lat temu. W średniowieczu, w którym wystąpiło duże zapotrzebowanie na wyroby kształtowane nastąpił gwałtowny rozwój tej metody. W okresie nowożytnym, ta technika odlewania była stosowana nie tylko w Europie ale również w innych częściach świata. Woski zaczęto stosować w stomatologii na początku osiemnastego wieku, początkowo używano wosku pszczelego w celu pobrania wycisków, następnie zaczęto stosować różne rodzaje mas woskowych dostosowanych do konkretnych celów. Do produkcji precyzyjnych odlewów użytkowych (implanty i narzędzia dentystyczne), proces ten stosowano od końca XIX wieku [4]. W trakcie drugiej wojny światowej oraz po jej zakończeniu uruchomiono na świecie wiele przemysłowych odlewni wyrobów precyzyjnych, pracujących tą metodą, wytwarzając gotowe przedmioty oraz części, których, ze względu na bardzo skomplikowane kształty nie można otrzymać inną metodą. Dzisiaj tą metodą produkuje się odlewy dla przemysłu lotniczego, zbrojeniowego, maszynowego, motoryzacyjnego, elektronicznego, optycznego i na potrzeby medycyny. W dalszym ciągu metodą traconego wosku wykonuje się biżuterię i wyroby artystyczne. Obecnie, przy produkcji masowej często sięga się po zastosowanie drukarek 3D do wytwarzania modeli woskowych w procesie odlewania tą metodą [4].

Przygotowanie indywidualnych woskowych form odlewniczych

Wosk jest miękkim materiałem, w którym łatwo, posiadając niezbędne narzędzia, wyrzeźbić najdrobniejsze nawet szczegóły a jednocześnie jest wystarczająco spójnym, żeby w normalnych warunkach, nie ulegać odkształceniom. Wykazuje on dość znaczną rozszerzalność cieplną oraz sprężystość, co nie zawsze jest korzystne w czasie modelowania. Wosk odlewniczy otrzymywany jest w procesie komponowania stearyny, parafiny oraz odpowiednich wosków syntetycznych, kopolimerów oraz barwnika i jest zabarwiany na ciemne kolory. Charakteryzują się występowaniem okresu przejściowego pomiędzy stanem stałym a ciekłym, w stanie tym jest bardzo plastyczny i pozwala się łatwo formować. W okresie przejściowym można rozróżnia się trzy fazy: zmniejszenie twardości i łamliwości, wosk staje się plastyczny, wygina się i pozwala właściwie formować, wosk zmienia kolor co sygnalizuje zmniejszenie jego plastyczności, wosk zaczyna się topić, zwykle przy temperaturze niższej niż 80°C. Woski odlewnicze, które używane są do modelowania koron zębów lub płyt protez mają dość szeroką rozpiętość okresu plastyczności i zwykle do kształtowania modelu są lekko podgrzewane. Do kształtowania powierzchni wosku używa się odpowiedni ukształtowanych końcówek narzędzi o różnych kształtach pokazanych na rysunku 1. Plastyki woskowego modelu dokonuje się odpowiednio podgrzaniem narzędziem. Po ostatecznym zakończeniu modelowania, model musi otrzymać dodane standardowe elementy z wosku, które utworzą kanał wlewowy i ewentualne kanaliki odpowietrzające.



Rys.1. Widok typowych narzędzi ferromagnetycznych do kształtowania wosku (zdjęcie reklamowe jednej z firm produkujących narzędzia tego typu)

Wykonywanie odlewów uzupełnień protetycznych lub części protez dentystycznych (wkładów, koron, mostów, szkieletów protez ruchomych) metodą traconego wosku wymaga dopracowania kształtu modelu woskowego wytworzonego przemysłowo do rzeczywistych wymiarów pacjenta. Precyzyjne wykonanie modelu w wosku wymaga czasem talentu rzeźbiarskiego, precyzji i cierpliwości. Jeżeli odlewy wykonywane są z metalu (szlachetnego) wówczas osoba wykonująca model musi wziąć pod uwagę to, że metal po ostudzeniu podlega kurczeniu. Gdy odlew się nie uda, straconą bezpowrotnie pracę człowieka włożoną w dopracowanie modelu trzeba powtórzyć.

Indukcyjne urządzenie do podgrzewania ferromagnetycznego narzędzia do modelowania termicznego wosku

Podgrzewanie narzędzi do modelowania termicznego wosku najczęściej realizowane dotychczas było w płomieniu lampy naftowej, na maszynie spirytusowej lub w płomieniu gazowym. Wadą takiego podgrzewania jest to, że na narzędziu mogą gromadzić się osady będące wynikiem palenia się materiału. Osady te, w czasie modelowania mogły zostać przeniesione na wosk. Elektryczne urządzenia służące do podgrzewania narzędzi do modelowania termicznego wosku pojawiły się wraz z powszechnym zastosowaniem prądu elektrycznego. Podgrzewano spiralą wykonaną z drutu oporowego płytkę grzejną do której dotykowo lub zbliżeniowo przykładano nagrzewane narzędzie.

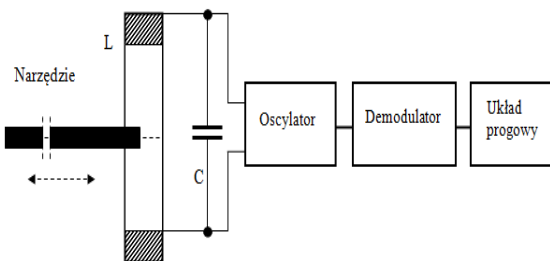
Urządzenia indukcyjne stosowane są od wielu lat w różnych dziedzinach działalności człowieka [2]. Zbudowane urządzenie zasilane jest z sieci jednofazowej i w czasie pracy z narzędziem ferromagnetycznym pobiera moc rzędu $P=130$ [W] przy prądzie sieciowym równym $I=0,8$ [A]. Współczynnik mocy urządzenia podczas pracy wynosi $\cos\varphi=0,69$. Niski współczynnik mocy spowodowany jest występowaniem wyższych harmonicznych pochodzących od impulsowego prądu doładowywania kondensatora znajdującego się za prostownikiem

Działanie urządzenia może być regulowane zmienno-czasowo (czasem wypełnienia impulsu w trakcie cyklu czterosekundowej pracy. Nominalnie czas nagrzewania

wynosi 3[s] a czas przerwy 1[s]. Urządzenie uruchamiane jest poprzez wsunięcie w cewkę wzbudnika końcówki medycznego narzędzia ferromagnetycznego, powodując załączenie przełącznika sterującego. Styki zwierne przełącznika powodują załączenie napięcia zasilania dla układu scalonego typu 555 a jednocześnie styki rozwiernie poprzez wyjście przełącznika astabilnego powodują blokowanie i odblokowanie tranzystora T1 w układzie generatora samowzbudnego powodując generację przebiegów sinusoidalnych o częstotliwości równej 43,1 [KHz] w założonych przedziałach czasowych.

Jako czujnik indukcyjny zostały wykorzystane własności układu scalonego typu TCA505BG firmy Siemens, który jako czujnik indukcyjny jest wykorzystywany w różnego typu urządzeniach.

W normalnych warunkach czujnik indukcyjny reaguje na trzpień ferromagnetyczny zbliżający się do rezonansowej cewki indukcyjnej powodując wyłączenie urządzenia, poprzez odstrojenie się układu rezonansowego. Na rysunku 2 przedstawiono zasadę działania czujnika generacyjnego działającego na zasadzie odstrojenia od częstotliwości rezonansowej



Rys.2. Schemat blokowy działania czujnika działającego na zasadzie odstrojenia od częstotliwości rezonansowej.

Po wsunięciu elementu ferromagnetycznego do otworu następuje zmiana indukcyjności cewki powodując odstrojenie od częstotliwości rezonansowej i zadziałanie układu załączającego generator samowzbudny poprzez odłączenie wyłącznika „W”. Dodatkowo na układzie scalonym 555 został opracowany układ czasowy, który działa w cyklu czterosekundowym. Sygnalizacja czasu zadziałania i przerwy czasowej sygnalizowane są odpowiednimi diodami typu LED. Zielony LED sygnalizuje stan pracy a czerwony LED czas przerwy. Istnieje możliwość regulacji tych czasów.

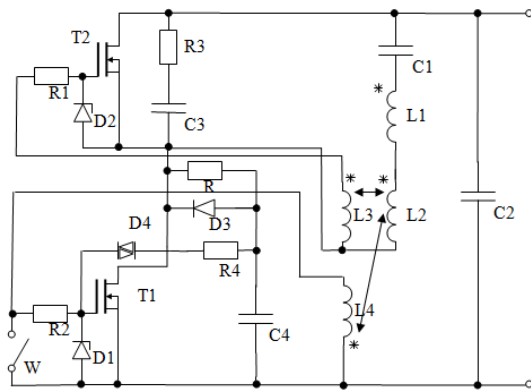
Po wyjęciu rozgrzanego elementu ferromagnetycznego indukcyjne urządzenie przechodzi w stan gotowości. Urządzenie pracuje do momentu dojścia temperatury narzędzia do punktu „Curie”. Powyżej punktu „Curie” urządzenie indukcyjne przechodzi w stan gotowości, a generator zostaje wyłączony.

Schemat elektryczny zaproponowanego generatora samowzbudnego testowanym urządzeniu został przedstawiony na rysunku 3.

W samowzbudnym generatorze wykorzystano 2 tranzystory typu IRF840 tworzące układ przełączający obwód rezonansowy z trójzwojowym transformatorem generującym impulsy wyzwalające układy bramkowe tych tranzystorów. Wyłącznik „W” realizuje funkcję czujnika indukcyjnego oraz działającego w sposób ciągły układu wyłączania i załączania z regulowanym czasem przerw.

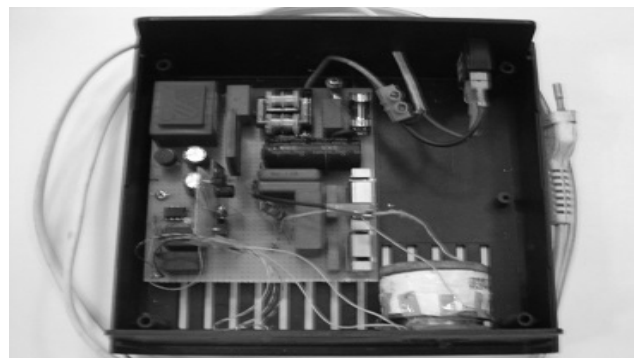
W układzie czasowym zastosowany został układ typu 555 pracujący jako przerzutnik astabilny z częstotliwością roboczą 0,25 [Hz] tj. z okresem czasu T równym 4 [s].

Dodatkowo zmodyfikowano układ w celu zapewnienia współczynnika wypełnienia większego od 0,5.



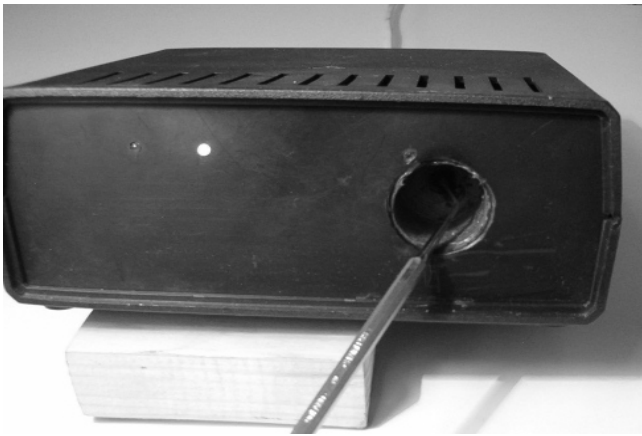
Rys.3. Schemat elektryczny zastosowanego generatora samowzbudnego w testowanym urządzeniu.

Generator samowzbudny zasilany jest bezpośrednio napięciem sieciowym 230 [V]. Po wyprostowaniu napięcia sieciowego za pomocą układu prostowniczego w układzie mostka Graetza oraz wygładzeniu tętnień na kondensatorze elektrolitycznym o pojemności 100 [μF] i napięciu znamionowym 450 [V] z którego zasilany jest bezpośrednio układ generatora samowzbudnego. Głównym obwodem rezonansowym generatora jest szeregowe połączenie elementów C1 i L1. Dodatkowo w tym szeregowym obwodzie rezonansowym umieszczono transformator na rdzeniu ferrytowym z trzema uzwojeniami o tej samej liczbie zwojów równej 4. Ten trójzwojowy transformator służy do odpowiedniego w czasieysterowania tranzystorów T1 i T2 typu IRF840. Tranzystory te przełączane naprzemiennie generują przebieg sinusoidalny o częstotliwości około 43 [KHz]. Część elektroniczna urządzenia została umieszczona w typowej skrzynce plastikowej o wymiarach 170[mm]x170[mm]x75[mm], w której wykonany został otwór o średnicy ok. 40 [mm]. Otwór ten pozwała w wsunięciu ferromagnetycznego narzędzia przygotowanego do podgrzania. Widok wnętrza prototypu urządzenia pokazano na rysunku 4.



Rys.4. Widok wnętrza prototypu urządzenia.

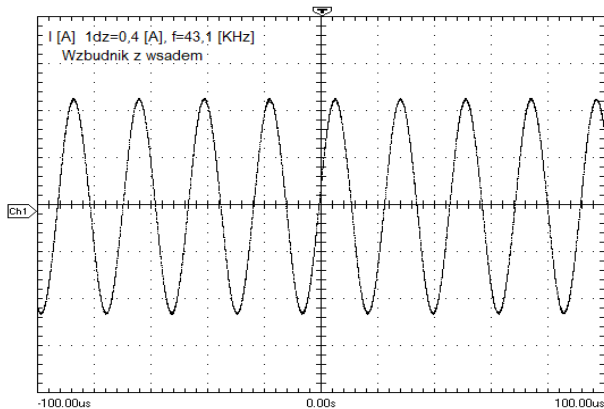
Otwór został wyłożony silikonem odpornym na wysoką temperaturę, co zapobiega odkształceniu plastikowej obudowy. Ferromagnetyczne narzędzie wsuwane jest na ok. 35 [mm] w głąb otworu a nagrzewana jest sama jego końcówka (rys.5). Wraz z liczbą cykli, w czasie których narzędzie znajduje się w otworze rośnie temperatura podgrzewanej końcówki narzędzia a wykonanie narzędzia nie powoduje wzrostu temperatury części uchwytowej.



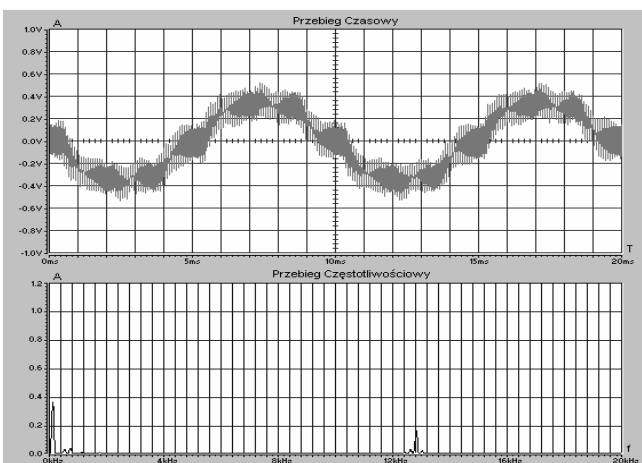
Rys.5. Narzędzie ferromagnetyczne umieszczone w otworze prototypu urządzenia. Widoczne wyłożenie otworu materiałem silikonowym.

Zbyt długie przetrzymanie narzędzia w urządzeniu powoduje rozgrzanie jego końcówki do czerwoności co może spowodować zniszczenie narzędzia.

Do pomiarów przebiegów prądu zastosowano cęgi (kleszcze) prądowe typu HZ56 firmy HAMEG. Przebieg prądu wzбудnika, pokazany na rysunku 6 zarejestrowano za pomocą przystawki rejestrującej typu SDS200 (rys. 5). Natomiast wykres przebiegu prądu sieciowego w funkcji czasu wraz z rozkładem na harmoniczne zarejestrowano przystawką oscyloskopową typu NOC2K firmy MKEiA (rys. 7).



Rys.6. Przebieg prądu wzбудnika z wsadem ferromagnetycznym.



Rys.7. Wykres przebiegu prądu sieciowego w funkcji czasu wraz z rozkładem na harmoniczne. Skalowanie 100 [mV] odpowiada 1[A].



Rys.8. Rozgrzana do czerwoności końcówka pilnika do żelaza umieszczona w otworze prototypowego urządzenia indukcyjnego.

Wnioski

Urządzenie zostało sprawdzone praktycznie i jego działanie jest niezawodnie dla różnego rodzaju ferromagnetycznych narzędzi stomatologicznych. Urządzenie jest tanie w wykonaniu i w zasadzie bezobsługowe. Przy prawidłowej pracy jest również bezpieczne dla użytkownika. Do podstawowych zalet urządzenia należy: oszczędność energii elektrycznej (pracuje tylko po włożeniu do otworu grzewczego końcówki narzędzia), możliwość regulacji temperatury podgrzania przez przetrzymanie narzędzi w otworze grzewczym urządzenia przez kilka cykli oraz jego niewielkie gabaryty.

Po zbudowaniu modelu podgrzewacza i po przeprowadzeniu podstawowych badań praktycznych, autorzy doszli do wniosku, że może ono również służyć do szybkiego miejscowego grzania końcówek różnych podłużnych przedmiotów ferromagnetycznych do wysokich temperatur rzędu 800°C. W obecnym rozwiązaniu może być stosowane wszędzie tam gdzie należy podgrzać końcówkę wydłużonego przedmiotu ferromagnetycznego. Autorzy nie widzą również przeciwwskazań aby otwór, w którym przebiega proces grzania miał charakter przelotowy a sam podgrzewany ferromagnetyczny materiał poruszał się w nim wolnym ruchem. Na rysunku 8 pokazano prostokątną końcówkę długiego ferromagnetycznego pilnika do żelaza rozgrzaną do czerwoności po 5 cyklach pracy urządzenia.

Autorzy: dr inż. Aleksander Gąsior, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Katedra Elektrotechniki, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: alekg@el.pcz.czest.pl; dr inż. Zdzisław Posytek, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Katedra Elektrotechniki, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, E-mail: zdzychu@el.pcz.czest.pl; prof. dr hab. inż. Sławomir Kurpaska, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, ul. Balicka 116B, 30-149 Kraków, E-mail: rtkurpas@cyf-kr.edu.pl

LITERATURA

- [1] Duda S.; Z dziejów sztucznej szczęki, Ale Historia, Tygodnik Historyczny, Nr 7(109), Poniedziałek 17 lutego 2014, s. 5.
- [2] Gąsior A., Posytek Z., Drózd T., Prototypowe stanowisko laboratoryjne do badania topliwosci popiołu metodą rurową, *Przegląd Elektrotechniczny*.91 (2015), n.1, 144-147, ISSN 0033-2097
- [3] Hohmann A., Hielscher, W., Lehrbuch der Zahntechnik, Band 1-3 (Anatomie, Kieferorthopädie, Prothetik, Werkstofftechnik), Quintessence Publishing, 2012, s.1308, ISBN 978-3-86867-143-8.
- [4] Syrek H., Zastosowanie drukarek 3D do wytwarzania modeli woskowych w procesie odlewania metodą traconego wosku, *Nafta-Gaz*, LXIX(2013), n. 12, 929-935, ISSN 0867-8871.