ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979

Seria: HUTNICTWO z. 18 Nr kol. 606

Stanisław KONCEWICZ
Ryszard HEBDZYŃSKI

Instytut Budowy Maszyn
Politechnika Śląska

ZAOSTRZANIE KONCÓW RUR I PRĘTÓW PRZED CIĄGNIENIEM

Streszczenie. W pracy omówiono zastosowanie kowarek czterodźwigniowych do wykonywania zakuć przed ciągnieniem prętów i rur. Przedstawiono kształt uzyskiwanych zakuć oraz warunki chwytu odkuwki w kowadłach w początkowym i ustalonym procesie kucia.

W polskich ciągarniach jeszcze obecnie obserwuje się duże zróżnicowanie metod i maszyn stosowanych do zaostrzania końców prętów i rur przed ciągnieniem. Obok głównie stosowanych młotów do swobodnego kucia spotyka się jako uzupełniające: walcowanie okresowe w walcarkach kuźniczych, skuwanie na skuwarkach mimośrodowych, redukowanie rozciąganiem, zagniatanie na prasach (ósemkowanie) stosowane tylko dla rur, zakuwanie w kowarkach mimośrodowych. Duża część materiału ma przygotowane zwężenie końca na drodze obróbki ubytkowej - skrawaniem, mimo że w wielu przypadkach możliwe jest kształtowanie przez odkształcenie plastyczne.

Próby stosowania kowarek do zaostrzania były podejmowane już od dawna. W krajowych ciągarniach pracują do dnia dzisiejszego kowarki rotacyjne, których zastosowanie ograniczono w naszych warunkach do niewielkich wymiarów, np. zakuwanie rur do średnicy 30 mm. Nadmierna hałaśliwość tych maszyn i drgania przy braku mechanizacji i ręcznym podawaniu nie pozwoliły na szersze zastosowanie ich do zaostrzania. Również krótka żywotność elementów napędowych i duża awaryjność w pracy nie pozwoliły na ich szersze rozpowszechnienie, pomimo iż prawidłowo prowadzony proces w tej metodzie dawał zakucia zadowalające wysokie wymagania.

Dopiero kowarki dźwigniowe, a w szczególności czterodźwigniowe, stanowią przełom w zastosowaniu do wykonywania zakuć przed ciągnieniem zarówno prętów jak i rur. Obserwuje się coraz powszechniejsze ich użytkowanie w naszych ciągarniach, głównie w miejsce dotychczas stosowanych młotów do swobodnego kucia.

KOWARKI CZTERODŹWIGNIOWE

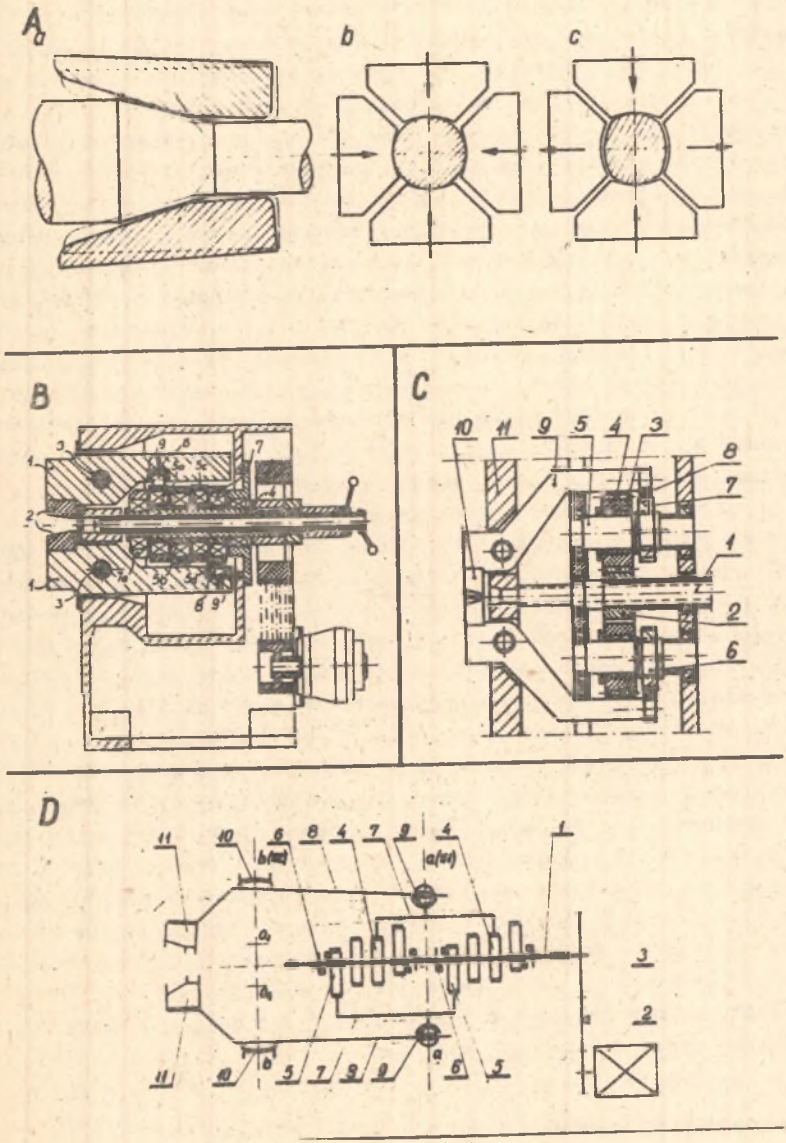
W kowarkach czterodźwigniowych odkształcenie odbywa się w kowadłach drgających w płaszczyźnie przechodzącej przez oś zakuwanego materiału.

Napęd drgający dźwigni od mimośrodów daje w efekcie sinusoidalny rozkład prędkości narzędzi, co łącznie, ze stopniowo narastającym odkształceniem, zapewnia spokojną pracę maszyny. Przeciwbieżne rozmieszczenie dźwigni równoważy wewnętrznie układ sił tak, że kowarka nie przenosi obciążeń na fundament i może być instalowana bez specjalnego fundamentowania. Kucie w kowarce może przebiegać albo równocześnie wszystkimi czteroma kowadełkami, albo też przemiennie parami przeciwbieżnych kowadeł. Proces kształtowania, charakterystyczny dla kowarek czterodźwigniowych, przedstawiono schematycznie w polu A na rys. 1. Na tymże rysunku w kolejnych polach zamieszczono trzy rozwiązania konstrukcyjne, spotykane w naszych ciągarniach.

W kowarce KIESERLINGA (1963 (rys. 1 pole B) dwuramienne dźwignie 1 z zamocowanymi na jednym końcu kowadłami 2 osadzone są na czopach 3 w korpusie maszyny i napędzane na drugim końcu od mimośrodów 5 wyposażonych w łożyska baryłkowe 7 poprzez przegub kulowy 8 i 9. Pierścień zewnętrzny łożysk baryłkowych doznaje wymuszonego wychylenia (w łożysku występuje dodatkowe tarcie ślizgowe). Wał 4 z mimośrodami 5 umieszczony jest centralnie w osi kucia tak, że kolejne dźwignie napędzane są od coraz to innego mimośrodu (a-d). Punkty napędu poszczególnych dźwigni, jak i wielkości kolejnych mimośrodów, są różne. Wynikające stąd obciążenie w punktach podparcia wału ma charakter pulsujący. Docisk sprężynowy realizowany na dźwignie kasuje luzy w węźle napędu od mimośrodów, wywołując drgania w granicach luzów w miejscu osadzenia na czopie (wybijanie). Wyrównoważenie bezwładnych mas pozwala na stosowanie dużych częstości drgań dźwigni, np. dla typoszeregu maszyn o nacisku kowadełka ok. 160-1000 kN (16-100 T) częstości te wynoszą odpowiednio 15-10 Hz. Produkcję licencyjną opisanych powyżej maszyn podjęły Zakłady Csepel na Węgrzech.

W zakuwarce dźwigniowej wg konstrukcji Huty "Zygmunt" (1973) (rys. 1 w polu C) w maszynach oznaczonych symbolem ZDM zastosowano, podobnie jak w opisanej powyżej kowarce, dwuramienne dźwignie 9 - osadzone na czopie w korpusie i napędzane od mimośrodów 6 z osadzonymi łożyskami wahliwymi (baryłkowymi) poprzez łącznik 8 osadzony obrotowo na dźwigni i współpracujący przesuwnie z pierścieniem zewnętrznym łożyska. Pierścień zewnętrzny łożyska doznaje, jak w poprzednio opisanym przykładzie, wymuszonego wychylenia. Mimośrody 6 umieszczone na wałkach 5 pod odpowiadającymi im dźwigniami napędzane są za pośrednictwem kół zębatych 3 od koła centralnego 2 umieszczonego centralnie w osi kucia. Takie rozwiązanie pozwoliło na zastosowanie jednakowej długości dźwigni i jednakowych mimośrodowości. Wykasowanie luzów dźwigni podobnie jak w powyżej opisanym przykładzie. Niepokój może budzić tu zastosowanie połączenia kół zębatych 3 z wałkami 5 za pośrednictwem pierścieni rozprężnych 4, a więc połączenia ślizgowego nie zapewniającego jednoznacznego położenia mimośrodu, warunkującego prawidłową pracę kowarki i wyrównoważenie bezwładnych mas.

W obydwu omówionych konstrukcjach zmiana charakteru pracy kowarki z kucia równoczesnego na przemienne wymaga przebudowy maszyny lub stosowanie dwu różnie zmontowanych maszyn.



Rys. 1. Kowarki czterodźwigniowe

A - proces kształtowania, B - kowarka Kieserlinga [1], C - zakuwarka Huty Zygmunt [2], d - kowarka Politechniki Śl. [3]

Trzecie z przedstawionych rozwiązań (rys. 1 w polu D 1977), konstrukcja Instytutu Budowy Maszyn Politechniki Śląskiej nie różni się w zasadzie pracy od poprzednich. Dwuramienne dźwignie 8 z kowadłami 11 osadzono wahliwie w korpusie w wycinkach łożysk ślizgowych 10, których osie obrotu umieszczono w punktach O_1 do O_4. Położenie punktów obrotu dźwigien nie jest ograniczone wymiarami dźwigni i tym samym można dowolnie ukształtować parametry kinematyczne strefy odkształcenia. Osadzenie takie eliminuje również połączenie sworzniowe osłabiające dźwignię w miejscu najbardziej obciążeniowym. Napęd dźwigni 8 realizowany jest w płaszczyźnie $\mathcal{F}_1$, za pośrednictwem łączników 7 i przegubu kulowego 9 z kulą osadzoną przesuwnie na dźwigni 8. Mimośrody ukształtowano z dwóch tulei mimośrodowych 4 lub 5 stanowiących parę, a zamontowanych na wale napędowym 1 po obu stronach płaszczyzn $\mathcal{F}_1$. Pozwoliło to na zachowanie tej samej długości dźwigien i jednakowych mimośrodowości. Niesymetryczny układ łączników wpłynie niewątpliwie na zróżnicowanie ich sztywności. Wał napędowy 1 osadzono centralnie w osi kucia. Do połączenia tulei mimośrodowych 5 z wałem napędowym użyto sprzęgieł 6, które zezwalają na łatwą i pewną zmianę charakteru pracy kowarki.

W rozpracowanym konstrukcyjnie modelu oznaczonym symbolem KD-425 i wykonanych kowarkach: pracującej w ciągarni Huty Baildon i przeznaczonej dla Huty im. M. Buczka, do ułożyskowania łączników na tulejach mimośrodowych zastosowano łożyska toczne smarowane mgłą olejową. Dla pozostałych łożyskowań: łożysko główne dźwigni, połączenie suwliwe kuli z dźwignią oraz w przegubie kulowym zastosowano smarowanie pod ciśnieniem z wykorzystaniem zjawiska wyciskania smaru.

W celach archiwalnych należy tutaj wspomnieć o kowarce KD-410 (1969), pierwszej kowarce czterodźwigniowej, będącej motorem powstania zarówno kowarek ZDM Huty Zygmunt, jak i dalszych rozpracowań Instytutu Budowy Maszyn. Kowarka KD-410 posłużyła do przeprowadzenia szeregu badań technologicznych kucia, eksponowana na wystawach osiągnięć Politechniki Śląskiej i w OPT w Katowicach, posłużyła do zaznajomienia z jej pracą i możliwościami zakuć w ciągarniach: Huty im. Gen. Świerczewskiego w okresie kilkumiesięcznej eksploatacji i Zakładów Metali Lekkich, by od 1974 roku pracować z pożytkiem i zadowoleniem w ciągarni Walcowni Metali "Dziedzice" po wyeliminowaniu dwóch zaostrzarek walcowych.

KSZTAŁT I WIELKOŚĆ ZAKUCIA

Rozwój i intensyfikacja ciągarstwa, którego procesy są w dużej mierze zautomatyzowane, pociągają za sobą wzrost wymagań dotyczących jakości zakucia. Jako podstawowe wymagania stawiane przed zakuciem należy wymienić:

- łatwość wprowadzenia w ciągadło,
- pewne chwycenie w szczękach wózka,

- odpowiednią wytrzymałość końcówki,
- dla rur często dodatkowym wymaganiem jest przelotowy otwór.

Aby sprostać tym wymaganiom zakuwka powinna: posiadać kołową powierzchnię współśrodkową z osią pręta lub rury na całej swej długości, łagodne przejście stożkowe oraz możliwie duży stopień przekucia. W odróżnieniu od dotychczas otrzymywanych zakuć wszystkie z powyższych warunków są łatwe do spełnienia przy zakuwaniu w kowarkach czterodźwigniowych. Z podanych warunków tylko zachowanie przelotowego otworu zadowalającego praktyczne potrzeby szczególnie dla rur grubościennych, przerabianych z dużym ubytkiem może stwarzać określone kłopoty, gdyż nie praktykuje się zakuwania na trzpieniu. Proponowane rozwiązania zakuć przedstawiono na rys. 2.

W wierszu A przedstawiono zakuwanie "na okrągło". Rury i pręty okrągłe ze średnic początkowych D podlegają zakuciu na średnicę d_z ze stożkiem przejściowym o kącie 2β. W podobny sposób "na okrągło" można zakuwać pręty tworzące w przekroju figury wypukłe, szczególnie wielokąty formene np. 8 kt, 6 kt, kwadrat).

Zakuwanie kwadratu bez pewnego, mechanicznego podawania może stwarzać duże trudności; poczynając od sześciokąta nawet zakuwanie z ręcznym podawaniem nie odbiega w zasadzie od zakuwania prętów okrągłych. Zakuwanie prowadzone jest z krokowym obrotem i podaniem.

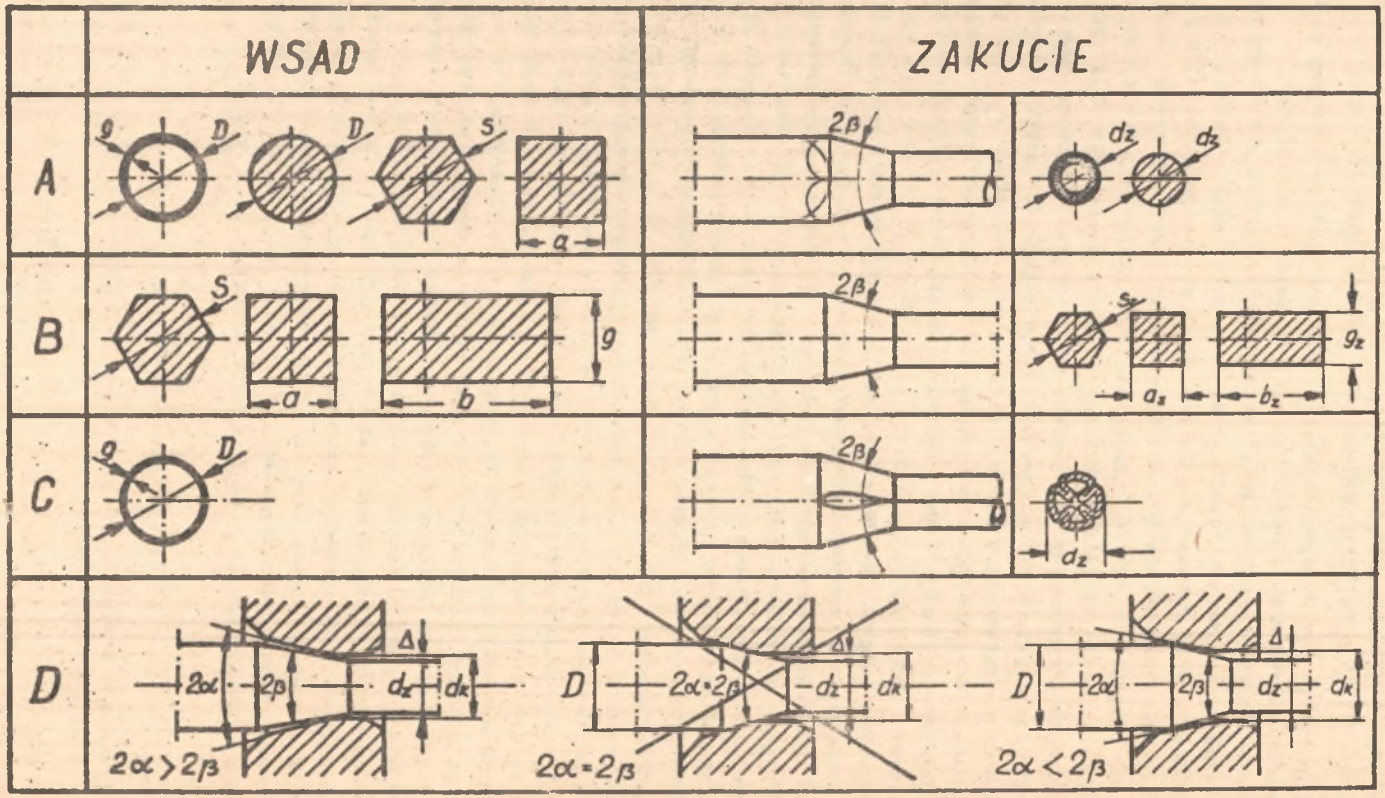
Wiersz B ujmuje zakuwanie kształtowe prętów. Wymiar wstępny pręta: a, S, b, g podlega zakuciu na: a_z, s_z, b_z, g_z. Strefę przejściową stanowi tu ostrosłup ścięty o nachyleniu przeciwległych ścian pod kątem 2β. Zakuwanie prowadzone jest bez obrotu z krokowym podaniem.

W wierczu C ujęto przykład zakucia specjalnego, stosowanego tylko dla rur. Rura o średnicy D, podobnie jak w wierszu A, zostaje zakuta do średnicy d_z ze stożkiem przejściowym o kącie 2β. Sposób ten mimo niekorzystnego zafałdowania, rozciągającego się poprzez zakuwkę i stożek, jest uzasadnione w odniesieniu do rur cienkościennych. Dodatkowo w tym sposobie, z uwagi na odkształcenie poprzez gięcie ścianki rury, nie występuje wydłużenie. Końcówka posiada wysoką wytrzymałość i zwiększoną sztywność. Zakuwanie prowadzi się bez obrotu z krokowym podaniem.

W wierszu D przedstawiono możliwe przypadku doboru kątów stożków ciągadła i zakucia. W ogólności niekorzystnym przypadkiem będą równe kąty stożków z uwagi na dynamiczny charakter początkowej fazy ciągnienia. Zróżnicowanie kątów stożka ciągadła i zakucia przyczynia się do łagodnego narastania odkształcenia. Z tego względu należy przyjąć zasadę:

$$2\alpha \neq 2\beta. \tag{1}$$

Dwa pozostałe przypadki, mając na uwadze warunki warsztatowe, należy uznać jako zalecane równorzędnie.



Rys. 2. Kształt zakucia w kowarkach czterodźwigniowych

Wielkości zakucia można scharakteryzować:

względnym ubytkiem przekroju:

$$\varepsilon = \frac{A_o - A_1}{A_o}, \tag{2}$$

dla prętów okrągłych:

$$\varepsilon = \frac{D^2 - d_z^2}{D^2} = 1 - \left(\frac{d_z}{D}\right)^2, \tag{2a}$$

współczynnikiem wydłużenia:

$$\lambda = \frac{A_o}{A_1} = \frac{l_1}{l_o}, \tag{3}$$

dla prętów okrągłych:

$$\lambda = \left(\frac{D}{d_z}\right)^2, \tag{3a}$$

wydłużeniem rzeczywistym:

$$\varphi = \ln \frac{A_o}{A_1} = \ln \frac{l_1}{l_o} \tag{4}$$

oraz często wskaźnikiem zmniejszenia średnicy dla prętów i rur okrągłych, wyrażonym jako:

$$k = \frac{d_z}{D}. \tag{5}$$

Wymiar zakucia (np. d_z) należy przyjmować mniejszy od wymiaru ciągadła (d_k) o wielkość 2Δ.

Sposób ustalenia wymiaru zakucia, dla różnych zakuwanych przekrojów podano w tablicy 1.

Dobór wielkości luzu uwarunkowany jest wieloma względami, jak np. nacięciami od szczęK wózka z poprzedniego ciągu, odkształceniem, stanem zużycia kowadeł itp. Z tych względów, dla zapewnienia łatwego wprowadzenia w oczko, minimalny luz powinien wynosić:

$$\Delta = (0,5 - 1) \text{ mm}.$$

Powiększenie zakresu luzu zezwala na zwiększenie dopuszczalnej wielkości zużycia kowadeł.

Tablica 1

	Zakucie na okrągło	Zakucie kształtowe
Rura i pręt okrągły	$d_z = d_k - 2\Delta$!	$d_z = d_k - 2\Delta$
Pręt 6kt	$d_z = s_k - 2\Delta$	$s_z = s_k - 2\Delta$
Pręt kwadratowy	$d_z - a_k - 2\Delta$	$a_z = s_k - 2\Delta$
Pręt prostokątny		$b_z = b_k - 2\Delta$ $g_z = g_k - 2\Delta$

gdzie:
d,s,a,b,g - średnica, rozwartość, bok, grubość
Δ - luz
indeks z - dotyczy wymiaru zakucia
indeks k - dotyczy wymiaru części kalibrującej ciągadła

Wielkość zakucia uwarunkowana jest wymaganą wytrzymałością końcówki.

Zakuwanie rur szczególnie grubościennych związane jest ze znacznym ubytkiem przekroju w zakuciu. Współczynnik wydłużenia w badanych zakuciach, przeprowadzonych w IBM Pol. Śl. w latach 1970-1972, mieścił się w granicach 1,15-1,45 (przy zakuciu z otworem przelotowym). Zmniejszenie przekroju w zakuciu powoduje zmniejszenie wytrzymałości końcówki zakutej na gorąco. Zakuwanie na zimno umacnia zakutą końcówkę w stopniu odpowiadającym wielkości uzyskanego odkształcenia.

Długość zakucia l_z zależna jest od warunków geometrycznych użytkowanych ciągarek. Stosowane w kraju ciągarki wymagają zakuć o długości w przedziale 120-250 mm.

WARUNKI CHWYTU MATERIAŁU W KOWADŁACH

Na materiał podawany w kowadła działają siły: podająca Q, nacisk kowadeł P oraz tarcia T. Rozkład sił w początkowym i ustalonym procesie odkształcania przedstawiono szkicowo na rys. 3.

Przyjmując kulombowski wzór na tarcie

$$T = P \cdot \mu \tag{6}$$

z warunku rzutów na oś kucia

$$\sum Pix = o; \quad -n.P.\sin\beta + n.T.\cos\beta + Q = 0;$$

można określić potrzebną siłę podawania dla zapewnienia warunków dla odkształcenia

$$Q = n(P \sin\beta - T \cos\beta) \tag{7}$$

lub po uwzględnieniu zależności (6):

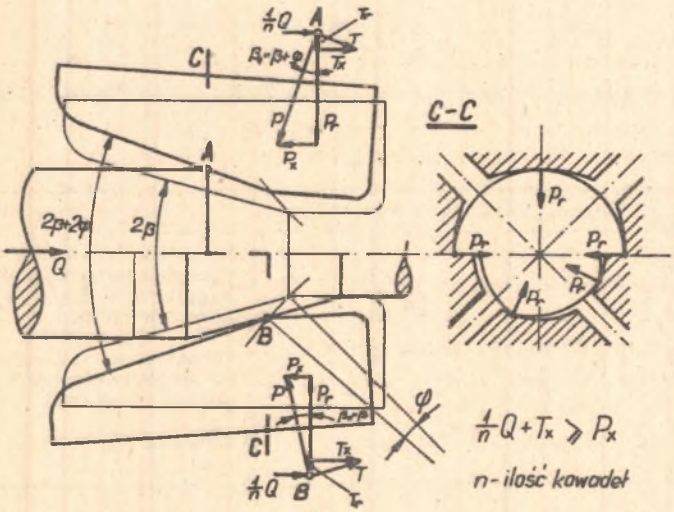
$$Q = n.P(\sin\beta - \mu \cos\beta), \tag{7a}$$

gdzie:

n - ilość kowadeł (dla kowarki czterodźwigniowej n = 4),

2β - kąt stożka wpisanego w kowadła.

Siłę Q powinno zapewnić urządzenie podające.



Rys. 3. Warunki chwytu odkuwki w kowadłach w początkowym i ustalonym procesie kucia

Często podawanie w kowadła odbywa się ręcznie. Dla takiego przypadku należy tak dobierać parametry, aby chwyt materiału w kowadłach zapewnić geometrią narzędzi. Prowadzi to do spełnienia warunku:

$$Q \leq 0,$$

czyli

$$\sin\beta - \mu \cos\beta \leq 0$$

lub ostatecznie

$$\mathrm{tg}\,\beta \leq \mu \tag{8}$$

jest to warunek ujmujący, tzw. kąt graniczny, zapewniający chwyt bez dodatkowej siły podającej. Ręczne podawanie w takim przypadku ogranicza się do skokowego podawania materiału (z obrotem lub bez) z częstotliwością kucia np. dla kowarek Kieserlinga 10-15 Hz.

W kowarkach czterodźwigniowych kąt stożka wpisanego w kowadła zmienia się od β_1 do β_o, tzn. o kęt wychylenia dźwigni

$$\beta_1 = \beta_o + \varphi \tag{9}$$

Z tego względu, dla zapewnienia chwytu w kowadłach, należy brać pod uwagę maksymalny kąt β_1.

Przy odkształcaniu odpowiadającym warunkom ustalonym (tzn. po osiągnięciu styku materiału z kowadłami w punkcie B - patrz rys. 3) rozkład sił zmienia się zapewniając pewniejszy chwyt materiału, gdyż:

$$\beta_o < \beta_1.$$

W tablicy 2 przytoczono praktyczny zakres granicznych kątów chwytu

Tablica 2

Współczynnik tarcia	Graniczny kąt chwytu	Zakres stosowania
0,02 0,04 0,08 0,12	$1^o\ 09'$ $2^o\ 17'$ $4^o\ 34'$ $6^o\ 51'$	Kowadła do zakuwania półwyrobów przygotowanych do ciągnienia (pokrytych środkami smarnymi).
0,16 0,2	$9^o\ 05'$ $11^o\ 19'$	Kowadła do zakuwania na zimno półwyrobów surowych bez powłoki smarnej.
0,4 0,6	$21^o\ 48'$ $30^o\ 58'$	Kowadła do zakuwania na gorąco.

W przedstawionym powyżej rozważaniu statycznym nie uwzględniono dynamiki procesu, a w sposobie kształtowania na kowarkach czterodźwigniowych z łukowym nabieganiem narzędzi, występujące siły masowe wymuszą występowanie siły podającej Q, będącej złożoną funkcją wielu zmiennych czynników, np. częstości drgań, geometrii odkształcenia, masy podawanego pręta czy rury i innych.

LITERATURA

[1] Österreichisches Patentamt Patentschrift Nr 242475.
[2] Patent polski Nr 89220.
[3] Zgłoszenie patentowe Nr P 199000.

ЗАТОЧКА КОНЦОВ ТРУБ И СТЕРЖНЕЙ ПЕРЕД ВОЛОЧЕНИЕМ

Р е з ю м е

В статье рассматривается применение четырёхрычажных ковочных машин для произведения заковки перед волочением стержней и труб. Приводится форму получаемых заковок, а также условия хвоста поковки в наковальных в начальном и фиксированном процессе ковки.

BARS AND PIPES ENDS POINTING PERFORMED BEFORE DRAWING

S u m m a r y

The utilization of four-levers swaging machines in lapping pipes and bars before drawing is discussed in the paper. The shape of the acchieved laps and the conditions of forging bite in anvils in the process of initial and fixed forging was presented.