

Leszek ŚLUSARCZYK

Huta 1 Maja

Gliwice

UMACNIANIE WARSTWY WIERZCHNIEJ POWIERZCHNI OBROTOWYCH OSI WAGONOWYCH

Streszczenie. W artykule omówiono technologie wzmacniające powierzchnie obrotowe osi wagonowych wpływające na wzrost wytrzymałości zmęczeniowej.

W części I przedstawiono rozwój technik wytwarzania osi wagonowych, podwyższających jakość i trwałość.

Część II zawiera opis technologii rolowania wzmacniającego warstwę wierzchnią, opracowaną i wdrożoną w warunkach produkcji masowej, wytyczne ogólne doboru parametrów i urządzeń oraz osiągnięty wzrost wytrzymałości.

W części III zawarto technologię ulepszania cieplnego osi zestawów kołowych do specjalnych jednostek w aspekcie poprawy własności użytkowych.

Prace mogą być pomocne dla technologów zakładów produkujących osie wagonowe względnie wały w uzasadnieniu i doborze parametrów rolowania powierzchni obrotowych, dla podwyższenia wytrzymałości zmęczeniowej przy niezminionej konstrukcji.

1. WPROWADZENIE

Rozwój przewozów kolejowych, osiągnięty wzrost szybkości, rosnące wymagania bezpieczeństwa oraz konieczność zmniejszenia kosztów eksploatacji stawiają przed konstruktorami wózków i wagonów zadania zwiększenia własności użytkowych projektowanych wyrobów. Zestawy kołowe należą do grupy głównych elementów, których konstrukcja i technologia winny zapewnić podwyższenie wytrzymałości i trwałości pojazdów w istniejących warunkach obciążenia zmiennego.

Podwyższenie wytrzymałości, w tym przede wszystkim wytrzymałości zmęczeniowej oraz trwałości wagonowych zestawów kołowych rozwiązywane jest różnymi sposobami:

- przez dobór kształtu i wymiarów w warunkach obowiązującej unifikacji w ramach przepisów międzynarodowych,
- przez dobór materiału i technologii wykonania, ze szczególnym uwzględnieniem, zabiegów poprawiających stan warstwy wierzchniej.

Stan powierzchni i warstw podpowierzchniowych osi wagonowych zestawów kołowych, podobnie jak w innych częściach maszyn, wpływa przede wszystkim na

poprawę wytrzymałości zmęczeniowej, odporności na zużycie i korozję, a także na wytrzymałość połączeń włączanych. Wywołane działaniem zmiennych naprężeń uszkodzenie zmęczeniowe zwykle zaczyna się w warstwie podpowierzchniowej lub na uszkodzonej powierzchni. J. Němec [1] przytacza typowy przykład rozwoju pęknięć zmęczeniowych osi wagonowych, pokazany na rys. 1 i wysuwa wnioski, że zmęczenie osi jest zjawiskiem powierzchniowym wynikającym z działania zmiennych naprężeń rozciągających. Autor uzasadnia również, na podstawie obserwacji pracy osi kolei czzechosłowackich, że sposób powstawania, zwłaszcza prędkość i geometria rozchodzenia się drobnych pęknięć "zależą ściśle od faktu czy na powierzchni osi istnieje określona warstwa powierzchniowa o głębokości 15-20 ziarn (o głębokości około 2 mm), która charakteryzuje się zmniejszoną sztywnością i w której, przy dynamicznym obciążeniu, powstają ściśle lokalne, cykliczne odkształcenia plastyczne". Głównymi parametrami mającymi wpływ na podwyższenie wytrzymałości zmęczeniowej osi zestawu kołowego jest stan naprężeń własnych w warstwie wierzchniej, struktura i chropowatość powierzchni.

Stan naprężeń w warstwie wierzchniej jest wywołany przez:

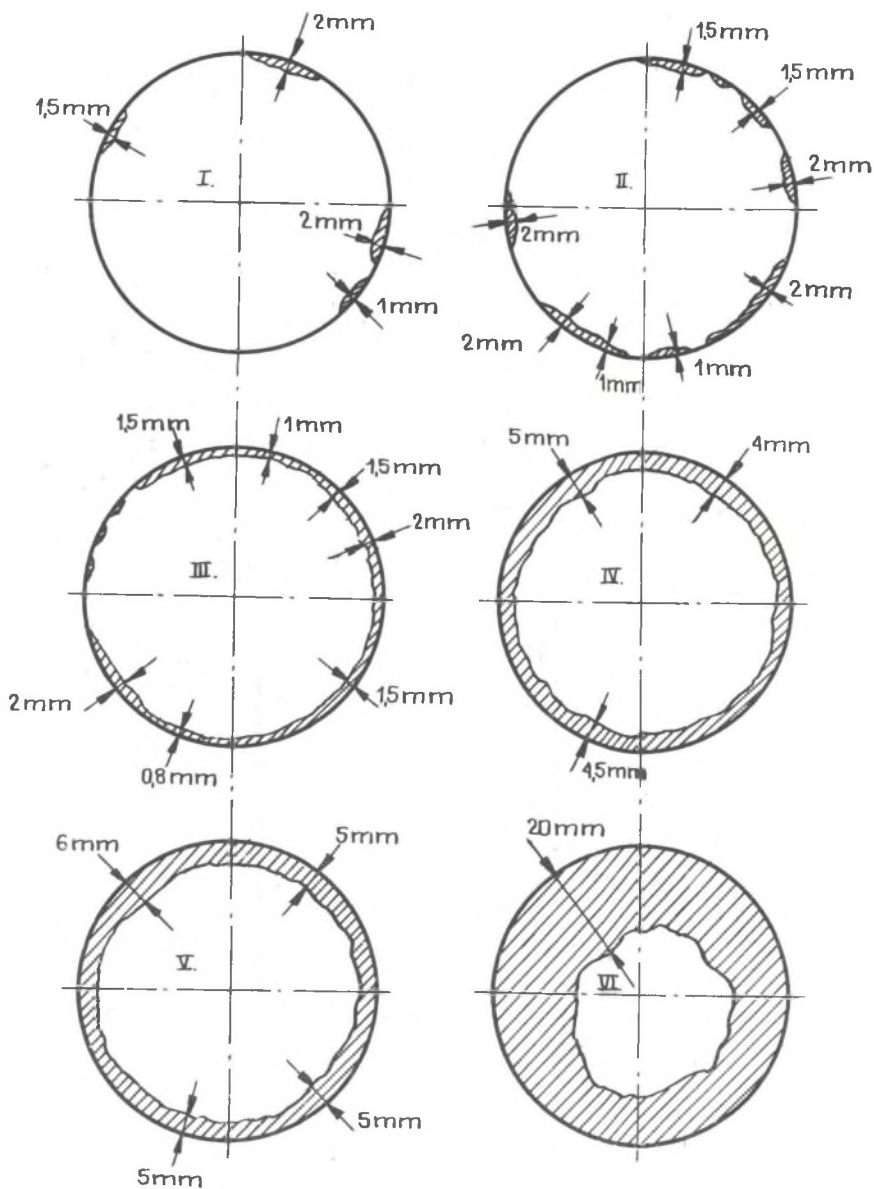
- zgniot powierzchniowy, przede wszystkim przez dogniatanie powierzchni obrotowych,
- specjalną obróbkę cieplną.

Oba sposoby znalazły zastosowanie przemysłowe w produkcji osi wagonowych. Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie sprawdzonych przemysłowo metod podwyższenia wytrzymałości zmęczeniowej osi, szczególnie w warunkach przemysłu krajowego, na podstawie doświadczeń autora jak i literatury rozwiniętej w okresie ostatnich dwudziestu lat. Wypracowana technologia może być pomocna technologom zakładów wytwarzających nowe osie wagonowych zestawów kołowych w krytycznej ocenie stosowanych lub zalecanych parametrów i metod.

Osie wagonowych zestawów kołowych, produkowanych zarówno dla potrzeb krajowego przemysłu taboru kolejowego, jak i dla potrzeb zakładów naprawczych, podlegały również ciągłemu procesowi rozwoju. Zasadnicza zmiana, wprowadzona w 1958 r. dotyczyła zastąpienia w produkcji osi z czopami do łożysk ślizgowych osiami z czopami dostosowanymi do łożysk tocznych. Wcześniej zaniechano produkcji osi w stanie surowym, wprowadzając normalizowanie jako podstawową obróbkę cieplną.

W 1964 r. wprowadzono do produkcji rolowanie utwardzające czopów osi i opracowano specjalną technologię zapewniającą dokładność wymiarową czopów. W latach 1975-1985 skoncentrowano się głównie na wprowadzeniu metod nieniszczących badań kontrolnych, tj. kontroli defektoskopem ultradźwiękowym metodą podłużną oraz kontroli powierzchni defektoskopem magnetycznym.

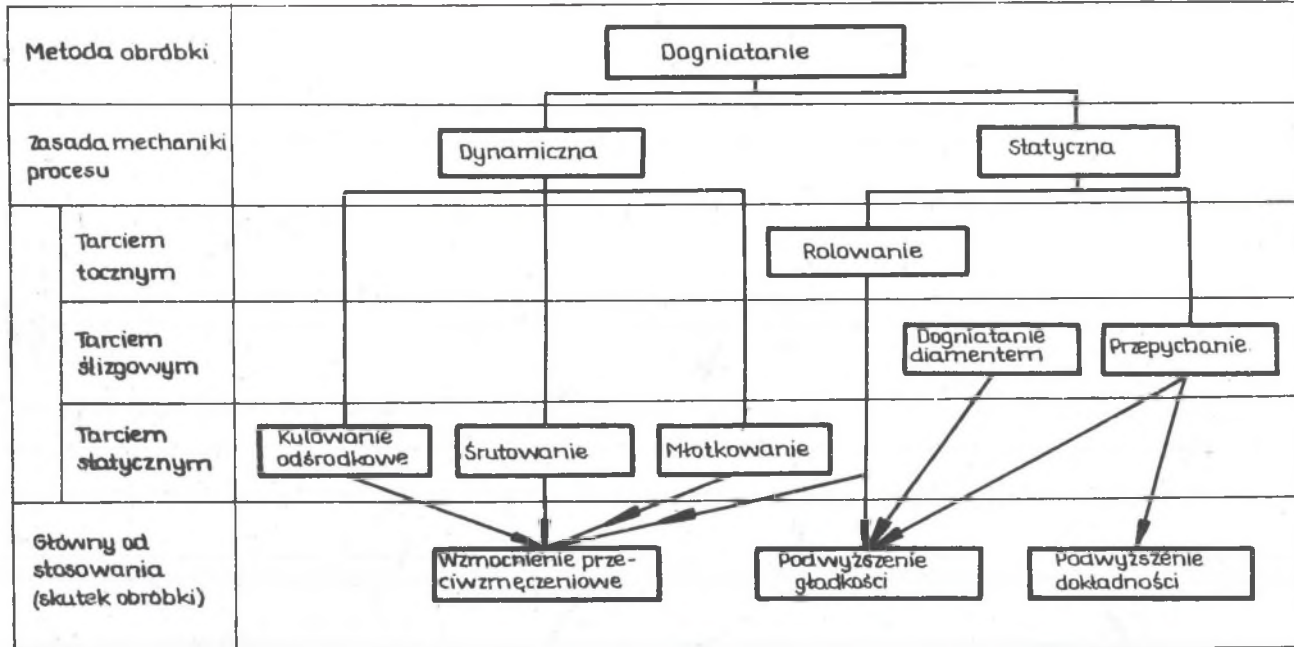
W ostatnim okresie opracowano w Instytucie Metalurgii Żelaza metodę i urządzenie do kontroli ultradźwiękowej osi metodą poprzeczną. Wykonany defektoskop zainstalowano w Hucie 1 Maja w Gliwicach. Wdrożenie w latach 1988-1989 do produkcji zestawów kołowych dostosowanych do nacisku 225 kN



Rys. 1. Rozwój pęknięć zmęczeniowych w osi wagonowej, Němec [1]

Fig. 1. The development of fatigue cracks in the road axle

Systematyka sposobów i skutków obróbki powierzchniowej przez dogniatanie



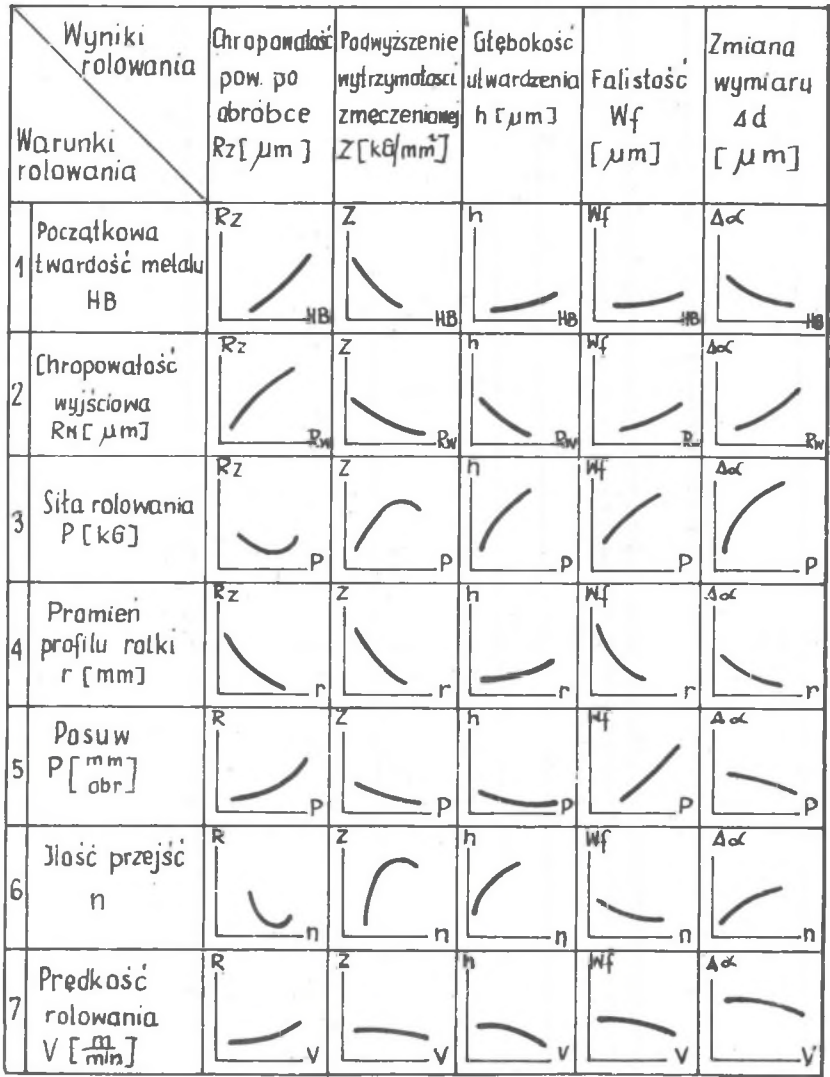
stawia przed technologami zadania szczególnie dokładnego wykonania elementów składowych, aby zapewnić zakładaną trwałość połączenia koła z osią. Wynika to z faktu, że w konstrukcji zestawu stosunek długości piasty koła do średnicy podpięcia osi jest mniejszy od 1, wynosi bowiem 0,85. Nietrzymanie tej znanej powszechnie zależności nakazuje zwrócić baczną uwagę na dokładność wykonania elementów połączenia włączanego w zestawie.

Niezmiernie ważnym czynnikiem, koniecznym do uwzględnienia przy wyborze wariantu technologii dla zapewnienia żądanych parametrów warstwy wierzchniej jest koszt operacji u wytwórcy zestawu kołowego. Osiągnięcie zamierzonych efektów w eksploatacji nie zwalnia producenta od szukania takich zabiegów, które można realizować w warunkach produkcji wielkoseryjnej, a więc przy maksymalnej wydajności i możliwie najniższym koszcie. Należy podkreślić, że wartość nowych wagonowych zestawów kołowych wynosi w 1989 r. 9.600 mln zł, natomiast zestawy importowane kosztują ok. 1430 rubli za sztukę. Stąd też wynika potrzeba prowadzenia dokładnego rachunku ekonomicznego uzasadniającego wdrożenie nowych technologii oraz bezwzględnej krytycznej oceny żądań zawartych w nowelizowanych instrukcjach czy przepisach, wychodzących poza obowiązujące normy państwowe.

2. OBRÓBKA DOGNIATANIEM POWIERZCHNI OBROTOWYCH OSI WAGONOWYCH

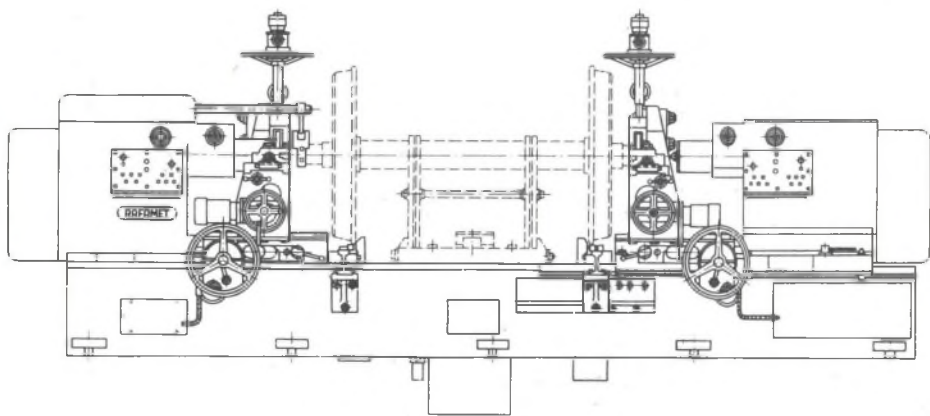
Dogniatanie osi wagonowych jest znane w praktyce od kilkadziesiąt lat. Spośród kilku sposobów najbardziej rozpowszechniło się tzw. rolowanie. Klasyfikacja podana w tabeli 1, przytoczona za pracą A. Stefko i St. Szulca [2], podaje również główne cele obróbki dogniataniem, umieszczając rolowanie w grupie metod statycznych. Stosowane nazewnictwo, mimo dość szerokiego rozpowszechnienia tego sposobu dogniatania, jest odmienne u różnych autorów używających takich nazw, np. krążkowanie [3] lub rolkowanie naporowe [4]. Tradycja oraz powszechność używania w praktyce warsztatowej skłaniają autora do pozostania przy nazwie "rolowanie", przez które rozumie się wywieranie nacisku na obracającą się oś kolejową za pomocą zespołu rolek. Podstawowe zależności między parametrami rolowania a uzyskiwanymi wynikami pokazano na rys. 2.

Obróbka rolowaniem osi wagonowych przeszła kolejne przemiany nadszając za rozwojem konstrukcji samej osi. W zestawie kołowym z czopami dostosowanymi do łożysk ślizgowych, produkowanym powszechnie w kraju do 1958 r., stosowano rolowanie dla poprawienia przede wszystkim chropowatości powierzchni współpracujących z łożyskiem. Zabieg był wykonywany na gotowym, zmontowanym zestawie kołowym. Stosując naciski 18 ± 2 kN i rolki dostosowane do promieni występujących na czopie, z częścią walcową o długości do 20 mm, uzyskiwano chropowatość rzędu $Ra = 0,63 - 0,25$. Głębokości oraz wzrostu twardości warstwy wierzchniej w zasadzie nie kontrolowano. W badaniach własnych próbki wykazywały wzrost twardości na głębokości 2-3 mm. Operacja była



Rys. 2. Zależność wyników rolowania od zmieniających się warunków technologicznych

Fig. 2. The results of roller burnishing versus technological conditions



Rys. 3. Rolownica XAD-112 produkcji F.O. "Rafamet"

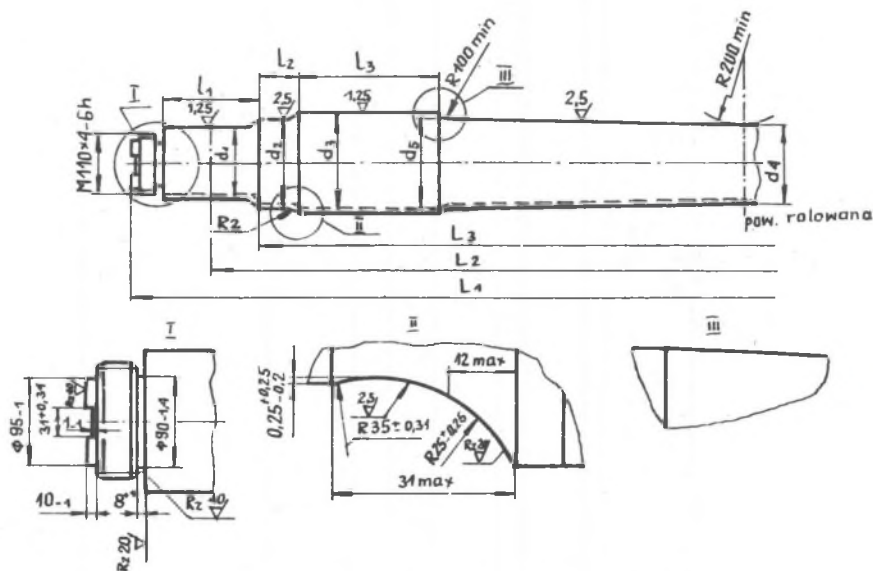
Fig. 3. The Roller burnishing mill XAD-112 produced by F.O. Rafamet

wykonywana na specjalnych rolownicach typu TBG/u i XAD-112 (rys. 3) produkowanych przez F.O. Rafamet.

Wprowadzenie do produkcji wagonów zestawów kołowych z czopami do łożysk toczyń spowodowało konieczność dostosowania operacji poprawiających własności warstwy wierzchniej, w tym przede wszystkim własności wytrzymałościowych. Na szeroką skalę zastosowano rolowanie powierzchni obrotowych osi.

Pierwszeństwo, w tym zakresie zdaniem autora, należy do Kolei ZSRR, bowiem już w latach 1958-1960 wprowadzono kolejno rolowanie wzmacniające czopów, przedpiască i podpiască oraz rolowanie wygładzające części środkowej osi. W tym ostatnim przypadku, szczególnie trudnym technologicznie ze względu na stożkowy kształt (rys. 4), głównym celem było podwyższenie chropowatości, a ubocznym umocnienie warstwy średniej na głębokości 3-6 mm. W osiach dla PKP np. typu A wg PN-63/K-91048, pokazanej na rys. 5, obok przed- i podpiască przewiduje się tylko rolowanie odcinków po 300 mm, obejmujących promienie przejściowe z podpiască i część cylindrycznej powierzchni środka osi. W tym okresie nastąpił również znaczący rozwój prac badawczych. Pojawiły się publikacje, które podbudowały dotychczasową praktykę warsztatową, głównie w zakresie parametrów obróbki.

Wpływ parametrów technologicznych na uzyskiwane efekty obróbki, pokazane na rys. 2, nie obejmują oczywiście wszystkich zmiennych wielkości, lecz jedynie najważniejsze. Zainteresowani znajdą w literaturze [4, 5] specjalne nomogramy i tabele, ułatwiające dobór nacisku przy rolowaniu w zależności od wymiarów przedmiotu i rolki (np. rys. 6) oraz posuwu i szybkości w odniesieniu do promieni rolki i chropowatości.



Rys. 4. Oś typu RU i RU1 wg GOST 22780-77

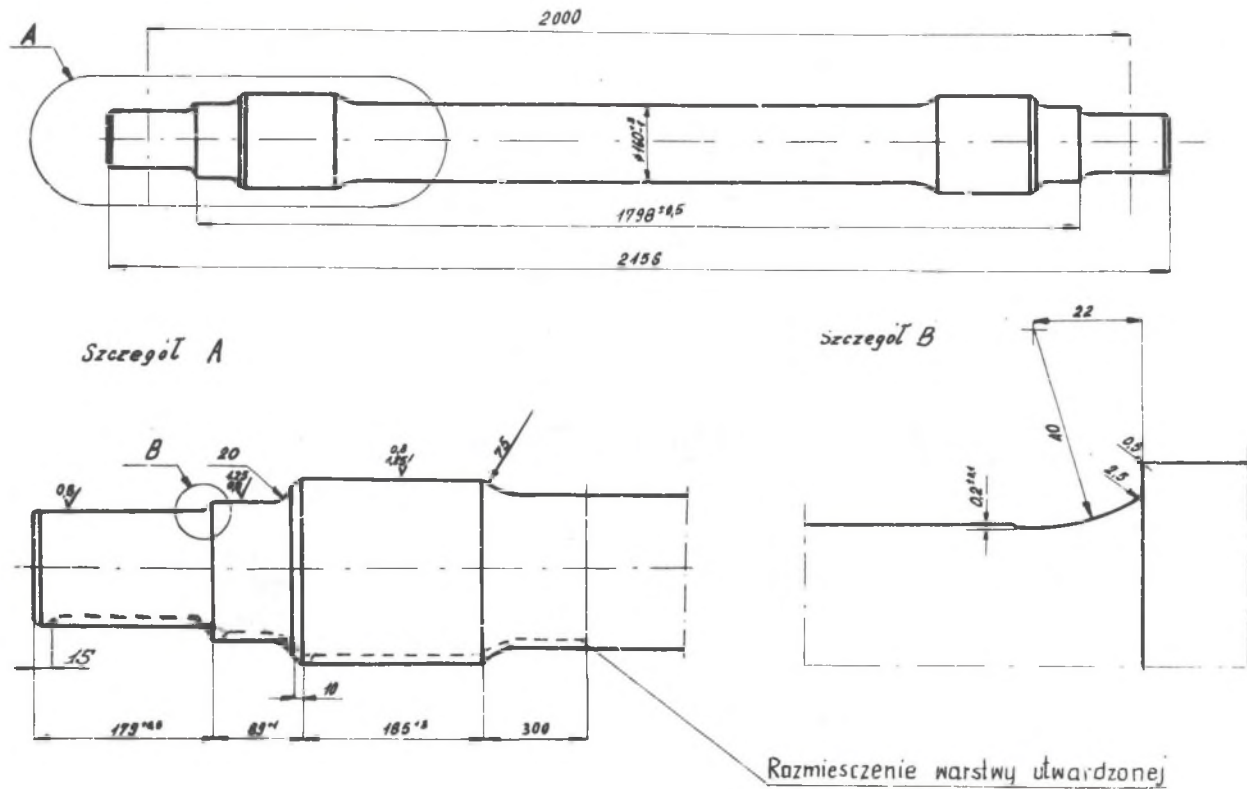
Fig. 4. The road axle type RU and RU1 according to GOST 22780-77

W przypadku osi wagonowych, podobnie jak przy dużych wałach, głównymi wielkościami do osiągnięcia w procesie rolowania są:

- głębokość warstwy umocnionej,
- zwiększenie twardości warstwy.

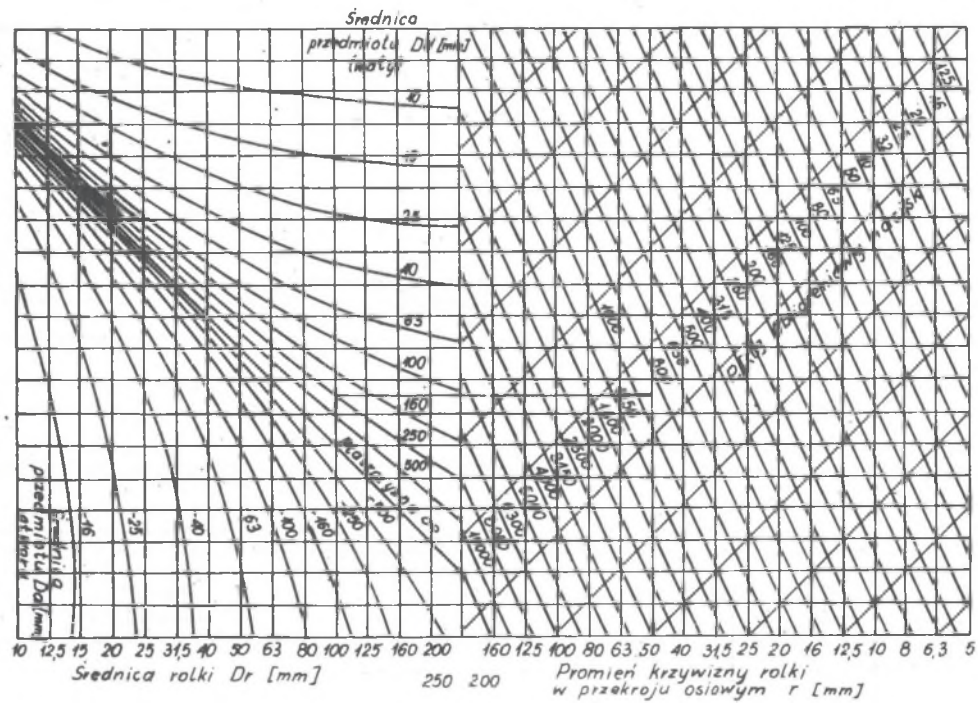
Głębokość umocnienia ograniczona jest niebezpieczeństwem powstania dwóch ognisk zmęczenia. Zagadnienie wyjaśniają rysunki 7a i 7b [2, 4]. Punkt A przecięcia krzywych c i d występuje na głębokości, na której naprężenia własne są równe zeru, a poniżej którego przechodzą w rozciągające. Po nałożeniu na powyższy schemat wykresu obciążeń zewnętrznych d to pierwszy punkt przecięcia B linii obciążenia zewnętrznego z granicą wytrzymałości zmęczeniowej wskazuje wartość graniczną tego obciążenia, względny przyrost wytrzymałości zmęczeniowej oraz głębokość warstwy, w której może wystąpić ognisko zmęczenia.

Na rys. 7b przedstawiono uproszczony schemat rozkładu wytrzymałości wg krzywej c z rys. 7a. Wynika z niego że dla większych głębokości zgniotu $\delta > \delta_0$ linia granicy wytrzymałości zmęczeniowej przecina się z linią d2 obciążenia zginająco-skręcającego w punktach B i B1, w których może wystąpić początek złomu zmęczeniowego. Takie zwiększenie głębokości umocnienia jest niecelowe, gdyż prowadzi do pęknięcia zmęczeniowego rozprzestrzeniającego się na powierzchni, bez wzrostu wytrzymałości zmęczeniowej. Głównym natomiast celem umocnienia przeciwwzmęczeniowego przez rolowanie jest,



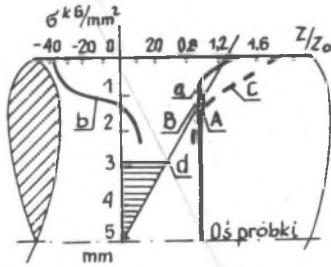
Rys. 5. Oś typu A wg PN-63/K-91048

Fig. 5. The road axle A according to PN-63/K-91048

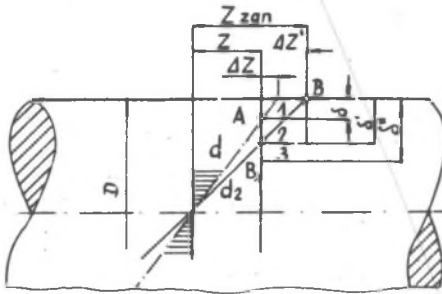


Rys. 6. Zależności nacisku przy rolowaniu od wymiarów przedmiotu i rolki wg Brasławskiego [5]

Fig. 6. Roller burnishing pressure vs dimensions of roller and object according to Brasławski [5]



Rys. 7a. Schemat umocnienia po rolowaniu
Fig. 7a. Scheme of strenghtening after roller burnishing



Rys. 7b. Uproszczony schemat rozkładu wytrzymałości po rolowaniu

a - krzywa rozkładu wytrzymałości warstw materiału z pominięciem naprężeń własnych
b - rozkład naprężeń własnych po dogniataniu, c - krzywa wypadkowa rozkładu wytrzymałości zmęczeniowej z wpływem naprężeń własnych, d - rozkład obciążenia zewnętrznego

Fig. 7b. Simplified scheme of strenght distribution after roller burnishing

a - distribution of strenght of layers with neglect of internal stresses, b - distribution of internal stresses after burnishing, c - resultant distribution of fatigue strenght with influence of internal stresses, d - distribution of outer load

jak podkreślono, przesunięcia ogniska zmęczeniowego z powierzchni przedmiotu pod jego powierzchnię. Następuje wówczas oddzielenie ognisk zmęczeniowych od powierzchniowych koncentratorów naprężeń, np. mikrokarbów powierzchniowych.

Przyrost wytrzymałości zmęczeniowej jest określony zależnością:

$$\Delta Z' = Z_{zgn} - Z > \Delta Z$$

gdzie:

- Z_{zgn} - wytrzymałość zmęczeniowa warstwy umocnionej w wyniku rolowania (dogniatania),
- Z - wytrzymałość zmęczeniowa przed rolowaniem (dogniataniem).

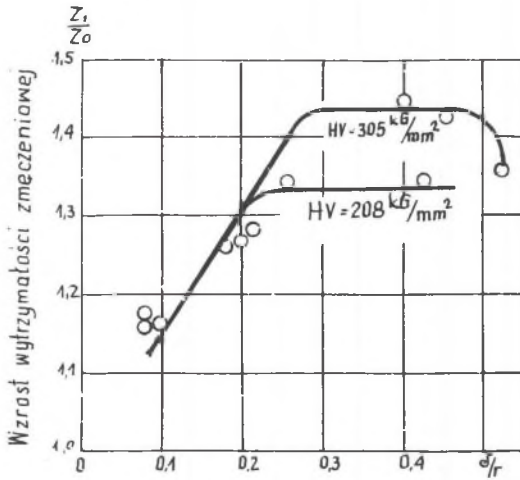
Badania doświadczalne potwierdzają opisane wyżej zależności [6]. Ustalono, że dla części o dużych wymiarach granicę bezpieczeństwa głębokości umocnienia określa stosunek

$$r_{\delta/r} = 0,1 \quad 0,05$$

gdzie:

- δ - głębokość zgniotu,
- r - promień wału.

Przy względnych głębokościach warstwy umocnionej $\delta/r = 0,1-0,2$ efekt umocnienia wzrasta z głębokością umocnienia i nie zależy od twardości na powierzchni, natomiast przy $\delta/r > 0,25$ występuje niebezpieczeństwo pęknięcia na powierzchni, zaś głównym czynnikiem zabezpieczającym przed pęknięciem staje się podwyższenie twardości powierzchni, natomiast dalsze zwiększenie głębokości umocnienia nie zwiększa efektu przeciwdmęczeniowego. Powyższe potwierdzają dane na rys. 8 wg badań Kogajewa [6].



Rys. 8. Wzrost wytrzymałości zmeczeniowej próbek ze stali 45 po rolowaniu w zależności od względnej głębokości zgniotu

Fig. 8. The increase of fatigue strength of samples made from steel 45 after roller burnishing vs relative depth of strain

Dodatkowe rolowanie statyczne powoduje:

- poprawę odporności na ścieranie,
- wzrost odporności na zatarcie,
- zwiększa udział nośny powierzchni,
- poprawia odporność na korozję.

Efekty te stanowią jakby produkt uboczny i są pomijane w ocenie wyników rolowania osi wagonowych.

Rolowanie osi wagonowych odbywa się praktycznie na podstawie szczegółowych przepisów zawartych w instrukcjach:

- TI32-CW - wydane w ZSRR dla osi wg GOST,
- OW-11 66/1 opracowanych przez byłe CBK PTK dla osi wg PN.

Warunki te zawierają podobne wytyczne i określają:

- głębokość umocnienia zależną od średnicy osi w miejscu rolowania, np. dla czopu 2,4-4,8 mm przy ogólnej zależności

$$\delta = (0,02-0,04)$$

gdzie:

δ - głębokość utwardzenia,

d - średnica elementu rolowanego,

- zwiększenie twardości warstwy powierzchniowej o 25-40%,
- chropowatości powierzchni przed rolowaniem - jak najmniejsza,

- szlifowanie jako dopuszczalny zabieg po rolowaniu przy maksymalnym nad-
datku nie większym niż 0,2 mm/str.

Szczegółowe wymagania, przedstawiono w tabelicy 2, zostały dobrane do mate-
riału osi, tj. dla stali węglowej, odlewanej z pieców martenowskich, elek-
trycznych względnie z konwertorów. Wspólną cechą jest żądany wysoki stopień
przeróbki plastycznej wynoszący wg PN dla przerobu wlewk - kęsisko osie
więcej niż 2 oraz kęsisko - oś również więcej niż 2.

W tabelicy 3 zamieszczono porównawczo warunki dla stali na osie wagonowe
wg wymagań PN, UIC i GOST.

Należy zwrócić uwagę, że obowiązują ponadto wymagania dotyczące geometrii
kształtu osi.

I tak:

	czop [mm]	przedpiaście [mm]	podpiaście [mm]
kołowość	0,010	0,015	0,015
walcowość	0,005	0,015	0,025
bicie poosiowe progu oporowego		0,02	
współosiowość przedpiaść i pod- piaść wzgl. powierzchni czopów			0,02

Prowadzone próby wykazały, że dotrzymanie powyższych wymagań nie jest możli-
we w warunkach produkcji masowej. Stąd też kolejność operacji, wyłączając
operacje wstępne, jest następująca:

1. Toczenie wykańczające osi.
- 2a. Rolowanie czopa, przed- i podpiaścia.
- 2b. Rolowanie części środkowej osi.
3. Wiercenie otworów w czołach osi.
4. Szlifowanie części cylindrycznej czopów, przed- i podpiaścia.
5. Gwintowanie otworów \varnothing 20.
6. Badanie defektoskopem magnetycznym.

Technologia taka, zastosowana po próbach w Hucie 1 Maja w produkcji maso-
wej, pozwala na:

- uzyskanie umocnienia rolowanych powierzchni,
- zapewnienie żądanej chropowatości $R_a = 0,8$ w tym zwłaszcza promieni
przejściowych $R = 40/8$, z czopa na przedpiaście,
- dotrzymanie żądanej dokładności wymiarowej i kształtu,
- likwidację pozostałych odkształceń plastycznych na końcu stref rolowania,
- wyeliminowania odkształceń otworów w czołach osi pod gwint M20 wynoszą-
cych 0,6 do 1 mm na skutek nacisków przy rolowaniu.

Bardzo ważnym jest zapewnienie właściwego kierunku posuwu rolek, zwłaszcza
przy rolowaniu stożkowych części. W tych przypadkach ze względu na trudno-
ści utrzymania stałych parametrów nacisku, rolki powinny "schodzić" z więk-

Tablica 2

Systematyka sposobów i skutków obróbki powierzchniowej przez dogniatanie

Rodzaj powierzchni	Chropowatość wyjściowa powierzchni Ra	Parametry rolowania				Żądane wyniki		
		Nacisk (kN)	Posuw (mm/obr.)	Obroty (obr./min.)	Ilość przejść	Głębokość utwardzenia [mm]	Chropowatość Ra	Utwardzenie (%)
Czóp	3,2-5	Ustalić doświadczalnie [1]	≤ 0,6 zalecony	≤ 160 [3]	1. utwardz. 2. wygładz. lub szlifowanie	2,4-4,8	0,8 (2)	25-40
Przedpiaście			≤ 0,3			3,2-6,4	1,6	
Podpiaście			≤ 0,6		1	3,6-7,2	1,6	
Srodek osi			≤ 0,6		1	3,2-6,4	1,25	

Uwagi:

1. W warunkach podano tabelę zależności siły docisku rolki od ich średnicy jako wytyczne orientacyjne.
2. Rolowanie winno być płynnie zakończone - 15 mm od końca czopa.
3. Rolki i przedmiot rolowany należy smarować olejem maszynowym.

Tablica 3

Własności stali na osie wagonowe

Wymagania techniczne wg norm							
		PN-84/H-84027-03		UIC-811-1		GOST-4728-79 zm. 2 1985 GOST-4008-79 zm. 2 1985	
Skład che- micz- ny	C	0,30	0,40	0,37	0,17-0,27	0,40-0,48	
	Mn	0,50-1,00	0,80-1,20	112	1,00-1,40	0,55-0,85	
	Si	0,15	0,35	0,46	0,40	0,15-0,35	
	P max	0,040		0,040	0,025	0,040	
	S max	0,050	0,040	0,040	0,030	0,045	
	Cr	max 0,30		max 0,30	0,20-0,70	max 0,30	
	V	max 0,05		max 0,05	0,05-0,15	-	
Gatunki		P35	P35G	A1	A2	OcB	
Włas- ności mecha- niczne	Rm (MPa)	500-650	550-650	550-650	510-620	568-583 588-6125 617-641,6 646 i więcej	
	Re (MPa)	280	300	320	350	-	
	A (%)	21	23	22	22	21,0 20,0 19,0 18,0	
	Z (%)	35	40	-	-	-	
	U wzdł.	50	60	25	40	0,6 0,5 0,4 0,35	
	U poprz.	Minimum	20	20	10	20	-
	U		KCU		KU-J		MJ/m ²
Obróbka cieplna		N		Dla stanu N		N	

szych do mniejszych średnic, w przeciwnym przypadku może powstać odkształcenie plastyczne powodujące nawet wykrzywienie osi. Przy rolowaniu dużych promieni przejściowych występujących w osiach (75 względnie 200 mm) jest wskazane podobne postępowanie jak przy powierzchniach stożkowych.

Kierunek rolowania promieni przejściowych z czopa na przedpiaście jest zależny od możliwości konstrukcyjnych posiadanych urządzeń, które przede wszystkim winny zapewnić możliwość płynnego zmniejszenia nacisku w końcowej strefie rolowania. Bardzo pomocnym w technologii jest specjalne ukształtowanie przejścia z czopa na przedpiaście w formie obniżenia promieni przejściowych (rys. 4, 5), co w znacznym stopniu ułatwia osiągnięcie dokładności kształtu czopów.

Do rolowania osi można dostosować każdą tokarkę kłową o długości mocowania w kłach powyżej 2500 mm wykonując dodatkowe, względnie proste przyrządy do prowadzenia rolek i wywierania nacisku siłą rzędu 20-40 kN. Przyrządy takie mogą być sprężynowe, pneumatyczne względnie hydrauliczne i są stosowane w warunkach produkcji małoseryjnych.

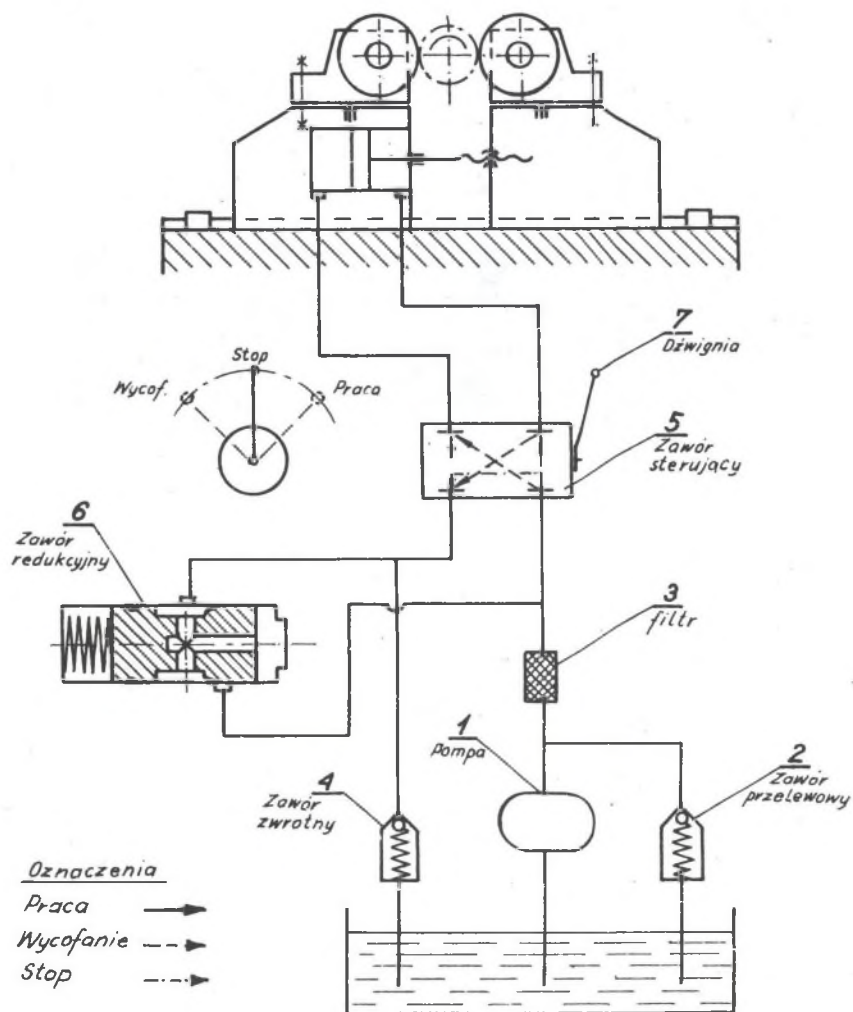
W produkcji wielkoseryjnej dobre wyniki uzyskuje się stosując specjalny rolnik hydrauliczny ICA-20, produkcji F.O. "Rafamet", zabudowany w miejsce suportu poprzecznego dużych tokarek kłowych. Urządzenie to, którego schemat pokazano na rys. 9, wyposażone jest w odrębny układ hydrauliczny obejmujący zbiornik, pompę i zawór przelewowy, umożliwiające wywieranie siły pary rolek do 40 kN. Przy rolowaniu osi stosuje się parametry:

- posuw $p = 0,6 \text{ mm/obr.}$,
- obroty $n = 157 \text{ obr./min.}$,
- średnica roek $d = 130-150 \text{ mm}$,
- siła nacisku $P = 25 \pm 1 \text{ kN}$.

Urządzenie wymaga obracania osi, roluje się bowiem tylko stronę od konika tokarki. Ręcznie steruje się rolowanie promieni przejściowych czopa przy kierunku posuwu od promienia w kierunku końca osi. Nacisk reguluje się ręcznie zaworem sterującym.

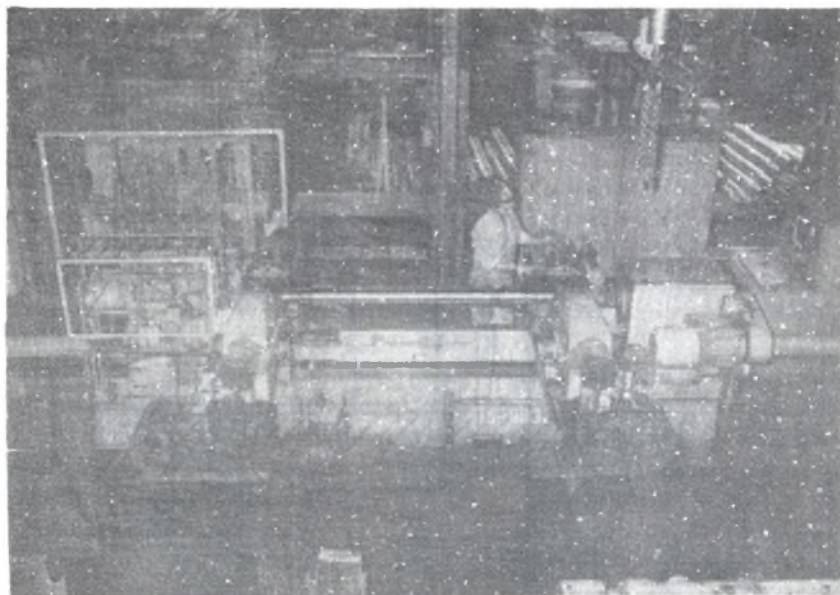
W warunkach produkcji masowej bardzo dobre wyniki uzyskuje się na automatycznych rolnicach typu 7623 f-my Hegenscheidt (rys. 10). Obrabiarka wyposażona jest w 2 suporty, z których każdy ma 2 pary rolek przesuwanych wraz z obudową w pionowych prowadnicach. Umożliwia to ustawienie do rolowania pary rolek o żądanych promieniach odpowiednich dla rolowania czopa względnie innych powierzchni. Stosowany jest cykl automatyczny pokazany przykładowo na rys. 11 przy rolowaniu osi wg GOST, lub ręczny ze sterowaniem indywidualnym każdego suportu. Nacisk rolek i zacisk koników wywierany jest układem hydraulicznym. Obrabiarka posiada specjalny układ czujnikowy sterujący przejściem z mniejszych na większe średnice oraz określającym długość rolowania. Przy rolowaniu osi dla PKP stosowane są następujące parametry:

- posuw na częściach cylindrycznych $p = 0,97 \text{ mm/obr.}$,
- posuw na promieniach $p = 0,6 \text{ mm/obr.}$,



Rys. 9. Schemat rolnika ICA-20

Fig. 9. Scheme of roller burnisher type ICA-20



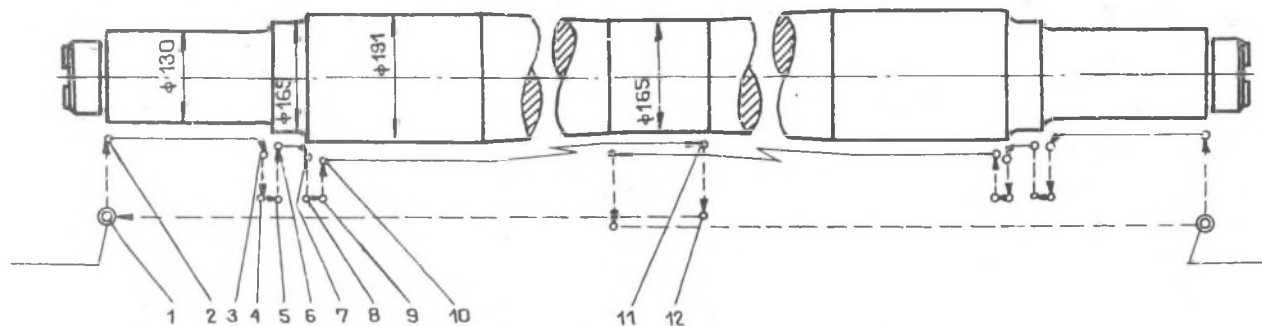
Rys. 10. Rolownica do osi typu 7632 f-my Hegenscheidt

Fig. 10. The roller burnishing mill type 7623 produced by Hegenscheidt

- obroty $n = 100$ obr./min.,
- średnica rolek = 155 mm,
- siła nacisku $P_1 = 25 \pm 1$ kN dla czopa,
- $P_2 = 20 \pm 1$ kN dla przedpiaścia, podpiaścia i środka osi.

Wielkość siły nacisku może być zarejestrowana na taśmie urządzenia kontrolnego. Technologia rolowania była wielokrotnie sprawdzana. Wykonywano próby wstępne oraz wielokrotnie powtarzano próby kontrolne. Uzyskano wzrost twardości warstwy wierzchniej do 40%. Na rys. 12 pokazano przykładowo wykres rozkładu twardości warstwy wierzchniej wybrany z serii prób obejmujących przejście promieniowe z czopa na podpiaście, które nie podlega dalszej obróbce. Pomiary przeprowadzono twardościomierzem Vickersa pod obciążeniem 50 N, na powierzchni skośnej o nachyleniu 20° co 1 mm. Uzyskane wielkości zapewniają dotrzymanie wymagań warunków OW-1166/1, przy jednokrotnym przejściu rolkami, potwierdzając prawidłowość doboru parametrów rolowania, nie naruszających spoiwości warstwy wierzchniej.

Osiągnięte rezultaty nie określają jednak osiągniętego wzrostu wytrzymałości zmęczeniowej osi, bowiem brak jest metody ilościowej wpływu zgniotu. Wszystkie porównawcze obliczenia, potwierdzone zresztą próbami, wykonywane są dla małych średnic np. do 40 mm, zaś autorzy podkreślają niewłaściwość ich zastosowania do dużych elementów typu osi zestawu kołowego. Wyznaczane

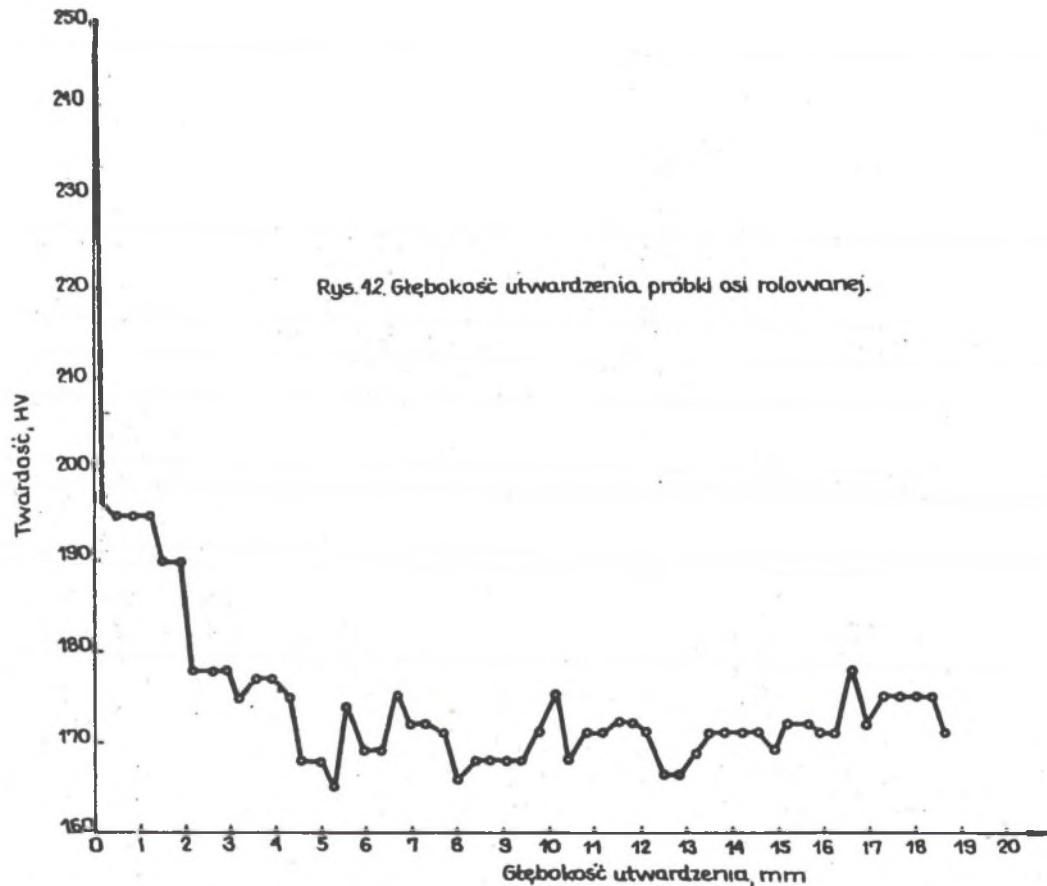


Od - do	Chód roboczy	czas/min
1-2	Przystawienie rolek, włączenie napędu i posuwu	0,45
2-3	Rolowanie $\phi 130$	1,35
3-4	Wycofanie rolek	} 0,40
4-5	Szybki posuw	
5-6	Przystawienie rolek	} 0,50
6-7	Rolowanie $\phi 165$	
7-8	Wycofanie rolek	} 0,60
8-9	Szybki posuw	
9-10	Przystawienie rolek	} 6,00
10-11	Rolowanie $\phi 191$, stożek i $\phi 165$	
11-12	Wycofanie rolek, suport do pkt. 1	0,70
Sumaryczny czas obróbki t_H		10,00

- ⊙ Punkt wyjścia
- Punkt przełączenia
- > Szybki bieg (posuw)
- Posuw
- ⋮ Przyłożenie rolek
ewent. wycofanie

Rys. 11. Cykl rolowania osi wg Gost rolownicą 7623

Fig. 11. The cycle of roller burnishing according to GOST, with use of mill type 7623



Rys. 12. Wykres rozkładu twardości warstwy wierzchniej w przekroju strefy promienia $r = 40/8$
 Fig. 12. The distribution of surface layer hardness on the cross section of radial zone $r = 40/8$

krzywe wzmocnienia wytrzymałości zmęczeniowej próbek rolowanych [7, 8] zmierzają do określenia optymalnych warunków zgniotu powierzchniowego i ustalenia wzorów uproszczonych dla określenia wytrzymałości zmęczeniowej maksymalnej po rolowaniu, np. w postaci

$$Z_r = \frac{Z}{1 - \epsilon_0},$$

gdzie:

Z_r - wytrzymałość zmęczeniowa maksymalna po rolowaniu,

Z - wytrzymałość zmęczeniowa warstwy powierzchniowej materiału nierolowanego,

ϵ_0 - optymalny zgniot powierzchniowy, powyżej którego może nastąpić obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej, przy czym dla próbek do 40 mm średnicy

$$\epsilon_0 = \sim \frac{a_5}{100},$$

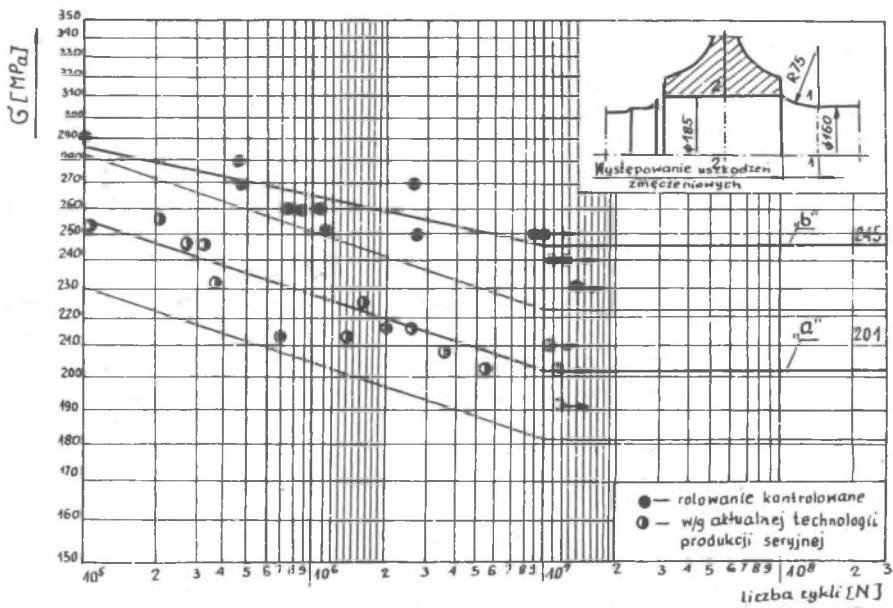
gdzie:

a_5 - wydłużenie w przekroju próbki rozrywczej.

Dla obliczeń zmęczeniowych zalecane są odpowiednie współczynniki opracowane w formie tablic dla różnych rodzajów powierzchniowego ulepszenia [9], niestety i w tym przypadku nie przekraczają one średnic 40 mm, przy czym zwiększenie średnicy o rząd wielkości 20 mm powoduje wzrost współczynnika o ok. 10%.

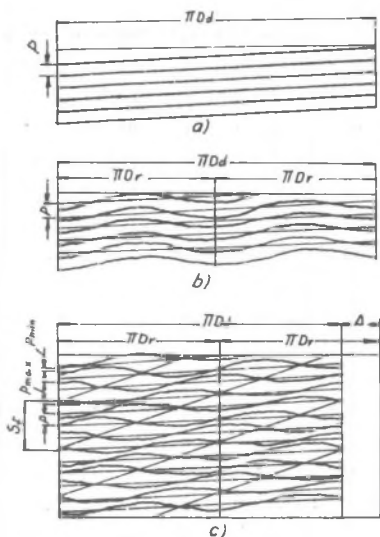
W tej sytuacji właściwą podstawą do określenia własności wytrzymałościowych osi po rolowaniu jest przeprowadzenie prób zmęczeniowych elementu o naturalnych wymiarach. Zagadnienie to podjął L. Stasiak w badaniach prowadzonych w OBR Pojazdów Szynowych [10]. Uzyskane wyniki, w odniesieniu do osi wagonowych rolowanych upoważniły autora do przedłożenia następującego wniosku: "Wzmacnianie powierzchniowe przez rolowanie zwiększa w znacznym stopniu wytrzymałość zmęczeniową osi. Wskazuje jednocześnie na duże możliwości wpływania na zwiększenie trwałości zmęczeniowej osi bez konieczności zmiany jej wymiarów geometrycznych i ciężaru własnego".

Wg badań [10] rolowanie zwiększa wytrzymałość zmęczeniową osi o około 20% (rys. 13). Bardzo istotnym dla technologa jest również wniosek, że błędy w rolowaniu, zwłaszcza niestaranne jego wykonanie jak przerwy, spadki siły mogą spowodować wystąpienie koncentracji naprężeń i zamiast wydłużenia cyklu pracy, doprowadzić do przedwczesnego złomu zmęczeniowego. Obok ww. nieprawidłowości często występuje również falistość powierzchni po rolowaniu wykańczającym. Jak wykazał Brasławski [11] zależy to w znaczący sposób od bicia poosiowego rolek oraz wielokrotności lub jej braku, średnic przedmiotu rolowanego i rolki (rys. 14). Założenia powyższe sprawdzono doświad-



Rys. 13. Porównanie charakterystyk zmęczeniowych podpięcia osi rolowanej w porównaniu do osi bez rolowania kontrolowanego

Fig. 13. Fatigue characteristic of burnished wheel seat in comparison to wheel seat produced without controlled burnishing



Rys. 14. Rozkład śladów rolki na rolowanej powierzchni

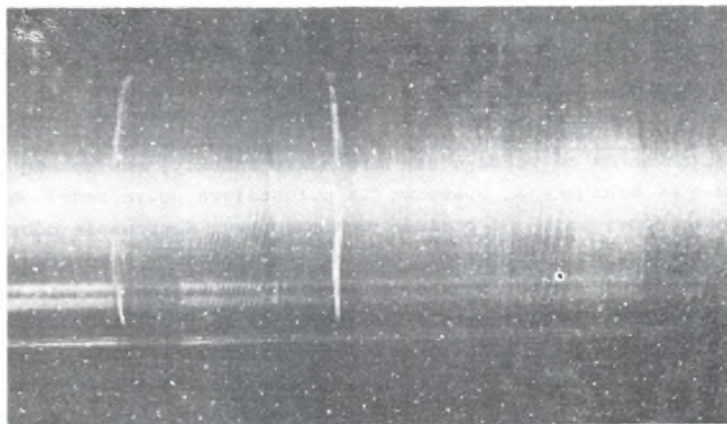
a) przy wyeliminowanym luzie poosiowym rolki, b) przy wielokrotności średnic przedmiotu i rolki, c) przy braku wielokrotności średnic przedmiotu i rolki

Fig. 14. The distribution of roller tracks on the burnished surface

a) with elimination of axial roller clearance, b) with multiple of object and roller diameter, c) without multiple of object and roller diameter

czalnie uzyskując różne długości fal przy zmienianym luzie poosiowym rolek (rys. 15).

Mimo tych niedogodności należy podkreślić wysoką wydajność procesu rolowania osi. Na tokarkach z rolownikiem ICA-20 czas rolowania powierzchni osi typu A wg Pn wynosi 21 min/szt przy koszcie robocizny ok. 85 zł/szt i mocy zainstalowanych silników nie przekraczających 18 kW.



Rys. 15. Widok powierzchni osi ze zmiennymi wielkościami fal po rolowaniu rolką z różnymi luzami poosiowymi

Fig. 15. The view of road axle surface with variable magnitude of waves after burnishing with roller with different axial clearances

Na rolownicach 7623 osiąga się dwukrotny wzrost wydajności, rośnie jednak moc zainstalowana do 25 kW.

Najbardziej istotnym jest prawie 10-krotny wzrost rocznego odpisu amortyzacyjnego, stąd też instalowanie takich agregatów znajduje uzasadnienie tylko w pełnym obciążeniu maszyny produkcją osi lub podobnego typu wałków.

W ostatnich latach coraz częściej stawiane są zaostrzone wymagania w sprawie rolowania utwardzającego przejść promieniowych, głównie przez odbiorców taboru dla Kolei ZSRR. Dotyczą one przede wszystkim urządzeń, które winny zapewnić prostopadłe ustawienie rolki do powierzchni przejść odpowiadających np. promieniom $r = 40/8$ lub $r = 40/2,5$ w przekroju poprzecznym i tym samym inny rozkład warstwy utwardzonej w tym miejscu.

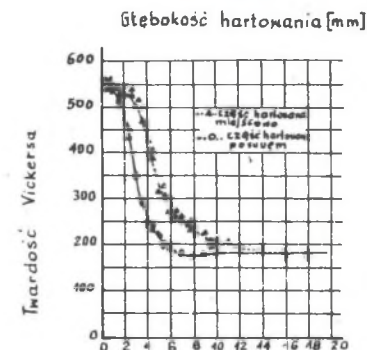
Ze względu na znaczny koszt ewentualnego importu, podjęto działanie w kierunku skonstruowania oprzyrządowania z pływającą rolką we własnym zakresie. Praca dotychczas nie jest zakończona. Brak również dokładnego, ilościowego uzasadnienia nowej metody rolowania przejść promieniowych.

III. CIEPLNA OBRÓBKA WZMACNIAJĄCA WARSTWY POWIERZCHNIOWE OSI WAGONOWYCH

Typowym przykładem zastosowania cieplnej obróbki wzmacniającej jest technologia opracowana i stosowana do osi zestawów kołowych wagonów kursujących na linii Tokio - Osaka (New Tokaido - Line), rozwijających szybkość powyżej 200 km/godz. W rozwiązaniu tym zastosowano oś hartowaną indukcyjnie, wykazującą dużą wytrzymałość zmęczeniową. Jako materiał na osie wybrano stal węglową wyższej jakości w gatunku JIS 538 C o zawartości 0,35-0,41% C otrzymywaną przez wytapianie w zasadowych piecach elektrycznych. Wstępnie odkuta z kęsa oś jest następnie poddawana obróbce cieplnej

- hartowaniu w oleju z temperatury 870°C,
- odpuszczaniu z temperatury 600°C.

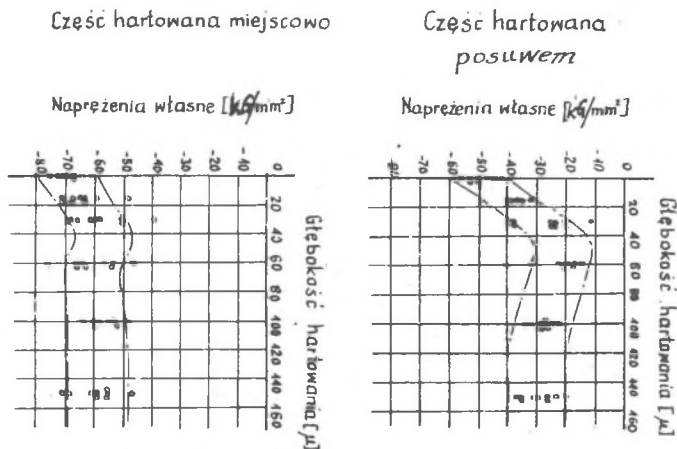
Po obróbce skrawaniem oś poddaje się hartowaniu indukcyjnemu metodą stacjonarną dla czopów oraz metodą posuwową dla pozostałych powierzchni obrotowych. W czasie nagrzewania oś posiada ruch obrotowy. Hartowanie odbywa się przez natrysk wodą. Po zahartowaniu osie są odpuszczane w temperaturze 230°C w piecu elektrycznym o wymuszonym obiegu powietrza. Następnie osie są badane defektoskopem magnetycznym metodą proszkową. Po kontroli twardości następuje obróbka mechaniczna wykańczająca poprzez szlifowanie czopów, podpiasek i miejsc osadzenia kół zębatych. W rezultacie przeprowadzonej obróbki cieplnej osiąga się wytrzymałość rdzenia osi powyżej 600 MPa oraz bardzo dobrą udarność od 60 J/cm² w środku osi do 90 J/cm² w części zewnętrznej.



Rys. 16. Rozkład twardości na przekroju poprzecznym osi hartowanej indukcyjnie

Fig. 16. Hardness distribution on the cross section of induction hardened road axle

doskonała i nie wystąpiły żadne poważniejsze trudności. Należy jednak podkreślić, że występuje znaczna energochłonność procesu oraz wysokie nakłady na instalację urządzeń do nagrzewania indukcyjnego, przewyższające kilkadziesiąt razy nakłady na zakup urządzeń do rolowania.



Rys. 17. Rozkład naprężeń w osi hartowanej indukcyjnie
 Fig. 17. Stress distribution in induction hardened road axle

WNIOSKI

Rolowanie osi wagonowych jest najtańszym sposobem znacznego podwyższenia wytrzymałości zmęczeniowej przy niezmiennych parametrach konstrukcyjnych. Dobrane parametry winny być sprawdzane doświadczalnie. Urządzenia do rolowania są łatwe do adaptacji w przeciętnych warunkach warsztatowych. Technologia i urządzenia opracowane dla osi wagonowych mogą być w prosty sposób dostosowane do wykańczającej obróbki wałów w produkcji mało- i średniose-ryjnej.

Należy kontynuować prace nad urządzeniem z "pływającą rolką utwardzającą", a następnie sprawdzić doświadczalnie celowość wprowadzenia rolowania przejść nową metodą.

LITERATURA

- [1] J. Němec - Wytrzymałość i sztywność części stalowych. WNT, Warszawa 1968.
- [2] St. Szulc, A. Stefko - Obróbka powierzchniowa części maszyn. Podstawy fizyczne i wpływ na własności użytkowe. WNT, Warszawa 1976.
- [3] R. Kolman - Mechaniczne wzmacnianie powierzchni części maszyn. WNT, Warszawa 1965.
- [4] W. Przybylski - Obróbka nagniataniem. Technologia i oprzyrządowanie. WNT, Warszawa 1979.
- [5] W.W. Braślowski - Warunki wykańczającego rolowania przedmiotów stalowych. Stanki i Instrument nr 1/1961 (tłum.).

- [6] В.П. Кораев - Несущая способность и расчёт деталей на прочность. Москва, Машгиз 1963.
- [7] M. Warszyński - Wpływ zgniotu powierzchniowego na podwyższenie trwałości i wytrzymałości części maszyn. Materiały II Krajowej Konferencji Wytrzymałościowej, 1961 r.
- [8] С.В. Серенсен - Повышение усталочной прочности детали машин. Москва 1962.
- [9] St. Kocańda, J. Szala - Podstawy obliczeń zmęczeniowych. PWN, Warszawa 1985.
- [10] L. Stasiak - Doświadczalna determinacja charakterystyk wytrzymałości zmęczeniowej osi zestawów kołowych pojazdów szynowych. Polit. Poznańska. Rozprawa Nr 173. Poznań 1986.
- [11] W.M. Braśkowski - Falistość powierzchni przy rolowaniu. Stanki i Instrument Nr 6/1960.

Recenzent: Doc. dr inż. Roman Bąk

Wpłynęło do Redakcji 4.05.1989

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОСИ ВАГОНОВ

Р е з ю м е

В работе представлено упрочняющие технологии оси вагонов повышающих их усталостную прочность.

В первой части представлено развитие производства оси вагонов повышающих их работоспособность.

Вторая часть описывает технологию накатки поверхностного слоя оси, а также применяемые параметры накатки.

В третьей части представлено технологию термической обработки оси подвижного состава для специальных вагонов.

STRENGTHENING OF SURFACE LAYER OF ROAD AXLES

S u m m a r y

There have been discussed a few technologies which involved strengthening of surfaces of revolution of road axles and influenced on the fatigue strenght.

In the first part of paper development of road axles technologies which involved increase of quality and life has been presented. The second part contains the description of roller burnishing which caused strenghtening of surface layer. This technology was designed and implemented in mass production.

General instructions of selection of parameters and equipment and achieved increase of strenght has been also presented. The third part contains the description of quenching and tempering of road axles for special train units in the aspect of increase their utilization properties.