

Mechaniczne rozwiązania w mechanizmach śrubowo-toczących

Ruchoma nakrętka

W ostatnich latach rozwinięto w branży mechanizmów śrubowo-toczących różne rozwiązania, spełniające indywidualne wymagania użytkowników. Z prostego wyboru średnicy i skoku śruby toczącej powstała, dopasowana do wymagań Klientów, szeroka oferta tych mechanizmów. Ważne jest, aby przybliżyć najważniejsze cechy tego elementu w budowie maszyn.

Do dyspozycji użytkowników w technice liniowej jest dzisiaj wiele rozwiązań napędów. Napęd listwą zębatą, szczególnie przydatny jest w długich osiach. Do napędu wymagającego wysokich prędkości korzystnym rozwiązaniem jest pas zębaty. Silnik liniowy dominuje w aplikacjach, gdzie głównym kryterium są dokładność i bezobsługowość.

W porównaniu do tych rozwiązań mechanizm śrubowo-toczący wykazuje porównywalne właściwości a wykonanie z napędzaną nakrętką wykazuje jeszcze wyższe techniczne parametry sprawnościowe. Firma Bosch Rexroth opracowała w ubiegłych latach różne tego typu rozwiązania.

Konwencjonalnie: obrotowa śruba tocząca

Najczęściej spotykaną koncepcją napędu przy użyciu mechanizmów śrubowo-toczących jest bezpośredni, serwosilnikiem lub pośredni, poprzez pasek zębaty, napęd śruby toczącej. Na wirującej śrubie nakrętka wykonuje założony ruch roboczy. Takie cechy jak osiągnięta żywotność, prędkość liniowa, sztywność, dynamika i dokładność pozycjonowania zależą od średnicy zewnętrznej, długości i łożyskowania końców śruby. W związku z maksymalną prędkością, parametr „ $d_0 \times n$ ” jest często uwypuklany jako szczególnie ważny.

W przeszłości, w temacie „sztywność” dyskutowane były głównie: kontakt dwupunktowy w nakrętkach podwójnych i kontakt czteropunktowy w nakrętkach pojedynczych napiętych wstępnie metodą sortowania kulek. Aktualnie, z uwagi na wysokie koszty, nakrętki podwójne zostały wyparte. Wymagany, równomierny i cichy obieg kulek uzyskuje się dziś, dzięki zawężonym tolerancjom, również w nakrętkach pojedynczych. Sztywność uzyskiwana dzięki pracy kulek w nakrętkach przewyższa

znacznie, zależną od długości, sztywność śrub toczących i to już przy małych długościach. Przy dużych skokach pojedyncze nakrętki na wielozwojowych śrubach są już standardem w technice. Przewiduje się, że na takiej śrubie może bezproblemowo pracować więcej niż jeden obieg kulek. Ponieważ nośność wzrasta wraz ze wzrostem ilości kulek, długość nakrętki może być mniejsza. Elementy zawierające kulki umieszczone są przy tym na skraju korpusów nakrętek, co umożliwia wykonanie w nakrętce do czterech obiegów kulek. Dalsze zwiększenie nośności można osiągnąć poprzez większe średnice kulek. W połączeniu z wyższą sztywnością i śrubami wielozwojowymi nadają się one idealnie do wymagających aplikacji w przemyśle obrabiarkowym.

Różne współczynniki wpływają na żywotność mechanizmów śrubowo-toczących. Przy starannym montażu, obliczeniowa żywotność mechanizmów śrubowo-toczących jest bezproblemowo osiągnięta, a nawet, dzięki przeprowadzonym w ostatnich latach wielu udoskonaleniom, przekraczana. Z odpowiednimi dokładnościami wykonawczymi i dotrzymy-

waniem przy produkcji wymagań normy DIN 3408-3, śruby toczne mogą być produkowane w technologii precyzyjnego rolowania (obróbka plastyczna) lub też w technologii precyzyjnego łuszczenia, bądź też szlifowania (obróbki skrawaniem). Dzięki wstępnemu smarowaniu mechanizmów przez producenta zabezpieczone jest bezpieczne uruchomienie. Niestety, agresywne środki chłodzące w obrabiarkach stanowią duży problem dla producentów i użytkowników.

W wielu, dzisiaj coraz częstszych aplikacjach o dużej dynamice, robocza prędkość obrotowa śruby zbliża się do prędkości krytycznej, powodującej wyoboczenie. Wpływ czynników temperaturowych jest fizycznym powodem, dla którego koncepcja maszyn o wysokiej dynamice w konwencjonalny sposób jest trudna do osiągnięcia. Zrozumieliśmy byłoby zwiększenie skoków śrub toczących. To powoduje zmniejszenie prędkości obrotowej, zwiększa jednak proporcjonalnie moment napędowy i obniża dokładność pozycjonowania. Dlatego też kwadratowe i ponadkwadratowe skoki są rozpowszechnione w maszynach do obróbki blachy i drewna, a nie w klasycz-

nych obrabiarkach. Dla wymaganych przy długich śrubach, ale kosztownych, łożyskowań na dwóch łożyskach stałych, korzystną alternatywę stanowią podwójne łożyska ruchome. Przy tym unika się tego, że łożyskowanie stałe przejmuje, powstała w wyniku wydłużenia śruby, siła.

Alternatywa: napędzana nakrętka

W celu dalszego zwiększenia możliwości systemu, można zmienić konstrukcję zabudowy mechanizmu śrubowo-tocznego. Śruba toczna jest zabudowana jako element nieruchomy, a łożyskowana na łożysku kulkowym nakrętka jest napędzana – w najprostszym przypadku za pomocą paska zębatego. Rozwiązania kompleksowe, ze względów ekonomicznych, oferują zdecydowane zalety. Wszystkie elementy składowe jak nakrętka i śruba toczna, łożysko kulkowe, przekładnia pasowa, i serwowalnik mogą być oferowane „z jednej ręki”, jako wstępnie zmontowane. To redukuje koszty konstrukcji i montażu, które ponosi producent maszyny. Odpadają, stosowane często w przeszłości, dość kłopotliwe, rozwiązania adapterów pasujących do dostępnych w handlu łożysk i katalogowych nakrętek. Poza tym zminimalizowane zostają koszty po-

noszone przez Klienta przy stosowaniu łożysk skośnych.

Dopasowanie istniejącej dynamiki układu może nastąpić poprzez dobór skoku śruby tocznej, przełożenia przekładni pasowej lub odpowiedniego silnika. Obudowa nakrętki jest zbyteczna, jeżeli łożysko i nakrętka toczna wykonane są jako jeden, zamknięty i uszczelniony element. Ponieważ na śrubie tocznej powstaje siła wzdłużna, mocowanie powinno być wykonane jedynie poprzez osiowe otwory w zewnętrznym pierścieniu łożyska. Decyzja odnośnie dodatkowego mocowania promieniowego, czy też z możliwością promieniowej regulacji pozostawiona jest użytkownikowi.

Kiedy napędzana nakrętka lepsza jest od konwencjonalnego rozwiązania z napędzaną śrubą? Najczęstsze pytanie związane jest z krytyczną liczbą obrotów.

Odpowiednia częstotliwość własna śruby tocznej ma znaczenie również w przypadku napędzanej nakrętki. Szkodliwe drgania mogą powstać w wyniku złych tolerancji (bicie promieniowe) lub też w wyniku niewyważenia nakrętki. Bardzo dokładny proces produkcji i precyzja mechanizmów śrubowo-tocznych jest, więc koniecznością. Również z czysto fizycznych powodów, częstotliwość własna tego no-

wego rozwiązania nie może być w istotny sposób zwiększona.

Eksplotacja z parametrami wyższymi niż dopuszczalne jednakże jest możliwa, jeżeli tylko nie zostanie przekroczona częstotliwość drgań własnych. Jej przekroczenie spowoduje wyboczenie śruby tocznej.

Kolejną, decydującą zaletą nieruchomej śruby jest fakt, że nie jest już konieczne ograniczające żywotność, zależne od średnicy łożyskowanie końców.

Dla uzyskania lepszej sztywności i kompensacji wpływu temperatury śruba toczna może zostać wstępnie napięta z dużą siłą. Poza tym istnieje możliwość wydrążenia śruby i odprowadzanie ciepła poprzez chłodzenie cieczą. W badaniach dowiedziono, że chłodzenie śruby jest korzystniejsze i efektywniejsze niż chłodzenie cieczą nakrętki.

Silnik z wydrążonym wałkiem

Logicznym rozwinięciem napędzanej paskiem zębatym nakrętki jest silnik z wydrążonym wałkiem. Silnik taki, bez żadnych dodatkowych elementów, jest mocowany bezpośrednio do kołnierza nakrętki i „opasa” śrubę toczną. Dzięki dużej integracji uzyskano bardzo wysoki stopień sprawności oraz jeszcze lepsze cechy tego systemu, w

porównaniu do wcześniej omówionych. W przeszłości często podwyższano do 150 000 parametr mechanizmów śrubowo-tocznych „ $d_0 \times n$ ” w tym systemie ma mniejsze znaczenie.

W tym przypadku należy brać pod uwagę graniczną, dopuszczalną prędkość obrotowa nakrętki. Rozwiązanie takie pozwala na uzyskiwanie prędkości liniowych do 120 m/min z przyspieszeniami do 20 m/s², przy jednoczesnej wysokiej sztywności i długim czasie pracy.

Podsumowując, mechanizm śrubowo-toczny, czy to konwencjonalny, z ruchomą śrubą toczną, czy też odwrotnie, z napędzaną nakrętką, stanowi uniwersalną koncepcję napędu. W połączeniu z silnikiem z wydrążonym wałkiem oferuje on właściwości, które są techniczną i ekonomiczną alternatywą do silnika liniowego.

Opracował:
inż. Wojciech Bachański
Bosch Rexroth Sp z o.o.
Linear Motion and Assembly Technology
E-mail: wojciech.bachanski@boschrexroth.pl