



[Resumen]

Este artículo pretende comparar la técnica de fresado y los procesos selectivos de la sinterización por láser. Ambos métodos se utilizan en odontología y pueden compararse a partir de los datos obtenidos de su uso diario. Se escogió un sistema CAD-CAM para comparar los valores resultantes, ya que ambos procesos pueden usar un mismo escáner y el correspondiente software e interfaz de construcción. Esto permite que los resultados puedan compararse directamente. Se comparan los diferentes procesos, los materiales utilizados, el escaneado, la construcción y la elaboración mecánica y manual hasta llegar a un análisis de los costes.

Palabras clave

Comparación de sistemas.
Comparación de procesos.
Técnica de fresado.
Sinterización por láser. CAD-CAM.
Análisis de los costes.

(Quintessenz Zahntech.
2006;32(5):534-46)

Comparación de la técnica de fresado y la sinterización por láser

Ralph Riquier

La técnica de fresado y la sinterización por láser son dos aplicaciones modernas (figs. 1 y 2). Años atrás, la elaboración de prótesis asistida por ordenador con la técnica de fresado era sin duda alguna la tecnología del futuro. Hoy día, su implantación en el laboratorio dental es ya una realidad. Sin embargo, existen otras tecnologías emergentes que pueden suplantar en un futuro la elaboración de prótesis con estos métodos, como por ejemplo la fabricación rápida. El hecho de que tanto el escáner como el software de construcción puedan utilizarse universalmente hace que las diferentes tecnologías de elaboración tengan un papel importante cada vez más consolidado. Así mismo, el número cada vez mayor de usuarios demuestra que la adaptación de la maquinaria y los dispositivos de elaboración industriales en el sector protésico ofrecen muchas ventajas. Muchas veces es difícil hacer una comparación directa porque existen diferentes procesos de producción.

En este artículo se evaluaron la técnica de fresado y el proceso selectivo de sinterización o fundición por láser. Ambos métodos se aplican en odontología y pueden compararse a partir de los datos de su uso diario. Esta comparación se basa en los resultados de un sistema CAD-CAM. Se eligió este sistema porque ambos procesos pueden utilizar un mismo escáner y el correspondiente software e interfaz de construcción, lo cual permite compararlos directamente. Obviamente los sistemas de fresado y los dispositivos de

Introducción

Fig. 1. Técnica de fresado en funcionamiento.





Fig. 2. Piezas de metal y de cerámica sinterizadas por láser.



Fig. 3. Puentes elaborados con los diferentes sistemas.

sinterización por láser que existen no son iguales, pero los resultados pretenden mostrar una tendencia general. Se comparan diferentes variables, empezando con los diferentes procesos y materiales utilizados hasta llegar a un análisis de los costes, pasando por el escaneado y la construcción así como el procesamiento manual y mecánico. El autor intentará comparar objetivamente las diferencias sin recurrir a los valores, pero el resultado será valorable debido a la propia finalidad, es decir, una producción eficaz (fig. 3).

Procesos *Técnica de fresado en la tecnología protésica*

La técnica de fresado se define como un proceso de conformación con desprendimiento de virutas en el que se fresan o pulen coronas y armazones para puentes a partir de las diferentes piezas brutas formadas con dispositivos de conformación y herramientas multiaxiales. El material, las herramientas y las velocidades de avance influyen determinadamente en los tiempos de conformación. Puesto que la elaboración se realiza puliendo o fresando la pieza, el tiempo de conformación determina así mismo el tamaño de ésta. Es importante obtener el diámetro óptimo de una pieza bruta para minimizar el desgaste de la herramienta y la pérdida de material (figs. 4 y 5).

Fig. 4. Interior de una fresadora.



Fig. 5. Aspecto de una fresadora.





Fig. 6. Vista interior de una máquina de sinterización por láser.



Fig. 7. Vista de la unidad de sinterización por láser.

Un rayo láser funde polvos de metal para transformarlos en coronas y armazones para puentes (figs. 6 y 7). Para que esto sea posible, un rodillo de metal transporta los polvos de metal a un espacio de tratamiento utilizando una placa de trabajo. Cada una de las capas de polvo de metal mide de 20 a 30 μm . Un láser de fibra óptica de 50 vatios funde el metal con precisión en la posición deseada. A continuación, la placa de trabajo se rebaja hasta 20-30 μm , se recubre con una nueva capa de polvo de metal y vuelve a fundirse (fig. 8).

Este proceso prosigue hasta que en el *software* se puede representar el armazón capa por capa desde una sección horizontal (fig. 9).

Sinterización o fundición por láser en la tecnología protésica

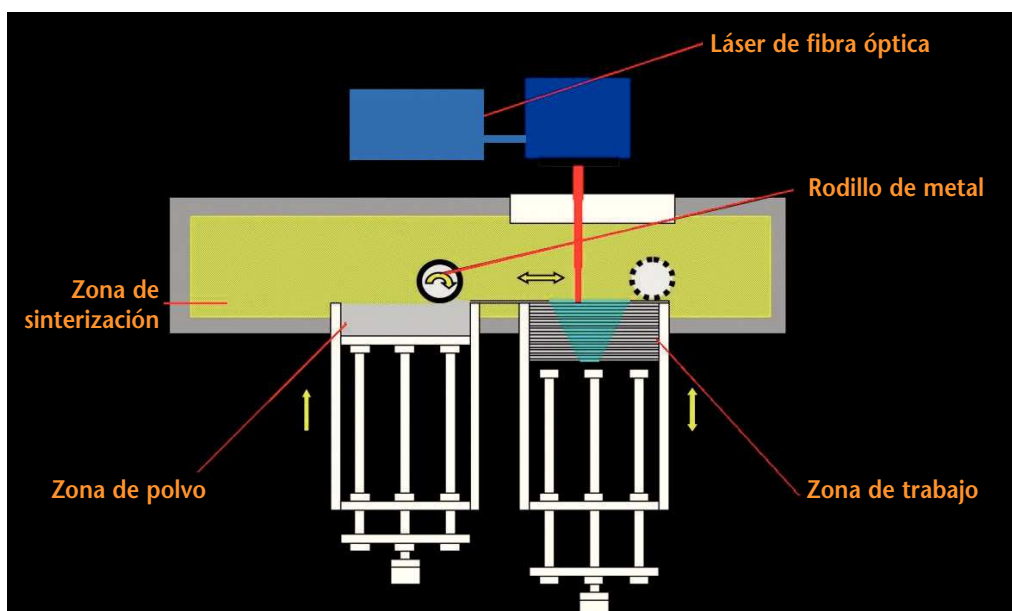


Fig. 8. Composición esquemática del proceso.



Fig. 9. Resultado final de un proceso de elaboración.

Todo el proceso se realiza en atmósfera controlada (N_2), durante el cual se construyen y se añaden capas. Por tanto, la cantidad del material utilizado viene determinada únicamente por el peso del trabajo elaborado. El polvo que no se ha utilizado puede utilizarse nuevamente. La velocidad del proceso de fabricación depende de la duración de la secuencia de sinterización y de la aplicación de cada una de las capas de metal. Así mismo, el número de capas utilizadas también influye.

Material Se utilizó metal no precioso como material, ya que ambos sistemas lo aceptan y el reciclaje del material residual no es complicado. En el proceso de sinterización por láser se utilizó CrCo, mientras que en la técnica de fresado se usó CrCo y titanio. Para la fabricación del material y las piezas brutas se emplean diferentes procesos industriales.

Piezas brutas de titanio para la técnica de fresado

La fabricación de productos semifabricados de titanio se consigue con el procesamiento de este metal hasta conseguir el producto laminado. Para ello son necesarios tres pasos fundamentales:

- Reducción del titanio en una forma porosa denominada «esponja» de metal de titanio.
- Fundido de la «esponja».
- Conformación de los bloques por desbaste hasta conseguir productos laminados o conformación por dimensiones aproximadas hasta conseguir barras o piezas soldadas sin que tengan una forma concreta.

Las propiedades típicas del titanio aparecen en las dos primeras fases. Los bloques se conforman por procesos de forjado y laminado hasta obtener productos semiacabados. Las barras que se fabrican con fines industriales pueden usarse también como piezas brutas para las fresadoras de prótesis dentales con pocos retoques posteriores. De este modo, los precios de las piezas brutas son comparativamente más bajos (figs. 10 y 11).



Fig. 10. Piezas brutas de material en barras.

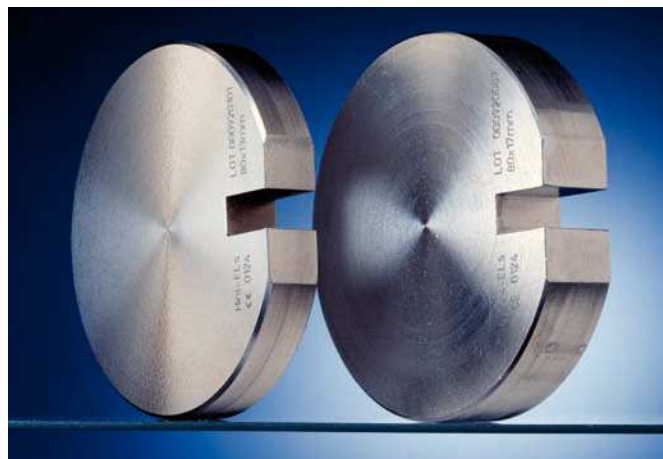


Fig. 11. Material en placas.

Las aleaciones de cromo-cobalto se empezaron a utilizar en odontología entre los años 1930 y 1940. El componente principal era el cobalto, al cual se añadieron el cromo y el molibdeno por su mayor resistencia a la corrosión. En todas las aleaciones de CrCo no se descarta una impureza con el níquel. Sin embargo, la alta resistencia a la corrosión de esta aleación se opone a este elemento (fig. 12).

Piezas brutas de cromo-cobalto para la técnica de fresado

Fundición en atmósfera controlada. Este proceso garantiza una aleación que no cambia sus componentes utilizando un gas inerte durante el proceso de fundido por inducción.

Fundición centrífuga en atmósfera controlada. En este proceso de fundido por inducción el metal elaborado con gas inerte adquiere una forma preconformada con la fuerza centrífuga (fig. 13).

En ambos procesos, la formación de cavidades en la pieza bruta no puede descartarse del todo. Los costes de las piezas brutas, en comparación con el titanio, son mayores porque es necesario un mayor consumo durante su fabricación y las formas sólo pueden utilizarse en sistemas de fresado para prótesis dentales.



Fig. 12. Material en barra y polvo de CrCo.



Fig. 13. Turbina hecha de polvo de CrCo.

Polvo de cobalto y cromo en la sinterización por láser

El proceso de obtención de polvo de metal se denomina atomización por gas. El proceso se realiza en las llamadas cámaras de atomización de metal. En estas cámaras el chorro de un baño de metal fundido, en este caso CrCoMb, se atomiza a gotas de un diámetro menor de 50 μm con un chorro de gas a alta presión (nitrógeno o argón). Cada gota contiene todos los componentes principales de la aleación en un porcentaje idéntico y a cada una de ellas se las denomina minilingotes. A continuación, el polvo se separa mediante un proceso de cribado que se repite varias veces hasta obtener diámetros de partículas diferentes que tienen múltiples aplicaciones. Los polvos usados en esta cámara de sinterización por láser tienen un diámetro de menos de 16 μm en un 90% de los casos. Las aplicaciones del polvo de metal son varias: desde herramientas diamantadas o de carburo sinterizado, baterías, cojinetes que se engrasan por sí solos, tintes, contactos eléctricos para catalizadores, explosivos, propergol o pastillas de freno hasta piezas de moldeo por inyección de metales o piezas sinterizadas.

Titanio en la sinterización por láser

El polvo de titanio se obtiene desde el principio de forma similar al polvo de CrCoMb, la única diferencia es la gran afinidad del titanio con el oxígeno. En todo el proceso de atomización hay que asegurarse totalmente de que no haya oxígeno. En los procesos posteriores también deben extremarse las precauciones, ya que los polvos de titanio más finos son altamente explosivos. Ello implica que la sinterización por láser en el laboratorio o en el centro de conformación sólo puede realizarse bajo las máximas condiciones de seguridad. Por este motivo, en este artículo no se va a profundizar más en la sinterización por láser del titanio. Las medidas de seguridad que se deben cumplir no se tendrían en cuenta en esta comparación, pero en su fabricación implican costes más elevados y por tanto los resultados no serían comparables ni objetivos.

Proceso Situación de partida

Como punto de partida se eligió un puente compuesto por cinco elementos. La situación y la preparación en la práctica son más bien óptimas. La superficie de los muñones no es uniforme y el muñón número 37 está rebajado. La preparación es mayoritariamente tangencial (fig. 14).

Escaneado y construcción

Se escaneó el modelo con un novedoso escáner de luz estriada (fig. 15). En esta construcción se renunció a los ejes móviles que hacen girar el modelo y sólo se utilizó un eje de rotación. Este eje proporciona una gran exactitud de medición, independientemente de la calidad de los componentes mecánicos. Aún así, para que se puedan detectar por completo el modelo y las áreas hendidas, se utilizan 3 cámaras CCD colocadas en diferentes posiciones (fig. 16). De esta forma se obtienen diferentes ejes desde la cámara con un solo eje de rotación. Del mismo modo, se reduce el tiempo de medición, ya que se captan tres posiciones diferentes al mismo tiempo. El muñón 33 y 34 están muy juntos. Para evitar sombras, el muñón 34 debe escanearse individualmente. El escáner tarda 2 minutos y 15 segundos en escanear cada muñón. A continuación, el límite de la preparación se determina automáticamente y si es necesario puede modificarse (figs. 17 y 18). La construcción se lleva a cabo con el software Hint-ELs® (Hint-ELs GmbH, Griesheim, Alemania), el cual puede generar datos tanto en la técnica de fresado como en la sinterización por láser. En las construcciones donde se aplica la sinterización por láser las exigencias son muy altas, ya que las cuadrículas deben estar libres



Fig. 14. El modelo del puente.

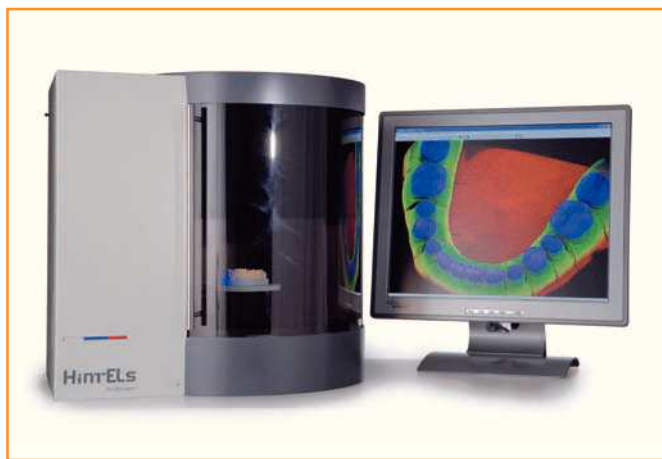


Fig. 15. Aspecto del escáner.



Fig. 16. Vista interior del "hiScanμ".

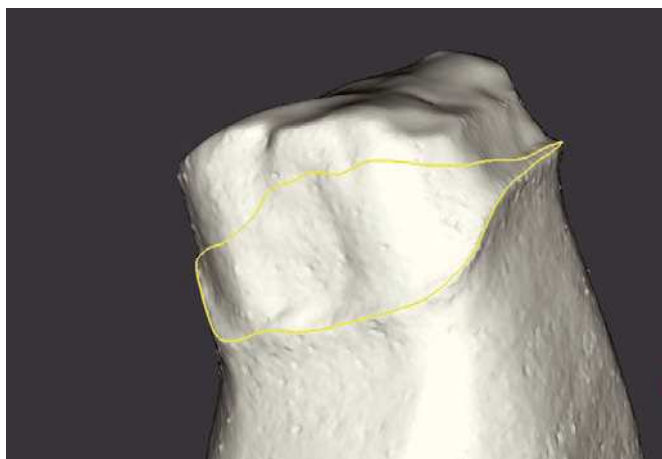


Fig. 17. Reconocimiento automático de los límites de la preparación.

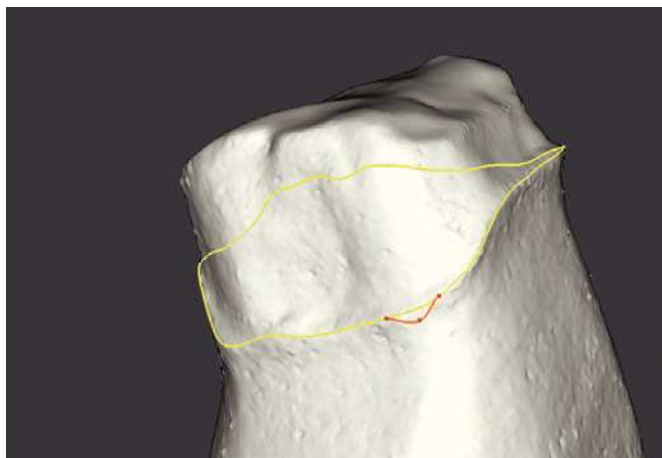


Fig. 18. Límites de la preparación modificables de forma individual.

de defectos. Si los datos obtenidos no fueran homogéneos se fabricarían armazones defectuosos que originarían defectos en el interior de la construcción del armazón ya listo y con ello espacios vacíos en el armazón de metal.

Durante la construcción se tiene en cuenta el espesor mínimo del bloque, el espacio del cemento, etc. Puesto que no se escaneó ningún maxilar opuesto, el *software* posiciona una superficie plana automáticamente en el punto más alto del muñón. De esta forma, el pónico de esta superficie plana puede alinearse (fig. 19). La única diferencia de construcción en los diferentes procesos existentes radica en que en la técnica de fresado debe utilizarse una unión más para juntar el puente elaborado con la pieza bruta de material (fig. 20). En la sinterización por láser esto no es necesario, ya que la unión a la placa de trabajo se realiza con una vista oclusal, en una fase posterior (fig. 21). La construcción dura 4:15 minutos.

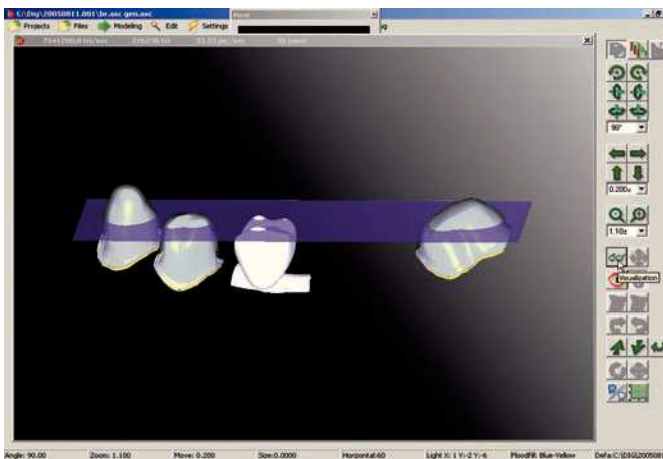


Fig. 19. Construcción del puente.

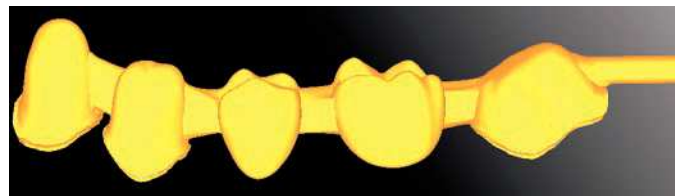


Fig. 20. Puntos de unión para la técnica de fresado.

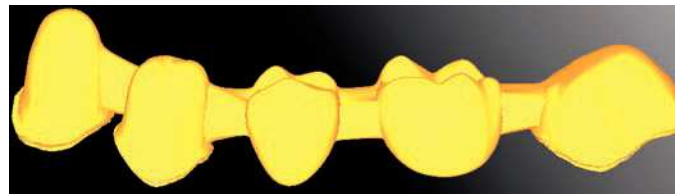


Fig. 21. Construcción para la sinterización por láser.

Elaboración Una vez finalizada la construcción, cada método sigue caminos diferentes. En la técnica de fresado se piden los parámetros de la máquina para el material correspondiente y se obtienen la longitud y el diámetro de la pieza bruta. En este ejemplo el software propuso un diámetro de la pieza bruta de 14 mm como óptimo. Por último, también puede determinarse si el procesamiento debe realizarse con 3 o 4 ejes (véase la comparación de los tiempos de fresado en la tabla 1; compárese también con la tabla 3). El tiempo de cálculo para la valoración de las trayectorias durante el fresado es de 3:55 minutos en el procesamiento con tres ejes y de 8:05 minutos en el procesamiento con cuatro ejes. A continuación se introducen los datos obtenidos en la máquina. La máquina también puede empezar a funcionar con una orden desde el PC después de que se haya introducido la pieza bruta y se haya montado el cargador de la herramienta. También es posible controlar la máquina por ordenador (fig. 22).

En la sinterización por láser, después de la construcción los datos deben pasarse a otro formato (STL). Este proceso se lleva a cabo haciendo clic en un botón y después de

Material	Elaboración con 3 ejes	Elaboración con 4 ejes
Titanio	3:36:20 Std.	2:37:30 Std.
CoCr	4:42:30 Std.	3:40:59 Std.

Tabla 1. Duración del fresado de los puentes



Fig. 22. Puente fresado acabado.

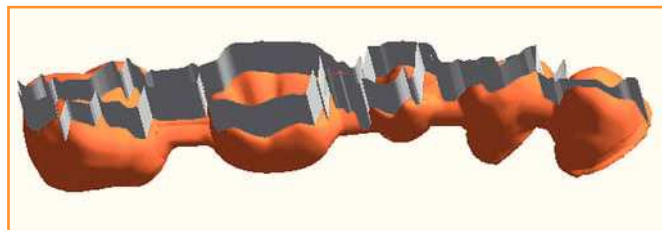


Fig. 23. Pasarelas robustas de 30 µm en la sinterización por láser.

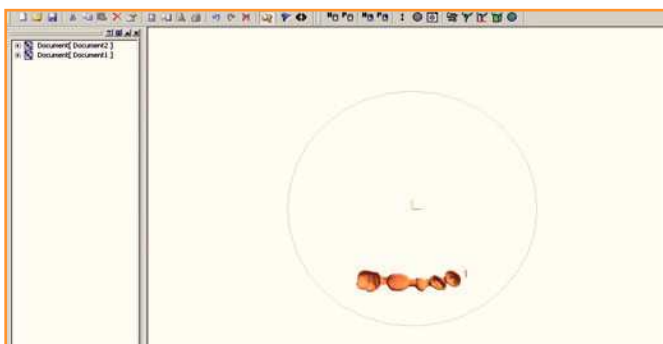


Fig. 24. Posicionamiento de la construcción en la placa de soporte.

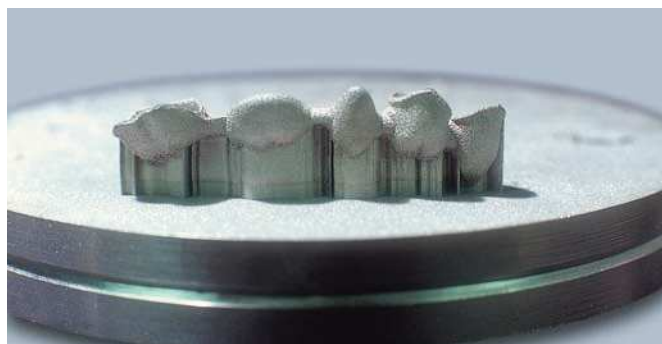


Fig. 25. Puente acabado después de la sinterización por láser.

2 segundos de cálculo. A continuación, los datos se memorizan en un software de posición. Aquí, el puente se alinea de forma que la cara interior de la corona mira hacia abajo. El software construye de forma automática en la superficie oclusal o incisal del armazón unos montantes de sujeción de 30 µm de grosor que permiten unir con seguridad el puente en la placa de soporte (fig. 23). Después de que se hayan trazado los montantes, el puente puede posicionarse en la placa de soporte. Aquí se pueden poner hasta 45 elementos (fig. 24). Este proceso necesita aproximadamente 3 minutos por elemento. Seguidamente se calculan las trayectorias de procesamiento. El software predetermina los parámetros y el usuario no puede cambiarlos. Para el procesamiento, los datos de construcción se vuelcan en una única capa horizontal. La densidad de las capas es de entre 20 y 30 µm. Para la construcción de este puente se necesitan 401 capas y el tiempo de cálculo para este proceso es de 4:35 horas. El tiempo de procesamiento depende en gran medida de la altura de la construcción y del número de capas, pero el número de elementos no influye en este cálculo. La preparación de la máquina para que pueda empezar un proceso de sinterización es de 25 minutos. El proceso de sinterización para este puente duró 4:35 horas. La sinterización por láser se realiza en una atmósfera controlada y de forma totalmente automática (fig. 25).

Acabado La extracción de los armazones elaborados de la máquina en el sistema de sinterización por láser es un poco más larga que en el sistema de fresado, ya que se debe aspirar el polvo restante. El coste de la separación y pulido de los montantes de sujeción es también mayor en los armazones sinterizados por láser. En la técnica de fresado sólo debe separarse una pasarela, mientras que en la sinterización por láser primero se separa el armazón de la placa de soporte y a continuación se deben pulir las capas de 30 μm . El tiempo empleado en la técnica de fresado es de aproximadamente 2:10 horas, mientras que la sinterización por láser necesita 7:30 horas. A continuación, ambos armazones se someten a un chorro de arena. La comparación de las superficies de ambos armazones muestra que en la técnica de fresado se obtiene una superficie muy lisa. La superficie de los armazones sinterizados por láser es como si pareciera fundida a una temperatura demasiado alta (figs. 26 a 29). En este proceso el espacio que ajusta cada corona es un poco más largo (figs. 30 y 31). Sin embargo, la sinterización por láser permite elaborar regiones hundidas y regiones interdentalas muy estrechas. Este proceso también supone un ahorro de tiempo, ya que la separación casi no es necesaria (figs. 32 y 33).

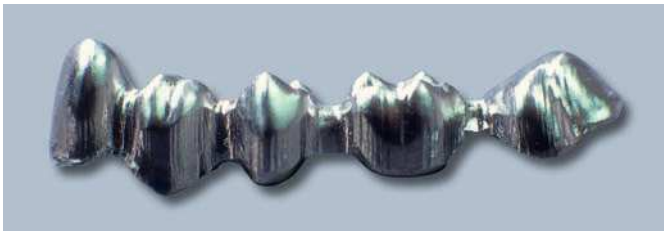


Fig. 26. Puente después de la separación, utilizando la técnica de fresado.



Fig. 27. Puente después de la separación, sinterización por láser.



Fig. 28. Calidad de la superficie en la técnica de fresado.



Fig. 29. Calidad de la superficie en la sinterización por láser.



Fig. 30. Cara interna de una corona en la técnica de fresado.



Fig. 31. Cara interna de una corona en la sinterización por láser.



Fig. 32. Región interdental en la técnica de fresado.

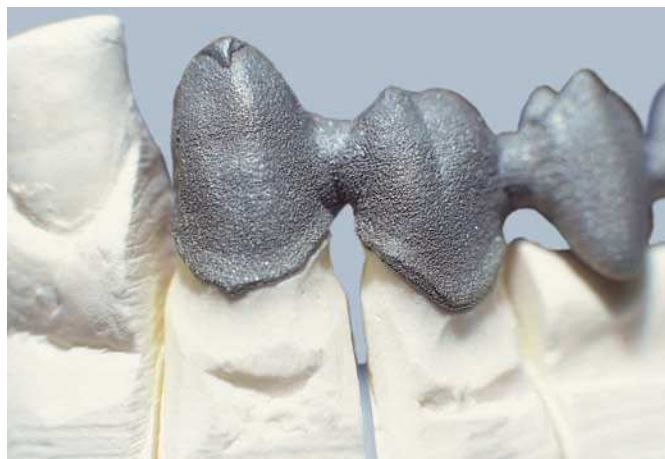


Fig. 33. Región interdental en la sinterización por láser.



Fig. 34. Puente ajustado en la técnica de fresado.



Fig. 35. Puente ajustado en la sinterización por láser.

En general, el tiempo empleado para el ajuste y acabado se puede considerar igual y es comparable con la fabricación mediante técnica de colado (figs. 34 y 35).

Para tener una mejor idea general de los datos registrados, los valores analizados se presentan en dos tablas. En una se muestran los tiempos y en la otra los costes originados (tablas 2 y 3).

La tabla 2 sólo pretende aportar una idea general. Algunos valores como los costes de personal, maquinaria, mantenimiento, corriente, alquiler, etc. no se tuvieron en cuenta. Para el autor fue decisivo poder hacer una afirmación esencial y no perderse en los números. La tabla 3 refleja el tiempo utilizado de promedio así como la posible necesidad de personal.

Tabla 2. Costes por elemento en euros

	Técnica de fresado		Sinterización por láser	
	Titan	CoCr	CoCr en plena utilización	CoCr (ejemplo del caso)
Material	2,40	8,20	0,65	0,65
Herramientas	5,39	7,52	0,00	0,00
Gas	0,00	0,00	0,43	3,50
Placa de soporte	0,00	0,00	0,55	4,40
Refrigerante	0,10	0,10	0,00	0,00
Total	7,89	15,82	1,63	8,55

Tabla 3. Tiempos de elaboración

	Técnica de fresado Titan	Sinterización por láser CoCr	CoCr	Personal necesario
Escaneado	4:30 min	4:30 min	4:30 min	50%
Construcción	4:15 min	4:15 min	4:15 min	100%
Posicionamiento	–	–	3:00 min	100%
Cálculo de las capas de elaboración*	–	–	4:35 min	0%
Cálculo de la trayectoria de fresado con 3 ejes/4 ejes*	3:55/8:05 min	4:36/9:15 min	–	0%
Ajuste de la máquina	3:00 min	3:00 min	20:00 min	100%
Tiempo de elaboración con 3 ejes/4 ejes	3:36/2:37 h	4:42/3:40 h	4:35 h	0%
Extracción/separación	2:10 min	2:10 min	7:30 min	100%
Acabado/ajuste	20 min	20 min	20 min	100%

*Según PC

Evaluación Al considerar ambos sistemas, las ventajas pueden variar mucho. Por un lado, la técnica de fresado se puede emplear de forma universal y con ella pueden procesarse diferentes metales, resinas, ceras y cerámica (fig. 36). Los tiempos de fresado para cada trabajo pueden verse y el proceso de elaboración así como los tiempos de preparación son largos. Esto se relativiza sin embargo cuando una placa de soporte está totalmente llena de elementos. Para la elaboración de una placa completa, es decir, de 50 elementos, el dispositivo necesita 11:30 horas (fig. 37).



Fig. 36. Variedades de procesamiento en la técnica de fresado: dióxido de zirconio, titanio, cobalto y cromo.



Fig. 37. Resultado de la elaboración después de 11:30 horas.

Esto significa que en un día pueden producirse 100 unidades de CrCo con una máquina, en contraposición con el máximo de 27 unidades de CrCo por máquina que se puede conseguir en la técnica de fresado.

La productividad y el menor coste de elaboración son claras ventajas del sistema de sinterización por láser. Sin embargo, este sistema necesita estar en funcionamiento continuamente ya que con un menor número de armazones los costes no son proporcionales, especialmente si se tienen en cuenta las horas de los técnicos (tiempos de ajuste de la máquina).

El uso de material flexible y tiempos de elaboración cortos para cada trabajo son posibles en la técnica de fresado.

Se ha comparado una tecnología especializada frente a una tecnología que ofrece muchas utilidades. La que gane, decide solamente y de forma individual el ámbito de aplicación y responde a la pregunta: ¿cuántos armazones deben elaborarse con qué material?

Quisiera dar las gracias a Hint-Els GmbH (Griesheim, Alemania) y a Phenix-Systems (Clermont-Ferran) por facilitarme los datos.

Agradecimientos

Ralph Riquier, Weidenweg 24, 75196 Remchingen, Alemania.
Correo electrónico: riquier@tiscali.de

Correspondencia