

Katarzyna KOCZKODON¹, Dominika GRYGIER²

¹Studenckie Koło Naukowe "Materiałoznawstwo" im. prof. Rudolfa Haimanna, Politechnika Wrocławska

²Wydział Mechaniczny, Katedra Materiałoznawstwa, Spawalnictwa i Wytrzymałości, Politechnika Wrocławska

OCENA POWTARZALNOŚCI CZYSTOŚCI METALURGICZNEJ ŁUKÓW ORTODONTYCZNYCH

Streszczenie: Materiały metaliczne przeznaczone do produkcji aparatów ortodontycznych powinny posiadać następujące cechy: wysokie właściwości mechaniczne i fizykochemiczne, biokompatybilność i jednorodność struktury. Bardzo ważnym aspektem jest również ich stopień zanieczyszczenia wtrąceniami niemetalicznymi. Wyniki badań prezentowanych w pracy wykazały dużą różnorodność w zakresie czystości metalurgicznej materiału badanych drutów, mogącej wskazywać, iż w analizowanej partii łuków znajdują się produkty pochodzące z różnych wytopów, znacząco różniące się jakością wykonania.

Słowa kluczowe: biomateriał, łuk ortodontyczny, wtrącenia niemetaliczne

1. WSTĘP

Ortodoncja, stanowi jedną z dziedzin stomatologii, zajmującą się rozpoznaniem, profilaktyką oraz korektą wad zgryzu [1, 2, 3]. Leczenie ortodontyczne ma na celu przede wszystkim korektę wyglądu uzębienia, rysów twarzy, ale również przywrócenie tych czynności, które przez nieprawidłowe uzębienie były źle wykonywane, np.: żucie pokarmu lub poprawna wymowa.

Ortodontyczne przemieszczenie zęba wynika przede wszystkim z zastosowania przyłożenia siły do zębów [2]. Siły wytwarzane przez aparaty ortodontyczne są dobierane i aktywowane przez lekarza ortodontę. Zęby, a także podpierające je struktury reagują na wywierana siłę poprzez różne reakcje biologiczne i prowadzą do przesunięcia zębów w podtrzymującej kości. Właściwe zastosowanie zasad biomechaniki prowadzi do wzrostu wydajności leczenia poprzez poprawę planowania i sprawowania opieki ortodontycznej.

Jedną z popularnych metod leczenia wad zgryzu jest ortodontyczny aparat stały. Głównymi elementami aparatu są druty, nazywane łukami oraz elementy mocujące [3, 4]. Do elementów mocujących zalicza się pierścienie, ligatury oraz różne typy zamków, mocowanych bezpośrednio do powierzchni zębów. Jednakże najważniejszym elementem aparatu jest łuk. Rolą łuku ortodontycznego w procesie leczenia jest działanie zarówno jako sprężyna jak i jako przewodnik. Siła, jaka jest wymagana w procesie odchylenia drutu do szczeliny zamka, powoduje wykonanie pewnej pracy, nazywanej energią aktywacji powodującą przesunięcie zęba [3, 5]. Druty stosowane na łuki ortodontyczne mają wiele zastosowań w procesie leczenia ortodontycznego. W połączeniu z zamkiem przymocowanym do zęba, mają przesuwać

i wyrównywać uzębienie wzdłuż zdanych trajektorii. Druty o większych przekrojach służą jako retainery, które mają zapobiegać powrotowi zębów do pierwotnego rozmieszczenia w łuku [4].

Materiałami powszechnie stosowanymi na druty ortodontyczne są: austenityczna stal kwasoodporna gatunku AISI 302 i AISI 304, stopy niklowo tytanowe nazywane Nitinołem, beta-tytan i stopy kobaltowo chromowe [5, 6, 7]. Wymienione materiały metaliczne stanowią generalnie największą grupę biomateriałów, które mają zastosowanie w stomatologii i ortodoncji. Do najważniejszych właściwości tej grupy materiałów zalicza się minimalne reakcje uwalniania jonów metali w organizmie człowieka oraz utrzymywanie wysokich właściwości wytrzymałościowych podczas eksploatacji. Materiały te spełniają również warunek biokompatybilności w tkankach i płynach układu stomatognatycznego, posiadają wymaganą wysoką odporność korozyjną, trwałe cechy estetyczne oraz określone właściwości organoleptyczne [5, 8, 9].

Bardzo ważnym aspektem dotyczącym biomateriałów metalicznych stosowanych do produkcji łuków ortodontycznych jest ich stopień zanieczyszczenia wtrąceniami niemetalicznymi, pozostałymi po procesach metalurgicznych. Rodzaj wtrąceń, ich kształt, ilość oraz sposób rozmieszczenia mogą mieć olbrzymi wpływ na anizotropię własności mechanicznych materiału [8, 10]. Własności mechaniczne drutów ortodontycznych mają ogromne znaczenie, ponieważ są głównym czynnikiem stanowiącym o skuteczności leczenia [2].

2. CEL I PRZEDMIOT BADAŃ

Celem badań prezentowanych w pracy była ocena, jakościowa i ilościowa, czystości metalurgicznej materiału stosowanego do produkcji łuków ortodontycznych. Przedmiotem badań było 9 sztuk (jedno opakowanie) niklowo-tytanowych, krawężnych łuków ortodontycznych o rozmiarze 0,016”x0,022”. Łuki pochodziły od jednego z kluczowych europejskich producentów sprzętu i akcesoriów ortodontycznych.

Do oceny czystości metalurgicznej materiału badanych łuków ortodontycznych zastosowano mikroskop świetlny OPTA-TECH. Obserwacje dokonano w stanie nietrawionym przy powiększeniach 100x ÷ 500x. Rejestracja obrazów wykonana została sprzężoną z mikroskopem kamerą cyfrową Visitron Systems z wykorzystaniem oprogramowania Spot Advanced i NIS Elements BR. Zgłady metalograficzne kolejnych próbek przygotowano w kierunku wzdłużnym do kierunku przeróbki plastycznej, z wykorzystaniem procesu szlifowania i polerowania mechanicznego.

Ocena jakościowa stopnia zanieczyszczenia materiału łuków wtrąceniami niemetalicznymi przeprowadzona została w warunkach zgodnych z normą ISO 4967:2013. Do oceny ilościowej zastosowano popularne metody metalografii ilościowe: metodę punktową oraz Jeffries’a.

Metoda punktowa polega na określeniu udziału faz lub składnika struktury w stopie pod względem objętościowym bazując na teorii prawdopodobieństwa. Eksperymentalnie udowodniono, że względna liczba punktów spośród zbioru punktów losowo rozrzuconych na mikrofotografii, jaka przypadła na określona fazę lub wydzielenie, jest różna od objętości względnej tej fazy w badanym stopie.

$$p_{\alpha} = \frac{n_{\alpha}}{n} \quad (2.1)$$

gdzie:

n - całkowita liczba punktów,

n_{α} -liczba punktów przypadająca na badaną fazę lub wydzielenie.

Błąd pomiaru (średnie odchylenie) $\delta_{p\alpha}$ określa zależność:

$$\delta_{p\alpha} = \left[\frac{p_{\alpha}(1-p_{\alpha})}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

Metoda Jeffries'a pozwala określić średnią liczbę ziaren lub wydzielen na 1mm^2 powierzchni. Na wykonaną fotografię mikrostruktury należy nanieść okrąg o średnicy $79,8\text{ mm}$ i powierzchni $A = 0,5\text{mm}^2$. Następnie oblicza się liczbę ziaren lub wydzielen leżących całkowicie wewnątrz okręgu N_W oraz liczbę ziaren lub wydzielen przeciętych przez okrąg N_i , po czym oblicza się całkowitą liczbę ziaren lub wydzielen N_T na powierzchni okręgu A :

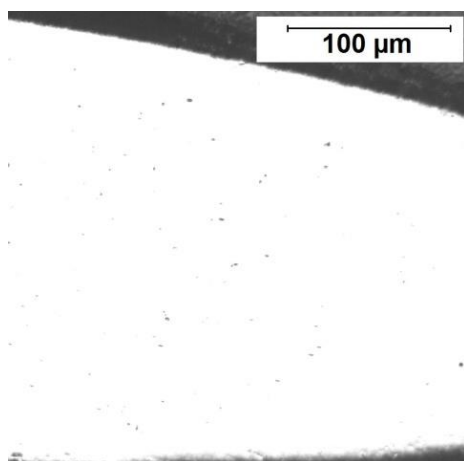
$$N_T = N_W + kN_i \quad (2.3)$$

gdzie:

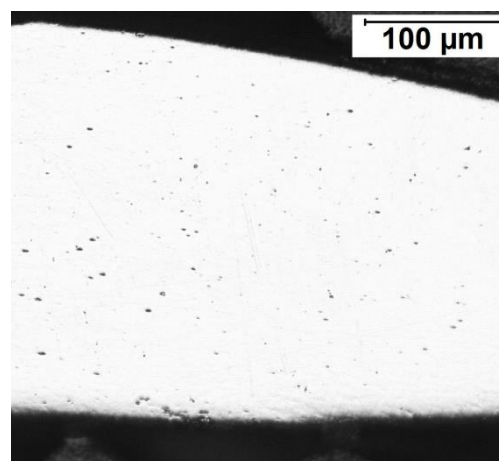
k – zwykle przyjmuje się równe $0,5$.

3. WYNIKI BADAŃ

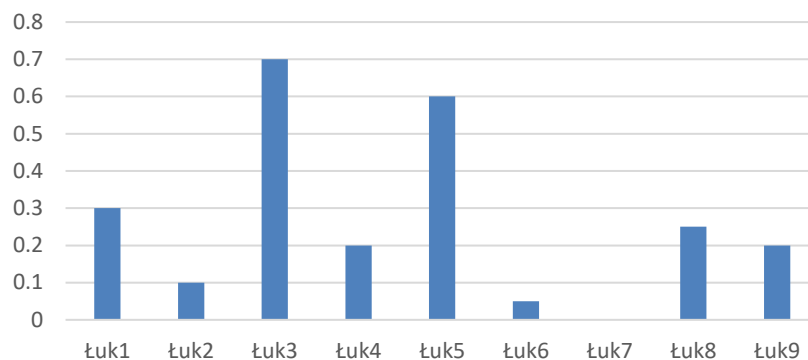
W obserwacjach mikroskopowych materiału badanych drutów przeprowadzonych w stanie nietrawionym stwierdzono obecność zróżnicowanej ilości wtrąceń niemetalicznych - głównie w postaci tlenków i krzemianów (rys. 1 i 2). Zanieczyszczenia tlenkowe rozmieszczone były punktowo i występowały w ilości nieprzekraczającej wzorca nr 1 wg ISO 4967:2013, wtrącenia krzemianów o charakterze nieodkształconym występowały w dużo większej ilości, od wzorca 1,5 do 3,5 wg ISO 4967:2013 (rys. 3 i 4). Na uwagę zwraca fakt dużej różnorodności w stopniu zanieczyszczenia badanych stopów wtrąceniami, mogącej wskazywać, iż w analizowanej partii (opakowaniu) łuków znajdują się produkty pochodzące z różnych wytopów, znacząco różniące się jakością wykonania.



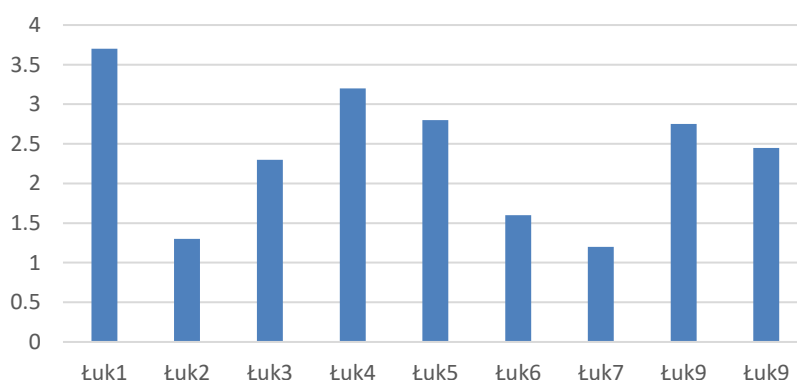
Rys. 1. Materiał próbki łuku nr 7 widoczne wtrącenia niemetaliczne w postaci rozmieszczonych punktowo tlenków, w ilości nieprzekraczającej wzorca nr 1 wg ISO 4967:2013 i krzemianów w ilości równej wzorcowi nr 1 wg ISO 4967:2013



Rys. 2. Materiał próbki łuku nr 5 widoczne wtrącenia niemetaliczne w postaci rozmieszczonych punktowo tlenków, w ilości nieprzekraczającej wzorca nr 1 wg ISO 4967:2013 i krzemianów w ilości równej wzorcowi nr 3 wg ISO 4967:2013

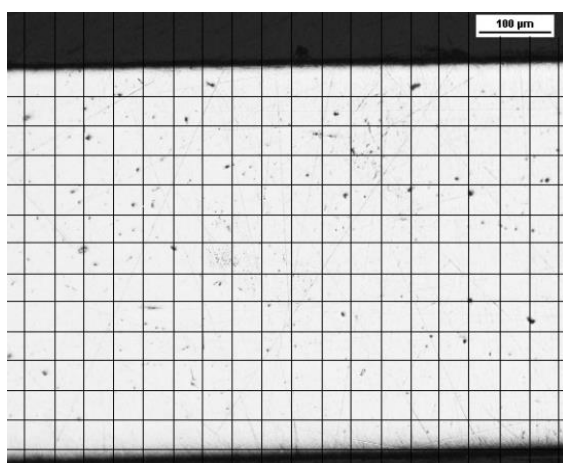


Rys. 3. Częstotliwość występowania wtrąceń tlenkowych określona wg ISO 4967:2013

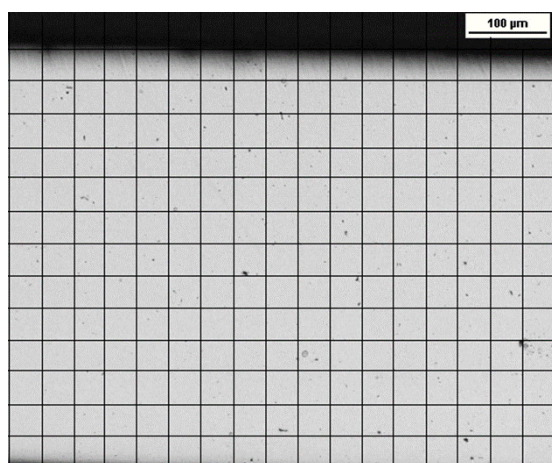


Rys. 4. Częstotliwość występowania wtrąceń w postaci krzemianów określona wg ISO 4967:2013

Przeprowadzona ocena ilościowa metodą punktową potwierdziła wyraźną różnorodność w czystości metalurgicznej materiału stosowanego do produkcji łuków ortodontycznych (rys. 5 i 6). Analiza przeprowadzona dla materiału łuku nr 1 wykazała, że udział wszystkich wtrąceń w badanym stopie nie przekracza wartości 0,026 przy błędzie pomiaru wynoszącym 0,010, natomiast dla materiału łuku nr 4 wynosi około 0,004 przy błędzie pomiaru wynoszącym 0,004 (3.1-3.4 i tab. 1).



Rys. 5. Metoda punktowa określająca objętość względną wtrąceń niemetalicznych w materiale łuku nr 1



Rys. 6. Metoda punktowa określająca objętość względną wtrąceń niemetalicznych w materiale łuku nr 4

$$p_{\alpha} = \frac{n_{\alpha}}{n} = \frac{7}{265} = 0,026 \quad (3.1)$$

$$\delta_{p_{\alpha}} = \left[\frac{p_{\alpha}(1-p_{\alpha})}{n} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{0,026(1-0,026)}{265} \right]^{\frac{1}{2}} = 0,010 \quad (3.2)$$

$$p_{\alpha} = \frac{n_{\alpha}}{n} = \frac{1}{266} = 0,004 \quad (3.3)$$

$$\delta_{p_{\alpha}} = \left[\frac{p_{\alpha}(1-p_{\alpha})}{n} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{0,004(1-0,004)}{266} \right]^{\frac{1}{2}} = 0,004 \quad (3.4)$$

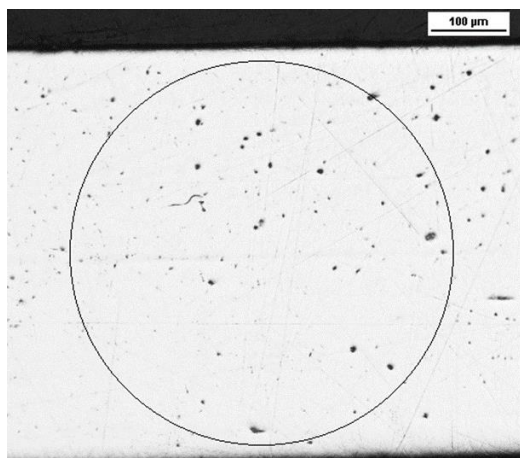
Tabela 1. Zestawienie wyników oceny ilościowej czystości metalurgicznej materiału badanych łuków ortodontycznych metodą punktową

	n	n_{α}	p_{α}	$\delta_{p_{\alpha}}$
łuk 1	265	7	0,0264	0,0099
łuk 2	256	3	0,0117	0,0067
łuk 3	252	6	0,0238	0,0096
łuk 4	266	1	0,0038	0,0038
łuk 5	211	2	0,0095	0,0067
łuk 6	210	0	0,0000	0,0000
łuk 7	210	2	0,0095	0,0067
łuk 8	173	0	0,0000	0,0000
łuk 9	252	1	0,0040	0,0040

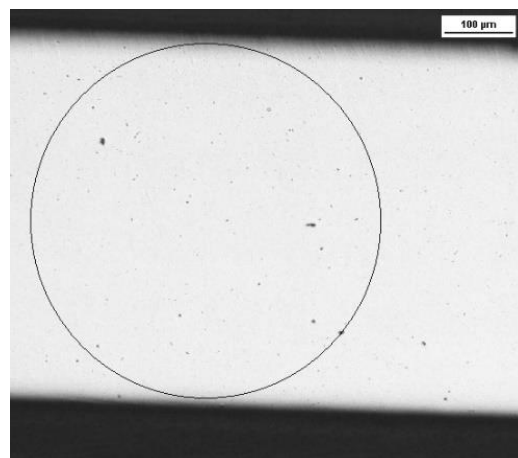
Uzyskane wyniki analizy metalograficznej metodą Jeffries'a również wykazały, że w badanej partii (opakowaniu) łuków ortodontycznych znajdują się produkty różniące się znacząco czystością metalurgiczną (rys. 7 i 8). Dla materiału łuku nr 1 wykazano, że całkowita liczba wtrąceń na powierzchni równej $0,5 \text{ mm}^2$ wynosi 246, natomiast dla materiału łuku nr 4 wynosi tylko 133 (3.5-3.6 i tab. 2).

$$N_T = N_W + kN_i = 245 + 0,5 \times 2 = 246 \quad (3.5)$$

$$N_T = N_W + kN_i = 132 + 0,5 \times 2 = 133 \quad (3.6)$$



Rys. 7. Metoda Jeffries'a określająca ilość wtrąceń niemetalicznych w materiale łuku nr 1



Rys. 8. Metoda Jeffries'a określająca ilość wtrąceń niemetalicznych w materiale łuku nr 4

Tabela 2. Zestawienie wyników oceny ilościowej czystości metalurgicznej materiału badanych łuków ortodontycznych metodą Jeffries'a

	N_W	N_i	N_T	N_A
łuk 1	245	2	246	492
łuk 2	411	6	414	828
łuk 3	152	3	153,5	307
łuk 4	132	2	133	266
łuk 5	39	0	39	78
łuk 6	122	2	123	246
łuk 7	247	1	247,5	495
łuk 8	21	0	21	42
łuk 9	40	3	41,5	83

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Leczenie ortodontyczne polega na stosowaniu i kontrolowaniu sił działających na zęby i sąsiadujące tkanki. Siły te są indukowane klinicznie przez elementy aparatu ortodontycznego, takie jak łuki, ligatury, zamki i sprężyny, a efektywność leczenia zależna jest od możliwości kontroli tych sił. W związku z tym podczas projektowania i przygotowania każdego aparatu stałego, lekarz ortodonta musi być w stanie przewidzieć jego działanie. Wiadomym jest także, że najważniejszym elementem stałego aparatu ortodontycznego są druty, z materiałów metalicznych, stosowane na łuki. Łuki służą do poruszania zębami w celu skorygowania ich pozycji i uzyskania prawidłowego zgryzu. Własności mechaniczne łuków ortodontycznych mają, zatem ogromne znaczenie, ponieważ są głównym czynnikiem stanowiącym o skuteczności leczenia.

Materiały metaliczne przeznaczone do stosowania w ludzkim organizmie powinny posiadać następujące cechy: wysokie właściwości mechaniczne, odporność na korozję w środowisku tkankowym, odpowiednie właściwości fizykochemiczne, biokompatybilność i jednorodność składu chemicznego oraz struktury. Bardzo ważnym aspektem dotyczącym biomateriałów metalicznych jest również ich stopień zanieczyszczenia wtrąceniami

niemetalicznymi, pozostałymi po procesach metalurgicznych. Rodzaj wtrąceń, ich kształt, ilość oraz sposób rozmieszczenia mogą mieć olbrzymi wpływ na anizotropię własności mechanicznych materiału, a tym samym może wpływać na efektywność leczenia.

Celem badań prezentowanych w pracy była ocena, czystości metalurgicznej materiału stosowanego do produkcji łuków ortodontycznych. Wyniki uzyskanych badań wykazały dużą różnorodność w stopniu zanieczyszczenia materiału badanych łuków wtrąceniami niemetalicznymi. We wszystkich łukach stwierdzono obecność wtrąceń niemetalicznych w postaci tlenków i krzemianów. We wszystkich analizowanych przypadkach tlenki występowały w mniejszej ilości, nie przekraczającej wzorca nr 1 wg ISO 4967:2013, a wtrącenia krzemianów w ilości od wzorca 1,5 do 3,5 wg ISO 4967:2013. Różnica pomiędzy materiałem poszczególnych łuków dotyczyła przede wszystkim całkowitej liczba wtrąceń N_T przypadającej na powierzchnię materiału równą $0,5 \text{ mm}^2$, wartość ta wynosiła od 21 do 414 dla kolejnych badanych próbek.

Rezultaty badań wskazały zatem wyraźnie, iż w analizowanej partii (opakowaniu) dziewięciu sztuk łuków ortodontycznych znajdują się najprawdopodobniej produkty pochodzące z różnych wytopów, znacząco różniące się, jakością wykonania, a tym samym prawdopodobnie różniące się właściwościami mechanicznymi. Można, zatem spodziewać się, że podczas przygotowywania leczenia ortodonta nie będzie w stanie przewidzieć działania poszczególnych łuków, a uzyskane rezultaty będą zależne od przypadkowo zastosowanego łuku o mniejszej lub większej czystości metalurgicznej.

LITERATURA

- [1] Karłowska I.: Zarys współczesnej ortodoncji, Podręcznik dla studentów i lekarzy dentystów. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2001.
- [2] Nanda R., Mielnik-Błaszczyk M., Chang F.H.: Biomechanika i estetyka w ortodoncji. Wydawnictwo Czelej, Lublin 2009.
- [3] Isaacson K.G., Williams J.K.: Wprowadzenie do aparatów stałych. Wydawnictwo Kwintesencja, Warszawa 1994.
- [4] Kahl-Nieke B., Masztalerz A.: Wprowadzenie do ortodoncji. Urban&Partner, Wrocław 1999.
- [5] Craig R.G. i inni: Materiały stomatologiczne. Elsevier Urban&Partner, Wrocław 2008.
- [6] Combe E.C., Purzyński M., Wstęp do materiałoznawstwa stomatologicznego. Wydawnictwo Medyczne Sanmedica, Warszawa 1997.
- [7] Karłowska I. i inni, Zarys współczesnej ortodoncji: Podręcznik dla studentów i lekarzy dentystów. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2016.
- [8] Marciniak J.: Biomateriały, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2002.
- [9] Nałęcz M. (red.): Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna. tom 4 Biomateriały, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa 2003.
- [10] Łaskawiec J., Michalik R.: Zagadnienia teoretyczne i aplikacyjne w implantach. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

THE ANALYSIS OF METALLURGICAL PURITY REPEATABILITY OF ORTHODONTIC WIRES

Abstract: The metallic materials designed to production of braces possess following features: high mechanical and physicochemical proprieties, biocompatibility and homogeneity of structure. Very important point is also degree

non - metallic inclusion. The results of investigations presented in work show the large diverseness of metallurgical cleanness of studied wires material, which lead that various product could coming from different melting, non-uniform with quality of realization.