

## **STRESZCZENIE**

### **Wstęp**

Na stały aparat ortodontyczny składają się przyklejone do powierzchni zębów zamki oraz wprowadzane do ich slotów łuki lecznicze. Zamki ortodontyczne oraz łuki produkowane są ze stali nierdzewnej, stopów metali, względnie czystego tytanu. W trakcie leczenia ortodontycznego dochodzi do interakcji między zamkami a umieszczonymi w ich slotach łukami (drutami) prowadząc do uwalniania jonów metali. Zmienne obciążenie jak i wprowadzanie w drgania elementów stałych aparatów doprowadza do intensyfikacji uszkodzeń kontaktujących się powierzchni. Jednym z rodzajów zużycia w takich warunkach jest fretting.

Fretting jest złożonym zjawiskiem zużywania się warstw wierzchnich elementów będących w ciągłym styku oraz minimalnym ruchu względem siebie. Amplituda ruchów przy której zachodzi ten proces zazwyczaj nie przekracza 0,2 mm. Już samo wystąpienie drgań jest wystarczające aby nastąpił fretting, doprowadzając do zużycia, zmęczenia czy korozji kontaktujących ze sobą powierzchni.

Dotychczasowe, pojedyncze badania na temat frettingu materiałów ortodontycznych ograniczają się do kojarzenia tych samych stali nierdzewnych względnie stopu Ni-Ti lub Co-Cr. Brak jest publikacji o porównywalnych warunkach badania zużycia frettingowego w skojarzeniach szeregu najpopularniejszych stopów wykorzystywanych w ortodoncji. Brak jest również doniesień z zakresu określenia które pary są bardziej podatne na to zjawisko.

### **Cel pracy**

W niniejszej rozprawie, podjęto próbę oceny zużycia frettingowego możliwych par ciernych kontaktujących się w czasie leczenia ortodontycznego. Jako priorytet tej pracy wyznaczono następujące cele:

- określenie, która para jest najkorzystniejsza pod względem trybologicznym
- określenie, który materiał jest najbardziej odporny na zniszczenia w warunkach frettingu
- określenie, który materiał jest najmniej odporny na zniszczenia w warunkach frettingu

### **Badania i metody**

Na potrzeby wykonania badań dokonano przeglądu składów chemicznych najpopularniejszych metalowych zamków oraz drutów ortodontycznych. Wytypowano

5 głównych typów stopów oraz czysty tytan – CP Ti wykorzystywanych do ich produkcji.

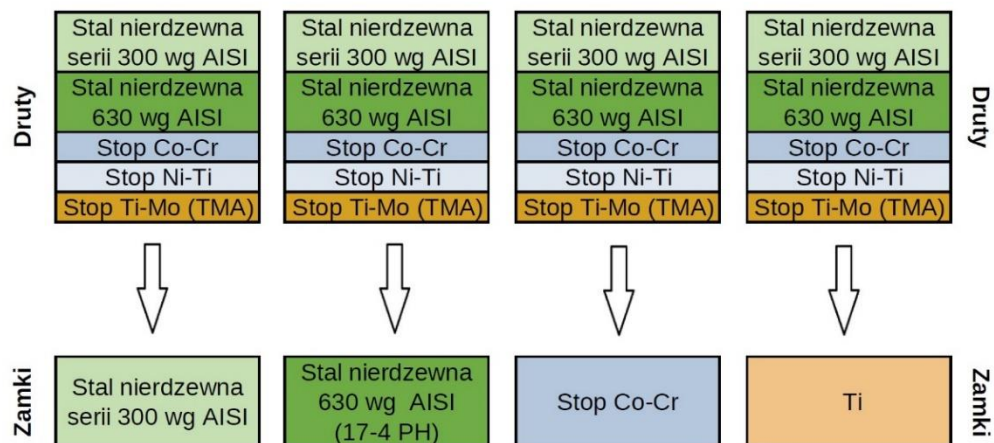
Do grupy drutów zaliczono:

- stal nierdzewną – stal serii 300 wg AISI
- stal nierdzewną – stal 630 wg AISI
- stop niklowo-tytanowy
- stop tytanowo-molibdenowy
- stop kobaltowo-chromowy

W grupie reprezentującą zamki ortodontyczne wyróżnić można:

- stal nierdzewną – stal serii 300 wg AISI
- stal nierdzewną – stal 630 wg AISI
- stop kobaltowo-chromowy
- czysty tytan

Próbki oraz przeciw próbki wykonano z prętów o średnicy 8 mm. Próbki stanowiły walce o wysokości 10 mm. Przeciw próbki, stanowiły walce o wysokości 15 mm ze zwężeniem ku szczytowi do powierzchni kontaktu o średnicy 2 mm. Zanim przystąpiono do prób zużycia, powierzchnie próbek oraz przeciw próbek szlifowano na mokro przy użyciu szlifierki obrotowej z montowanymi papierami ściernymi z nasypem SiC o granulacjach: 180, 360, 600, 800. Przygotowane próbki zostały podzielone na 4 grupy, tak aby każdy materiał wykorzystywany do produkcji zamków był poddany próbom wytarcia przez materiały wykorzystywane do produkcji drutów ortodontycznych – zgodnie z ryciną 1.



Ryc.1 Schematyczne zestawienie par materiałów poddanych próbom zużycia frettingowego.

Próby wytarcia, po cztery dla każdego skojarzenia, przeprowadzono na dedykowanej maszynie do badania zużycia w warunkach frettingu. Parametrami badania były:

- amplituda ruchów – 200  $\mu\text{m}$
- siła – 2 N
- częstotliwość ruchów – 1 Hz
- czas badania – 10 000 s

W celu określenia stanu powierzchni próbek poddanych próbom frettingowym wykonano następujące badania :

1. Badania mikroskopowe topografii śladów wytarcia w SEM
2. Chemiczna analiza śladów wytarcia korzystając z przystawki EDS
3. Określenie powierzchni oraz objętości śladów wytarcia w cyfrowym mikroskopie

## **Wyniki**

Wyniki badań mikroskopowych SEM (Hitachi S-3000N) wykazały zróżnicowaną podatność próbek na zniszczenia w warunkach frettingu.

W grupie próbek ze stali serii 300 wg AISI po skojarzeniu ze stalą serii 300 oraz 630 wg AISI zaobserwowano pojedyncze centralne obszary zniszczeń z nagromadzonymi produktami zużycia wewnątrz styku. Odmienną topografię charakteryzowało skojarzenie ze stopem Co-Cr oraz Ti-Mo z nierównomiernymi, punktowymi ubytkami na powierzchni. Na próbkach ze stali 630 wg AISI, po skojarzeniu ze stopem Co-Cr zaobserwowano znacznie mniejszą powierzchnię śladów wytarcia. Skojarzenie ze stopem Ni-Ti wykazało płytkie i rozległe obszary zniszczeń. Na próbkach ze stopu Co-Cr ślady wytarcia były wyraźnie ograniczone oraz płytkie. Wyjątek stanowiło skojarzenie ze stopem Ni-Ti w którym zaobserwowano pojedyncze głębokie wżery. W grupie próbek z tytanu, topografie śladów wytarcia były porównywalne względem siebie, z wyraźnie zaznaczonym pojedynczym wżerem oraz licznym nagromadzeniem resztek materiału na obwodzie styku. Analiza EDS (Noran) wykazała obecność tlenków oraz przenoszenie materiału z przeciw próbki na każdej z badanych próbek.

Próbki następnie poddano badaniu w cyfrowym mikroskopie Keyence VHX-6000 dokonując pomiaru powierzchni oraz objętości śladów. Wyniki poddano analizie statystycznej. W grupie próbek ze stali 300 oraz 630 wg AISI zaobserwowano zbliżone względem siebie objętości śladów wytarcia po skojarzeniu ze stopem Ni-Ti oraz Ti-Mo.

Skojarzenie ze stalą serii 300 wg AISI, odznaczało się wżerami o najmniejszych objętościach. Na próbkach ze stopu Co-Cr, skojarzenie ze stopem Ni-Ti charakteryzowało jedne z najniższych objętości śladów wytarcia ze wszystkich badanych prób. Skojarzenie ze stalą serii 300 oraz 630 wg AISI generowało blisko 3-krotnie większe ubytki. Na tytanowych próbkach otrzymane wyniki objętości po skojarzeniu ze stalą serii 300, 630 wg AISI oraz były zbliżone względem siebie. W stosunku do wyników po skojarzeniu ze stopem Ni-Ti oraz Ti-Mo były one blisko o połowę od nich większe. Skojarzenie ze stopem Co-Cr odznaczało się jednym z najwyższych wyników w całym badaniu.

### **Wnioski**

1. Materiały na zamki i druty ortodontyczne wykazują zróżnicowaną podatność na zniszczenia w warunkach frettingu.
2. Stop Co-Cr cechuje najlepsza odporność na zniszczenia w warunkach frettingu spośród badanych próbek.
3. Próbki ze stali serii 300 AISI oraz czystego tytanu cechuje zbliżona, najgorsza odporność na zniszczenia w warunkach frettingu spośród badanych próbek.
4. Stopy Ni-Ti oraz Ti-Mo charakteryzował niemal identyczny przebieg zniszczeń na poszczególnych próbkach.
5. Skojarzenie stopu Co-Cr ze stopem Ni-Ti jest najkorzystniejsze pod względem tribologicznym spośród badanych próbek.
6. Skojarzenie stopu Co-Cr ze stalą serii 300 AISI lub czystym tytanem jest najmniej korzystne pod względem tribologicznym spośród badanych próbek.
7. Stal 630 wg AISI wykazuje najlepsze cechy trybologiczne jako materiał na zamki ortodontyczne w technikach leczenia bazujących na łukach ze stali nierdzewnej.