

# Prawdy i mity

## na temat systemów typu waterjet wykorzystujących ultrawysokie ciśnienie

Dużo dyskutowano na temat korzyści płynących z ciągłego zwiększania ciśnienia w technologii cięcia strumieniem wody ze ścierniwem. W efekcie obecnie słyszy się opinie typu: „Każdy wie, że sekretem szybszego cięcia jest wyższe ciśnienie”.

Jednak aktualne testy cięcia połączone z doświadczeniem użytkowników maszyn pokazują, że takie stwierdzenia są nieprawdziwe i mylące. W rezultacie użytkownicy, którzy próbowali maszyn z pompą 90.000 psi (90 ksi), wracają teraz do tradycyjnych rozwiązań typu 55.000-60.000 psi, przez co zwiększają wydajność produkcji, przy niższych kosztach operacyjnych, mniejszych przestojach maszyny i większych zyskach. Oto odpowiedź.

### Trochę podstawowych zasad fizyki

Pogląd, że zwiększone ciśnienie oznacza szybsze cięcie, nie uwzględnia dwóch podstawowych faktów dotyczących cięcia technologią waterjet:

1. Siła jest proporcjonalna do wartości ciśnienia pomnożonej przez natężenie przepływu ( $P=kpV$ ). W pompie o każdej mocy każdy wzrost ciśnienia musi być dostosowany do zmniejszenia natężenia przepływu. Prościej: „Nie można mieć czegoś z niczego”. Oznacza to, że maszyny z pompami o większym ciśnieniu powinny stosować dysze z mniejszymi kryzami. Na przykład pompa wzmacniaczowa, która normalnie potrzebowałaby kryzy 0,014” przy 60 ksi, jest zmuszona do zastosowania kryzy 0,010”, by wytworzyć ciśnienie 90ksi.
2. W systemach waterjet to ścierniwo tnie, a nie woda. Jedynym celem wykorzystania wody w procesie cięcia jest przyspieszenie przepływu cząsteczek ścierniwa w zwartym strumieniu wody i spowodowanie erozji ciętego materiału. Mniejsza średnica kryzy, której energia pochodzi z pompy o wyższym ciśnieniu, może okazać się bardziej efektywna w cięciu samą wodą (w materiałach takich, jak np. produkty żywnościowe lub wykonane z pianki gumowej), ale nie daje to efektu w przypadku, gdy chcemy przyspieszyć i spowodować większy przepływ cząsteczek ścierniwa.

### Efekt netto

Efekt netto tych dwóch współczynników, jak pokazują testy cięcia, jest taki, że różnica w prędkości cięcia pomiędzy tradycyjnym systemem waterjet ze ścierniwem przy 55-60 ksi i ultrawysokim ciśnieniu w przedziale 87-90 ksi jest bardzo niewielka, pod warunkiem, że utrzymane są moc pompy i natężenie przepływu ścierniwa. Powyższe jest prawdziwe w przypadku szerokiej gamy materiałów i grubości. Dla niektórych materiałów może okazać się, że cięcie będzie szybsze przy niższym ciśnieniu, dla innych materiałów może być odwrotnie, ale we wszystkich przypadkach prędkość cięcia prostej separacji jest bardzo zbliżona. Tabela 1 zawiera wyniki typowych testów potwierdzone przez użytkowników systemów typu waterjet.



Tabela 1: Porównanie Czasów (cal/min)  
60 ksi vs. 87 ksi z taką samą mocą wejściową i natężeniem przepływu

Pompa	Ciśnienie (ksi)	Kryza (cale)	Przepływ ścierniwa (lb/min)	Prędkość separacyjna		
				Aluminium grubości 1"	Aluminium grubości 2"	Stal grubości 2"
50 KM Napęd korbowodowy	60	0,015	0,8	19,7	7,7	3,0
50 KM Wzmacniacz	87	0,010	0,8	17,2	6,5	2,6
100 KM Napęd korbowodowy	60	0,022	1,4	30,01	12,4	4,0
100 KM Wzmacniacz	87	0,015	1,4	25,0	9,4	3,7

## Koszty operacyjne i konserwacyjne

Doświadczeni użytkownicy pomp 87-90 ksi potwierdzają teraz to, co zawsze było wiadomo: koszty operacyjne i konserwacyjne systemów 87-90 ksi są znacznie wyższe niż koszty systemów 55-60 ksi. Powodem jest nie tylko to, że koszty rosną z uwagi na niższą żywotność komponentów i konieczność częstszej wymiany uszczeltek. Okazuje się też, że koszty eksploatacji są wyższe niż użytkownicy wcześniej zakładali. Zaskakującym dla niektórych było to, że krótsza jest żywotność tuby miksującej przy dyszach pracujących z 90 ksi. Producenci tub miksujących zalecają obecnie stosowanie tylko tub o najwyższej jakości (i najdroższych), używanych w maszynach o ciśnieniu 87-90 ksi, ale nawet w takich maszynach żywotność tuby na poziomie 30 godzin jest uważana za wysoką. Pozostałe części w maszynach pracujących pod ciśnieniem 87-90 ksi, takie jak rurki, zawory, złączki, też mają krótszą żywotność i istnieje większe prawdopodobieństwo wystąpienia awarii w wyniku zużycia materiału.

Prowadzi to do zwiększonych kosztów konserwacji maszyny oraz dłuższych nieplanowanych czasów przestoju sprzętu. Najgorsze w tym wszystkim jest to, że jeśli użytkownicy próbują zminimalizować koszty eksploatacji przez stosowanie niższego ciśnienia w maszynie przystosowanej do 87-90 ksi, okazuje się, że mimo to w dalszym ciągu zmuszeni są do pracy z małą dyszą, ponieważ w hydraulicznym aspekcie pompa wzmacniaczowa ma ograniczony przepływ i po prostu nie jest w stanie spowodować przepływu potrzebnego do pracy z pełnowymiarową dyszą. Wychodzi na to, że użytkownik posiada drugą pompę, która pracuje pod niższym ciśnieniem, ze zbyt małą dyszą – przynosząc straty i znacznie ograniczając tempo produkcji. Jedynym sensownym rozwiązaniem jest kupno nowej pompy stworzonej do pracy przy większym przepływie (60 ksi).

## Koszty garnetu

Jednym z mitów na temat pomp 87-90 ksi jest to, że można obniżyć koszty garnetu. Jednakże, jak widać w Tabeli 1, prędkości cięcia przy tej samej mocy pompy i zużyciu garnetu są w zasadzie takie same dla systemów o ciśnieniu 87-90 ksi i 55-60 ksi. Możliwe jest, że dany projekt spowoduje wzrost prędkości cięcia przy wzroście kosztów operacyjnych. W takich sytuacjach tradycyjny system cięcia przy 55-60 ksi ma znaczną przewagę nad konkurentem, ponieważ wyposażony jest w dyszę o wystarczającej wielkości, taką, która – w razie potrzeby – pozwala na większą ilość garnetu w strudze



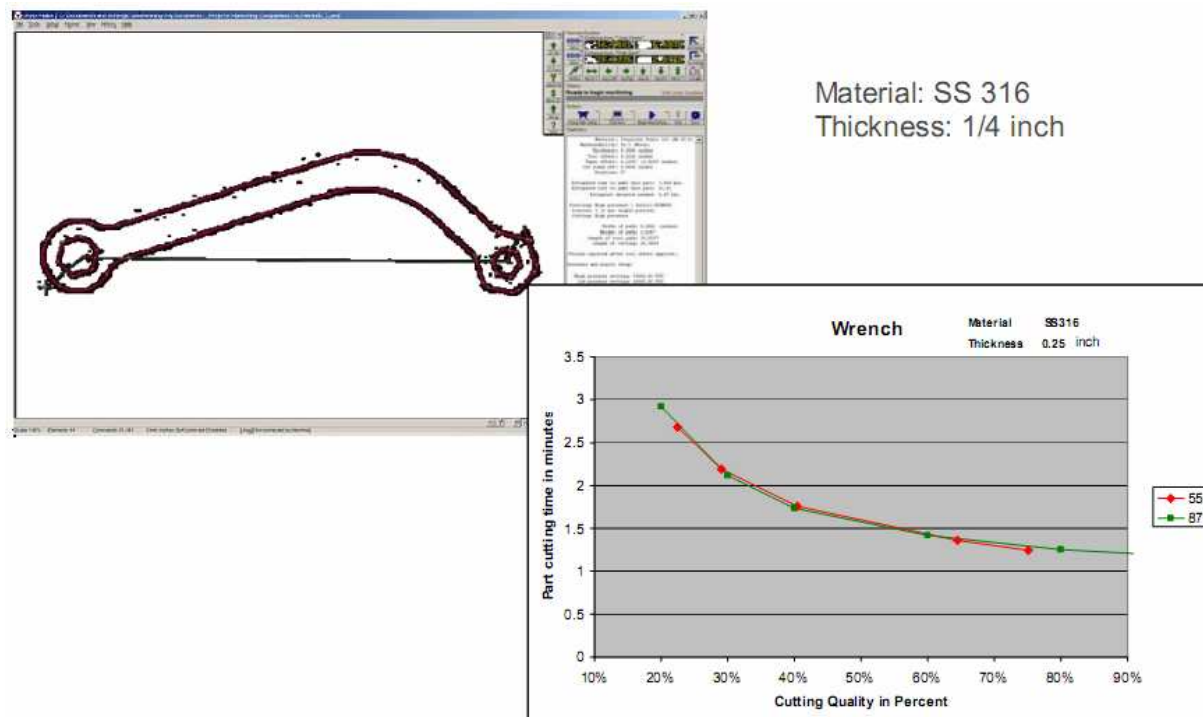
wody. Na przykład przy nieznacznym zwiększeniu ilości przepływu garnetu tj. z 0,8 do 1,0 lb/min dla pompy z napędem liniowym o mocy 50 KM (Tabela 1) można zwiększyć prędkość cięcia aluminium o grubości 2" nawet o 10%. Można to zrobić w przypadku, kiedy wyższa prędkość cięcia jest ważniejsza niż zwiększone koszty operacyjne. Użytkownik maszyny o 55-60 ksi nie powinien zwiększać natężenia ścierniwa, ale zdecydowanie może określić tę wartość dokładnie i dużo wcześniej.

## Czas produkcji elementów

Jednym ze skutków ubocznych zainteresowania, które ostatnio dotyczy ciśnienia używanego w procesie cięcia oraz maksymalnej prędkości cięcia, jest to, że zapomniano o fundamentalnym fakcie. Mianowicie, prędkość cięcia nie określa czasu produkcji elementów.

To tak, jak w przypadku maksymalnej prędkości samochodów, którą niektórzy ludzie określają jako miarę osiągnięć. Wydaje im się oczywiste, że w przypadku waterjetów wystarczy ustawić najwyższą prędkość cięcia, aby uzyskać największą wydajność maszyny. Jednakże – tak jak w przypadku wyścigu – o wygranej nie decyduje tylko prędkość. Bez wprawnego kierowcy superszybki samochód jest tylko rakieta pozbawioną kontroli. Umiejętności kierowcy są kluczem do wygranej wyścigu.

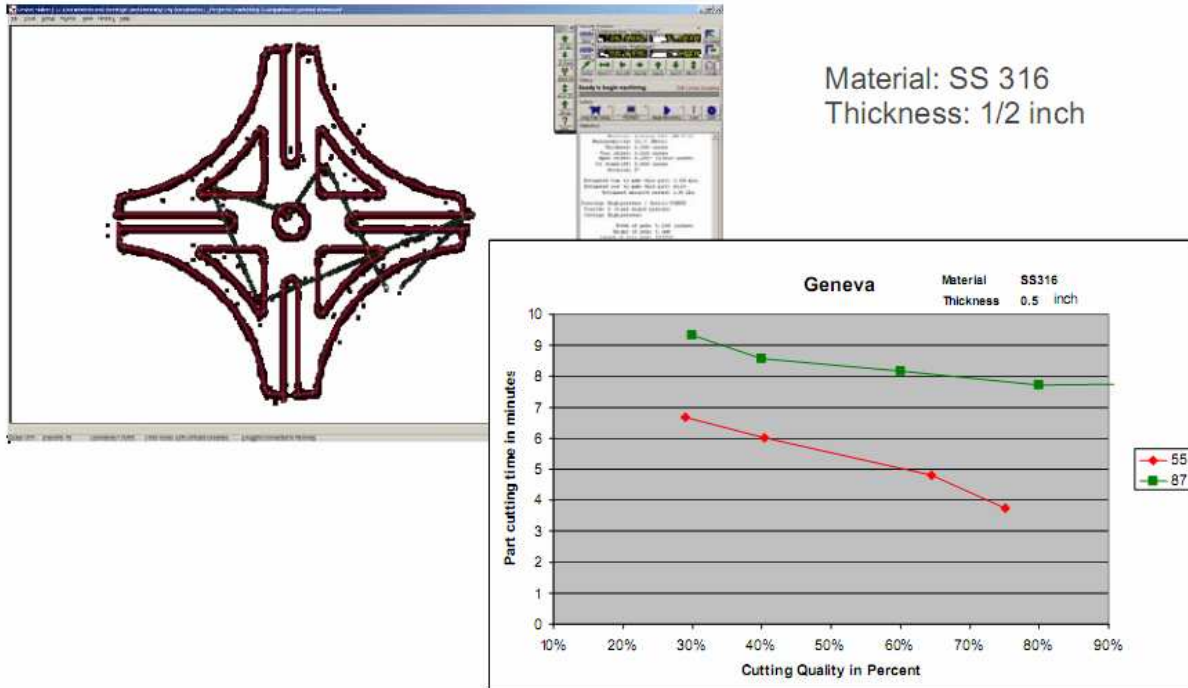
Podobnie „zdolność” kontroli ruchu osi może stanowić klucz do szybkiego i dokładnego wykonywania elementów. Nie oznacza to jednak, że prędkość nie jest ważna, zwłaszcza w produkcji dużych elementów wycinanych przy długich przelotach głowicy, a także w grubym materiale. Natomiast prawda jest taka, że im bardziej złożony i skomplikowany jest element, a także im ważniejsza jest precyzja cięcia, tym mniej istotna staje się prędkość w kontekście całkowitego czasu produkcji. Ważniejsze również staje się stworzenie bardzo dobrej „inteligentnej” kontroli ruchu. Powodem tego jest sposób, w jaki strumień się zagina, jak się porusza, a także wynikające z tego sposoby kontroli ruchu, na których opiera się cała technologia. Ostatecznie jedyny sposób, aby prawdziwie ocenić pracę któregoś z waterjetów, to sprawdzenie czasu i przeprowadzenie próbnych cięć na wybranych elementach przeznaczonych do specjalistycznych zastosowań.



Rys. 1 Nieskomplikowany element – praktycznie żadnej różnicy w czasie cięcia.



Rysunki 1 i 2 pokazują wyniki dwóch takich porównań i widać, jak ogromne znaczenie może mieć oprogramowanie. Rysunek pierwszy porównuje stosunkowo nieskomplikowany element wykonany za pomocą waterjeta z napędem liniowym i pompą o ciśnieniu 55 ksi oraz zaawansowanym oprogramowaniem z elementem wyciętym na innej maszynie wykorzystującej pompę wzmacniaczową o mocy 50 KM i ciśnieniu 87 ksi oraz mniej zaawansowane oprogramowanie. Okazuje się, że czas produkcji obu tych elementów jest dosyć podobny. Rysunek 2 porównuje o wiele bardziej złożony element wykonany na tych samych dwóch maszynach. Przewaga czasu wykonania detalu na maszynie 55 ksi połączonej ze świetnym oprogramowaniem jest wielka. Jest to bardzo dobry przykład pokazujący, jak duże znaczenie może mieć oprogramowanie.



Rys.2 Bardziej złożony detal pokazuje, jak ważne jest doskonałe oprogramowanie.  
Co jest prawdziwym kluczem do doskonałego działania waterjeta?

Doświadczeni użytkownicy waterjetów twierdzą, że wykorzystanie ultrawysokiego ciśnienia nie jest kluczem do szybszej i bardziej ekonomicznej pracy waterjeta. Istotnie, przy danej mocy pompy i natężeniu przepływu garnetu zwiększenie ciśnienia spowoduje tylko wzrost kosztów i czasu przestoju maszyny, jednocześnie dając minimalny, jeśli w ogóle jakikolwiek wzrost prędkości cięcia. Sekretom maksymalnej wydajności maszyny wydaje się być raczej ekonomiczne użytkowanie przy tradycyjnym ciśnieniu w granicach 60 ksi, połączone z doskonałym oprogramowaniem, tak aby zminimalizować czas produkcji.