



Zusammenfassung

Bei Kieferregulierungen beinhaltet die Vielfalt der eingesetzten Legierungen und die Verarbeitung von Loten die Gefahr von allergischen Reaktionen. Insbesondere bei festsitzenden Strukturen kann dies problematisch werden. Aus diesem Grund sollten bei der Herstellung von Kieferregulierungsgeräten möglichst korrosionsfeste Materialien eingesetzt werden, die keine allergischen Reaktionen auslösen, wie z. B. Reintitan. Hierzu wird im Folgenden die Verwendung einer Hyraxschraube für eine aktive Gaumennahterweiterung aus Titan genau beschrieben und Verarbeitungsempfehlungen für die Titanbearbeitung werden aufgezeigt.

Indizes

Kieferorthopädische Zahntechnik, aktive Gaumennahterweiterung, Hyraxschraube, Titan, Verarbeitungsempfehlungen

Die aktive Gaumennahterweiterung

Ein Kieferregulierungsgerät, komplett aus Titan hergestellt

Andreas Hoffmann

Kieferregulierungen sind in der heutigen Zeit für heranwachsende Kinder aber auch vermehrt für Erwachsene Normalität. Die Vielfalt der hierbei oft eingesetzten Legierungen und die Verarbeitung mit Loten tragen dabei, und dies ist nicht immer im Bewusstsein des Patienten, die Gefahr von allergischen Reaktionen in sich. Insbesondere bei festsitzenden Strukturen wie Multibandapparaturen und einzementierten Regulierungsapparaturen ist dies problematisch, da diese nicht einfach so eben aus dem Mund entfernt werden können. Die Herstellung von Kieferregulierungsgeräten aus einem Monometall wie Reintitan bietet hier schon einen erheblichen Sicherheitskorridor.

Hierzu wird im Folgenden die Verwendung einer Hyraxschraube für eine aktive Gaumennahterweiterung aus Titan genau beschrieben und Verarbeitungsempfehlungen für die Titanbearbeitung werden aufgezeigt.

Leider stimmt die Aussage „was ich nicht weiß, macht mich nicht heiß“ im Leben oft nicht. Unwissenheit schützt nicht vor den Folgen, insbesondere nicht im medizinischen Umfeld. Um wenigstens die Gefahren für den Patienten einzugrenzen, hat der Gesetzgeber einige vorbeugende Maßnahmen getroffen und im Medizinproduktgesetz

Einleitung

Das Medizinproduktgesetz und seine Auswirkungen

(MPG) kodifiziert. Das MPG schreibt, um den Patienten zu schützen, den Behandlern vor, wie sie Medizinprodukte anzuwenden haben und was sie damit herstellen dürfen. In der Zahnmedizin hat die Auswahl des geeigneten Werkstoffs eine entscheidende Bedeutung für den Erfolg einer Therapie. Insbesondere in den vergangenen Jahren sind das Interesse in der Bevölkerung und der Wunsch nach Informationen bezüglich der verwendeten Materialien deutlich angestiegen. Bei bevorstehenden kieferorthopädischen Behandlungen von Kindern informieren sich deren Eltern heute insgesamt erheblich besser als früher über die Behandlungsschritte und die verwendeten Materialien. Sie wollen gesundheitliche Folgeschäden bei ihren Kindern ausschließen und außerdem werden sie, bei vorzeitigem Abbruch der Kieferregulierungsmaßnahmen, von der Krankenkasse finanziell dafür in Regress genommen. So ist es wichtiger denn je, die angestrebten Ergebnisse im Vorfeld aufzuzeigen. Zeitpläne und zu erwartende Schwierigkeiten müssen, soweit vorhersehbar, vor Behandlungsbeginn mit den Patienten oder den gesetzlichen Vertretern abgeklärt werden. Dabei gilt auch eine wesentliche Forderung, Unverträglichkeitsreaktionen bei der Eingliederung von metallischen Kieferregulierungsgeräten zu vermeiden.

Verwendete Materialien und Werkstoffe

Die Materialien und Werkstoffe, die in der Kieferorthopädie für festsitzende Apparaturen benutzt werden, sind häufig aus verschiedenen Legierungsbestandteilen hergestellt und werden durch den Zahntechniker mit den unterschiedlichsten Loten miteinander verbunden. In der Regel finden Anwendung:

- Kunststoffe: PMMA, Typ-4-Werkstoffe, so genannte lichthärtende Kunststoffe
- Bänder bzw. Außenbögen: rostfreier Chrom-Nickel-Stahl (Cr18, Ni8, Mo2, Fe72, ger. Anteile Mn, Si)
- Bögen bzw. Hilfsdrähte: rostfreier Chrom-Nickel-Stahl (Cr18, Ni8, Mo2, Fe72, ger. Anteile Mn, Si)
- Lote: Au 28, Ag39, Zn9, Cu20, Sn3
- Befestigungswerkstoffe: Glasionerzemente (Aluminiumsilikat, Polyacrylsäure/Weinsäure), Zinkoxid-Phosphat-Zement (Pulver: ZnO, MgO, Feld-/Flussspat, Flüssigkeit: Phosphorsäure, Zn, Al)

Diese Materialien sind angesichts der vielen Legierungsbestandteile und der eventuell schon vorhandenen Metalllegierungen im Mund (z. B. Amalgam) nicht unbedenklich. Das steigende Allergikerpotenzial in der Bevölkerung macht dies deutlich. Gerade Nickel ist der häufigste Auslöser von Kontaktallergien. Die meisten Sensibilisierungen auf Nickel, Kupfer, Zinn, Zink und andere Metalle existieren nicht von Geburt an. Sie entstehen schrittweise durch den wiederholten Kontakt mit metallischen Objekten und über einen längeren Zeitraum.¹⁰ Die Überempfindlichkeit beginnt hier häufig in der Kindheit mit dem Tragen des ersten nickelhaltigen Modeschmucks, den ersten Ohringen etc. Entscheidend ist dabei aber nicht, wie viel Nickel in einem Produkt enthalten ist, sondern wie viele Nickel-Ionen freigesetzt bzw. abgegeben werden, denn erst dadurch kann eine allergische Reaktion ausgelöst werden. Gerade bei Schmuckmetallen wird häufig eine nickelhaltige Legierung verwendet. Im Kontakt mit der Haut findet bei diesen Legierungen ein ständiger Korrosionsprozess statt: Die Haut bildet einen permanenten Schweißfilm zur Körpertemperaturerhaltung, dessen Bestandteile, wie z. B. Salze etc., mit der Legierung reagieren. Dieser permanente Abtrag aus der Legierungs Oberfläche sorgt

zum einen für einen immer glänzend und sauber wirkenden Schmuck, andererseits werden die Korrosionsprodukte aber zum Teil durch die Haut aufgenommen und gelangen so, mit oft negativen Auswirkungen, in den menschlichen Organismus.

In der Mundhöhle sind diese Auflösungsprozesse der Legierungen signifikant stärker. Unser Speiseplan liefert hier diverse Stoffe, von der Essigsäure im Salat bis hin zum Fruchtsaft, die die in der Mundhöhle permanent ablaufenden chemischen Prozesse ankurbeln. Die Mikroorganismen in der Mundflora sind daran beteiligt und unterstützen diesen Prozess zusätzlich. Der PH-Wert im Speichel schwankt bei jedem Schluckvorgang und wird immer wieder neu konzentriert. Die sauren Elektrolyte sind in Verbindung mit den verschiedenen Legierungen in der Lage, alles Metallische in seine Ionen zu zerlegen. Die „Sammelbecken“ im Organismus sind dabei die Leber und die Nieren, in denen dann das alles abgespeichert und angereichert wird.

Eine moderne und biologisch orientierte Kieferorthopädie erfordert daher zwangsläufig eine kritische Auseinandersetzung mit den metallischen Werkstoffen. Titan kann hier eine gute Lösung sein, da seine besonderen Eigenschaften es für die Verwendung in der Mundhöhle interessant machen (Abb. 1). Die hervorragende Biokompatibilität und Korrosionsresistenz des Titans sind heute sicher festgestellt.

Die biokompatiblen Eigenschaften des Titans haben ihre Ursache in der Ausbildung einer dünnen Titanoxid-schicht auf der Metalloberfläche. Diese passivierende Schicht wird nach einer Beschädigung sofort wieder aufgefrischt, die Titanoberfläche wird mit dem Luftsauerstoff im umgebenden Medium sofort reagieren und somit den Schutzfilm aufrechterhalten. Diese Oberfläche im Titan ist immer garantiert und macht das Metall dadurch verträglich. Eine ebenso günstige Eigenschaft des Titans ist seine relative Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen. Diese erlaubt eine gute röntgenografische Beurteilung sowie Diagnostik bei seiner Verwendung.

Titan hat sich in der Chirurgie, Implantologie sowie Orthopädie durch seine exzellente Bioverträglichkeit längst durchgesetzt. Der vom Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte geforderten Reduktion von verschiedenen Metallen im Mund kann mit Titan entsprochen werden. Außerdem kann ein Material, das keine Allergien auslöst, eine kieferorthopädische Behandlung nachhaltig erleichtern: Zwar sind herausnehmbare KFO-Geräte bei Irritationen in der Mundhöhle leicht zu entnehmen, jedoch liegt der Fall bei Multiband- oder anderen festsitzenden Apparaturen zur Zahnregulierung gänzlich anders (Abb. 2 und 3).^{1,6,8}

Schrauben und Brackets aus Titan finden in der Kieferorthopädie immer häufiger Anwendung. Ebenfalls stärker in Erscheinung treten Brackets aus Keramik. Bei bandartigen Strukturen ist aus Stabilitätsgründen eine gegossene Struktur stabiler als eine aus dünnen Metallringen adaptierte Bandkonstruktion.

Titan als Werkstoff



Abb. 1 Titan zeigt seine Eigenschaften nicht nur im Mund. Beim Bearbeiten zeigt es auch ganz andere Reaktionen als andere Dentallegierungen.

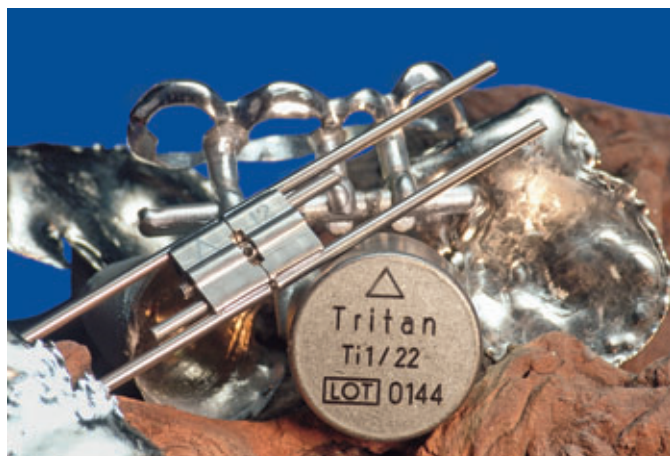


Abb. 2 Titan zum Gießen und eine Hyraxschraube (Dentaurum) aus Titan bilden die biokompatible Materialauswahl.



Abb. 3 Spezielle Instrumente für die Ausarbeitung von Titan. Die GTi (Grobe Titanbearbeitung) erfolgt mit Fräsern von der Firma Gebr. Brasseler, Lemgo, die speziell für Titan entwickelt wurden. Sie leisten einen entscheidenden Beitrag zur Überwindung der Bearbeitungsprobleme.

Die aktive Gaumennahterweiterung Aufbau und Wirkung der Apparatur

Auch die Apparatur zur aktiven Gaumennahterweiterung ist über einen längeren Zeitraum fest in der Mundhöhle des Patienten verankert. Das Standardgerät für die Gaumennahterweiterung besteht aus einer konfektionierten Hyraxschraube aus Titan, die lasergeschweißt mit gegossenen Ankerbändern aus Titan verbunden ist. Die Herstellung von Titanschrauben für die Gaumennahterweiterung ist von der Firma Dentaurum, Ispringen, bereits vor einigen Jahren umgesetzt worden.² Als Pfeilerzähne fungieren die ersten Prämolaren (seltener die ersten Milchmolaren) und die ersten bleibenden Molaren. Der Hub der Hyraxschraube beträgt ca. 0,25 mm pro Vierteldrehung. Zahlreiche Modifikationen erweitern das Behandlungsspektrum.

Der Dehnungserfolg wird durch tägliches Weiterauseinanderdrehen der Schraube in wenigen Tagen bis zum Erreichen der gewünschten Dehnung durchgeführt. Nach erfolgreicher Öffnung der Sutura palatina mediana und dem Erreichen der geplanten Dehnung hat sich die Hyraxschraube mit der Verankerung am Restgebiss bewährt, verbleibt aber zunächst zur Retention im Munde.

Die Wirkung dieser Apparatur beruht auf dem Öffnen der Suturen, dabei kommt es sowohl zu Zahnkippen als auch zu Veränderungen am Alveolarfortsatz (Kippungen/Abknickungen, Remodelling). Die Sutura palatina mediana öffnet sich v-förmig. Eine Öffnung der Gaumennaht zwischen den Schneidezähnen ist etwa doppelt so groß zu erwarten wie im Bereich der Molaren. Die beiden Kieferhälften der Maxilla rotieren um einen Drehpunkt in der frontomaxillären Sutura sowohl in der frontalen als auch in der sagittalen Ebene. Dieses Diastema schließt sich meistens spontan nach aktiver Behandlung. Dabei kippen die Kronen zunächst nach mesial. Vermutlich sind dafür die transseptalen Fasern verantwortlich. Nach Kontakt der Frontzahnkronen im Diastema beginnen die Wurzeln der Inzisiven, sich in die alte Achsrichtung zu verschieben und richten so die Zähne wieder auf. Nach erfolgreicher Expansion kommt es zur Kallusbildung.

Zu diesem Zeitpunkt ist es besonders wichtig, die Kieferposition sicher und stabil zu halten. Im Anschluss daran kommt es durch immer weitere Einlagerungen von Kalzium



Abb. 4 Die anteriore Anlagerungsfläche der beiden Gaumenfortsätze des Oberkieferknochens wird als sutura intermaxillaris bezeichnet. Nach kranial und dorsal schließt sich von hier aus die sutura palatina mediana an.



Abb. 5 Die Maxilla: Ein Dreiviertel der Oberkieferhälften wird von den processus palatini gebildet. Sie sind im Bereich des Gaumendaches durch die sutura palatina mediana miteinander verbunden. Die sutura palatina mediana wird von den processus palatinus maxillae im anterioren und von den laminae horizontalis ossis palatini im dorsalen Bereich gebildet.



Abb. 6 Die sutura palatina mediana öffnet sich v-förmig.



Abb. 7 An der sutura intermaxillaris wird bei der Gaumennahterweiterung die größte Öffnung zu erwarten sein.

zur Verknöcherung. Diese Entwicklung dauert bis zu einem halben Jahr, während die forcierte Dehnung in der Regel innerhalb von 14 Tagen erreicht wird (Abb. 4 bis 7).

Dünnen Stahlbändern, die konfektioniert den Zähne angepasst wurden und anschließend miteinander verlötet worden sind, sollte man skeptisch gegenüber sein. Kommt es innerhalb des Behandlungszeitraumes zu Frakturen in den Bändern oder den Lötstellen oder zu allergischen Reaktionen, so ist das für alle Beteiligten, vor allem aber für den Patienten, eine kleine Katastrophe. Daher bevorzugt der Autor selbst gegossene und individuell angepasste Ankerbänder aus Titan. Allergische Reaktionen kann man nicht vorhersehen, aber mit der Wahl entsprechender Werkstoffe wie Titan von vornherein vermeiden. Die notwendige Stabilität erhält die gegossene Arbeit aus Titan durch die Wand-

Weitere
Herstellungsgrundlagen

stärke, die beim Modellieren individuell aufgetragen wird. So können die Materialquerschnitte durch den Zahntechniker individuell und den Anforderungen entsprechend perfekt angepasst werden. Die Fachkompetenz des Technikers ist einer maschinellen Fertigung von einheitlichen dünnen Stahlbändern immer vorzuziehen. Durch das Modellieren in Wachs und die Gestaltungsmöglichkeit der Wandflächen der Zahnumfassungen kann der Techniker die Stabilität und die Langzeitwirkung massiv beeinflussen. Ein perfekter Randschluss zum Zahn ist eine Garantie für eine gute Befestigung im Mund. Zugleich wird hierbei auch eine der Dentalhygiene entsprechende Ausformung der Zahnbereiche gewährleistet.

Es ist für den Patienten schon eine große Herausforderung, die eingegliederte Apparatur sauber zu halten. Nischen und schlecht adaptierte Bänder würden eine weitere Gefahr für die Zahnerhaltung darstellen. Die Angriffsflächen interdental und zervikal sollten so perfekt wie möglich ausgestaltet werden.

Die Bearbeitung von Titan

Die Herstellung einer solchen Apparatur ist nicht ganz einfach. Die Hyrax-Schraube kann man in Titan bestellen, jedoch ist die gusstechnische Umsetzung in Titan für die Bebänderung nur einem kleinen Kreis von zahntechnischen Laboren zugänglich, denn für die Fertigung muss neben der Titangusstechnik auch zwingend ein Schweißlaser zur Verfügung stehen (Abb. 8 bis 10).

Abb. 8 Eine spezielle Anstifttechnik für den Titanguss ist unbedingt notwendig. Ebenfalls benötigt wird eine spezielle Titaneinbettmasse (Trinell, Dentaurum).

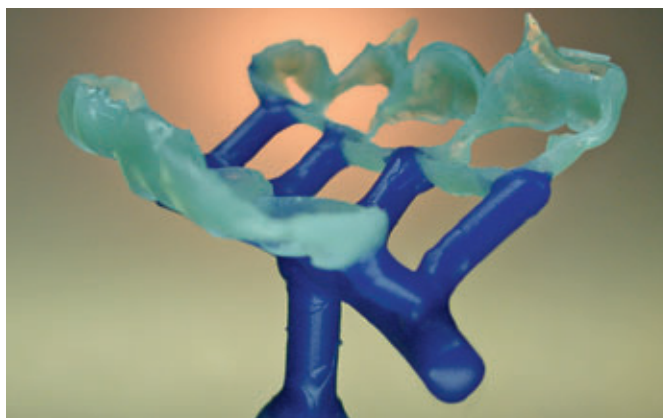


Abb. 9 Mit lichterhärtendem Wachs (Metacon, Primotec, Bad Homburg) kann die Modellation problemlos abgehoben werden und auch das Ausarbeiten ist kein Problem.

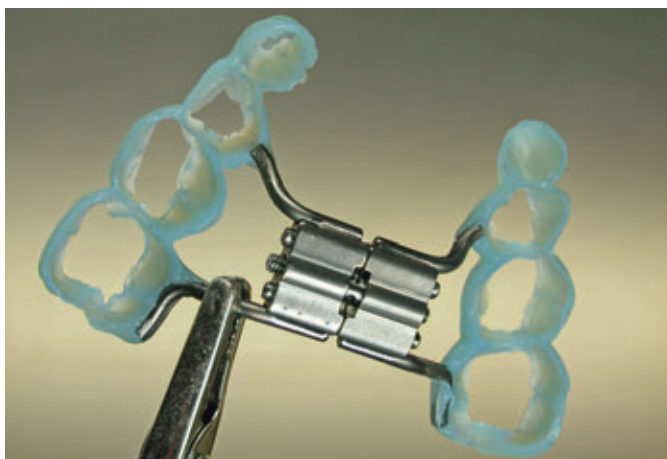
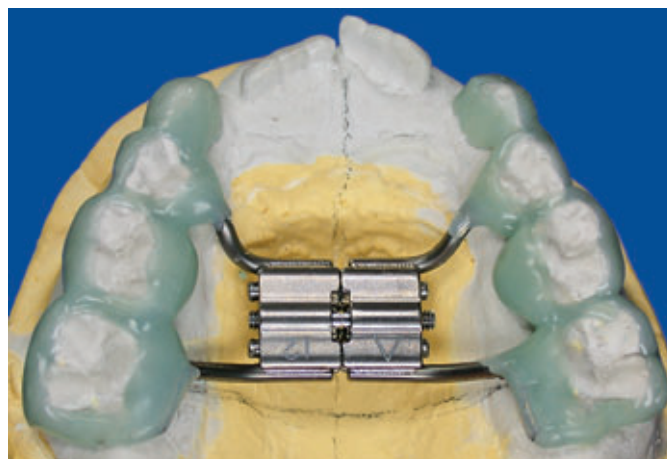


Abb. 10 Die gegossenen Bänder sind anders als Stahlbänder, viel starrer und stabiler, da sie für den Patientenfall direkt vom Zahntechniker modelliert und gegossen werden.



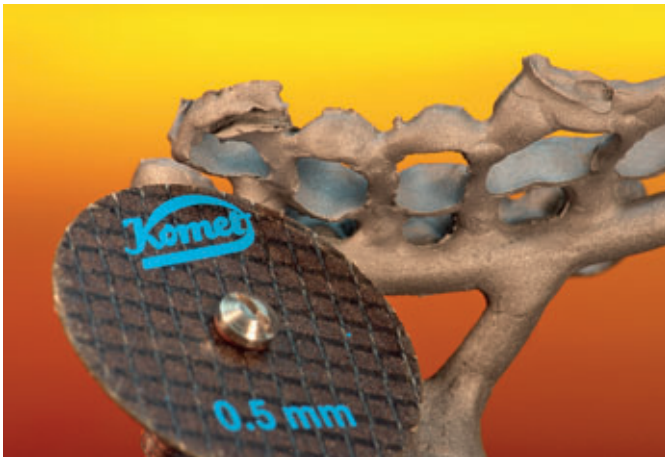


Abb. 11 Das Abtrennen muss drucklos erfolgen, da Titan Wärme schlecht ableitet und somit an der Schnittstelle schnell härtet.



Abb. 12 Die Schnitttechnik zeigt den Umwandlungsprozess von Titan zu Titanoxid auf. Jeder Funke ist als sichtbare Oxidation mit Luftsauerstoff zu erkennen.

Das weitere korrekte Verarbeiten von Titan ist nur mit geeigneten speziellen Titanfräsen sowie der richtigen Beschaffenheit der Schleifbänder und Gummierer möglich, denn Titanwerkstoffe sind nicht leicht zu bearbeiten, sie neigen zu örtlicher Überhitzung und haben gleichzeitig eine stark verminderte Wärmeabfuhr. Auch das Abtrennen der Gusskanäle ist eine „funkensprühende“ Angelegenheit. Das Titan wird dabei von den Edelkorundstücken der Trennscheibe herausgerissen und kommt mit dem Luftsauerstoff in Berührung. Dabei verbrennt das Titan und oxidiert zu Titanoxid (Abb. 11 bis 14).³

Titan muss also mit geringem Anpressdruck und niedriger Drehzahl bearbeitet werden. Dabei ist das Fräsen von Titan besonders schwierig, da das Kleben der Späne am Fräser und die sog. Rattermarken, wie sie auch bei den NEM-Legierungen bekannt sind, schnell auftreten. Abhilfe schaffen hier geringe Schnittwinkel und gesonderte Fräswerkzeuge (Hartmetall, Kobaltlegierungen). Die angestrebten Schnitttiefen sollen auch beim Fräsen höher als bei NEM sein.

Die GTi (Grobe Titanbearbeitung) erfolgt beim Autor mit Fräsern von der Firma Gebr. Brasseler/Komet, die speziell für Titan entwickelt wurden und die einen entscheidenden Beitrag zur Überwindung der Bearbeitungsprobleme leisten (Abb. 15 und 16).^{7,9} Mit der, verglichen mit herkömmlichen Fräsern, geringeren Anzahl von Schneiden und der zusätzlichen Kreuzverzahnung wird ein besonders aggressives Schneidverhalten erzielt, was wiederum zu einer erhöhten Abtragsleistung und einer verbesserten Standzeit dieser Spezialfräsworkzeuge führt. Die besten Leistungen werden mit Drehzahlen von bis zu 15.000 U/min erreicht. Überhöhte Drehzahlen führen zu Kantenausbrüchen und zur Funkenbildung. Die hohe Zähigkeit des Titans und sein niedriges Elastizitätsmodul führten bei der Zerspanung mit herkömmlichen Hartmetall-Fräsworkzeugen durch die schon genannte erhöhte Hitzeentwicklung und die gleichzeitig verminderte Wärmeabfuhr zu geringeren Standzeiten der verwendeten Werkzeuge. Dies hat somit auch negative wirtschaftliche Auswirkungen. Ganz nebenbei wird dieser falsche Einsatz dann auch zwangsläufig die Arbeitszeiten massiv verlängern.

Das Gummieren findet mit speziellen Titangummierern statt (Glanzpolitur mit dem Pin-Polierer 9413.000.030, Hochglanzpolitur mit dem Pin-Polierer 9414.000.030, beides



Abb. 13 Fräsen, die mit Druck eingesetzt werden, sind schnell mit Titan verschmiert und bringen keinen Erfolg. Links: Eine mit Titanspänen zugesetzte Fräse. Rechts: Bei richtigem Einsatz bleibt die Fräse sauber.



Abb. 14 Die Ausarbeitung mit niedriger Drehzahl und fast ohne Druck, das ist die Kunst beim Titan. So ist der Abtrag mit den Titanbohrern butterweich.



Abb. 15 Die Schraube wird in Position gebracht und auf dem Modell mit Silikon fixiert. Sie ist somit zum Schweißen mit dem Laser perfekt geschützt und sauber positioniert.



Abb. 16 Die Schweißnähte sind möglichst lang und verteilen somit die Kraft besser auf die Gusskonstruktion.

Brasseler). Eine Drehzahl von 5.000 bis 6.000 pro min erzielt bei Titan im Handumdrehen eine optimale Oberfläche. Das Geheimnis beim Gummieren ist eine möglichst geringe Anpresskraft. Bis zu diesem Zeitpunkt konnten alle Teile separat auf dem Modell ausgearbeitet werden, so lassen sich ohne große Schwierigkeiten die Gussstrukturen perfekt ausarbeiten und gummiere. Das Laserschweißen der Einzelteile schließt die Ausarbeitung der Gussteile ab. Eine Laserschweißung oder Mikroimpulsplasmaweißung (Phaser, Primotec) ist für den Werkstoff Titan die einzige metallische Fügetechnik. Beim Schweißen wird als Zusatzwerkstoff ebenfalls nur reines Titan benutzt, also ein Metall für die ganze Konstruktion mit der höchsten Stabilität und der größten Biokompatibilität. Auch die Regeln des Laserschweißens für Titan müssen perfekt beherrscht werden, um alles gut und gleichmäßig zu vereinen. Dies sollte der Anwender in speziellen Schulungen erlernen. So kann man gewiss sein, dass alles für das Gelingen der kieferorthopädischen Behandlung getan wurde, was nach heutigem Stand der Technik möglich ist.

Die Politur der Arbeit ist ebenfalls nicht zu unterschätzen. Gerade hier punktet man, wenn es schlierenfrei und hochglänzend wird. Nur glatte Flächen lassen sich einfach und perfekt reinigen. Also sorgen wir für einen Hochglanz der Superlative – sodass man den ganzen Titanapparat einfach und leicht säubern und pflegen kann (Abb. 17 bis 20).^{2,4,5}



Abb. 17 Aufwändiger ist die Politur des Werkstücks: Zunächst wird immer feiner gummiert und dann mit dem Handstück und einer Bürste mit Titanpolierpaste auf Hochglanz gebracht.

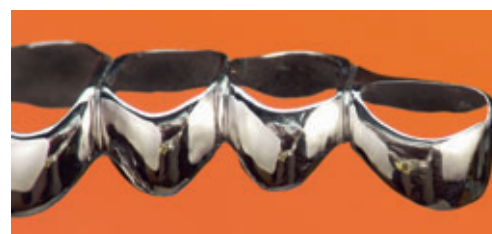


Abb. 18 Man sollte auch nicht Abdampfen, sondern mit Seifenlösung und Bürste sowie im Ultraschallbad reinigen.



Abb. 19 Nach dem Schweißen erfolgt die Politur der Laserbereiche.

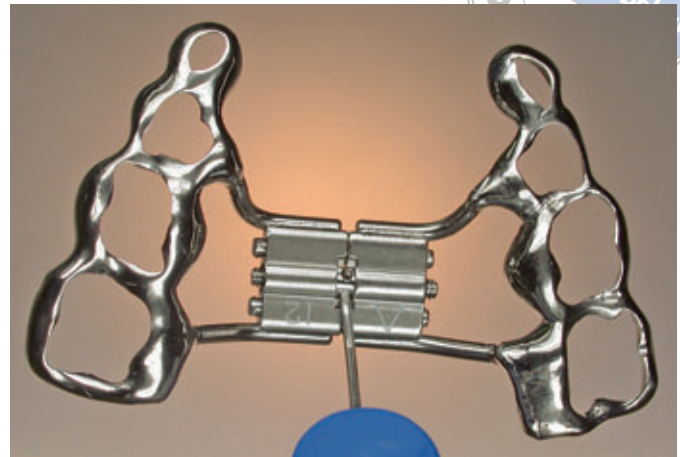


Abb. 20 Einen Funktionstest durch Auf- und Zuschrauben schließt die Fertigung ab.

Neben dem Wissen um die Titanausarbeitung gehört auch noch ein gutes Stück Fachkompetenz auf dem Gebiet der Kieferorthopädie dazu, um alle Arbeitsschritte in Gleichklang zu bringen. In der Regel ist entweder die Möglichkeit zur Titanverarbeitung im Labor vorhanden, doch die Herstellung kieferorthopädischer Apparaturen gehört nicht zum Alltag, oder die kieferorthopädischen Labore besitzen keinen Gerätepark zur Titanverarbeitung. Doch wenn alle Zahnräder perfekt ineinandergreifen, kann die Kieferorthopädie noch ein Stück biologischer und sicherer werden.

Fazit

In diesem Sinne gibt es noch vieles auf diesem Gebiet hinzuzubiegen und es macht Spaß, daran beteiligt zu sein, denn ein gesunder Patient neigt eher zum Lächeln und das ist es doch, was wir mit Zahntechnik aus Deutschland zeigen wollen.

1. Bundesgesundheitsamt: Empfehlungen zur Risikominderung von Legierungen in der zahnärztlichen Therapie. Berlin: Bundesgesundheitsamt, 1993.
2. Donovan MT, Jin-Jong Lin J, Brantley WA, Conover JP. Weldability of beta titanium arch wires. Am J Orthod 1984;85:207–216.
3. Eichner K, Kappert HF. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung Band 1. Heidelberg: Hüthig, 1996.
4. Geis-Gerstorfer J, Weber H, Simonis A, Eckhardt M, Haselberger D. Zugfestigkeit von plasma- und lasergeschweißtem gegossenem Titan. Dtsch Zahnärztl Z 1990;45:545–547.
5. Kassenbacher A, Dielert E. Werkstoffprüfung an laserstrahlgeschweißten bzw. gelöteten Gold- und CoCrMo-Dentallegierungen; Dtsch Zahnärztl Z 1988;43:400–403.
6. Koppenburg P, Bacher M, Geis-Gerstorfer J, Sauer KH, Kratzenstein B, Weber H. Die kieferorthopädische Apparatur – ein Schritt zur Sensibilisierung gegen Metalle? Fortschr Kieferorthop 1988;49:62–69.
7. Ludwig K. Lexikon der Zahnmedizinischen Werkstoffkunde. Berlin: Quintessenz, 2004.
8. Sernetz F. Titan und Titanlegierungen in der Kieferorthopädie. Quintessenz Zahntech 1995;21:615–626.
9. Sjögren G, Andersson M, Bergman M. Laser welding of titanium in dentistry. Acta Odontol Scand 1988;46:247–253.
10. Wirz J, Bischoff H. Titan in der Zahnmedizin. Berlin: Quintessenz, 1997:353–377

Literatur

ZTM Andreas Hoffmann, Dentales Service Zentrum
Ludwig-Erhard-Straße 7b, 37434 Gieboldehausen
E-Mail: info@1dsz.de

Adresse des Verfassers