

dr inż. Piotr Penkała
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych

METODOLOGIA POMIARÓW ISTOTNYCH PARAMETRÓW WALCOWANIA SKOŚNEGO

Operacja walcowania skośnego jest wykorzystywana powszechnie w procesie technologicznym wytwarzania rur bez szwu. W związku z dużymi odkształceniami plastycznymi, jakim podlega materiał obrabiany, proces jest wysoce energetyczny. Znacznym zmianom podlegają także kształty i wymiary materiału wsadowego. Kształtowany metal ulega przemieszczeniom względnym, a tym samym poślizgom w kierunku stycznym i osiowym. Parametry charakteryzujące proces można podzielić na trzy zasadnicze grupy: kinematyczne, siłowe i geometryczne. Ich pomiar w wielu wypadkach jest złożony i trudny do jednoznacznej weryfikacji. Parametry geometryczne są mierzalne bezpośrednio, natomiast pozostałe w sposób pośredni lub wyznaczane na podstawie zależności empirycznych.

METHODOLOGY OF MEASUREMENT IMPORTANT PARAMETERS OF SKEW ROLLING PROCESS

Skew rolling operation is commonly used in the process manufacturing of seamless tubes. In view of the large plastic deformation, which is subject to the workpiece, is a highly energetic process. Significant changes are also subject to the shapes and dimensions of the feed material. Metal is shaped relative movements, thus skidding in the tangential and axial. The parameters characterizing the process can be divided into three main groups: kinematical, strength and geometric. Their measurement, in many cases is complex and difficult to identify without verification. Geometrical parameters are directly measurable, while others implicitly or determined on the basis of empirical relationships.

1. CHARAKTERYSTYKA PROCESU

Proces technologiczny produkcji rur bez szwu obejmuje kilka faz przeróbki plastycznej zależnie od metod ich wytwarzania i średnicy produkowanych rur:

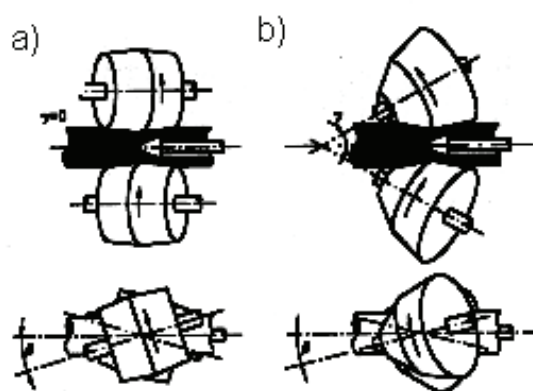
- wykonanie grubościennej tulei w walcierce skośnej lub prasie, z wsadu w postaci wlewków, kęsisk lub kęsów,
- walcowanie rur o żądanych średnicach i grubościach ścianek,
- wykańczające walcowanie kalibracyjne lub redukcyjne, zapewniające ostateczne wymiary rur.

W operacji walcowania skośnego kształtowanie wyrobu zachodzi pod wpływem sił tarcia działających na powierzchni styku metalu obrabianego i walca roboczego. Przedmiot obrabiany wykonuje ruch postępowy, a także ruch obrotowy wokół swojej osi, natomiast walce robocze obracają się w tym samym kierunku. Taki typ ruchu złożonego następuje w wyniku odpowiedniego usytuowania walców roboczych w przestrzeni w stosunku do przedmiotu obrabianego. Odkształcenie zachodzi w wyniku tego, że odległość między powierzchniami roboczymi walców zmniejsza się w kierunku ruchu skośnego przedmiotu

obrabianego. Walce robocze stosowane w procesie walcowania skośnego są odpowiednio ukształtowane, w celu zachowania zwiększenia gniotu na długości strefy odkształcenia. Zapewnia to uzyskanie dogodnych warunków do chwytu materiału obrabianego, a następnie jego ukształtowanie.

W procesie walcowania skośnego są stosowane najczęściej dwa typy walców roboczych, w złożeniu dwuwalcowym lub rzadziej – trójwalcowym. Powszechnie występują walce beczkowe w złożeniu dwuwalcowym. Mają one kształt dwu stożków ściętych złączonych większymi podstawami. Odpowiednie usytuowanie walców w przestrzeni zapewnia kąt zukosowania walców β . Jest to kąt zawarty między osią walcowania i osią walca roboczego w płaszczyźnie pionowej (rys. 1a)

Inny typ walców stosowanych w walcowaniu skośnym stanowią walce stożkowe. Mają one kształt złożony z kilku stożków ściętych połączonych kolejno mniejszą podstawą z większą podstawą kolejnego stożka. W tym układzie walców występuje kąt zukosowania β oraz kąt rozwałcowania γ . Jest to kąt zawarty pomiędzy osią walcowania i osią walca roboczego w płaszczyźnie poziomej (Rys. 1.b)

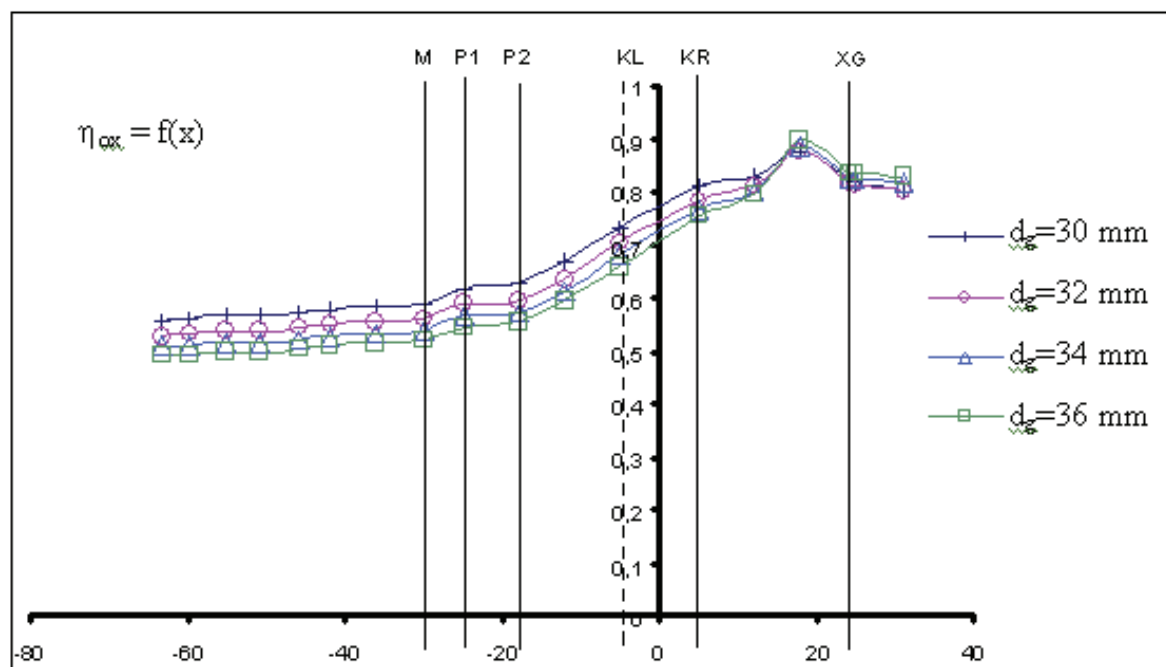


Rys. 1. Schemat układu walców w walcarkach skośnych

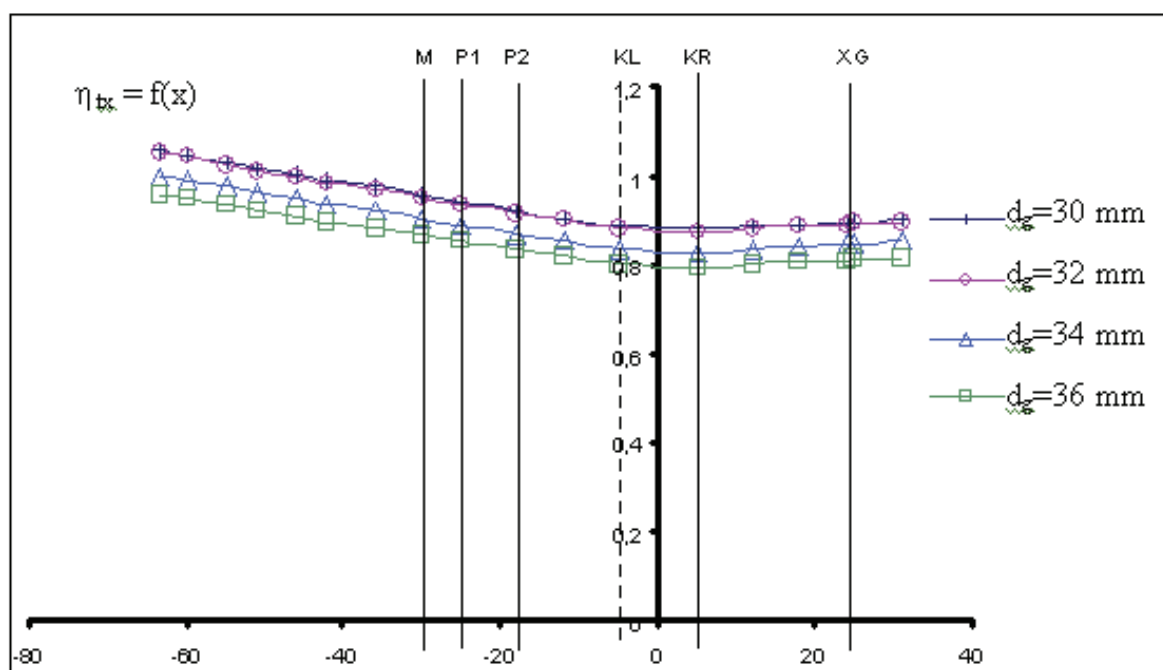
Obszar odkształcenia podczas dziurowania i wydłużania w procesie walcowania skośnego jest ograniczony przez walce robocze oraz w płaszczyźnie do nich prostopadłych – przez prowadnice. W praktyce przemysłowej stosuje się trzy typy prowadnic: stałe, obrotowe nie napędzane oraz tarczowe napędzane.

2. PARAMETRY KINEMATYCZNE PROCESU

Do najważniejszych zagadnień w procesie walcowania skośnego tulei rurowych należy określenie współczynników prędkości (poślizgów) w kierunku osiowym η_o i stycznym η_t . Poślizg metalu względem walców ma zdecydowanie największy wpływ na przebieg procesu dziurowania pełnych kęsów (wlewków) oraz wydłużenia tulei grubościennych. W zależności od wielkości poślizgów określa się czas maszynowy procesu, zużycie energii oraz zużycie narzędzi roboczych: walców, główek dziurujących, trzpieni walcowniczych oraz tarcz prowadzących. Współczynniki poślizgu osiowego i stycznego podaje się w postaci wykresów na długości strefy odkształcenia w zależności od różnych czynników walcowniczych (rys. 2, 3). Wyznacza się je na długości obszaru odkształcenia korzystając z zależności empirycznych.



Rys. 2. Wpływ średnicy głowki dziurującej na rozkład współczynnika prędkości osiowej, na długości obszaru odkształcenia dla stali ferrytycznej

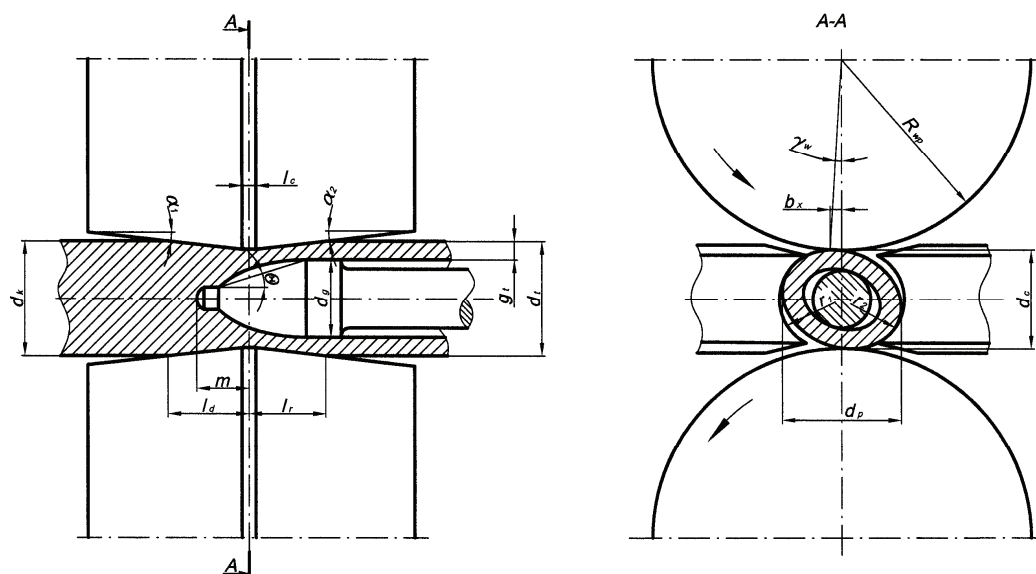


Rys. 3. Wpływ średnicy głowki dziurującej na rozkład współczynnika prędkości stycznej, na długości obszaru odkształcenia dla stali ferrytycznej

3. PARAMETRY GEOMETRYCZNE PROCESU

Właściwe określenie kształtu i wymiarów strefy odkształceń ma duże znaczenie teoretyczne i praktyczne. Zagadnieniom dotyczącym geometrii strefy odkształcenia poświęcono wiele uwagi w pracach: [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. W pracach tych wyznaczono podstawowe parametry strefy odkształcenia przy walcowaniu skośnym tulei grubościennych i rurowych w różnych układach narzędzi roboczych. Parametry geometryczne zależą od położenia walców roboczych w stosunku do osi materiału obrabianego, rodzaju kalibrowania walców, głowki dziurującej lub trzpienia walcowniczego, a także wymiarów kęsa tulei.

Obszar odkształcenia – niezależnie od powyższych uwag przy dziurowaniu i wydłużaniu w walcierce skośnej – rozpoczyna się płaszczyzną chwytu kęsa przez walce robocze, określającą długość strefy dziurowania l_d , a kończy płaszczyzną wyjścia tulei grubościenniej lub rurowej, określającą długość strefy rozwalcowania l_r . Właściwe określenie tych długości jest jednym z najważniejszych zagadnień, ponieważ jest to podstawa do wyznaczenia pozostałych parametrów geometrycznych, jak i kinematycznych, siłowych, oraz wielkości skręcania (rys. 4).



Rys. 4. Schemat obszaru odkształcenia

Przy kalibrowaniu beczkowym walców do wyznaczania długości l_d i l_r zastosowano zależności teoretycznie wyznaczone przez [5], a następnie uściślone w kierunku ich praktycznego wykorzystania w pracach [2, 8, 11]. Uwzględniają one zarówno zmiany geometrii materiału obrabianego, jak i usytuowanie walców w przestrzeni przez zadanie kąta β oraz kątów stożka dziurowania α_1 , stożka rozwalcowania α_2 i części cylindrycznej walca roboczego l_c . Długość l_d i l_r są określone następująco:

$$l_d = \frac{(r_k - r_c) \cdot \cos \beta}{\operatorname{tg} \alpha_1} + \frac{1}{2} \cdot l_c \cdot \cos \beta \quad (1)$$

$$l_r = \frac{(r_t - r_c) \cdot \cos \beta}{\operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{1}{2} \cdot l_c \cdot \cos \beta \quad (2)$$

Innym bardzo istotnym parametrem geometrycznym jest wielkość wysunięcia główki dziurującej poza przewężenie walców – m . Dla procesu dziurowania wielkości ta została określona przez Czekmariewa wg zależności:

$$m = \frac{d_k \cdot (1 - \delta_c) - (d_g + 2g_t) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 - 2(l_n + l_{gs}) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2} \quad (3)$$

Wraz ze wzrostem wysunięcia główki dziurującej poza przewężenie walców roboczych ulega skróceniu wielkość l_d . Strefa odkształcenia między narzędziami roboczymi maleje, gdyż w stałą strefę najmniejszego odstępu między walcami wchodzi główka dziurująca o zwiększającej się średnicy, dokonując większej redukcji grubości ścianki tulei. Oddziałuje to

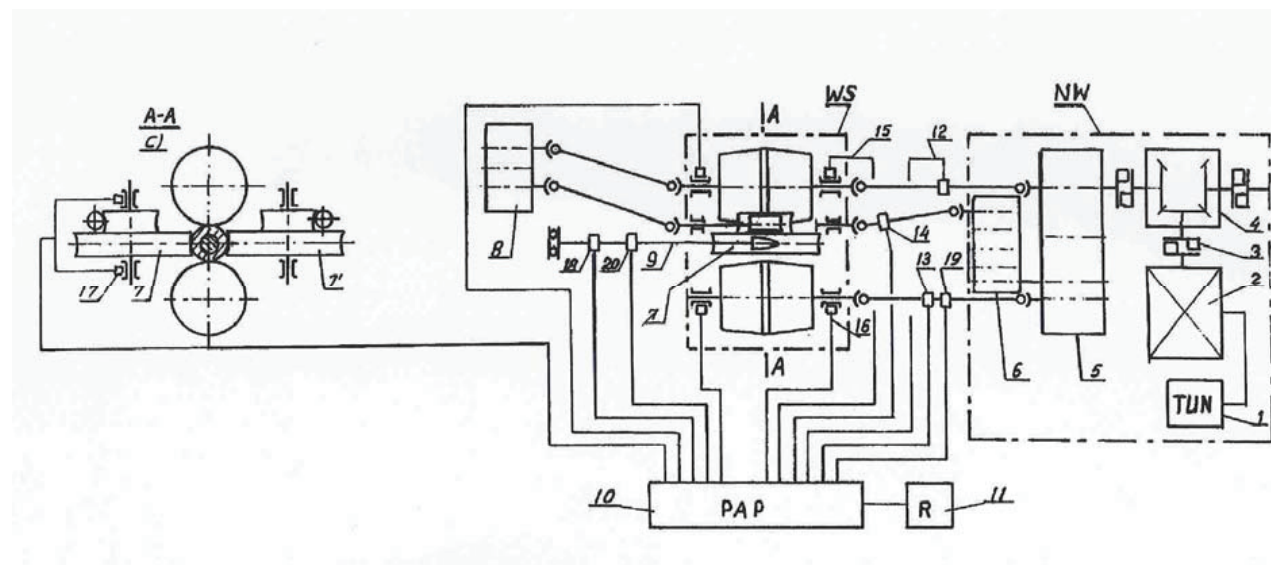
na jeden z najważniejszych parametrów procesu, to jest na rzeczywisty współczynnik wydłużeniem λ_x . Wielkość wysunięcia główki m ma także pośredni wpływ na takie parametry geometryczne strefy odkształcenia, jak szerokość powierzchni styku metalu odkształcanego z walcem roboczym b_x oraz całkowita powierzchnia styku metalu S_d .

4. PARAMETRY SIŁOWE PROCESU

Parametry kinematyczne walcowania w walcierce skośnej z są bezpośrednio związane z parametrami siłowymi. Znajomość tych parametrów jest konieczna w czasie eksploatacji istniejących już walcerek skośnych, jak i przy projektowaniu nowych. Odkształcany metal oddziałuje na walce robocze, narzędzia prowadzące oraz główkę dziurującą lub trzpień walcowniczy. W zakresie oddziaływania metalu na walec istotne jest określenie sił nacisku w kierunku poprzecznym i osiowym oraz momentu walcowania. Moment jest najczęściej wyznaczany na podstawie siły stycznej działającej na walce robocze. Siły działające w kierunku poprzecznym do osi walcowania najczęściej wyznacza się na podstawie sił stycznych i promieniowych działających na walce robocze. W rzeczywistym procesie walcowania określa się siły działające na walec prawy – F_{wp} , walec lewy – F_{wl} , tarcze prowadzące – F_t oraz główkę dziurującą – F_g (wyniki badań w tab. 1).

4.1. Stanowisko badawcze

Badania laboratoryjne procesu dziurowania pełnych kęsów wykonano na laboratoryjnym zespole walcowniczym znajdującym się na wyposażeniu Zakładu Plastycznej Przeróbki Metali Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Zespół ten jest przeznaczony do wykonywania prób walcowania w walcierce skośnej wg technologii dziurowania i wydłużania tulei rurowych. W walcierce tej istnieje możliwość zastosowania różnych typów kalibrowań walców roboczych, złożów walców (układ dwu – lub trójwalcowy), narzędzi prowadzących (liniał stały, rolka obrotowa, walec prowadzący lub prowadnica tarczowa). Pozwala to modelować różne stanowiska laboratoryjne do walcowania skośnego tulei rurowych. W celu użycia jako narzędzi prowadzących napędzanych prowadnic tarczowych Dieschera zastosowano napęd dolnej prowadnicy od dodatkowej przekładni – przystawki oznaczonej na rys. 5 przez (8). Kształtowanie otworu osiowego w dziurowanym kęsie następuje na zespolonej główce dziurującej (9), umieszczonej na trzpieniu, obracającym się w ułożyskowanym gnieździe.



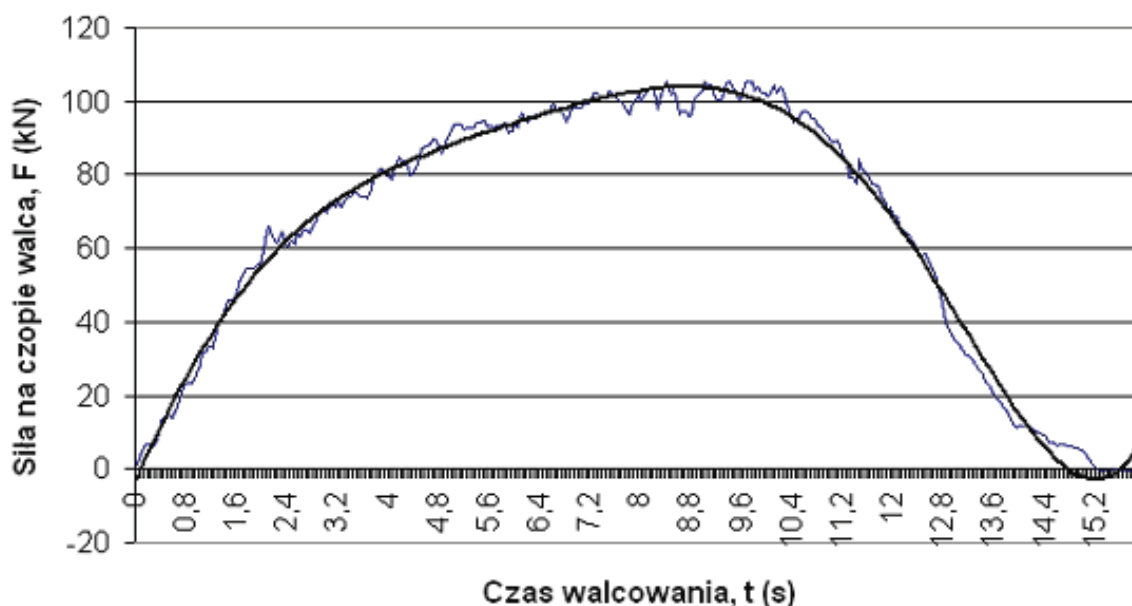
Rys. 5. Schemat laboratoryjnej walcarki skośnej [9]

Przedstawiona walcarka laboratoryjna zapewnia zachowanie kątów ustawienia walców roboczych w przestrzeni w zakresie: $\beta = 6\text{--}14^\circ$, $\delta = 0\text{--}5^\circ$. Pozwala to na użycie walców o kalibrowaniu stożkowym i beczkowym.

Zadawanie i sterowanie prędkością obrotową węzłów mechanicznych w linii technologicznej walcarki skośnej do walcowania rur bez szwu odbywa się przez tyrystorowy układ napędowy, przekazujący impuls sterujący na główny silnik napędowy (1). Dalsze przenoszenie obrotów zachodzi przez: czterostopniową przekładnię kątową (3), kłatkę walców zębatych (4), napędzającą dwa walce robocze, zabudowane w klatce roboczej (5), przekładnię dodatkową (6), napędzającą górne narzędzie prowadzące (rolka obrotowa, walec prowadzący lub górna prowadnica tarczowa).

Walcarka skośna wyposażona jest w układ pomiarowy (10, 11) wykorzystujący czujniki tensometryczne (do pomiaru momentów obrotowych (12, 13, 14) i sił nacisku (15, 16, 17, 18) oraz mechaniczne (19, 20). Podstawowa aparatura przetwarzająca składa się z dziesięciokanałowego przetwornika analogowo-cyfrowego firmy Hottinger oraz komputera klasy IBM, wykorzystującego oprogramowanie specjalne. Okres próbkowania aparatury wynosił 0,05 s.

Badania procesu dziurowania prowadzono dla próbek ze stali austenitycznej o średnicy $\phi 60$ i długości 170 mm. Pełny przebieg badań zestawiono w tab. 1. Przebieg zarejestrowanych zmian sił działających na jeden działających czopów walca roboczego przedstawiono na rys. 6. Przebieg tych zmian jest bardzo niestabilny. W związku z tym należało wprowadzić linię trendu, aby przebieg można było opisać równaniem wyższego rzędu. Z wykresu wynika, że proces przebiega trójetapowo. W pierwszym etapie wartość siły zdecydowanie wzrasta, następnie możemy zauważyć względną stabilizację. W ostatnim etapie siła maleje, co świadczy o wyjściu tulei z obszaru odkształcenia. Do określenia rzeczywistej siły działającej na czop walca najczęściej wykorzystujemy wartość średnią zarejestrowaną w drugim etapie procesu kształtowania.



Rys. 6. Przebieg zmian siły działającej na czop walca

Przebieg siły w funkcji czasu jest uśredniona linią trendu według równania 4

$$F(t) = 6E-12t^6 - 4E-09t^5 + 9E-07t^4 - 3E-05t^3 - 0,0132t^2 + 2,0049t - 4,8043 \quad (4)$$

Tab. 1. Wyniki i program badań wpływu kąta zukosowania walców dla główek o różnych średnicach przy dziurowaniu stali austenitycznej

Lp.	Nr próbki	β_0	δ	m	d_g	λ_c	F_{wp}	F_{wl}	F_t	F_g	M_w	M_t	t_w
		°	°	mm	mm	–	kN	kN	kN	kN	kNm	kNm	s
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Parametry stałe: $T_n = 1180^\circ\text{C}$, $n_w = 60 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$, materiał: stal austenityczna													
1.	01	8	5	30	30	1,56	157,47	144,75	40,97	21,97	7,93	3,02	9
2.	01/1	8	5	30	30	1,62	157,38	146	39,86	22,5	8,06	3,17	9,15
3.	01/2	8	5	30	30	1,58	157,29	147,25	38,75	23,03	8,19	3,32	9,3
4.	02	8	5	30	32	1,68	158,25	153,09	42,06	22,92	8,05	3,57	10,0
5.	02/1	8	5	30	32	1,71	159,16	154,22	42,8	23,48	8,2	3,52	9,7
6.	02/2	8	5	30	32	1,7	160,07	155,35	43,54	24,04	8,35	3,47	9,35
7.	03	8	5	30	34	1,71	158,2	156,1	45,04	26,61	8,49	3,44	10,6
8.	03/1	8	5	30	34	1,76	159,16	157,07	46,14	27	8,62	3,52	10,3
9.	03/2	8	5	30	34	1,73	160,12	158,04	47,24	27,39	8,75	3,6	10
10.	04	8	5	30	36	1,71	166,34	157,97	45,51	30,68	8,68	3,27	10,7
11.	04/1	8	5	30	36	1,79	167,29	158,05	46,43	29,36	8,92	3,46	10
12.	04/2	8	5	30	36	1,76	168,24	158,13	47,35	28,04	9,16	3,65	9,3
13.	05	10	5	30	30	1,58	150,84	168,09	49,94	59,04	9,11	3,28	8,55
14.	05/1	10	5	30	30	1,61	151,99	164,67	49,48	58,38	8,66	3,16	8,1
15.	05/2	10	5	30	30	1,62	153,14	161,25	49,02	57,72	8,21	3,04	7,65
16.	06	10	5	30	32	1,64	149,91	159,46	49,59	58,35	8,9	3,12	9,15
17.	06/1	10	5	30	32	1,67	151,52	161	49,7	58,74	9,07	3,21	8,9
18.	06/2	10	5	30	32	1,63	153,13	162,54	49,81	59,13	9,24	3,3	8,65

5. PODSUMOWANIE

Metoda analizy procesu dziurowania pełnych kęsów pozwala wyznaczyć racjonalne parametry geometryczne, kinematyczne i siłowe, przy zadanych wymiarach tulei, kątach zukosowania i rozwałcowania, gniotu przed główką dziurującą oraz danych dotyczących własności plastycznych metali. Daje to możliwość – drogą zmiany danych wejściowych – ustalenia optymalnej technologii dziurowania w walcierce skośnej.

W obszarze odkształcenia ograniczonym przez narzędzia robocze i prowadzące zachodzą szybkie zmiany parametrów opisujących warunki płynięcia kształtowanego metalu oraz parametrów technologicznych procesu. Zmiany te mogą wpływać na pogorszenie jakości wyrobu.

BIBLIOGRAFIA

1. *Tietierin P.K.*: Teoria popiereczno-wintowej prokatki. Miedalurgija, Moskwa 1971.
2. *Kazanecki J. i in.*: Opracowanie optymalnych parametrów walcowania tulei w walcierce skośnej Dieschera w aspekcie eksploatacji tej walcarki w walcowni ciągłej rur. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej nr 4.351.105, AGH Wyd. Metalurgiczny, 1981.
3. *Fomiczew I.A.*: Kosaja prokatka. Miedalurgizdat, Moskwa 1963, str. 120-158.
4. *Matwiejew J.M.*: Proizvodstvo swarnych i biesszwowych trub. wyd. 9, Miedalurgia, 1968, s. 79.
5. *Jemielianienko P.T.*: Tieorija kosoj i piligramowej prokatki. Miedalurgizdat, 1949.

6. *Czekmariew A.P., Drujan W.M.*: Tieoria trubnowo proizwodstwa. *Mietałurgija*, 1976, s. 16.
7. *Potapow I.N. i in.*: Sbornik Plasticzeskaja dieformacija metallow i splawow. nr 76, *Mietałurgija*, Moskwa, 1974, s. 101.
8. *Potapow I.N., Polchin P.I.*: Nowaja tiechnologia wintowej prokatki. *Mietałurgija*, 1975.
9. *Kazanecki J., Starowicz J.*: Herstellen von Rohren und Hohlkorpern auf Diescher Walzwerken. *Bander Bleche Rohre*, 1988, tom 29, nr 9, s. 22–26.
10. *Kazanecki J.*: Rozwój procesów produkcji rur z zastosowaniem walcarek Dieschera. *Problemy Projektowe Hutnictwa*, 1991, tom 38, nr 2, s. 33–44.
11. *Kazanecki J.*: Analyse des Lochens und Dehnens mit Diescher-Rollen. *Bander Bleche Rohre*, 1988, tom 29, nr 1, s. 16–22.