

Przecinanie wzdłuż osi Y na obrabiarkach wielozadaniowych i centrach tokarskich



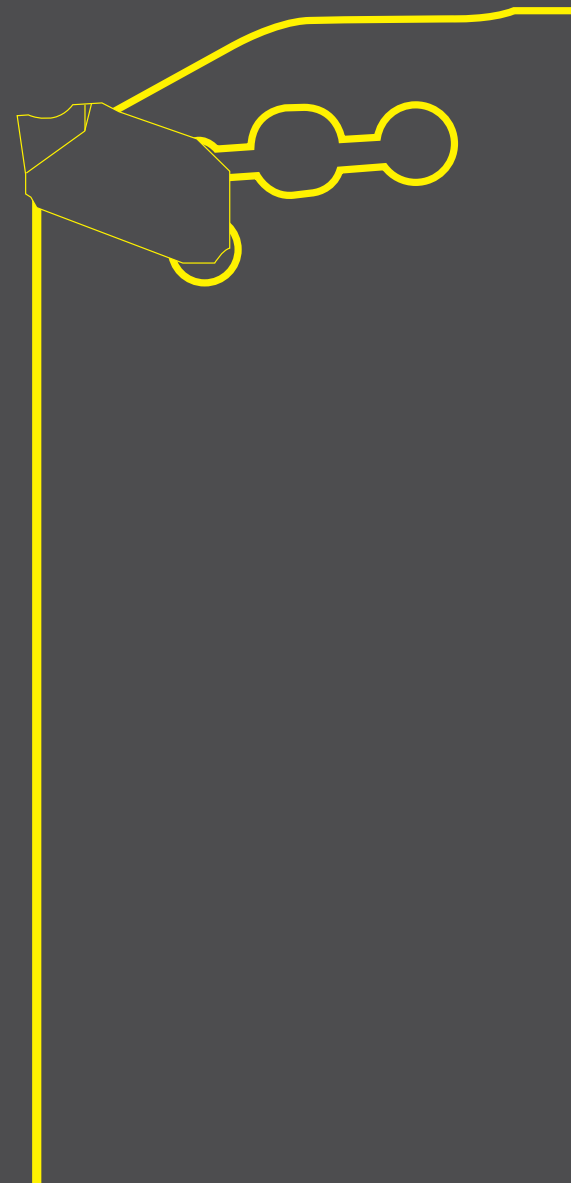
Przecinanie wzdłuż
osi Y oferuje znaczny
wzrost produktywności
i zwiększenie
bezpieczeństwa procesu



Rozwiązania konstrukcyjne z
zakresu przecinania wzdłuż
osi Y polegają na solidnej
wiedzy inżynierskiej oraz
analizie przy użyciu Metody
Elementów Skończonych
(FEM) zapewniającej
maksymalną integralność
strukturalną



Oś Y stała się
standardową funkcją
w zaawansowanych
tokarkach



Spis treści

Wprowadzenie.....	3
Obrabiarki unowocześnione poprzez dodanie osi Y i narzędzi obrotowych.....	4
Wyzwania podczas przecinania.....	5
Przecinanie wzdłuż osi Y	6
Zalety przecinania wzdłuż osi Y.....	8
Specyficzne dla obrabiarki aspekty przecinania wzdłuż osi Y	9
Od czego zacząć	11
Zwrot z inwestycji - ROI.....	12



Jednym z masowych trendów w produkcji występujących w ostatnich dziesięcioleciach jest uproszczenie i minimalizacja liczby mocowań w obrabiarce potrzebnych do wyprodukowania konkretnego przedmiotu. Rynki domagają się skrócenia czasów realizacji i redukcji zapasów, co stanowi dla producentów obrabiarek – a być może w jeszcze większym stopniu dla ich dostawców – jednoznaczną zachętę do dalszej maksymalnej racjonalizacji i usprawnienia produkcji komponentów.

Skomplikowane geometrie można wytworzyć przy minimalnej liczbie mocowań i operacji, najlepiej przy użyciu jednej maszyny. Opłacalność produkcji danej części może nawet zależeć od możliwości połączenia kilku mocowań w pojedynczej maszynie.

Obrabiarki unowocześnione poprzez dodanie osi Y i narzędzi obrotowych

Jednym z aspektów pojedynczych mocowań jest uzupełnienie centrów tokarskich o „narzędzia hybrydowe”, czyli o narzędzia obrotowe. W tym celu pod koniec lat 90-tych XX wieku wprowadzono tokarko-frezarki z osią Y. Początkowo chciano po prostu umożliwić wprowadzenie frezu, wiertła lub gwintownika w jednej lub kilku pozycjach narzędzia w głowicy rewolwerowej, aby wyeliminować ograniczenia interpolacji biegunowej i związane z nimi trudności z programowaniem.

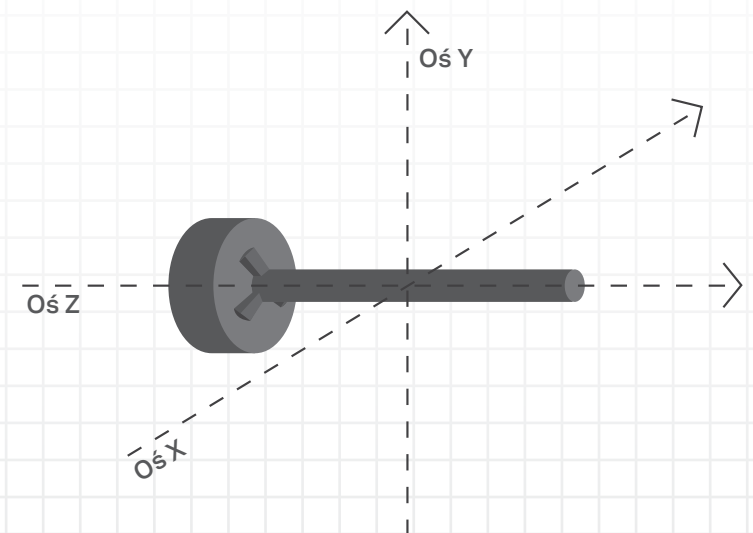
Pierwsze proste typy narzędzi hybrydowych w centrach tokarskich miały jednak istotne ograniczenie. Ponieważ w większości konstrukcji frezy obrotowe były po prostu dodawane do głowicy rewolwerowej, mogły być napędzane wyłącznie na tych samych dwóch osiach ruchu, co narzędzia tokarskie, tzn. na osiach X i Z. W efekcie jakiegokolwiek element przedmiotu obrabianego, który nie był równoległy lub prostopadły do osi wrzeciona lub położony był wzdłuż linii środkowej przedmiotu obrabianego nie znajdował się w bezpośrednim zasięgu wiertła, frezu lub gwintownika napędzanego przez głowicę rewolwerową.

Aby poprawić zasięg, dodano kilka dodatkowych sposobów przemieszczania narzędzia obrotowego względem frontu wrzeciona. Udało się to dzięki zamontowaniu narzędzi hybrydowych z boku

głowicy rewolwerowej lub na jej froncie, zapewnieniu dróg przesuwu wzdłuż osi Y na pochyłym łożu lub poprzez użycie niezależnej głowicy frezarskiej.

Zarówno konstruktorzy obrabiarek, jak i producenci szybko docenili zalety nowego podejścia. Obecnie, po dwudziestu latach, oś Y stała się standardowym elementem w niemal wszystkich obrabiarkach wielozadaniowych i elementem opcjonalnym w wielu nowych centrach tokarskich.

Dodanie osi Y do centrum tokarskiego zapewnia 90-stopniowy zakres kątowy między trzema osiami liniowymi, przypominający trójosiowe centrum obróbkowe. Oś Z jest zazwyczaj równoległa do osi wrzeciona w większości maszyn należących do kategorii tokarek. Podczas gdy oś X zapewnia konwencjonalny ruch posuwu dla toczenia wgłębnego, oś Y tworzy wymiar pionowy prostopadły do płaszczyzny wyznaczonej łącznie przez osie Z i X.



Wyzwania podczas przecinania

Przecinanie stanowi kluczowy etap każdego procesu toczenia z pręta. Czas odcinania stanowi jedynie niewielką część całkowitego czasu toczenia, lecz jest to zazwyczaj ostatnia operacja przed zakończeniem obróbki części. Złamanie narzędzia odcinającego może łatwo spowodować przestój maszyny i problemy z jakością, a w najgorszym scenariuszu konieczność zezłomowania przedmiotu obrabianego i utratę całej wartości dodanej podczas poprzednich etapów pracy. Dlatego producenci niechętnie idą na jakikolwiek kompromis w kwestii bezpieczeństwa procesu przecinania.

Koszt materiału jest innym istotnym czynnikiem. W szczególności podczas pracy przy użyciu kosztownych materiałów, takich jak superstopy żaroodporne (HRSA), występują bodźce zachęcające do korzystania z największych dostępnych płytek.

Czynniki te sprawiają, że istnieją dwa całkowicie przeciwstawne wymogi względem narzędzi odcinających: Z jednej strony powinny być one jak najwięźsze i najsmuklejsze, aby minimalizować straty materiału a z drugiej optymalizować zasięg narzędzia w celu osiągnięcia maksymalnych średnic roboczych. Jednak smukłe narzędzia mają gorsze parametry stabilności, co przekłada się na drgania

i hałas. Słaba jakość wykończenia powierzchni i niespełnienie tolerancji wymiarowych na skutek drgań to zasadniczo niedopuszczalne zagrożenia dla procesu przecinania.

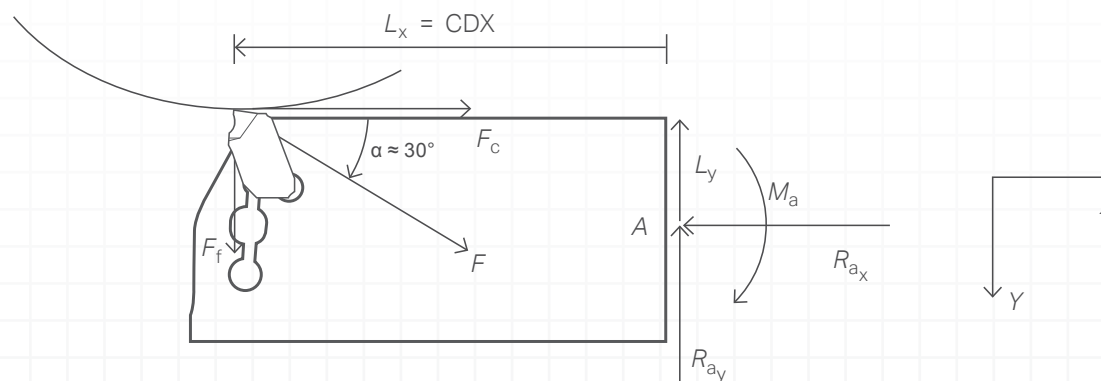
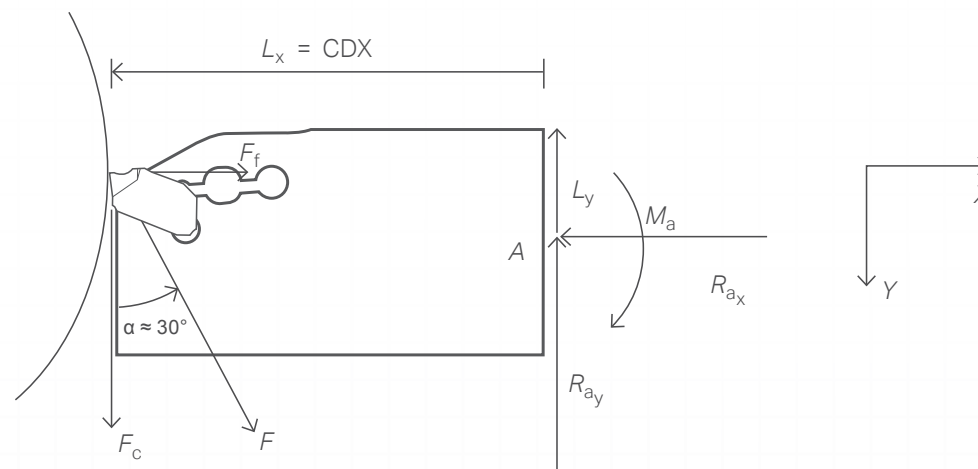


Przecinanie wzdłuż osi Y

Choć dodanie osi Y znacznie rozszerzyło zakres możliwości korzystania z narzędzi obrotowych w obrabiarkach wielozadaniowych i centrach tokarskich, możliwości te były inspiracją do istotnej innowacji dotyczącej jednego z pierwotnych przeznaczeń tego typu obrabiarek: przecinanie wzdłuż osi Y. To nowe narzędzie i zarazem metoda przecinania oferuje znaczną poprawę produktywności i wzrost bezpieczeństwa procesu, potencjalnie każdej operacji odcinania.

Innowacja stworzona przez firmę Sandvik Coromant, przecinanie wzdłuż osi Y, opiera się na niewiarygodnie prostej zasadzie. Podczas gdy konwencjonalne narzędzia odcinające są przemieszczane w osi X obrabiarki, narzędzie dla osi Y zostało po prostu obrócone o 90° w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara celem pracy w osi Y.

W tradycyjnej konfiguracji narzędzia odcinającego, stosunkowo długie i smukłe ostrze skrawające oraz uchwyt są poprowadzone pod kątem 90° do obracającego się przedmiotu obrabianego, przy czym największa siła obwodowa powstaje w kierunku prędkości skrawania, a posuwowa – w kierunku posuwu. Powstający w efekcie wektor siły jest skierowany ukośnie do narzędzia pod kątem około 30°, tzn. przez drugi w kolejności najdłuższy odcinek (tylko szerokość ostrza jest słabsza). Tradycyjnie przeciwdziała się temu poprzez zmniejszenie wysięgu

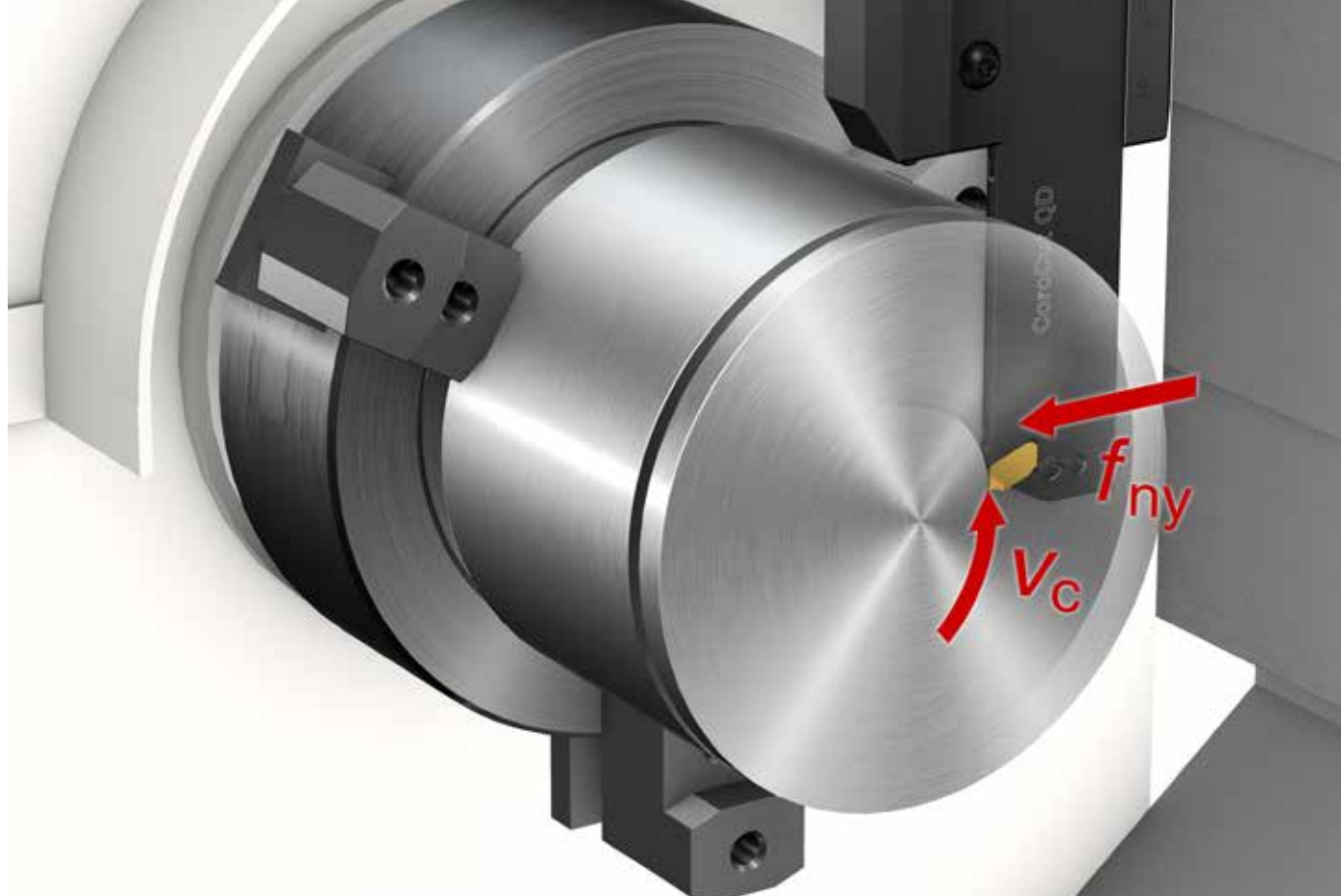


$$\left. \begin{array}{l} L_x \gg L_y \\ F_c = 1.75 \cdot F_f \end{array} \right\} \underbrace{L_x \cdot F_f - L_y \cdot F_c}_{M_{A_{\text{Przecinanie w osi Y}}}} \ll \underbrace{L_x \cdot F_c - L_y \cdot F_f}_{M_{A_{\text{Konwencjonalne}}}}$$

narzędzia i zwiększenie jego wysokości. Wadą obydwu tych środków zaradczych jest potencjalne ograniczenie zakresu używalności narzędzia.

Dzięki obróceniu gniazda płytki o 90 stopni i zastosowaniu posuwu wzdłuż osi Y narzędzie może wchodzić w przedmiot obrabiany przodem, co niemal całkowicie zrównuje powstający wektor siły skrawającej ze zwrotem osi wzdłużnej narzędzia.

Analizy przy użyciu Metody Elementów Skończonych (FEM) przeprowadzone przez zespół badawczo-rozwojowy firmy Sandvik Coromant R&D potwierdziły, że korzystniejszy rozkład sił eliminuje naprężenia krytyczne typowe dla tradycyjnych ostrzy i ponad sześciokrotnie zwiększa odporność na zginanie przy maksymalnej głębokości skrawania (CDX) wynoszącej 60 mm. Albo odwrotnie: podatność na odkształcenia plastyczne i niestabilność w przypadku konstrukcji z osią Y jest sześciokrotnie mniejsza w porównaniu z deformacjami typowymi dla tradycyjnych narzędzi przecinających.



Metoda FEM

Skrót FEM oznacza Metodę Elementów Skończonych (Finite Element Method), jedną z najszerzej stosowanych metodologii rozwiązywania zagadnień numerycznych w inżynierii i fizyce matematycznej. Z punktu widzenia mechaniki konstrukcji, kluczową zaletą metody FEM jest możliwość przedstawiania bardzo złożonych układów w formie układu równań algebraicznych. Dzięki temu przytłaczające zadanie analizy

strukturalnej można sprowadzić do zamkniętego zestawu niewiadomych, którym można przypisywać przybliżone wartości dla istotnego obszaru poddawanego analizie. Mówiąc bardziej konkretnie, ogromny problem zostaje podzielony na mniejsze i mniej złożone części, zwane elementami skończonymi. W ten sposób można precyzyjnie przedstawić geometrie, uwzględnić w analizie niepodobne do siebie materiały

i w stosunkowo prosty sposób przedstawić rozwiązanie dla całości. W tym przypadku, szczególnie istotną zaletą jest możliwość dokładnego przedstawienia skutków miejscowych odkształceń.

Zalety przecinania wzdłuż osi Y

Wzrost sztywności ostrza o ponad 500% umożliwia osiągnięcie znacznie większych wartości posuwu i stosowania dłuższych wysięgów bez utraty stabilności, co w rezultacie powoduje taki sam wzrost produktywności narzędzia. Dzięki temu, części można odcinać bliżej przeciwwrzeciona, co umożliwia zaoszczędzenie surowca i poprawia stabilność operacji. Obecnie to nie sztywność ostrza odcinającego i oprawki narzędziowej, lecz płytka stanowi wąskie gardło utrudniające wzrost wydajności operacji odcinania.

Ogólnie w przypadku narzędzi odcinających zaleca się maksymalne ograniczenie wysięgu (OH) lub – w przypadku długiego wysięgu – użycie geometrii do lekkiej obróbki lub zmniejszenie posuwu. Często używaną wartością progową dla redukcji posuwu jest wysięg przekraczający 1,5 raza wysokości ostrza. W przypadku narzędzi pracujących w ustawieniu wzdłuż osi Y można osiągnąć dłuższe wysięgi bez

kompromisów w zakresie posuwu, geometrii czy wymiarów narzędzia.

Tak jak we wszystkich operacjach skrawania, ważne jest ustawienie krawędzi skrawającej narzędzia odcinającego w osi obrotu przedmiotu obrabianego, aby uniknąć powstawania czopika i złamania narzędzia. Narzędzia odcinające należy ustawiać w zakresie $\pm 0,1$ mm od osi obrotu przedmiotu obrabianego. Przy obróbce na długich wysięgach tradycyjnie zaleca się ustawienie krawędzi skrawającej 0,1 mm powyżej osi, aby skompensować ugięcie. Dzięki zwiększeniu sztywności i wynikającej z niego redukcji gięcia, narzędzia pracujące w ustawieniu wzdłuż osi Y mogą wyeliminować konieczność nastaw nad osią obrotu i zapobiec negatywnym zjawiskom, takimi jak przedwczesne pęknięcie płytek przy przechodzeniu przez środek oraz szybkie ścieranie się powierzchni przyłożenia.

Pomiar długości narzędzia wymaga szczególnej staranności, ponieważ w przypadku narzędzi pracujących w ustawieniu wzdłuż osi Y długość definiuje także wysokość osi. Z drugiej strony można to uznać za zabezpieczenie przed błędami nastawy: ponieważ pomiar długości jest zawsze konieczny, stanowi on także dodatkowe sprawdzenie nastawy wysokości osi. Jeśli trudno jest zobaczyć krawędź skrawającą, na narzędziu znajduje się również płaszczyzna odniesienia. Odległość między płaszczyzną odniesienia i krawędzią skrawającą jest oznaczona na narzędziach pracujących w ustawieniu wzdłuż osi Y.

Inne zalety to niższy poziom hałasu, lepsza jakość wykończenia powierzchni i większa niezawodność procesu, jak również możliwość odcinania większych średnic niż obecnie.

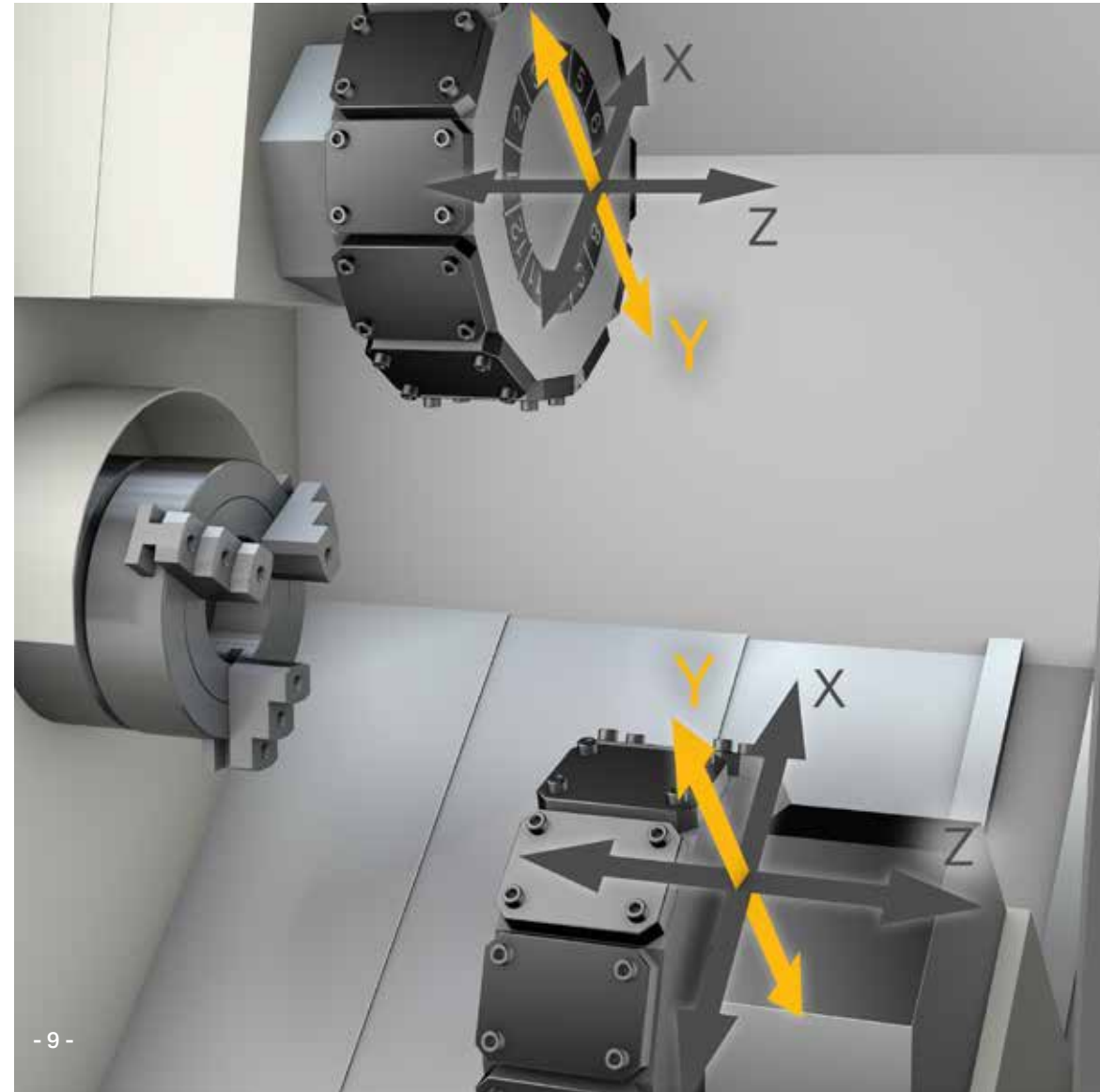
Przypadki zastosowania przez klientów: Przecinanie konwencjonalne i wzdłuż osi Y

Przedmiot obrabiany	Materiał	Średnica, mm	Posuw przy obecnie stosowanej metodzie, mm/obr.	Posuw przy przecinaniu wzdłuż osi Y, mm/obr.	Zwiększenie produktywności	Zwiększenie trwałości
Zawór magnetyczny	Stal nierdzewna HB365	65	0.15	0.3	100%	70%
Śruba	Stal nierdzewna 316L	60	0.15	0.3	100%	50%
Łożysko toczne	Stal łożyskowa	40	0.12	0.3	150%	40%
Obudowa pompy	Stal nierdzewna HB365	55	0.12	0.3	150%	$\pm 0\%$
Półwyrob dla przemysłu lotniczego	Inconel 718	180	Piła taśmowa (20 min)	0.15	550%	Nie dokonano oceny

Specyficzne aspekty przecinania dla obrabiarki wzdłuż osi Y

Centrów tokarskich zazwyczaj używa się do masowej produkcji z prętów, zazwyczaj o średnicy do 65 mm; w tym typie obróbki największe zalety przecinania w ustawieniu wzdłuż osi Y to wzrost produktywności i poprawa jakości powierzchni. Interesujące mogą być również szanse na optymalizację jakości, ponieważ odcinanie stanowi zazwyczaj ostatni etap obróbki przedmiotu. Dodatkowa szansa wiąże się z poprawą wydajności obróbki dzięki zmniejszeniu szerokości odcinania.

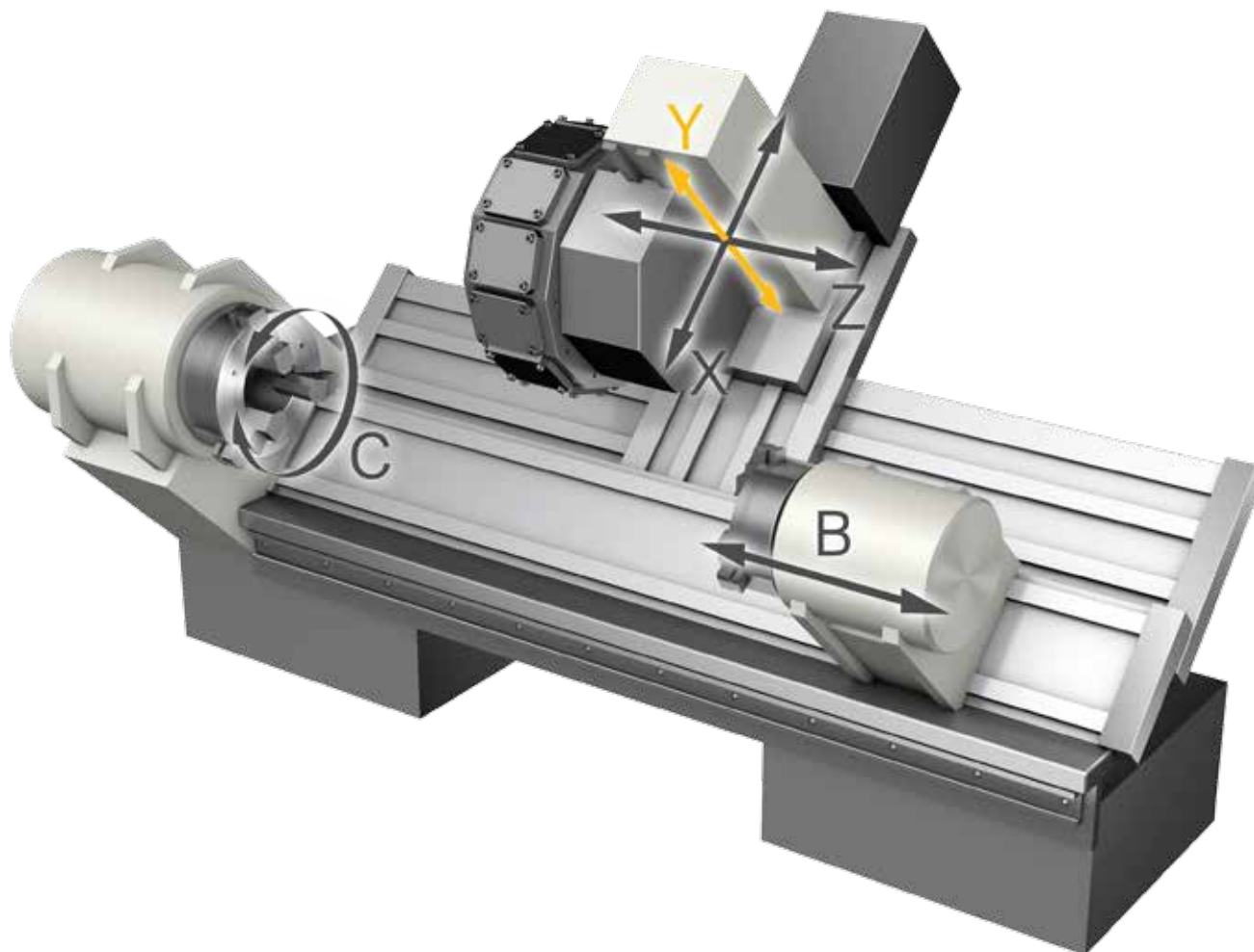
W przypadku obrabiarek wielozadaniowych, ostrza do przecinania wzdłuż osi Y oferują przede wszystkim większą dostępność i możliwość obróbki większych średnic. Wstępny test potwierdził zwiększenie wysięgu o 50% podczas skrawania konwencjonalnego pręta o średnicy 120 mm przy maksymalnej wydajności posuwu płytki. Osiągnięto wzrost produktywności o 300% bez żadnych komplikacji związanych z bezpieczeństwem procesu. W teście konkretnego zastosowania przez klienta, przecinanie wzdłuż osi Y skutecznie zastąpiło piłę taśmową w obróbce pręta Inconel o średnicy 180 mm, powodując istotny wzrost produktywności dzięki znacznemu skróceniu czasów obróbki.



W typowej obrabiarce z pochyłym łóżem oś X znajduje się wzdłuż suportu nachylonego w stronę przodu obrabiarki. Wrzeciona są na jednej lub obu końcach nachylonego łoża, a przesuw osi X jest zazwyczaj znacznie większy niż w osi Y. Wynikające z tego ograniczenia przestrzeni roboczej należy uwzględnić, rozważając możliwość skorzystania z przecinania wzdłuż osi Y dla konkretnego przedmiotu.

W przypadku obrabiarki wielozadaniowej, którą można zasadniczo opisać jako centrum obróbkowe z opcją toczenia, typowe zespoły narzędzi, takie jak Coromant Capto® C6 lub adapter HSK63T, są często stosunkowo długie, umożliwiając dostateczny zasięg między wrzecionem głównym i dodatkowym. W efekcie, całościowa konfiguracja w kierunku X charakteryzuje się małą wytrzymałością w stosunku do obciążenia skierowanego wzdłuż osi Y, a siła skrawania jest skierowana w kierunku zespołu narzędzi i wrzeciona obrabiarki.

Podobne uwarunkowania występują w wielu centrach tokarskich wyposażonych w napęd narzędzi / opcję frezowania na osi Y. Typowe zespoły narzędzi dla osi Y, zazwyczaj oparte na adapterze VDI lub mocowanym śrubami adapterze dla zespołu zaciskowego dla konkretnej obrabiarki (MACU), są często długie i smukłe, aby umożliwić dostęp do przestrzeni pomiędzy głównym a dodatkowym wrzecionem i odcinanie w pobliżu uchwytu. Także w tym przypadku, skutkiem jest słabość konfiguracji w kierunku osi X w porównaniu z osią Y, a siła skrawania jest skierowana w kierunku zespołu narzędzi i głowicy rewolwerowej. Przecięcie wzdłuż osi Y umożliwia wyeliminowanie obydwu tych problemów.

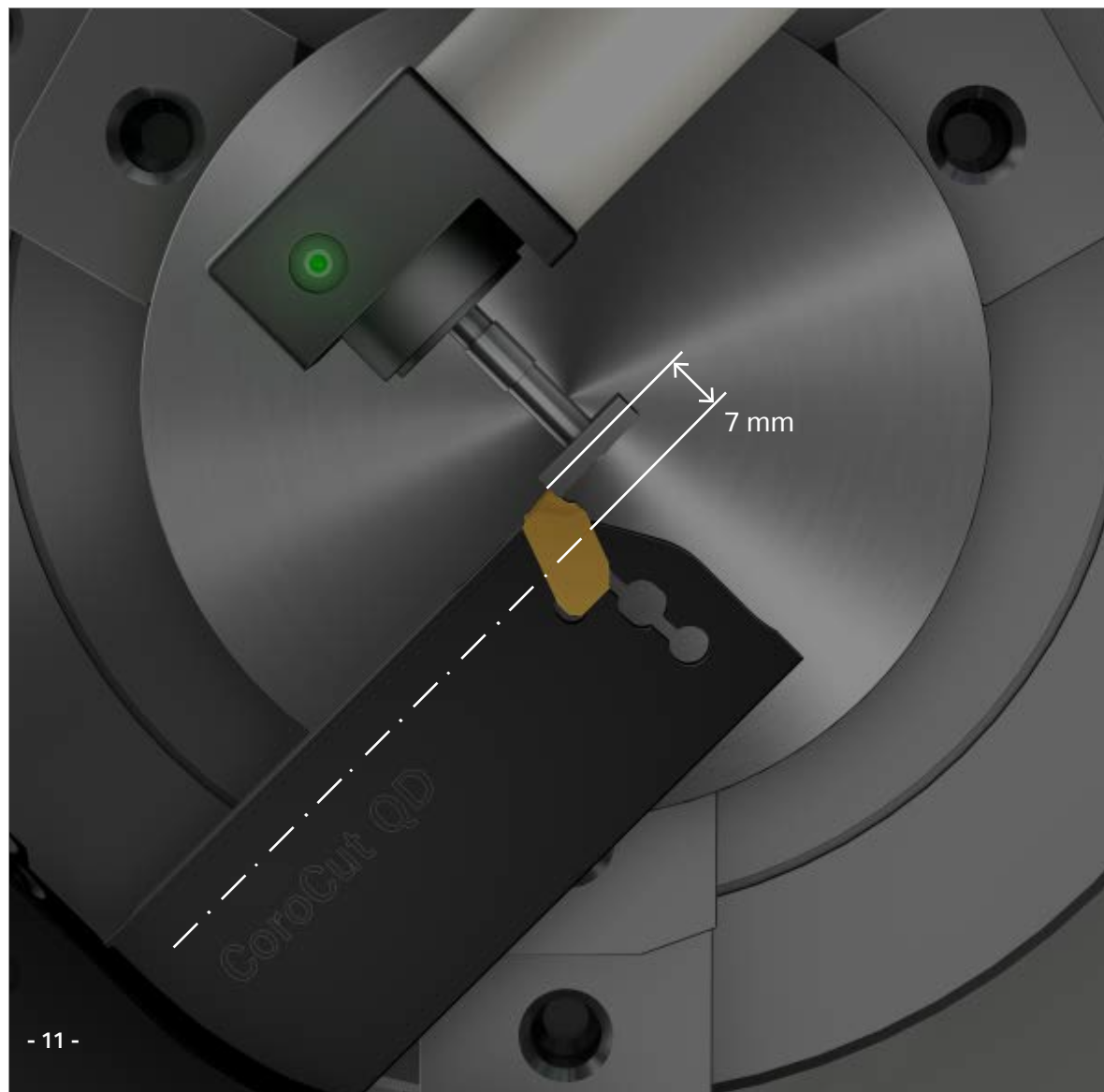


Od czego zacząć

Inwestycja w przecinanie wzdłuż osi Y oznacza przede wszystkim zmianę podejścia do operacji odcinania i powiązanych z nimi sposobów pracy. Oferuje ona możliwość pełnego wykorzystania możliwości obrabiarek, które są już wyposażone w oś Y. Alternatywnie jest to opcja mogąca w istotny sposób zwiększyć produktywność operacji przecinania w nowej obrabiarce lub modyfikację procesu. Największa konkretna inwestycja dotyczy programowania i ma oczywiste konsekwencje dla zasobów kadrowych i ustalania harmonogramów. Programowanie samego ruchu narzędzia jest łatwe, natomiast poszczególne obrabiarki i układy sterowania mają różne parametry, które należy zmienić w celu uzyskania stałej prędkości skrawania na osi Y. Niezbędne ustawienia parametrów opisane są w instrukcji układu sterowania CNC.

Przecinanie wzdłuż osi Y może nawet pomóc w zredukowaniu zasobu narzędzi dzięki zmniejszeniu zapotrzebowania na dedykowane ostrza oraz ponieważ nowe płytki do osi Y pasują do standardowych narzędzi wykorzystujących standardowe płytki CoroCut® QD.

W wymiarze praktycznym warto zauważyć, że krawędź skrawająca znajduje się 7 mm powyżej położenia $Y = 0$ w przypadku zamontowania w standardowym bloku listwy. Operator powinien upewnić się, że wymiar ten zostanie skompensowany w programie CNC.



Zwrot z inwestycji – ROI

180 mm

maksymalna średnica obrabiana

4–8 godzin

czas programowania

- Niemal każdą obrabiarkę wielozadaniową lub centrum tokarskie wyposażone w oś Y i podajnik prętów można potencjalnie zaadaptować do przecinania wzdłuż osi Y
- Pierwszy wybór do odcinania na obrabiarkach wielozadaniowych i centrach tokarskich z osią Y
- Głównie do obróbki przedmiotów o dużej średnicy, sięgającej 180 mm, oraz do obróbki na długich wysięgach, umożliwiających dostęp do przestrzeni pomiędzy głównym i dodatkowym wrzecionem
- Duży potencjał dzięki zamocowaniu przedmiotu obrabianego za oba końce – można osiągnąć autentyczną oszczędność czasu, gdyż podczas odcinania żadne inne operacje nie są możliwe
- Praktycznie brak dodatkowych kosztów narzędziowych
- Można wykorzystywać ten sam program dla wszystkich przedmiotów – wymagane modyfikacje zazwyczaj pociągają za sobą jednorazowy koszt, odpowiadający 4-8 godzinom programowania
- Potencjał uzyskania znacznego zwrotu z inwestycji dzięki niewielkim nakładom początkowym i znaczne zwiększenie potencjału produktywności dzięki wyższym parametrom skrawania



Więcej o CoroCut® QD
i przecinaniu wzdłuż osi Y

www.sandvik.coromant.com/corocutqd