

KN WISSENSCHAFT & PRAXIS

Friktionsreduktion ...

KN Fortsetzung von Seite 1

Bisher konzentrierten sich die Bemühungen zur Reibungsreduzierung auf Veränderungen des Bracketdesigns einschließlich der selbstligierenden Systeme sowie den Einsatz verschiedener Legierungen und Oberflächenbehandlungen von Brackets. Diese Bemühungen führten jedoch nur teilweise zum Erfolg.

Unsere Forschungen konzentrierten sich auf die Reduktion der Reibung durch eine neue Methode zur Beschichtung kieferorthopädischer Drähte mit einem Material, das für seine ausgezeichneten Gleiteigenschaften bekannt ist. So verwendeten wir Nanopartikel des anorganischen fulleränenähnlichen Wolframdisulfids IF-WS₂, das zuerst 1992 durch das Team um Professor Dr. Reshef Tenne synthetisiert wurde (Nature

1992; 360:444–445). Die Nanopartikel haben eine Größe von 100 Nm. Ein Nanometer ist eine Längeneinheit (1 nm = 10⁻⁹ m).

Ein Fulleren ist eine symmetrisch geformte molekulare Kohlenstoffstruktur, die einem Fußball ähnelt (geschlossene Kugel). Sie wurde (scherzhaft) nach Richard Buckminster Fuller benannt, da sie die Form der geodätischen Kuppeln nachbildet, die jener amerikanische Architekt entwarf und erbaute.

1985 entdeckten Kroto und seine Mitarbeiter eine völlig neue Form des Kohlenstoffs, die als C₆₀ oder als das Fullerenmolekül bekannt wurde. (Dieser Entdeckung verdanken sie den Nobelpreis für Chemie 1996.) Das Fullerenmolekül besteht aus 60 Kohlenstoffatomen, die in 12 Pentagons und 20 Hexagons angeordnet sind.

Die Synthese der anorganischen (kohlenstofffreien) fulleränenähnlichen Strukturen erfolgte unter bestimmten Reduktions- und Sulfidierungsbedingungen bei hohen Temperaturen unter Verwendung von Wolframoxid (WO₃)-Nanopartikeln, die nach dem Zwiebelprinzip ineinander verschichtete Mehrschichten von WS₂-fullerenähnlichen Nanostrukturen bilden (Abb. 1a). Die Größe dieser Nanopartikel reicht in Abhängigkeit von der Größe der WO₃-Vorläufer von 20 bis 200 nm.

Wie entsteht nun Reibung? Alle Oberflächen sind rau und uneben, selbst wenn sie bei der Betrachtung mit dem bloßen Auge glatt erscheinen. Die Unebenheit ist als Oberflächenrauheit bekannt (Abb. 2). Eine Verringerung der Reibung wird erreicht, wenn die rauen Oberflächen unter Verwendung von IF-Nanopartikeln getrennt werden, die hier als „Nanoball-Lager“ und Abstandhalter fungieren. Mit steigender Last blättern die äußeren Nanopartikelschichten ab

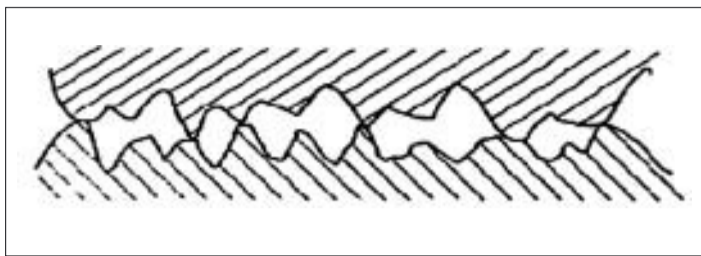


Abb. 2

und legen die inneren Nanolagen frei (Abb. 3).

Die Synthese der fulleränenähnlichen WS₂-Nanopartikel hat zu einer bemerkenswerten Verbesserung der Reibung und Abnutzungseigenschaften unter verschiedenen Kontaktbedingungen geführt.

Die geringe Reibung und Abnutzung geht einher mit dem Eindringen von Festschmier-

stoff-WS₂-Nanopartikeln in die Grenzschicht zwischen den geriebenen Oberflächen. Wird die Belastung auf die sich hin- und herbewegenden Körper erhöht, verformen sich die Nanopartikel nach und nach und blättern ab. Es verbleiben Nanoplättchen des WS₂-Materials auf der Grenzschicht. Die schwachen Kräfte zwischen den dünnen Schichten der abgeblätternen Nanopartikel er-

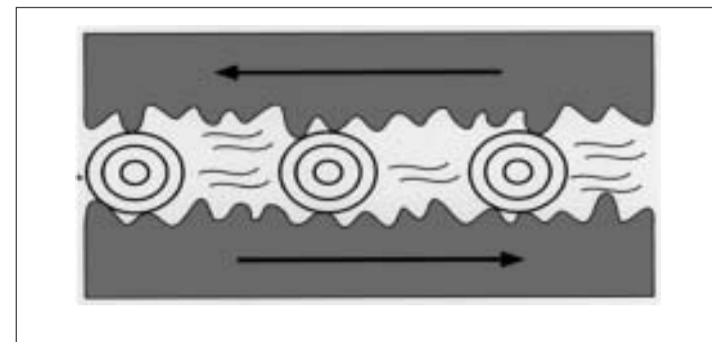


Abb. 3

möglichen zwischen den sich berührenden Körpern eine Gleitbewegung mit einer sehr geringen Scherkraft.

In unserer Studie beschichteten wir den kieferorthopädischen Draht und arbeiteten dabei IF-WS₂ in eine Nickel-Phosphor-Matrix (Ni-P) ein, die Nanopartikel

langsam freisetzt. Daraufhin untersuchten wir deren Fähigkeit zur Reduzierung der Reibung zwischen Draht und Bracket. Da ein gewisser Anteil der Nanopartikel wahrscheinlich aus der Beschichtung freigesetzt oder während der Bewegung abblättern würde, war die Un-

KN Kurzvita



Professor Dr. Reshef Tenne

- Leiter des Department of Material and Interfaces des Weizmann Institutes of Science, Rehovot/Israel
- Leiter des G. Schmidt Minerva Centers für Supramolekulare Architektur
- Leiter der Nanomaterial Synthesis Group am Weizmann Institute of Science
- mehrere Gastprofessuren (Pierre et Marie Curie University [Paris], University of Tokyo, Hahn-Meitner Institut [Berlin], CNRS-Meudon [Frankreich] sowie Technion – Israel Institute of Technology)
- Gewinner des Mordechai-Glickson-Forschungspreises
- war Präsident der Israelischen Vacuum Society
- amtierender Präsident der Israel Chemical Society
- war einer der Präsidenten des Materials Committee der Israeli Science Foundation
- Mitglied des wissenschaftlichen Beirats diverser französisch-israelischer, indisch-israelischer und japanisch-israelischer Stiftungen
- Mitglied des Editorial Board des Solid State Sciences Journal, Microscopy, Microanalysis, Microstructures Journal und Advanced Functional Materials Journal
- veröffentlichte mehr als 200 wissenschaftliche Artikel und hat 12 Patente inne
- erwarb an der Jerusalem Hebrew University folgende akademische Titel: Ph.D. in theoretischer Chemie, M.Sc. in physikalischer Chemie sowie B.Sc. in Chemie und Physik

KN Literatur

¹ Katz A/Redlich M/Rapoport L/Wagner HD/Tenne R: Self-lubricating coatings containing fullerene-like WS₂ nanoparticles for orthodontic wires and other possible medical applications. Tribology Letters, 2006, 21(2), 135–139

² Redlich M/Mayer Y/Harari D/Levinstein I: In vitro study of frictional forces during sliding mechanics of "reduced-friction" brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2003;124:69–73.

³ Redlich M/Katz A/Rapoport L/Wagner DH/Feldmann Y/Tenne R: Improved orthodontic stainless steel wires coated with inorganic fullerene-like nanoparticles of WS₂ impregnated in electroless nickel-phosphorous film. Dental Materials 2008; In press.

discovery[®] sl

Das kleinste SL-Bracket der Welt. Natürlich von Dentaureum.

Ausgezeichnete Therapie-Effizienz

Die Therapie-Effizienz ist der erste der 3 Erfolgsbereiche der modernen kieferorthopädischen Behandlung. Das wünschenswerte und nachhaltige Therapieergebnis ist primär wichtig, aber auch der dazu erforderliche Aufwand ist ein wichtiges Kriterium zur Bewertung von Therapie-Effizienz geworden.

Twinflügel-Design (1)

Mehr Flexibilität und Therapiefreiheit

Präzisionslot (6)

Sehr gute Torque- und Angulationskontrolle

ArchFlex[®] (3)

Für noch weniger Friktion

Patentierter 3D-Laserbasis (11)

Perfekte Passung und sicherer Haftverbund

Rhomboide Basis (8)

Schnelle, präzise Positionierung

Pilzkopf-Design (4)

Perfekte, sichere Kopplungsmöglichkeit

50% weniger Stuhlzeit

Deutlich kürzere Therapiedauer

Überzeugender Patientenkomfort

Erfolgsbereich 2: Der größtmögliche Patientenkomfort. Denn nicht nur das Ergebnis ist heute wichtig, sondern auch immer mehr der patientenfreundliche Weg dort hin.

Superglatte Deckel, geschlossenes Oberflächendesign (2)

Hoher Tragekomfort

Minimale Größe (12)

Minimales Fremdkörpergefühl, außergewöhnlich gute Ästhetik

1-Stück-Bracketkörper (12)

Sehr gute Bioverträglichkeit

Weniger Zeitaufwand für Kontrollbesuche

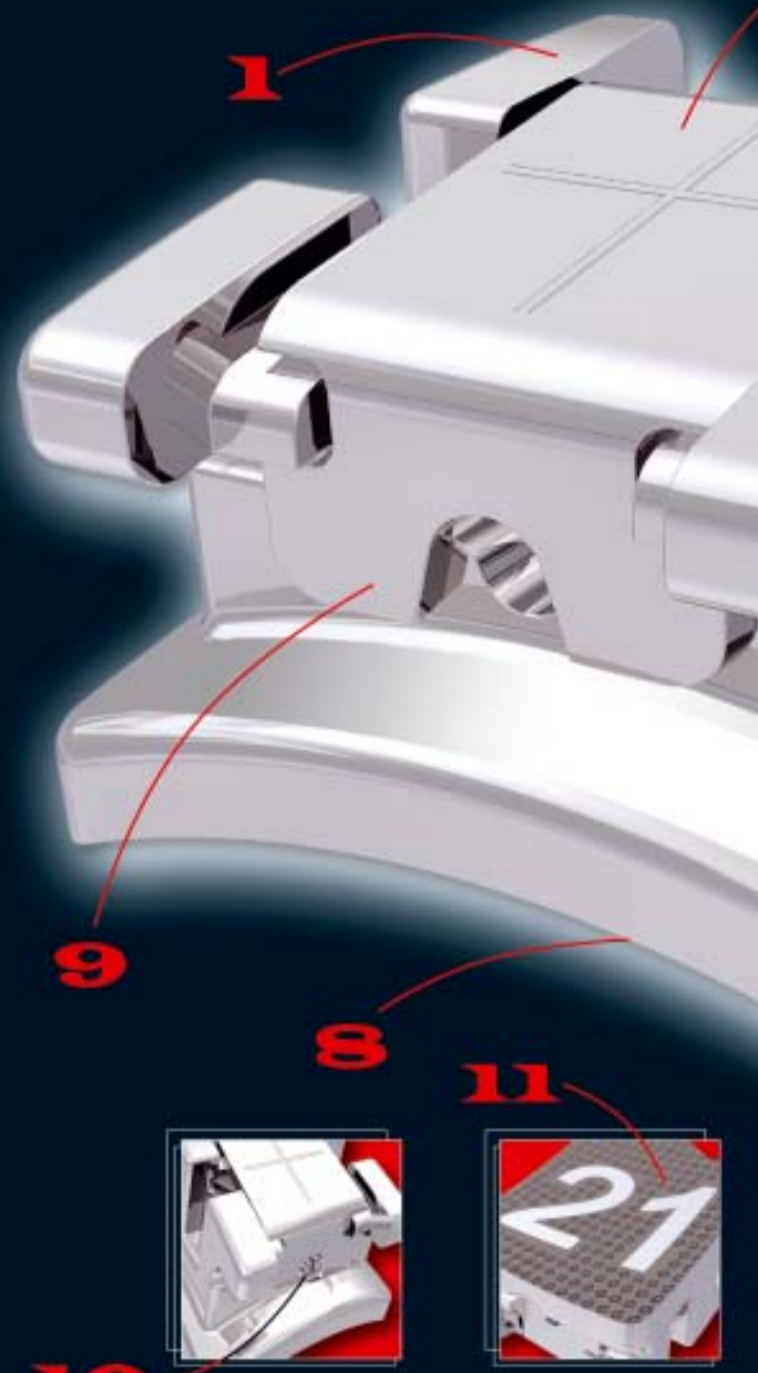




Abb. 4

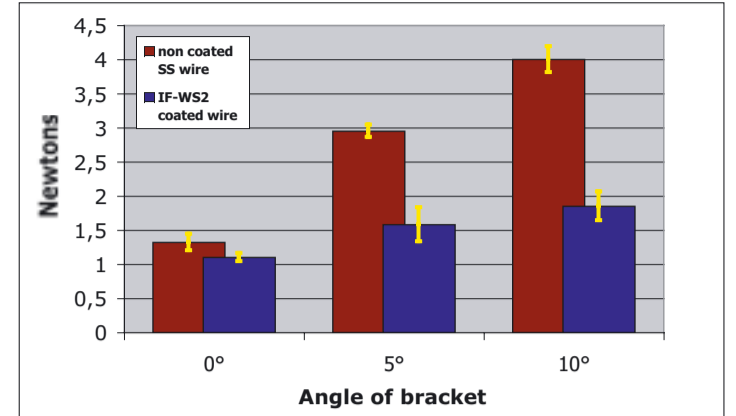
tersuchung der beschichteten Drähte nach der Gleitbewegung sehr wichtig. Nur so konnten die Hafteigenschaften von IF-WS₂ in der Matrixschicht sichergestellt werden. Das Vorhandensein von IF-WS₂ in der Matrix ist eine Voraussetzung für eine einwandfreie Lubrikation unter der Bewegung. Rechteckige kieferorthopädische Edelstahldrähte der Größe 0,019 x 0,025 wurden

in einem bereits beschriebenen autokatalytischen Ni-P-Schichtverfahren mit IF-WS₂ beschichtet.¹ Reibungskoeffiziententests zeigten, dass der Reibungskoeffizient des IF-beschichteten Drahtes mit 0,08 im Vergleich zu 0,2 beim unbeschichteten Edelstahl draht signifikant reduziert war. Um die bei kieferorthopädischen Behandlungen auftretenden Bewegungen, d. h. das

Gleiten von Zähnen entlang eines Drahtes, zu simulieren, nutzten wir ein bereits beschriebenes System.² Die aus Edelstahl gefertigten Straight-Wire-Brackets (0,022 x 0,028) für die oberen rechten zentralen Schneidezähne wurden mit Cyanoacrylatkleber und einem Instrument zur Befestigung von Brackets auf Aluminiumplatten gebondet. Diese Apparatur sicherte eine akku-

rate und gleichartige Positionierung der Brackets auf den Platten. Die Platten wurden nun auf der Grundfläche einer Instron 4502-Testmaschine befestigt. Dies geschah mit einer Vorrichtung, die drei verschiedene Nuten im Winkel von 0°, 5° und 10° zur langen Achse des Drahtes aufwies. Diese Winkel repräsentieren den Kontaktwinkel zwischen Draht und Bracket während der Zahn-

bewegung. Es wurden zwölf Zentimetersegmente der kieferorthopädischen Drähte (beschichtete und unbeschichtete) mit einem Ende an einer 10-Newton-Kraftmessdose befestigt. Das andere Ende wurde mit einem 150g-Gewicht verbunden, das ein Durchbiegen der Drähte verhindern sollte. Danach wurden die Drähte in die Bracketslots eingesetzt und mit Elastomer an allen vier Seiten der Brackets ligiert (Abb. 4). Mit dieser Versuchsanordnung wurde die Instron-Maschine so programmiert, dass



Tabelle

die Brackets sich 5 mm weit entlang der Drähte mit einer konstanten Geschwindigkeit von 10 mm/min bewegten. Der Test begann mit einer konstanten Erhöhung der Kräfte, die bei Beginn der Bewegung auf den Drähten ein Maximum erreichten. Dieses Maximum repräsentiert die statische Reibungskraft, die zum Auslösen der Bewegung erforderlich ist. Der erste Test mit den beschichteten Drähten führte zu hohen Reibungsniveaus, die durch eine Einlaufzeit mit wiederholten Vor- und Rückwärtsbewegungen der Drähte in den Brackets überwunden wurden. Diese Einlaufzeit sollte dazu dienen, einige IF-Nanopartikel in der Beschichtung zu lockern, damit diese als Schmiermittel verfügbar wurden. Die Tests wurden mit jeder Gruppe fünfmal wiederholt, wobei für jeden Test ein neuer Draht und ein neues Bracket verwendet wurde.

wir, dass die Beschichtung von Draht und Bracket, wenn beide aus Edelstahl bestehen, durch Eliminierung der Korrosionsfaktoren zu noch niedrigeren Reibungsniveaus führen könnte.

Mit der Weiterentwicklung der Beschichtungstechnologien und ihrer Zulassung für den Einsatz im Mund könnte das Problem der Reibung bei kieferorthopädischen Behandlungen weiter verringert werden. Dies würde die Kontrolle der Verankerungen erleichtern, die Behandlungsdauer reduzieren sowie das Risiko von Wurzelresorptionen verringern. Im Augenblick werden Beschichtungstechnologie und Weiterentwicklung der IF-Beschichtung mit Nanomaterialien durch die Firma NanoMaterials Ltd. (Nes Ziona/Israel, www.apnano.com) durchgeführt. ³

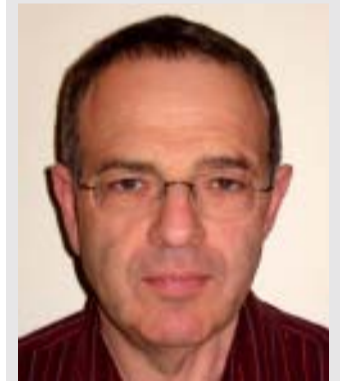
Unser besonderer Dank gilt Alon Katz, Lev Rapoport, Daniel Wagner und Yishai Feldman.

54 % Reduzierung

Zur Evaluierung der Hafteigenschaften von IF bei Bewegung wurde ungetesteter, IF-beschichteter Draht mit IF-WS₂-beschichtetem Draht verglichen, der zuvor in 30 aufeinanderfolgenden Zyklen im Winkel von 10° in der Instron-Maschine getestet wurde. Danach wurden die Drähte unter dem Raman-Mikroskop betrachtet. Selbst nach extensiven Reibungstests befanden sich die Nanopartikel noch in der Ni-P-Schicht. Diese Ergebnisse sind außerordentlich wichtig, denn sie demonstrieren die gute Adhäsion der IF+Ni-P-Schicht und die Widerstandsfähigkeit gegenüber Verschleiß, selbst unter starker Belastung. Diese Eigenschaften sind für künftige klinische Anwendungen von besonderer Bedeutung.

Für den Einsatz in der klinischen Kieferorthopädie müssen jedoch auch die Sicherheit und Biokompatibilität der IF-beschichteten Drähte betrachtet werden. Vor Beginn der klinischen Studien muss daher noch die Zustimmung der verantwortlichen Behörden in Europa und in den USA eingeholt werden. Dennoch zeigen bereits die vorläufigen Tests unabhängiger Labore in Deutschland, den USA und Israel, dass die fullerenähnlichen Nanopartikel keine Toxizität aufweisen und bei Tieren bislang keine allergischen Reaktionen ausgelöst wurden. Wir glauben, dass diese Beschichtungen auch auf andere kieferorthopädische Apparaturen und Materialien, wie z. B. Brackets und selbstligierende Systeme sowie auf die initialen flexiblen Drähte wie die verschiedenen NiTi-Bögen, aufgebracht werden können. Zudem vermuten

KN Kurzvita



Dr. Meir Redlich

- geboren 1956 in Tel-Aviv, Israel
- 1980 D.M.D. an der Hebrew University
- 1992 M.Sc., ebenfalls Hebrew University
- 1998 klinischer Dozent
- seit 2000 Schreiben der Doktorarbeit zum Ph.D., Hebrew University
- Forschungsschwerpunkte: u. a. Evaluation von Reibungskräften zwischen Bracketoberfläche und Draht während kieferorthopädischer Behandlung; Wirksamkeit neuartiger Dentaladhäsive in der Kieferorthopädie

KN Adresse

Dr. Meir Redlich
Department of Orthodontics
Faculty of Dental Medicine
Hadassah-Hebrew University
P.O. Box 12272
Jerusalem, Israel
E-Mail: mredlich@zahav.net.il

Prof. Dr. Reshef Tenne
Department of Materials and Interfaces
Weizmann Institute
Rehovot, Israel
E-Mail: reshef.tenne@weizmann.ac.il

WELTPREMIERE

Super einfache Handhabung

Der 3. Erfolgserbereich der zeitgemäßen kieferorthopädischen Behandlung ist eine sichere und einfache Handhabung der Produkte. Sie ist Voraussetzung für ein wirtschaftliches und erfolgreiches Arbeiten.

FDI-Kennzeichnung (11)
Unübertroffene Identifikationssicherheit

CapSafe® (5)
Deckel fällt nicht zu

Basaler Flansch (7)
Sichere Positionierung

Kreuzmarkierung auf dem Deckel (2)
Einfachste Positionierung

Unkomplizierte Verschlussmechanik (9)
Einfaches und zuverlässiges Öffnen und Schließen

Sollknickstelle (10)
Einfaches Debonden

Umfangreiches Zubehör- und Serviceprogramm

Nur gute Produkte zu haben darf dem anspruchsvollen Behandler nicht genügen. Er muss voraussetzen können, dass der Anbieter ein vollständiges Konzept mit ergänzenden Produkten und praxisrelevanten Dienstleistungen anbieten kann.

Ergänzende Systemkomponenten
u. a. spezielle Bögen und Instrumente

Attraktives Unterstützungsmaterial für das Patientengespräch

Patientenbroschüre
Demomodelle
Beratungscharts

Kompetente, gut erreichbare Hotline

