Hasta un 50% más de avance.

Gracias a las brocas en espiral de metal duro integral de 3 filos.

Hoffmann Group

Índice

Desafíos de la industria moderna del mecanizado	4
Ejemplo práctico: Brocas en espiral de metal duro integral de tres filos	4
La innovación	5
Mecanizado controlado gracias a un nuevo método de afilado	5
Taladrado exacto gracias al labio transversal de tres lados	6
Filos de corte estables gracias a la forma convexa del corte	7
Estrechamiento del núcleo para una extracción segura de virutas	8
Diseño equilibrado de los canales de refrigeración	8
Análisis de la fuerza de avance, del par de giro y del consumo de potencia	9
Modelos experimentales	9
Relación entre la velocidad de corte y la fuerza de avance	10
Análisis del par de apriete	11
Consumo de energía de las herramientas	12
Áreas de aplicación óptimas para las brocas de tres filos	12
Comparación de la duración de las brocas de tres filos	12
Conclusión: Aprovechar el potencial de avance	14

Resumen

Para que las empresas puedan trabajar de forma rentable con las técnicas de arranque de virutas, las herramientas utilizadas deben cumplir unos requisitos muy exigentes. Entre ellos se encuentran una larga vida útil, un arranque de virutas óptimo y la capacidad de soportar unas velocidades de corte altas y un avance elevado. Solo así se pueden reducir los tiempos de mecanizado y los costes por pieza de trabajo.

Utilizaremos el ejemplo de una nueva broca espiral de metal duro integral de tres filos para mostrarle qué soluciones innovadoras pueden utilizarse para hacer frente a estos retos. Presentaremos en detalle los cambios constructivos individuales. Al compararla con otras brocas de dos o tres filos de otros fabricantes, se pueden ver cuáles son sus ventajas e inconvenientes. Además, aprenderá para qué áreas de aplicación y bajo qué condiciones se puede utilizar el nuevo concepto de taladrado.

Desafíos de la industria moderna del mecanizado

Muchas empresas de mecaniado se preguntan cómo pueden aumentar aún más la productividad cuando tienen muchos pedidos. Tienen dos opciones: ya sea comprar otra máquina o recurrir a componentes individuales modernos y de alta potencia. En cualquier caso, la producción no solo debe ser un proceso seguro, sino también rentable. Para ello, las empresas buscan unas velocidades de corte altas y un gran avance para reducir el tiempo de mecanizado por cada pieza de trabajo.

Las herramientas de arranque de viruta deben diseñarse de forma óptima y deben cumplir algunos requisitos de dureza, resistencia a la compresión, resistencia, resistencia a la flexión y resistencia al calor. Estos desafíos conceptuales y sus soluciones se ilustran a continuación con el ejemplo de las brocas espirales de metal duro integral de dos o tres filos.

Ejemplo práctico: Brocas en espiral de metal duro integral de tres filos

En los años 60, ya se empezaron a utilizar las primeras brocas de metal duro integral de tres filos. Sin embargo, su uso era muy limitado. A pesar de las muchas optimizaciones que sufrieron, sus limitaciones características se mantienen hasta hoy. Especialmente en el caso de los materiales de viruta larga, la evacuación de las virutas es difícil: por un lado, debido a que las virutas son largas y, por el otro, debido a las ranuras receptoras de virutas.

La suposición de que es posible conseguir un 50 % más de avance con un corte adicional no puede llevarse a cabo. El problema: las herramientas no pueden evacuar ese volumen y, por tanto, generan una elevada presión de corte en la zona. Esta presión provoca un desgaste anticipado y, en el peor de los casos, la rotura de la herramienta. Esto, a su vez, reduce la vida útil de la herramienta y aumenta los intervalos de mantenimiento. Por esta razón, las brocas de tres filos solo podían utilizarse hasta ahora de forma fiable para el mecanizado de fundición gris y, por tanto, no estaban muy extendidas.

¿Cómo se puede aprovechar de forma óptima en la práctica el mayor potencial de alimentación que ofrece un tercer filo?

La innovación

Para poder utilizar las brocas de tres filos de forma fiable en otros materiales, es necesario adaptar la herramienta. A continuación, veremos las características de diseño y las modificaciones que lo hacen posible. La geometría de la nueva herramienta de arranque de virutas está diseñada para que la trituración de virutas se realice de forma segura, incluso en materiales dúctiles. Esto facilita la eliminación de virutas. Además, la nueva broca amplía la gama de aplicaciones: no solo es apta para la fundición gris, sino que los profesionales del arranque de virutas también pueden mecanizar materiales de viruta larga, como el acero X5CrNI18-10 y aceros de construcción generales, como el S235JR+AR.

Los cambios más importantes han sido:

- Afilado
- Labio transversal
- Bordes de corte
- Estrechamiento del núcleo
- Diseño canales de refrigeración

Una comparación práctica de esta broca de tres filos con otras herramientas disponibles en el mercado muestra que, al usarse, algunos modelos siguen teniendo los problemas mencionados anteriormente.

Evacuación de virutas controlada gracias a un nuevo método de afilado

El cambio geométrico más importante es el del afilado. Gracias a la nueva forma, las virutas cortas y rotas se pueden evacuar con seguridad fuera de la zona de trabajo. El contorno de la punta tiene forma de arco al principio y luego se curva. De este modo, las virutas quedan comprimidas en la parte posterior de la punta. Esto hace que las virutas se rompan, incluso en materiales dúctiles. Con ayuda del refrigerante, las virutas van primero por las ranuras y, por último, como es habitual en las brocas en espiral, por fuera del agujero. Los canales de refrigeración de gran tamaño conducen el refrigerante a la zona de trabajo. Eso evita que el taladro se sobrecaliente y ayuda a eliminar las virutas.
Gracias al innovador diseño de la punta, la broca de tres filos también puede utilizarse en aceros inoxidables. A continuación, se explican los resultados de las pruebas correspondientes.

Taladrado exacto gracias al labio transversal de tres lados

¿En qué se diferencia la nueva broca de tres filos de las brocas clásicas de dos filos? El tercer filo principal adicional crea una forma de corte transversal geométricamente atípica. Los tres filos principales convexos tienen forma de arco y van hacia el centro de la herramienta y forman un labio transversal en forma de tetraedro en el centro.

En el caso de las brocas de dos filos, los filos principales también van hacia el centro. Sin embargo, el labio transversal conecta los dos filos principales en forma de línea delante del centro.

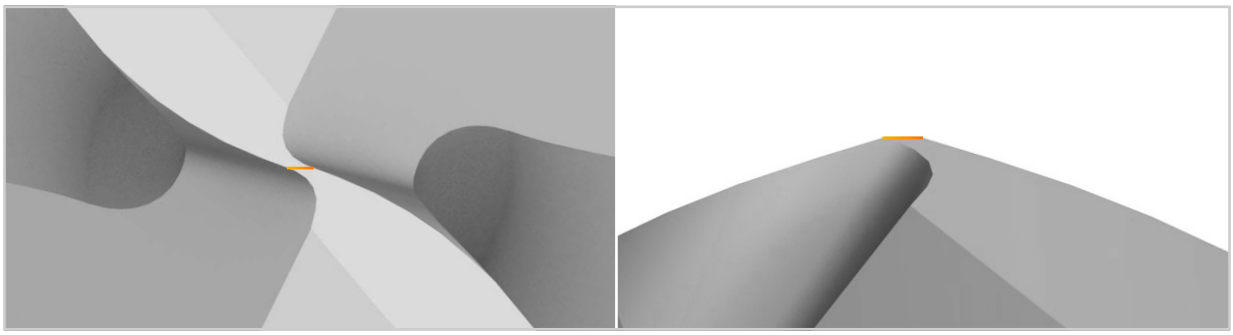


Figura 1: Labio transversal en forma de línea en el caso de la broca de dos filos (marca naranja).

Esta diferencia conceptual se puede ver claramente en el comportamiento de taladrado. En el caso de las brocas de dos filos, el labio transversal se encuentra con el material en forma de línea. Como se puede ver en la figura 1, la broca puede desplazarse a lo largo de la línea, y la herramienta se tambalea durante el inicio de taladrado. Esto deteriora la exactitud dimensional, la calidad de taladrado y la vida de la herramienta. Este efecto se nota especialmente en las superficies de los materiales que no son completamente planas.

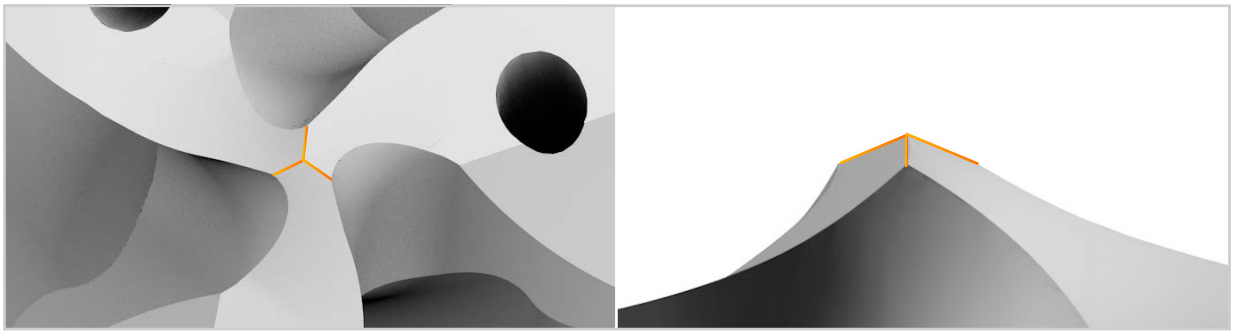


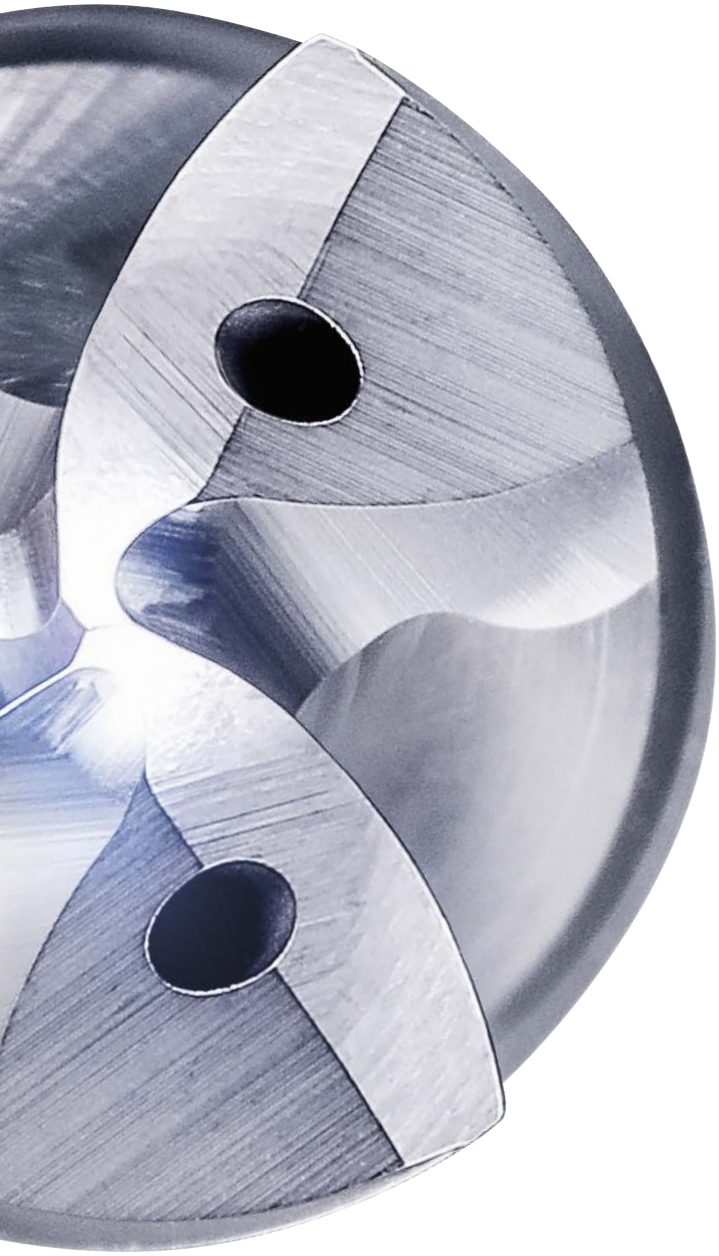
Figura 2: Labio transversal en forma de punta en el caso de la broca de tres filos (marca naranja)

La figura 2 muestra la versión del labio transversal en forma de punta de la nueva broca de tres filos. El material y la herramienta se encuentran en una posición definida. En cuanto la herramienta penetra en el material, las fuerzas del proceso actúan sobre los cantos del labio transversal en forma de tetraedro. Estas fuerzas soportan, además, la propiedad concéntrica de la broca de tres filos. Así, la herramienta no se desplaza. La calidad del taladro aumenta al mismo tiempo que se reduce el desgaste. Gracias a este diseño de los labios transversales, los profesionales del arranque de viruta pueden realizar taladros de forma precisa incluso en superficies de material ligeramente irregulares.

Filos de corte estables gracias a la forma convexa del corte

El diseño de filo convexo, conocido como “filo en S” de las brocas de dos filos, se aplica por primera vez en una herramienta de tres filos.

En el caso de esta variante (figura 3), la fuerza de corte Fc actúa en la zona de la esquina del corte hacia la herramienta, lo que estabiliza la esquina del corte. Por el contrario, un diseño de corte cóncavo carga la esquina de corte mediante la fuerza de corte hacia fuera de la herramienta (figura 3). Por tanto, es más propenso a romperse. La forma convexa del filo proporciona más estabilidad y menos desgaste.



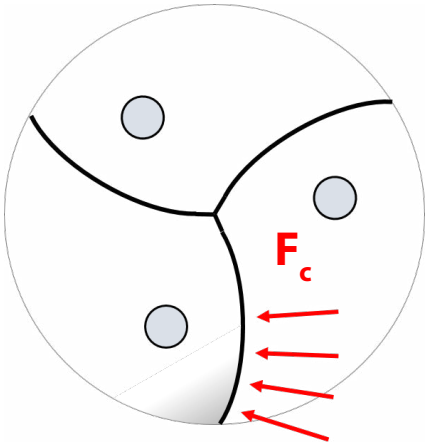


Figura 3: Aplicación de la fuerza con un contorno de corte convexo

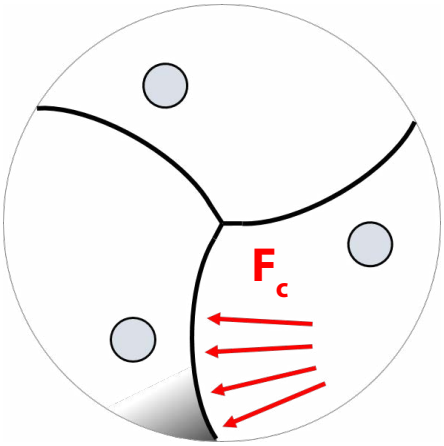


Figura 4: Aplicación de la fuerza con un contorno de corte cóncavo

Estrechamiento del núcleo para una extracción segura de las virutas

Para aprovechar al máximo el innovador concepto de tres filos, el profesional del arranque de viruta puede aumentar el avance por vuelta hasta en un 50 por ciento. Ahora se forman tres virutas, que tienen el mismo grosor de viruta que las de una broca de dos filos. El reto consiste en evacuar las virutas que salen de los tres filos de forma segura durante el proceso. Por eso, cuanto mayor sean las ranuras receptoras de virutas, mejor.

Sin embargo, son más pequeñas debido al diseño, ya que hay tres ranuras en lugar de dos para la misma circunferencia de la herramienta. A pesar de ello, se puede asegurar la evacuación de la viruta con la ayuda de un estrechamiento del núcleo: las ranuras receptoras de virutas más grandes al final de la espiralización ofrecen más espacio. Al mismo tiempo, el núcleo se ha diseñado para ser suficientemente estable.

Diseño equilibrado de los canales de refrigeración

Para favorecer de forma óptima el arranque de viruta, la máquina debe proporcionar suficiente refrigerante. Con una presión constante, limitada por la máquina herramienta, solo una sección transversal del canal de refrigeración ampliada puede garantizar el caudal necesario. El reto con el que nos encontramos: los canales de refrigeración reducen la estabilidad de los pernos de taladrado.
Sobre todo, el par de taladrado que se puede transmitir a través del mango de la herramienta es limitado. Si la herramienta se desafile debido al desgaste y, al mismo tiempo, aumenta demasiado el par de taladrado, puede producirse una rotura. En el diseño de la nueva broca de tres filos, los desarrolladores de Hoffmann Group encontraron un compromiso óptimo entre la sección transversal del canal de refrigeración y la estabilidad de los pernos de taladrado.

Hasta 50% más de avance

Se han adaptado cinco características para la broca de tres filos que se muestra aquí. La nueva punta geométrica, el estrechamiento del núcleo y los canales de refrigeración diseñados de forma óptima garantizan una trituración y evacuación controladas de las virutas. Gracias a la forma atípica de los labios transversales, los técnicos en evacuación de virutas pueden colocar la broca con precisión en la pieza de trabajo.

La forma convexa del filo también aumenta la estabilidad de los bordes de corte. Esto significa que la broca también puede utilizarse para materiales como el acero inoxidable o los aceros para herramientas. Con la innovadora herramienta de arranque de virutas, el avance por vuelta puede aumentar hasta en un 50 por ciento. Las siguientes pruebas demuestran cómo esto puede aumentar la productividad.

Análisis de la fuerza de avance, del par de giro y del consumo de potencia

Además de una evacuación de virutas óptima, en un concepto de broca de tres filos hay que tener en cuenta el desarrollo de la fuerza y del par de giro. Por un lado, la introducción del tercer filo en el proceso de taladrado permite un mayor avance por vuelta y, por el otro lado, el aumento del avance también incrementa la fuerza de avance. Los desarrolladores de Hoffmann Group pudieron confirmar esta suposición con la siguiente configuración de medición:

Modelos experimentales

Las figuras de 5 a 7 muestran los modelos experimentales utilizados para determinar la fuerza de avance y el par de taladrado. El husillo está colocado verticalmente y funciona con una refrigeración interna. La base de la comparación son las brocas de dos y tres filos de diferentes fabricantes, que los controladores utilizaron en diferentes materiales. Entre ellos, 42CrMo4, X155CrVMo12.1 y 16MnCr5. Los valores requeridos se registraron mediante una caja dinamométrica. Por motivos estadísticos, los desarrolladores realizaron cada prueba de taladrado cinco veces.

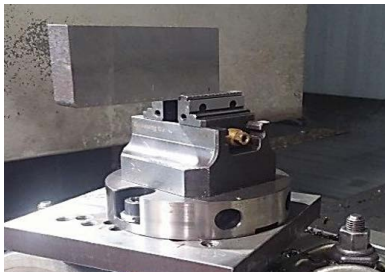


Figura 5: sujeción de pruebas de material cortado mediante una pinza de agarre

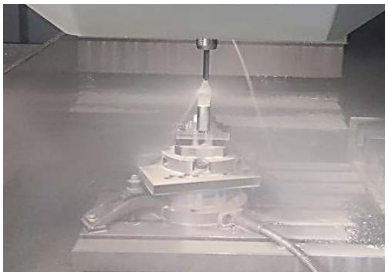
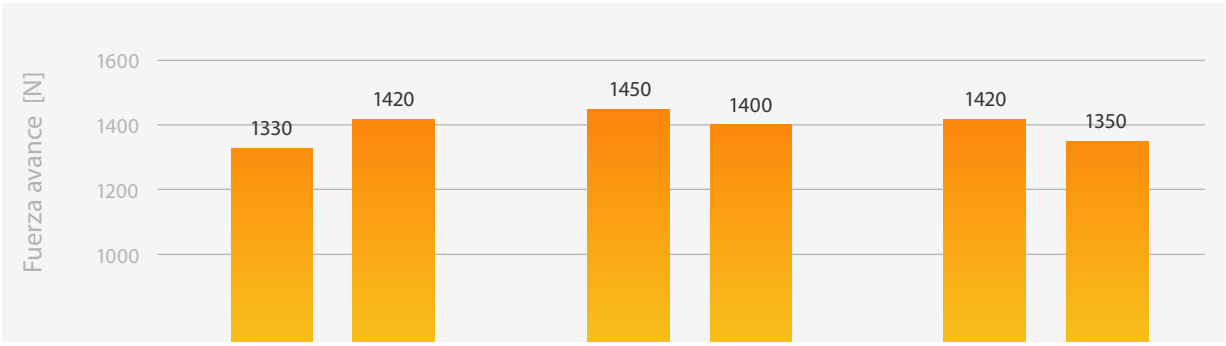


Figura 6: mecanizado con refrigeración integral desde el interior (30 bar, concentración del 6 %)

Figura 7: perforación de 5 agujeros por cada prueba (profundidad de taladrado: 42,5 mm)

Herramienta de taladrado de doble filo

Medición de las fuerzas de avance con herramientas de doble filo



v_c [m/min]	220	160	160	105	230	170
f [mm/U]	0,28		0,18		0,28	
Material	42CrMo4		X153CrVMo12		16MnCr5	

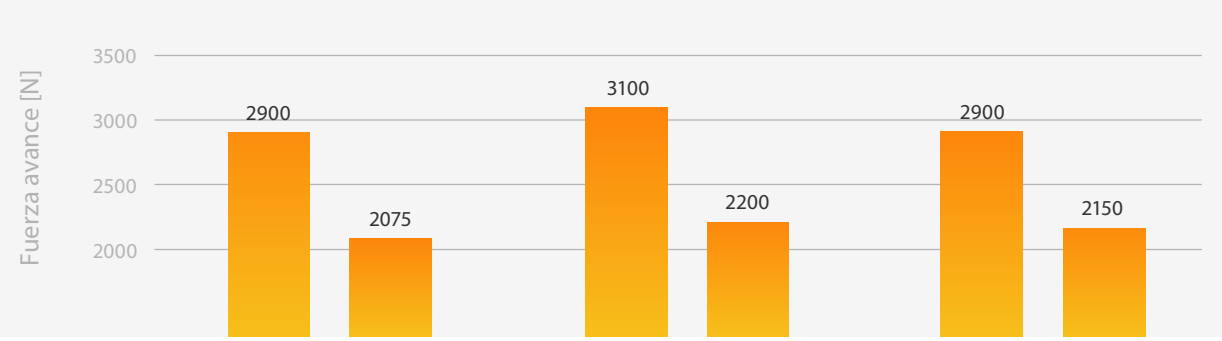
Figura 8: medición de las fuerzas de avance con herramientas de dos filos

Relación entre la velocidad de corte y la fuerza de avance

Como se puede ver en la figura 8, las distintas velocidades de corte de la broca de dos filos no tienen ninguna influencia significativa en la fuerza de avance medida. Dado que los parámetros de corte se han adaptado a la mecanizabilidad de cada material, los controladores pudieron constatar una fuerza de avance elevada y constante en todas las pruebas.

Herramienta de taladrado de tres filos

Medición de las fuerzas de avance con herramientas de tres filos



v_c [m/min]	140	160	90	105	140	170
f [mm/U]	0,44	0,28	0,35	0,18	0,46	0,28
Material	42CrMo4		X153CrVMo12		16MnCr5	

Figura 9: medición de las fuerzas de avance con herramientas de tres filos

Sin embargo, las pruebas con las brocas de tres filos mostraron que hay algunas diferencias. Por un lado, se puede confirmar que un mayor avance por vuelta aumenta la fuerza de avance. En el caso del material 42CrMo4, los controladores aumentaron el avance un 57 por ciento, de 0,28 mm/U a 0,44 mm/U. Resultado: la fuerza de avance aumenta un 40 por ciento. Para las pruebas de taladrado en el material X155CrVMo12, los controladores casi duplicaron los valores de avance. El resultado es un 41 por ciento más de fuerza de avance. En las pruebas con el material 16MnCr5, la fuerza de avance aumentó un 35 por ciento, mientras que los controladores habían aumentado el avance en un 64 por ciento.

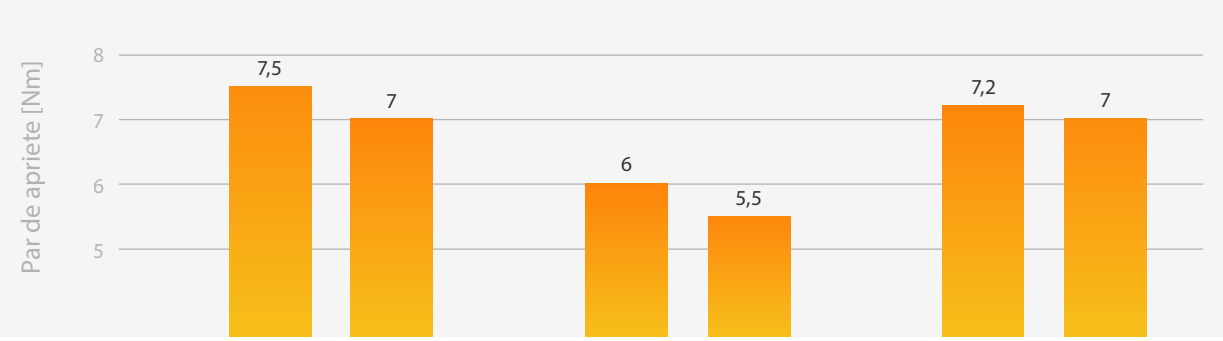
Otro resultado de las pruebas realizadas: la broca de tres filos influye en la fuerza de avance. Los controladores aplicaron el mismo avance por vuelta para cada prueba. Con las brocas de tres filos, pudieron determinar fuerzas de avance notablemente superiores en comparación con las brocas de dos filos. Dependiendo de la herramienta, la diferencia era de entre el 46 y el 59 por ciento. La razón principal es que la máquina tiene que empujar al mismo tiempo tres filos en lugar de dos en el material.

Análisis del par de giro

El análisis de los pares generados muestra una imagen diferente. El par de giro de las brocas de dos filos solo depende, en menor medida, de la velocidad de corte (figura 10). Sin embargo, se puede ver claramente la dependencia del par de giro del avance (figura 11). Lo más destacable: para los mismos datos de corte se producen los mismos pares de giro, independientemente del diseño de la herramienta.

Herramienta de taladrado de doble filo

Pares medidos con herramientas de doble filo

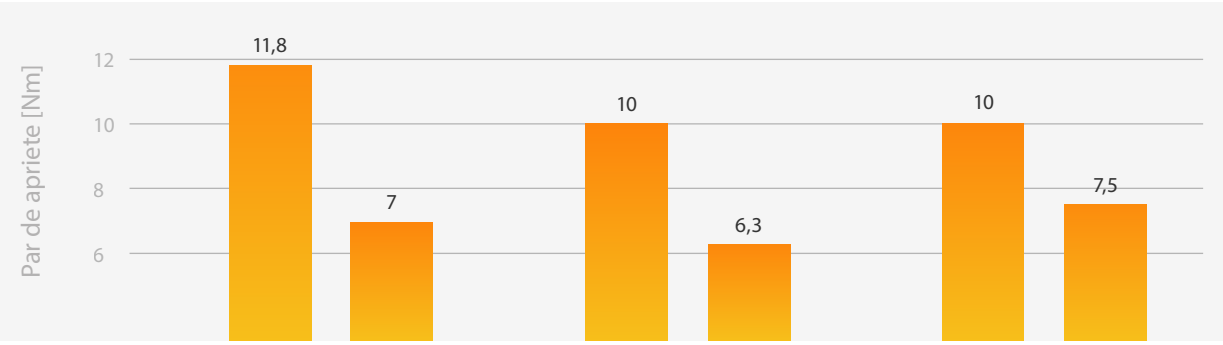


v_c [m/min]	220	160	160	105	230	170
f [mm/U]	0,28		0,18		0,28	
Material	42CrMo4		X153CrVMo12		16MnCr5	

Figura 10: medición de los pares de giro con herramientas de dos filos

Herramienta de taladrado de tresa filos

Pares medidos con herramientas de tres filos



v_c [m/min]	140	160	90	105	140	170
f [mm/U]	0,44	0,28	0,35	0,18	0,46	0,28
Material	42CrMo4		X153CrVMo12		16MnCr5	

Figura 11: medición de los pares de giro con herramientas de tres filos

Consumo de potencia de la herramienta

En principio, existe una relación entre la potencia de arranque de viruta Pc y el volumen de arranque de viruta por unidad de tiempo Q. El volumen de arranque de viruta por unidad de tiempo depende a su vez de la aproximación ap, de la velocidad de corte vc y del avance por vuelta fn. Para el taladrado, la mitad del diámetro nominal (D/2) representa la aproximación. Esto resulta en la siguiente relación para el volumen de arranque de viruta por unidad de tiempo:

$$Q = \frac{D * f_n * v_c}{4} \ [cm^3/min]$$

La siguiente ecuación describe la potencia de arranque de viruta en un material con fuerza de corte específica kc:

$$P_c = \frac{Q * k_c}{60.000} \ [kW]$$

A continuación (tabla 1), se comparan directamente los datos de corte y rendimiento de una herramienta de dos y tres filos. El material de la pieza de trabajo de ejemplo es S355J2. Con un aumento del volumen de arranque de viruta por unidad de tiempo Q, la potencia Pc y el par de giro Mc aumentan. Sin embargo, la reducción de la velocidad de corte vc y el menor efecto térmico asociado de la herramienta dan como resultado un aumento significativo de la vida útil.

	Herramienta de dos filos	Herramienta de tres filos
Z	2	3
D [mm]	8,5	8,5
v_c [m/min]	190	140
f_n [mm/U]	0,27	0,43
Q [cm3/min]	109	126,7
P_c [kW]	6,2	7,1
M_c [Nm]	8,34	12,9

Tabla 1: Datos de corte y rendimiento en el material S355J2.

Áreas de aplicación óptimas para las brocas de tres filos

Los resultados sobre la fuerza de avance, el par de giro y el consumo de potencia permiten sacar conclusiones sobre los ámbitos de uso óptimos para las brocas de tres filos. Si el objetivo es conseguir el máximo volumen de arranque de viruta por unidad de tiempo, deben cumplirse los siguientes requisitos mínimos: las brocas de tres filos requieren piezas de trabajo y sujeciones estables para que puedan soportar unas fuerzas de avance significativamente mayores. Además, el husillo de la máquina debe permitir pares elevados a velocidades bajas y medias. Esto se aplica especialmente con diámetros de herramienta grandes (de D=12 mm hasta D=20 mm). Si los diámetros de herramienta son más pequeños, se pueden alcanzar también unos volúmenes de arranque de viruta por unidad de tiempo altos con ayuda de brocas de tres filos, también en máquinas con velocidades limitadas.

Comparación de la duración de las brocas de tres filos

Los controladores también investigaron la capacidad de carga de las brocas de tres filos en varias pruebas. Los resultados se muestran utilizando el ejemplo de la serie de pruebas en acero bonificado aleado 42CrMo4. Probaron brocas de tres filos disponibles en el mercado con un diámetro de 8,50 mm y una longitud total de 103 mm (61 mm de longitud de la ranura) y sujetaron las herramientas en un mandril de expansión hidráulica. Los productos de prueba también contaron con el nuevo desarrollo de Hoffmann Group

Modelos experimentales y resultados

La serie de prueba se realizó bajo las siguientes condiciones: las brocas de tres filos ejecutaron avances de 0,44 mm/U con una velocidad de corte de vc = 140 m/min. La profundidad de taladrado fue de 38 mm. En la figura 12 se puede ver claramente la anchura de las marcas de desgaste. La broca de tres filos rediseñada geométricamente tiene una gran ventaja en comparación con las brocas de tres filos convencionales. Una de las herramientas comparativas no pudo soportar la carga debido a los valores de corte aplicados durante el inicio del taladrado (tipo A). Todas las herramientas de este tipo se rompieron durante el primer proceso de taladrado. El nuevo concepto de taladrado con forma convexa del filo mostró una mayor capacidad de carga (tipo F).

Otras herramientas de arranque de viruta con una construcción convencional pudieron producir varios agujeros, pero no lograron contar con una vida útil satisfactoria (tipo B y tipo C). Ambas brocas del tipo D y tipo E tienen una punta adaptada, pero están diseñadas con una forma cóncava del filo. Sin embargo, en comparación con los tipos A, B y C, consiguieron una vida útil considerablemente más larga. El tipo F fue el que mejor se comportó en la prueba y consiguió un número máximo de taladros de 2.702 unidades. Teniendo en cuenta los exigentes valores de corte, la vida útil alcanzada de 102 m es notable. Es el resultado de la profundidad de taladrado x cantidad de piezas:
38 mm x 2702 ≈ 102 m.

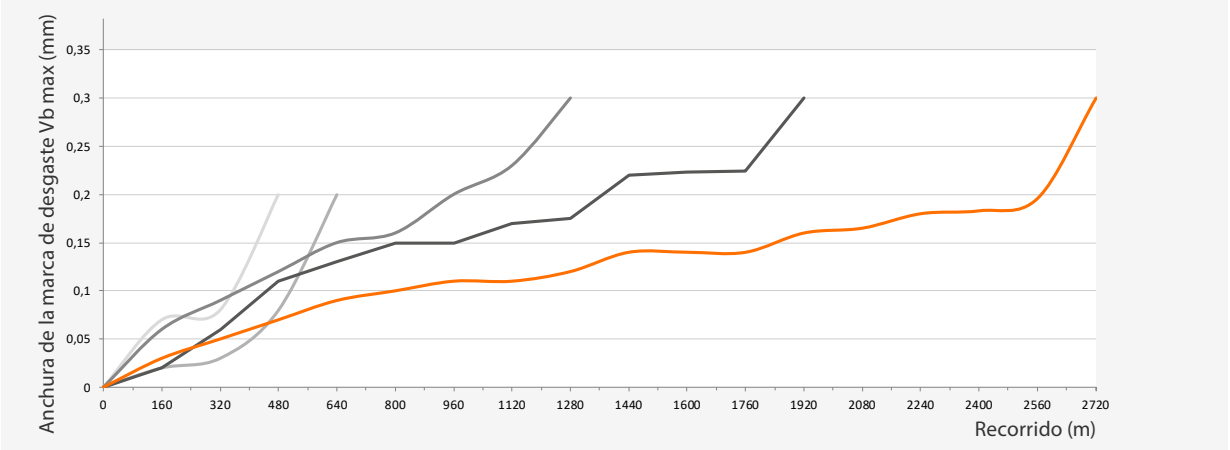


Figura 12: Anchura de la marca de desgaste frente al número de agujeros conseguidos

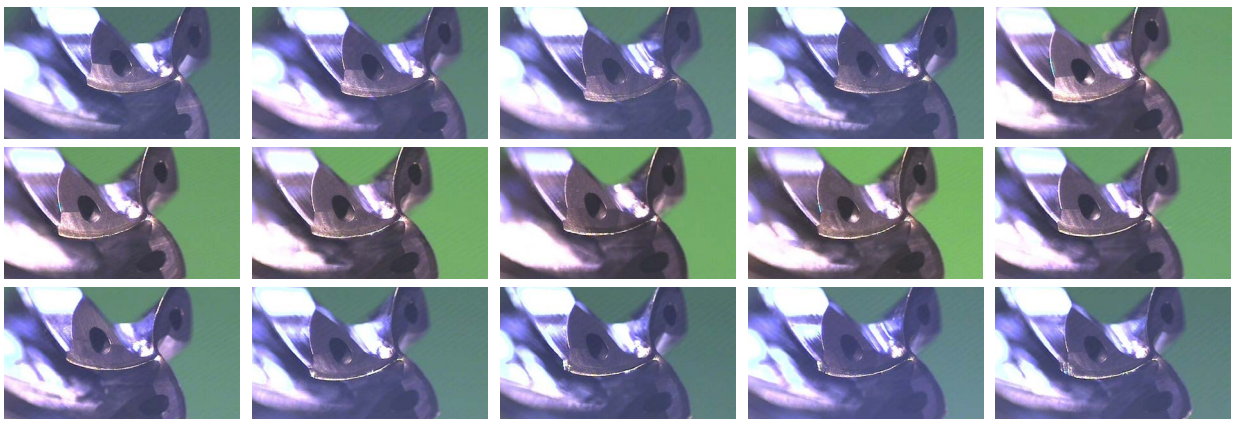


Figura 13: Desarrollo del desgaste de la broca del tipo F después de 160 agujeros adicionales

Las fotografías de la broca de tres filos del tipo F (figura 13) muestran un desgaste homogéneo y uniforme. Hasta el agujero 2.080, no se observan roturas. Después, se detectan roturas más pequeñas en los bordes de corte, en el agujero 2.702 que determina el fin de la prueba. Después, la herramienta sigue siendo adecuada para el reacondicionamiento convencional.

Conclusión: Aprovechar el potencial de avance

Las herramientas de tres filos utilizadas anteriormente solo podían explotar todo su potencial en algunas aplicaciones, como con los materiales de fundición. Con ayuda de mejoras en el diseño, especialmente en la zona de la punta y de la forma convexa del filo, se puede aprovechar el potencial de avance máximo del concepto de tres filos. El avance se puede aumentar hasta en un 50 por ciento.

Al mismo tiempo, este concepto de taladrado innovador ofrece un campo de aplicación mucho más variado. En especial, deben mencionarse los materiales de viruta larga como X5CrNi18-10 y aceros de construcción como S235JR+AR. Incluso con un gran volumen de arranque de viruta por unidad de tiempo, la vida útil se alarga con ayuda de un diseño estable del filo. Esto reduce el intervalo de mantenimiento y, con ello, los costes de producción. Podrá encontrar más información sobre la nueva broca espiral de metal duro integral de Hoffmann Group aquí.