

E. Deviatova (Ukraina)  
W.W. Deviatov (Ukraina)  
Z. Potęga (Częstochowa)

## Techniczno-ekonomiczne aspekty procesu wyciskania

Cena metali stale wzrasta, zatem ich oszczędne stosowanie jest ciągle aktualne.

Jeden z kierunków takiego stosowania metali jest możliwy dzięki obróbce plastycznej[1]. Celem artykułu jest zatem zwrócenie uwagi technologów na zalety obróbki metali poprzez wyciskanie.

Proces wyciskania stanowi jeden z rodzajów obróbki plastycznej metali, w którym pod działaniem formujących sił zachodzi płynięcie metalu w zamkniętej objętości poprzez kalibrujące otwory znajdujące się w elementach narzędzia.

W literaturze technicznej proces wyciskania nazywany jest także: kucie przez wyciskanie, kucie przez prasowanie, kucie przez wypływanie, uderzeniowe wyciskanie, prasowanie na zimno itp. Najczęściej stosowany jest termin wyciskanie, do którego dodaje się słowo określające stan temperatury półfabrykatu: wyciskanie na zimno, na gorąco i półgorąco, wyciskanie izotermiczne; słowa określające charakter przyłożonych sił: hydrodynamiczne, hydrostatyczne, zróżnicowane oraz słowa określające kierunek wypływania metali: współbieżne, przeciwbieżne i poprzeczne.

Podstawową cechą wszystkich postaci procesu wyciskania jest obecność w ognisku deformacji trójosiowego nierównomiernego ściskania podwyższającego plastyczność materiału, przez co jest on w stanie wytrzymać większe odkształcenia bez zniszczenia.

Wyciskanie współbieżne ma miejsce wtedy, gdy materiał wyjściowy jest wyciskany stemplem przez oczko kalibrujące. Kierunek płynięcia metalu pokrywa się z kierunkiem ruchu stempla. Tą metodą wykonuje się detale typu pręt ze zgrubieniem (pogrubieniem), wydrążony i z pogrubieniem. W tym ostatnim przypadku wyjściowy półfabrykat jest w postaci tulei.

Przy wyciskaniu przeciwbieżnym materiał wyjściowy w postaci cylindrycznego półfabrykatu pod działaniem stempla wyciskany jest do pierścieniowej szczeliny wytworzonej między stemplem a ściankami matrycy. Metal płynie w kierunku przeciwnym do ruchu stempla. Tym sposobem mogą być wykonane detale typu tuleja, kubek itp. W wyciskaniu przeciwbieżnym materiał półfabrykatu może także płynąć do otworu stempla. W odróżnieniu od współbieżnego wyciskania w tym sposobie eliminowane jest przesuwanie wyjściowego półfabrykatu względem ścianek matrycy, dzięki czemu obniża się tarcie kontaktowe.

Wyciskanie kombinowane łączy w sobie cechy dwóch poprzednich metod. Przy łącznym wyciskaniu metal wyjściowego półfabrykatu płynie jednocześnie w dwóch przeciwnych kierunkach. Wg tej metody wykonywane są detale typu pręt z pogrubieniem pośrodku albo typu pręt z wydrążoną lub ukształtowaną główką.

Istnieje także wyciskanie w kierunku poprzecznym. W zależności od kształtu detalu rozróżnia się wiele rodzajów procesu, zgodnie z którymi metal może płynąć w różnych kierunkach, innych od kierunku osiowego. Procesy wyciskania w kierunkach poprzecznych w literaturze częściej nazywane są kuciem w rozkładanych matrycach.

Proces produkcji detali poprzez wyciskanie zwykle jest wieloetapowy i zawiera procesy otrzymywania wyjściowego półfabrykatu, przygotowanie półfabrykatu do kolejnego kształtowania, nagrzewanie, kształtowanie, obróbkę cieplną i operacje wykańczające. Efektywność procesu wyciskania określona jest przez optymalne połączenie warunków na każdym z etapów produkcji. Jako kryterium może służyć np. minimalny koszt produkcji i maksymalna wydajność. Najbardziej ekonomicznym i wysoko wydajnym sposobem otrzymywania wyjściowego półfabrykatu w celu jego późniejszego wyciskania jest sposób cięcia prętów na prosach w matrycach lub na nożycach gilotynowych. Sposoby te zapewniają wysoki współczynnik wykorzystania metalu i wysoką wydajność. Jednakże jakość odciętych półproduktów w porównaniu z półproduktami odciętymi na tokarkach lub piłach jest niższa. Znaczne podwyższenie jakości półfabrykatów osiąga się sposobami cięcia opartymi na wytworzeniu w strefie cięcia stanu trójosiowego nierównomiernego ściskania i nagrzania rozcinanych prętów. W celu nagrzewania najbardziej pożądane jest wykorzystanie energii elektrycznej. Przy wyborze sposobu wyciskania należy uwzględnić konkurencyjne procesy przygotowania detalu znajdujące się na jednakowym poziomie technologicznym z wyciskaniem. Decydując o zastosowaniu jakiegoś procesu wyciskania, należy się kierować przede wszystkim względami ekonomicznymi, np. jeśli na automatach tokarskich przy jednym ustawieniu z wyjściowego pręta można uzyskać w całości gotowy detal, to przy otrzymaniu detali za pomocą wyciskania na zimno należy najpierw odciąć i przygotować półfabrykat, tzn. wyżarzyć, oczyścić, wytrawić, nafenorować i dopiero po tym nadać żądany kształt. Kompensować te operacje można tylko poprzez istotne zalety. Porównując wady i zalety dwóch procesów: procesów wyciskania na zimno i procesów wykonania detali poprzez skrawanie z punktu widzenia dokładności i gładkości powierzchni detali. Konkurować z obróbką skrawaniem metali może tylko obróbka plastyczna na zimno. Przykładowo gładkość powierzchni detalu otrzymana poprzez wyciskanie na zimno wynosi od 0,3 do 3,5  $\mu\text{m}$ ., tzn. odpowiada gładkości powierzchni przez szlifowanie. Jednakże należy zauważyć, że taka gładkość osiągnana jest nie dla wszystkich powierzchni wyciskanego detalu, a tylko na odkształcanych przy optymalnych warunkach smarowania i prędkości poślizgu. Dokładność rozmiarów detali zależy od ich wielkości, dokładności i sztywności zastosowanego narzędzia, odkształceń sprężystych i temperaturowych wyciskanych detali i narzędzia, stopnia zużycia i innych czynników. Proces wyciskania na gorąco ze względu na dokładność i gładkość powierzchni nie może konkurować z obróbką skrawaniem. Do innych zalet

obróbki skrawaniem należy zaliczyć to, że obróbce skrawaniem można poddawać prawie wszystkie metale i wykonywać detale najróżniejszych kształtów i rozmiarów. Procesy skrawania oprócz takich zalet, jak wysoka dokładność wymiarów, mniejszy koszt narzędzia, duża różnorodność form i rozmiarów obrabianych detali, mniejsza moc jednostkowa maszyny, posiadają i szereg istotnych wad. Są to: duże straty metalu w postaci wiórów, szczególnie przy zgrubnych operacjach, duża prachołoność i złożoność otrzymania dużej gładkości powierzchni, duży koszt robocizny, obniżenie wytrzymałości detali i odporność na zużycie, stosunkowo niska wydajność. Konieczność stosowania mechanicznej obróbki skrawaniem, związana z brakiem sposobów uzyskania dodatkowych wyjściowych półfabrykatów, których kształt i rozmiary byłyby zbliżone do detali gotowych. Jeżeli wydziały kuźni będą zabezpieczać produkcję detali o żądanych rozmiarach, kształtach i gładkości powierzchni, to odpadnie konieczność następnego etapu obróbki skrawaniem. Jednakże przy współczesnym poziomie rozwoju produkcji półfabrykatów nie udaje się rozwiązać tego problemu i obróbka metalu skrawaniem przez długi czas będzie koniecznym procesem technologicznym, w szczególności w końcowym etapie otrzymywania gotowych detali. Aktualnym zadaniem przy wykonywaniu detali jest maksymalne zmniejszenie objętości metalu zdejmowanego podczas skrawania.

Postawione zadanie można rozwiązać, wykorzystując zalety procesów obróbki metali poprzez wyciskanie. Procesy obróbki plastycznej należą do najbardziej rozwojowych. Wystarczy powiedzieć, że ok. 90% całej wytapianej stali podlega obróbce plastycznej: walcowaniu, prasowaniu, ciągnięciu, kuciu i innym. Przy porównaniu wykonywania detali poprzez skrawanie i obróbkę plastyczną uzyskuje się następujący wynik. Przy obróbce skrawaniem 1 mln ton walcówki stalowej strata metalu wynosi 300 ÷ 400 tys. ton. Obróbka takiej ilości stali na prasie kuźniczej pozwala 4 ÷ 5-krotnie obniżyć straty metalu, zaoszczędzić ok. 30 mln roboczogodzin pracy obrabiarek, zwolnić 10 tys. jednostek obrabiarek skrawających [1]. Wychodząc od tych liczb, należy rozdzielić koszty po wydziałach. Jak pokazuje doświadczenie, można to zrobić przy optymalnym wykorzystaniu zalet procesów skrawania. Należy podkreślić, że przy obróbce plastycznej można osiągnąć szereg innych zalet, np. podwyższenie wydajności, podwyższenie charakterystyk wytrzymałościowych, zmniejszenie powierzchni produkcyjnych itp.

Przykłady pokazane w pracach [2] i [3] mają aktualność i w dniach dzisiejszych. Porównując koszty produkcji wykonania trzech detali z jednego półfabrykatu przez wyciskanie z wykonanymi na automatach rewolwerowych zauważają zmniejszenie nakładów kapitałowych o 76%, masy półfabrykatu do 43%, i wydatków na materiał do 35%, dzięki zastosowaniu tańszego półfabrykatu walcowanego na gorąco zamiast walcowanego na zimno.

W pracy [3] dokonano porównania cen detali wykonanych poprzez skrawanie i wyciskanie z obróbką wykańczającą skrawaniem w zależności od wielkości serii. Cena ogólna wykonania detali poprzez wyciskanie na zimno z obróbką wykańczającą skrawaniem składa się z wydatków na materiał, płace, cięcie, przygotowanie powierzchni półfabrykatów, matryce i inne narzędzia, amortyzację wyposażenia produkcyjnego. Zmniejszenie ceny wyciskania na zimno przy zwiększeniu liczebno-

ści serii zachodzi głównie dzięki obniżeniu względnej ceny matrycy dla wyciskania. Porównanie kosztów wyciskania na zimno i skrawania wykazuje, że dla serii 1000 szt. detali cena wykonania ich poprzez wyciskanie i skrawanie jest jednakowa. Po zwiększeniu liczebności serii detali do 5 ÷ 6 tys. cena wykonania detali zmniejsza się prawie 2-krotnie w porównaniu z obróbką skrawaniem. Cena wykonania wyściowych półfabrykatów odgrywa szczególną rolę. Jeśli przeanalizować wydatki na otrzymanie półfabrykatów przez odcinanie na piłach automatycznych, to okaże się, że cena półfabrykatów w sposób płynny zmniejsza się przy zwiększaniu ich produkcji i zmniejszaniu średnicy półfabrykatów. Przy tym cena półfabrykatu będzie mniejsza przy odcinaniu piłami automatycznymi i wyposażonymi w narzędzia wykonane z twardych spieków, aniżeli przy odcinaniu na zwykłych piłach. W pracy na 2 zmiany i produkcji 10 tys. półfabrykatów cena jednego półfabrykatu odciętego na pile pierwszego typu wzrasta wolniej przy zwiększeniu średnicy półfabrykatu, aniżeli na pile drugiego typu. Przy średnicy półfabrykatu 70mm ich cena jest jednakowa, a przy większych średnicach w pierwszym przypadku cena jest mniejsza. Wpływ długości półfabrykatu na cenę jest niewielki i ma drugorzędne znaczenie. Tak więc mimo większych nakładów kapitałowych związanych z zakupem pił automatycznych ten sposób odcinania jest bardziej ekonomiczny.

Półfabrykaty przeznaczone do wyciskania detali typu kubek przeszłyby przez następujące operacje: odcinanie, czyszczenie strumieniowe, spęczanie, wyżarzanie zmiękczające, trawienie, fosforowanie, smarowanie. Obliczenia pokazały, że cena wyraźnie spada po zwiększeniu produkcji półfabrykatów o średnicy 10mm. Mniej zaznaczony spadek obserwowano dla półfabrykatów o średnicy 20 i 30mm.

We wszystkich przypadkach cena obniża się przy zwiększeniu liczby sztuk detali. Przy automatyzacji podawania półfabrykatów cena zmniejsza się. Dla tych warunków wyciskania kubków ze stali porównano nakłady na materiał i wydatki związane z procesem technologicznym. Wydatki na materiał i części wskazanych wydatków w ogólnej cenie otrzymanych detali w kształcie kubków zmniejsza się z 63% do 7% przy zwiększeniu średnicy kubka z 20 do 100mm. Nakłady określono dla detali kubkowych, które przeszły przez następujące operacje: odcinanie, czyszczenie strumieniowe, spęczanie, wyżarzanie zmiękczające, czyszczenie strumieniowe, trawienie, fosforowanie trawienie, przeciwbieżne wyciskanie przy automatycznym podawaniu półfabrykatów. Część wydatków na amortyzację, wydatków na płace i wydziałowe w cenie produkcji detali zależy od obciążenia wszystkich maszyn. Obliczenia pokazują, że cena wykonania wyraźnie zmniejsza się po zwiększeniu współczynnika obciążenia maszyn –  $m$ . Świadczy to o ważności przedsięwzięć technicznych i organizacyjnych skierowanych na eliminację przestojów. Urządzenia podające chwytakowe wykonujące do 50 ruchów na minutę i najbardziej pożądane przy wyciskaniu detali o prostym kształcie pozwalają zmniejszyć wydatki na płace do 80%. Podobnie jak i automatyzacja tak na wielkość nakładów wpływa również liczba pracujących maszyn. Przy pracy ręcznej zwykle obsługiwana jest jedna maszyna, a przy obecności środków automatyzacji większa liczba.

Jako porównywalne kryteria przy wyborze najbardziej ekonomicznego wariantu technologicznego przyjmuje się sumę wydatków sprowadzonego dla każdego

z porównywalnych wariantów. Wydatki określone są jako suma cen gotowej produkcji i nakładów kapitałowych. Porównanie ze względu na wydatki pozwala w sposób obiektywny ocenić zalety i wady każdego z wariantów.

Przy wdrażaniu wyciskania gorącego i częściowo półgorącego zamiast kucia w otwartych matrycach otrzymuje się oszczędności dzięki zmniejszeniu odpadów metalu i pracochłonności wykonania. Wykorzystanie metalu charakteryzowane jest przez współczynnik wykorzystania metalu  $K_i$ . Przy kuciu przez wyciskanie podwyższa się 2 ÷ 3-krotnie w porównaniu z wykonaniem odkuwek za pomocą kucia w otwartych matrycach. Wówczas, czym większa jest zawartość metalu w gotowym detalu, tym wyższy jest współczynnik  $K_i$  i na odwrót, im cieńsze są ścianki detalu mającego rozmaite otwory i zagłębienia, tym mniejsze jest  $K_i$ . Jednakże we wszystkich przypadkach dla wykonania półfabrykatów celowe z ekonomicznego punktu widzenia jest zastosowanie procesu wyciskania, ponieważ zawsze zmniejsza się ilość metalu, pracochłonność i cena produkcji. W tych przypadkach kiedy od detali wymaga się 100% hermetyczności, proces wyciskania należy nawet koniecznie stosować przy dowolnej wielkości serii.

Doświadczenie uzyskane przy przemysłowym wykorzystaniu procesów wyciskania pokazało, że zalety i wady ujawniają się w każdym konkretnym przypadku w inny sposób. Wspólna pozostaje znaczna oszczędność metalu zarówno dzięki małemu odpadowi metalu w postaci wiórów, jak i dzięki obniżeniu zawartości metalu w wyrobie, w wyniku podwyższenia własności wytrzymałościowych poprzez wyciskanie. Cena wyjściowej walcówki obniża się dzięki temu, że przy przygotowaniu wyrobów poprzez wyciskanie na zimno zamiast drogiej stali walcowanej na zimno można zastosować tańszą niskowęglową i walcowaną na gorąco, a przy wykonywaniu detali wydrążonych zamiast drogiej i deficytowej walcówki w postaci rur można zastosować walcówkę pełną. W większości przypadków przy zastosowaniu obróbki przez wyciskanie zdecydowanie podwyższa się wydajność i obniża się pracochłonność.

Efektywność procesów wyciskania znacznie podwyższa się przy wykorzystaniu modelowania matematycznego [4], co będzie tematem dalszych rozważań.

## Literatura

- [1] Deviatov W.W., Малоотходная обработка металов давлением. Москва. Малиностроение 1981. 381с.
- [2] Höhne O., Dencker B., Kaltmassivumformung in der Automobilindustrie. Werkstatt und Betrieb, 104, H.6. 1971. S. 361 ÷ 364.
- [3] Sieber K, Beispiele zu den Fertigungskosten des Kaltfließpressens. Industrie – Anzeiger, 88. 1966. Nr 37. S. 115 ÷ 118.
- [4] Deviatov W.W., Stolbov W.J., Kukuryk B., Analiza naprężeń i odkształceń w procesie wyciskania. Hutnik – „Wiadomości Hutnicze”. Lipiec, Katowice 1998, nr 7.