

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

ZESZYTY NAUKOWE NR 194

MECHANIKA 39

G
1006

BYDGOSZCZ - 1996

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

ZESZYTY NAUKOWE NR 194

MECHANIKA 39

62
1006

BYDGOSZCZ - 1996

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
prof. dr hab. Ojcumiła Stefaniak

REDAKTOR NAUKOWY
dr hab. inż. Maciej Woropay
prof. nadzw. ATR

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE
mgr Dorota Ślachciak, Zbigniew Gackowski

Wydano za zgodą Rektora
Akademii Techniczno-Rolniczej
w Bydgoszczy

ISSN 0208-6395

WYDAWNICTWO UCZELNIANE
AKADEMII TECHNICZNO-ROLNICZEJ W BYDGOSZCZY

Wyd. I. Nakład 150 egz. Ark. aut. 6,75. Ark. druk. 6,9. Papier druk. kl. III.
Oddano do druku w lutym 1996 r. Druk ukończono w marcu 1996 r.
Uczelniany Zakład Małej Poligrafii ATR Bydgoszcz ul. Ks. A. Kordeckiego 20
Zamówienie nr 3/96

Nv 14w P 251/96

Spis treści

| | |
|---|-----|
| 1. Eugeniusz Ranatowski - Wytężenie i pękanie niejednorodnego układu z warstwą jako modelu niektórych połączeń spajanych | 5 |
| 2. Andrzej Skibicki - Numeryczne obliczanie niestabilizowanego pola temperatur w elementach osiowosymetrycznych za pomocą metody bilansów elementarnych | 21 |
| 3. Anna Ławrynowicz, Dariusz Skibicki, Dariusz Boroński - Harp-komputerowy system wspomagania harmonogramowania produkcji | 33 |
| 4. Stanisław Dymski - Wpływ austenitzowania na strukturę i twardość niestopowego żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną..... | 41 |
| 5. Stanisław Dymski - Wpływ hartowania z przemianą izotermiczną i odpuszczania na właściwości mechaniczne niestopowego żeliwa sferoidalnego | 51 |
| 6. Anna Ławrynowicz - Prologowe bazy danych | 67 |
| 7. Zdzisław Ławrynowicz - Elektronomikroskopowe badania struktury złota po implantowaniu plazmowym jonami azotu | 75 |
| 8. Edmund Dulcet - Wpływ stopnia rozdrobnienia zielonki na równomierność wymieszania jej z konserwantem | 87 |
| 9. Edmund Dulcet - Miejsca dodawania konserwantu do zielonki w siewkarni zbierającej | 95 |
| 10. Edmund Dulcet - Wpływ wydajności zbioru zielonki na równomierność wymieszania jej z konserwantem oraz na wielkość jego strat | 103 |

Eugeniusz Ranatowski

WYŁĘŻENIE I PĘKANIE NIEJEDNORODNEGO UKŁADU Z WARSTWĄ JAKO MODELU NIEKTÓRYCH POŁĄCZEŃ SPAJANYCH

Przedmiotem rozważań w artykule są mechaniczne własności heterogenicznych połączeń spajanych. W początkowej części pracy określono model połączenia. W dalszej części pracy wykonano analizę stanu naprężenia w przyjętym modelu i określono jego wpływ na wyłężenie połączeń spajanych. Powyższa analiza stanowi w dalszej kolejności podstawę do określenia parametrów pęknięcia analizowanego modelu połączenia takich, jak K_{In} , δ_R .

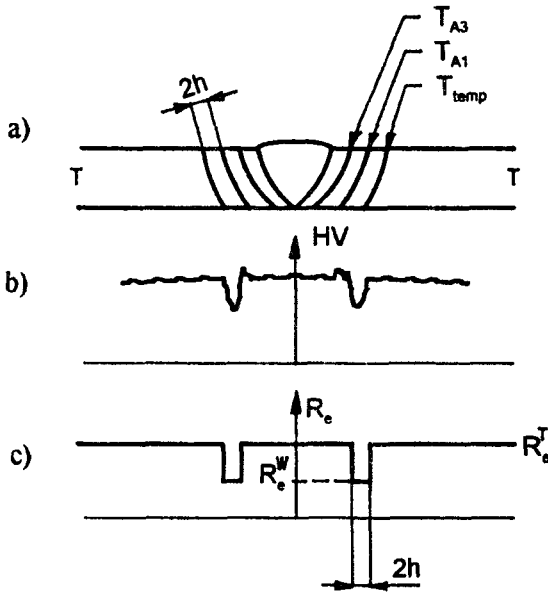
1. WSTĘP

Dla pewnej grupy połączeń spajanych istnieje możliwość znacznego, lokalnego zróżnicowania struktury materiału w spoinie lub strefie wpływu ciepła, a w konsekwencji i własności mechanicznych. Może to wystąpić w czasie spawania:

- stali ulepszonych cieplnie,
- stali umocnionych przez zgniot lub starzeniowo itp.

Cechą charakterystyczną dla tego typu połączeń jest głównie znaczna lokalna zmiana struktury w strefie wpływu ciepła, wyrażająca się również w zróżnicowaniu twardości (rys. 1a, b, c). Bezpośrednio związana jest z tym zmiana parametrów, charakteryzujących własności mechaniczne tego obszaru np. Re , Rm (Re - granice plastyczności, Rm - wytrzymałość na rozciąganie). Stałe charakteryzujące własności sprężyste wykazują nieznaczne zmiany tak, że możemy je uznać za stałe dla wszystkich stref połączenia, E , μ , $\gamma = \text{const}$ (E - moduł Young'a, μ - moduł ścinania, γ - współczynnik Poisson'a).

Rozważmy w dalszej kolejności wpływ tak zróżnicowanej budowy połączenia spajanego na jego własności mechaniczne w czasie statycznego rozciągania.

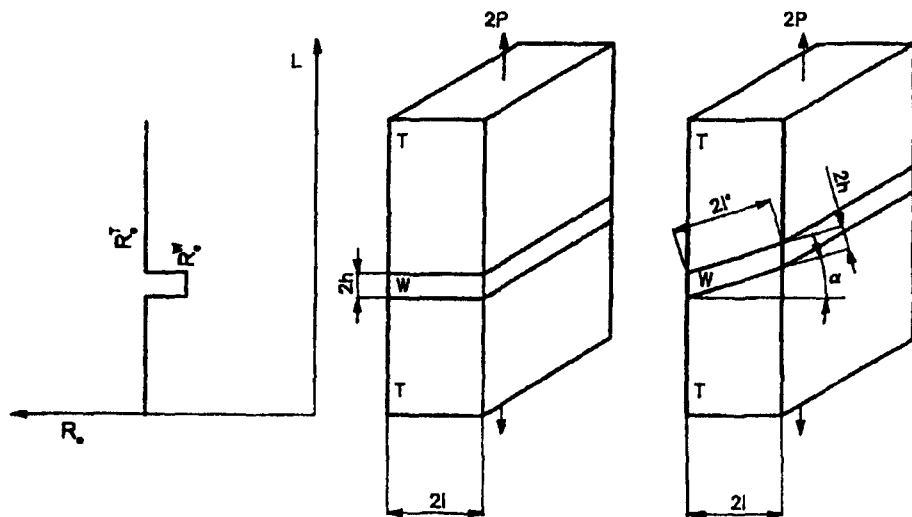


Rys. 1. Charakterystyka sytuacji w niejednorodnym mechanicznie układzie:
 a) rozkład izoterm w SWC,
 b) rozkład twardości w złączu,
 c) model rozkładu R_e

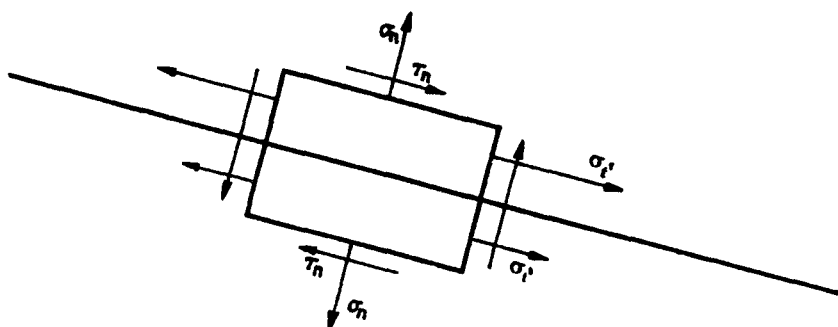
2. CHARAKTERYSTYKA MODELU POŁĄCZENIA SPAJANEGO, ZAŁOŻENIA I UPROSZCZENIA

W aspekcie zasygnalizowanego problemu niejednorodności mechanicznej, istotnym zagadnieniem jest przyjęcie adekwatnego modelu, który odzwierciedlałby sytuację realnie występującą w złączu. Przyjęcie określonego modelu związane jest z założeniem, iż przedstawia on rzeczywistość fizyczną z na tyle dobrym przybliżeniem, że zapewnione jest fizyczne lub techniczne znaczenie analizy takiego modelu. Model fizyczny stanowi więc uproszczenie rzeczywistego układu spawanego i odpowiada mu tylko pod względem jego istotnych cech. Wobec powyższego, analizując budowę połączenia spawanego np. ze stali ulepszonej cieplnie, odpowiednim modelem będzie układ przedstawiony na rys.2. W modelu tym warstwa o obniżonej wytrzymałości odwzorowuje spoinę lub część strefy wpływu ciepła. Istota zjawisk fizycznych rzutujących na własności mechaniczne tego modelu występuje na powierzchniach kontaktowych strefy $/T/$ i $/W/$. Określenie zmiany stanu naprężenia w tym obszarze posiada fundamentalne znaczenie dla właściwej interpretacji i oceny własności mechanicznych modelu, np. w czasie

statycznego rozciągania. Główna trudność w ustaleniu stanu naprężeń polega na tym, iż materiał w takim modelu złącza spawanego podlega niejednorodnym odkształceniom, których rezultatem jest niejednorodny układ naprężeń. W modelu tym istnieje możliwość powstania nieciągłości naprężeń, ale nie może ona zakłócać warunku równowagi naprężeń. Nieciągłość naprężeń pojawia się, gdy po przekroczeniu pewnej powierzchni wewnątrz ciała, nazwanej powierzchnią nieciągłości naprężeń lub powierzchnią kontaktową, niektóre składowe naprężenia doznają przeskoku, to znaczy mają inną wielkość lub zwrot po obu stronach takiej powierzchni - rys.3. Z warunków równowagi elementu wynika, że składowe naprężenia δ_n i τ_n są takie same po obu stronach powierzchni nieciągłości. Pozostałe składowe naprężenia mogą być różne lub nawet posiadać przeciwne znaki. Nie narusza to równowagi elementu, a zatem taka nieciągłość jest statycznie dopuszczalna. W odniesieniu do materiałów tworzących przyjęty model założono, iż posiadają one idealne własności plastyczne. W szczególności należy podkreślić, iż konsekwencją stosowania takiego modelu, jest możliwość występowania w rozwiązaniach teoretycznych silnych przeskoków naprężeń. Należy również zauważyć, iż mimo tak dalece posuniętego uproszczenia własności mechanicznych układu, rozwiązania mają na ogół dobre potwierdzenie doświadczalne. W każdym prawie przypadku dają one przynajmniej jakościowo dobry obraz przebiegu deformacji i naprężeń. Rozpatrując problem modelowania z formalnego punktu widzenia, należy również stwierdzić, iż warunkiem koniecznym i dostatecznym występowania podobieństwa między modelem a rzeczywistym obiektem, którym jest heterogeniczne skokowo złącze spawane, jest opisanie procesów zachodzących w nich za pomocą tych samych związków fizykalnych oraz zgodność kryteriów podobieństwa.



Rys.2. Geometryczna charakterystyka niejednorodnego modelu układu z warstwą

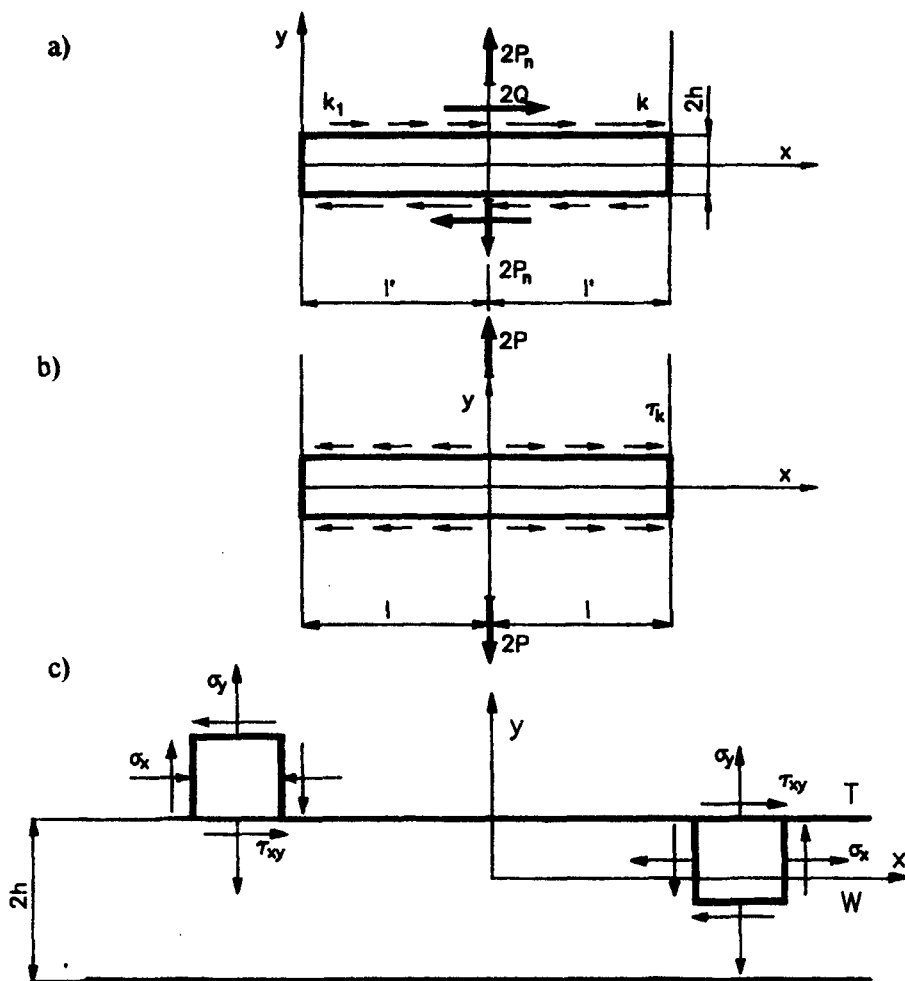


Rys.3. Zasady rozkładu naprężeń na powierzchni kontaktowej

Wobec tego, rozpatrując w/w problem w kategoriach matematycznych, przyjęcie modelu obiektu badań oznacza określenie związków między czynnikami mającymi wpływ na budowę strukturalną i funkcjonowanie obiektu badań. Proces ten zgodnie z zasadami fizyki ciała stałego jest określony w formie równania lub układu równań różniczkowych, opisujących wewnętrzne prawidłowości procesu wraz z odpowiednimi warunkami brzegowymi. Z przedstawionych rozważań wynika więc, iż w przypadku modelowania warunków pracy i określenia wyczerpania heterogenicznego skokowo złącza spawanego, będzie nim układ równań różniczkowych, określających warunki równowagi oraz powiązane z nimi wzory, określające własności ośrodka materialnego i warunki graniczne. Należy podkreślić, iż między modelem a rzeczywistym połączeniem spawanym o budowie skokowo-heterogenicznej zachowano geometryczne podobieństwo, co w zdecydowany sposób ułatwia przenoszenie analizy, gdyż oznacza jednakowy stopień odkształcenia modelu i obiektu rzeczywistego.

3. CHARAKTERYSTYKA STANU NAPRĘŻENIA I WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH NIEJEDNORODNEGO MODELU

Spróbujmy w dalszej kolejności stworzyć model matematyczny zjawisk fizycznych, towarzyszących procesowi obciążenia modelu charakteryzowanego uprzednio w pkt. 2. Model matematyczny formalizuje opis modelu fizycznego w formie równań różniczkowych, wyrażających w tym przypadku warunki równowagi oraz powiązane nimi formuły, określające własności ośrodka materialnego np. warunek plastyczności, warunki graniczne. Rozwiązanie tak określonego problemu prowadzi do oceny stanu naprężenia.



Rys.4. Charakterystyka zewnętrznego pola siłowego oraz odpowiadającego mu rozkładu naprężeń na powierzchni kontaktowej warstwy oraz naprężeń wewnętrznych:
 a) dla pochylonej warstwy $/W/$,
 b) dla prostopadłej warstwy $/W/$,
 c) zmiana naprężeń wewnętrznych w sąsiedztwie powierzchni kontaktowej warstwy

Uwzględniając fakt, iż przyczyną niejednorodności odkształceń i naprężeń w analizowanym modelu, tkwi we własnościach powierzchni kontaktowych, na rys.4 przedstawiono charakterystykę stanu pola siłowego i odpowiadającego pola naprężeń w tym obszarze, zgodnie z koncepcją L.M.Kačanov'a [1]. Na skutek pochylenia warstwy ($\alpha > 0$), zmienia się forma obciążenia powierzchni kontak-

towej w wyniku pojawienia się siły normalnej $2P_n$ i stycznej $2Q$. Naprężenia styczne mają formę niejednorodną, wyrażoną poprzez obecność $k = \tau_{xy}$ oraz $k_1 = \tau_{xy}$ ($k > k_1$), gdzie k jest granicą plastyczności ścinania. Graniczne wartości naprężeń stycznych na powierzchniach kontaktowych k , k_1 są rezultatem oddziaływania naprężeń stycznych τ_k i τ_{2Q} :

$$t_{xy} = f_1 \left(t_k, t_{2Q} \right) = k_1 \quad (1)$$

dla

$$\begin{aligned} x < I \quad \wedge \quad y = -h \\ x > I \quad \wedge \quad y = +h \end{aligned}$$

$$t_{xy} = f_2 \left(t_k, t_{2Q} \right) = k \quad (2)$$

dla

$$\begin{aligned} x < I \quad \wedge \quad y = +h \\ x > I \quad \wedge \quad y = -h \end{aligned}$$

gdzie:

- k - naprężenia styczne powstałe na powierzchni kontaktowej w wyniku działania siły $2P_n$ i wstrzymywania odkształceń warstwy przez bardziej wytrzymały materiał T, wzdłuż powierzchni kontaktowej,
- 2 - naprężenia styczne powstałe w wyniku obecności składowej stycznej $2Q$.

Jeżeli warstwa jest prostopadła do linii działania sił $2P$ ($\alpha = 0$), to występują tylko naprężenia styczne $\tau_k = \tau_{xy}$ (rys.4). Konsekwencją obecności naprężeń τ_k na powierzchni kontaktowej jest również zmiana stanu naprężenia w warstwie, który zmienia się na płaski lub przestrzenny o charakterze rozciągającym (rys.4c). Taka zmiana naprężenia w warstwie (W) może korzystnie wpłynąć na globalną wytrzymałość połączenia spajanego. Składowe stanu naprężenia w obrębie powierzchni kontaktowej określimy, wychodząc z równań równowagi

$$\frac{\partial s_x}{\partial x} + \frac{\partial t_{xy}}{\partial y} = 0 \quad (3a)$$

$$\frac{\partial t_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial s_y}{\partial y} = 0 \quad (3b)$$

i warunku plastyczności:

$$(\delta_x - \delta_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = 4k^2 \quad (4)$$

co przy spełnionych granicznych warunkach dla τ_{xy} na $y = \pm h$, pozwala określić składowe σ_x , σ_y , τ_{xy} jako:

$$\delta_x = k \left[a - \frac{1+\gamma}{2} \frac{\xi}{\mathfrak{A}} - 2 \sqrt{1 - \left(\frac{1+\gamma}{2} + \frac{1-\gamma}{2} \frac{\eta}{\mathfrak{A}} \right)^2} \right] \quad (5a)$$

$$\delta_y = k \left(-a - \frac{1-\gamma}{2} \frac{\xi}{\lambda} \right) \quad (5b)$$

$$\tau_{xy} = k \left(\frac{1+\gamma}{2} + \frac{1-\gamma}{2} \frac{\eta}{\mathfrak{A}} \right) \quad (5c)$$

gdzie:

$$\mathfrak{A} = h / l$$

$$\eta = y / l$$

$$\xi = x / l$$

$$\gamma = k_1 / k$$

$$|\gamma| \leq 1$$

$$x < l$$

$$a = \frac{1}{1-\gamma} \left(\pi - \gamma \sqrt{1-\gamma^2} - \arcsin \gamma \right)$$

Z praktycznego punktu widzenia, interesujący jest wpływ zmiany stanu naprężenia w warstwie na własności mechaniczne modelu w czasie statycznego rozciągania. Wyrazić to możemy przez ocenę średniej wartości naprężeń, które może przenieść złącze z miękką warstwą jako [4]:

$$\delta_{\text{ever}} = \frac{2R_e^W}{\sqrt{3}} \left\{ \frac{1}{4(1-q)} \left[\frac{\pi}{2} + 2(1-2q) \sqrt{q(1-q)} + \arcsin(2q-1) \right] (1-q) \frac{1}{4\mathfrak{A}} \right\} \quad (6)$$

gdzie:

R_e^W - granica plastyczności warstwy (W),

q - współczynnik uwzględniający wpływ kontaktowych naprężeń stycznych ($q < 1$, $q = Q/k_1l$).

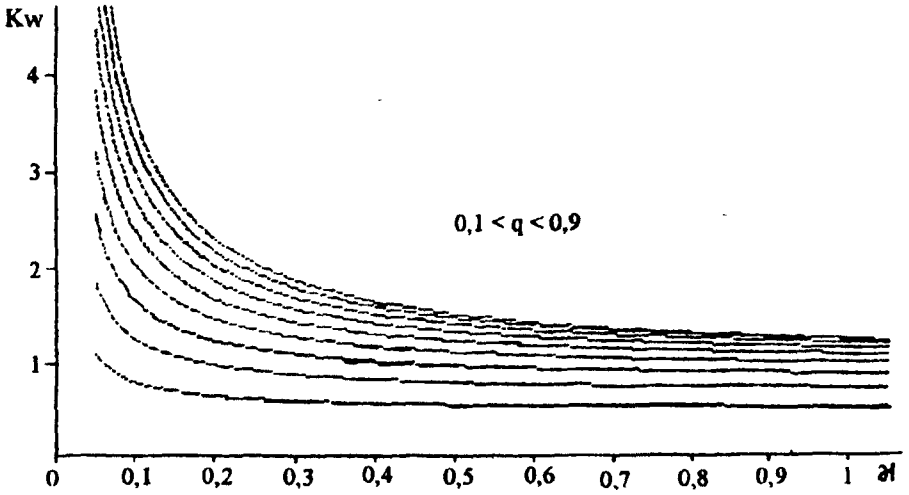
Przekształcając powyższą zależność i ustalając stosunek

$$K_w = \frac{\sigma_{\text{ever}}}{R_e^W} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left\{ \frac{1}{4(1-q)} \left[\frac{\pi}{2} + \dots \right] + (1-q) \frac{1}{4\mathfrak{A}} \right\} \quad (7)$$

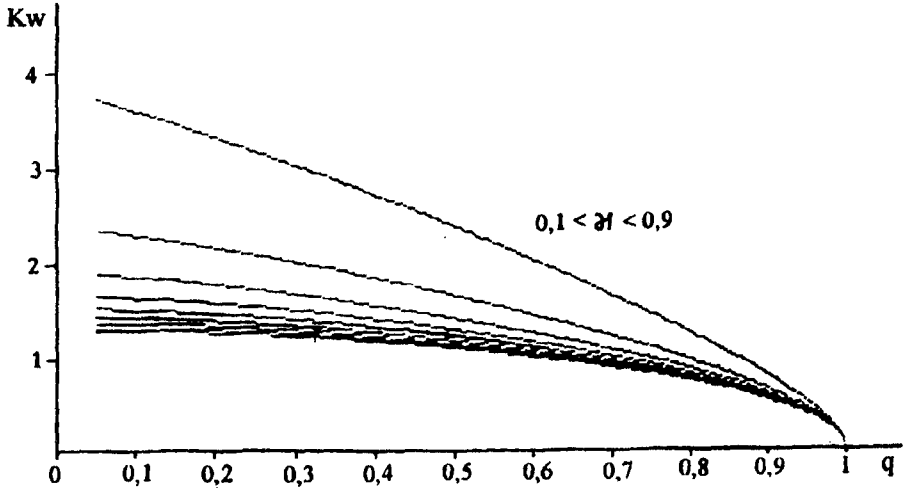
otrzymamy ocenę efektu tzw. umocnienia kontaktowego miękkiej warstwy (W), jako rezultatu zmiany stanu naprężenia. Na rysunku 5 przedstawiono przebieg zmiany parametru K_w jako funkcję parametru \mathfrak{A} dla $0,1 \leq q \leq 0,9$ oraz jako funkcję parametru q dla $0,1 \leq \mathfrak{A} \leq 0,9$. Z powyższych danych wynika, iż wartość K_w jest tym większa, im mniejsza jest wartość \mathfrak{A} i q . Jeżeli $q = 0$ ($2Q = 0$, $\alpha = 0$), to zależność (6) przyjmie znaną postać, określoną uprzednio przez L.M. Kačanov'a [2]:

$$\sigma_{\text{ever}} = \frac{2}{\sqrt{3}} R_e^W \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{4\mathfrak{A}} \right) \quad (8)$$

a)



b)

Rys.5. Wartości parametru K_w a) jako funkcji $zeta$ dla $0,1 \leq q \leq 0,9$ b) jako funkcji q dla $0,1 \leq zeta \leq 0,9$

Teoretyczne wartości K_w wskazują na możliwość znacznego podwyższenia własności mechanicznych tzw. miękkiej warstwy poprzez zmianę stanu naprężenia w tym obszarze. Rzeczywistą górną granicę umocnienia kontaktowego wyznaczają, oprócz uwarunkowań geometrycznych, także własności mechaniczne stref (T) i (W). Oznaczając własności mechaniczne strefy (T) przez R^T_m i R^T_e (R^T_m - wytrzymałość na rozciąganie, R^T_e - granica plastyczności), które zasadniczo odpowiadają własnościom mechanicznym materiału w stanie wyjściowym przed spawaniem i zakładając, że $\sigma_{ever} = R^T_m$, możemy wyznaczyć względną grubość warstwy (W) - α_{or} , kiedy nie powinien ujawnić się jej negatywny wpływ na kompleksową wytrzymałość połączenia spajanego w czasie procesu rozciągania jako [4]:

$$\alpha_{or} = \frac{1-q}{2\sqrt{3}(1-q)K_s\gamma^T - \left[\frac{\pi}{2} + 2(1-2q)\sqrt{q(1-q)} - \arcsin(2q-1) \right]} \quad (9)$$

gdzie:

$$K_s = R^T_e / R^T_e, \quad \gamma^T = R^T_m / R^T_e$$

4. WPŁYW KĄTA POCHYLENIA WARSTWY NA FORMĘ PRZEŁOMU

Zmiana stanu naprężenia w miękkiej warstwie wpływa więc również na zmianę mechanicznego oddziaływania i własności mechaniczne tego obszaru w układzie skokowo niejednorodnym mechanicznie. Strukturalne umocnienie warstwy oddziałuje na zmianę stanu naprężeń w układzie niejednorodnym, prowadząc również do zmiany odporności na pękanie dla tychże stref i sposobu niszczenia oraz rodzaju złomu.

Zasadniczo proces pęknięcia przebiega w warstwie (W) i może się zmieniać od przełomu kruchego (dla $q = 0$, $\alpha = 0$) do przełomu plastycznego ($q > 0$, $\alpha > 0$). Warunki powstania przełomu kruchego możemy określić bazując na koncepcji T. Pelczyńskiego [3] jako:

$$\frac{\delta_{ever}}{R_0} = \frac{\delta_H}{\delta_v} \quad (10)$$

gdzie:

R_0 - wytrzymałość rozdzielcza materiału,

σ_H , σ_v - naprężenia zastępcze odpowiednio wg Hubera-Mises'a oraz de Saint-Venant'a.

Wartość σ_H określimy ze wzoru:

$$\sigma_H = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (11)$$

natomiast σ_v z zależności:

$$\sigma_v = \sigma_y - 9(\sigma_x + \sigma_z) \quad (12)$$

Wobec tego, po uwzględnieniu (8), otrzymamy ocenę uwarunkowań geometrycznych warstwy, wyrażoną przez parametr \mathfrak{A} , po osiągnięciu której, może wystąpić kruche pęknięcie warstwy [4] jako:

$$\mathfrak{A} = \frac{R_e^W \sigma_v}{2\sqrt{3}\sigma_H R_o - \pi R_e \sigma_v} \quad (13)$$

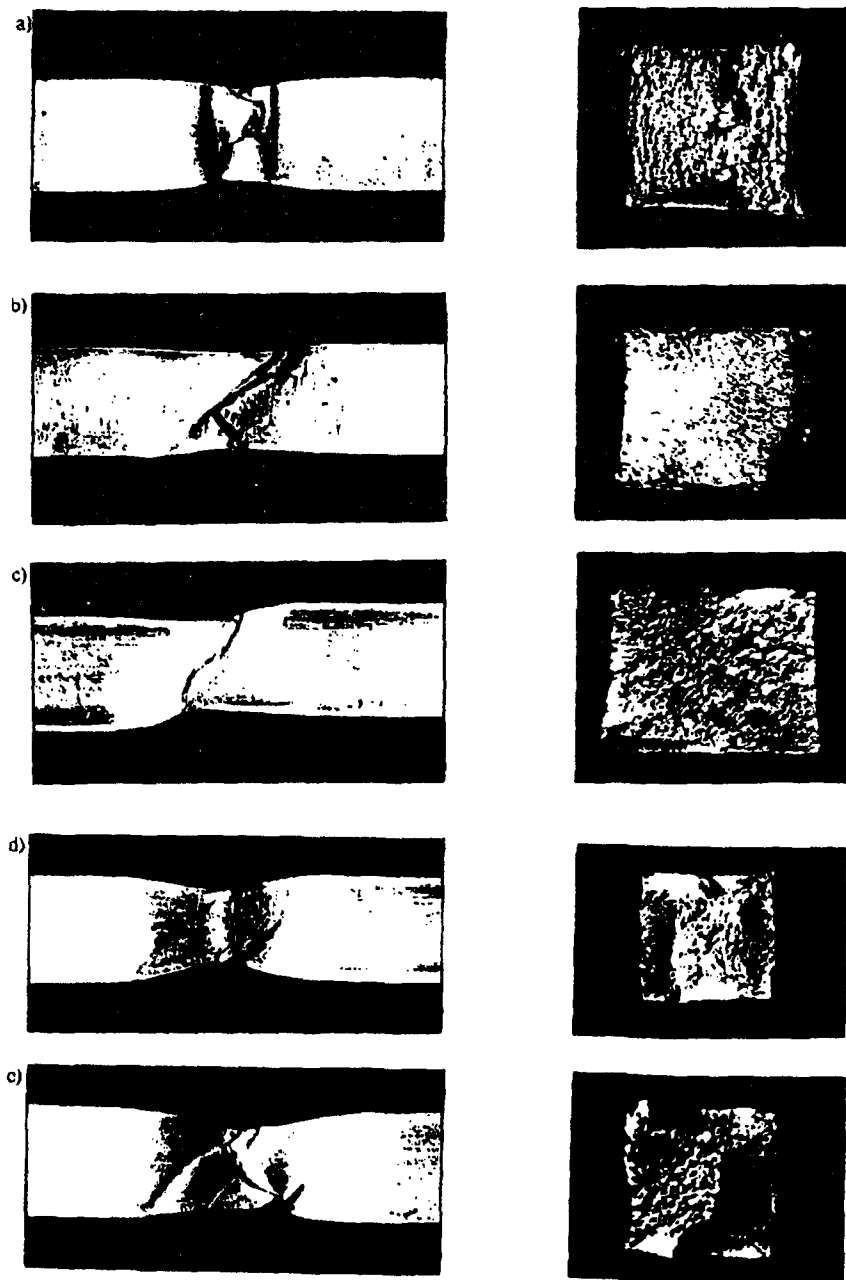
Materiał warstwy (W) przechodzi w stan odkształceń plastycznych, zgodnie z koncepcją T. Pelczyńskiego [3], jeżeli:

$$\frac{\sigma_H}{\sigma_v} > \frac{\sigma_{ever}}{R_o} \quad (14)$$

W związku z tym, dla warstwy pochylonej ($\alpha > 0$, $q > 0$) otrzymamy również ocenę uwarunkowań geometrycznych warstwy, wyrażonej przez parametr \mathfrak{A} , kiedy wystąpi przelom o znacznym udziale odkształceń plastycznych z tendencją do przelomów poślizgowych:

$$\mathfrak{A} > \frac{R_e^W (1-q) \delta_v}{2\sqrt{3}R_o \delta_v \left[\frac{\pi}{2} + 2(1-q)\sqrt{q(1-9)} - \text{arc sig}(2q-1) \right]} \quad (15)$$

Jeżeli $\alpha \rightarrow 0$, $q \rightarrow 0$, to zależność (15) transformuje się w wyrażenie określone wzorem (13). Dla warstwy pochylonej, możliwości powstania przelomów o charakterze poślizgowym są również utrudnione. W przypadku utrudnienia poślizgów w stosunku do płaszczyzn, w których występują maksymalne naprężenia styczne lub energia odkształcenia postaciowego osiąga wartość maksymalną, do wywołania ich musimy przyłożyć znacznie większe naprężenia rozciągające ($K_W > 1$). Na rysunku 6 przedstawiono przykłady sposobu zniszczenia niejednorodnego modelu złącza z warstwą (W) prostopadłą i pochyloną. Przelom kruchy występujący w warstwie (W), ułożonej prostopadle do linii działającego obciążenia, będzie miał tendencję do normalnego ułożenia w stosunku do linii pola siłowego - rys. 6. W przypadku przelomów powstających w warstwie pochylonej ($\alpha > 0$, $q > 0$) i małej wartości \mathfrak{A} mają one charakter przelomów płaskich z tendencją do przelomów poślizgowych. Jest to sytuacja, w której K_W osiąga znaczne wartości ($K_W \gg 1$), a odkształcenie możemy rozpatrzeć jako zagadnienie płaskie. Jeżeli $K_W \rightarrow 1$ lub $\mathfrak{A} > \mathfrak{A}_{cr}$, to przelomy mają charakter mieszany, tzn. poślizgowo-rozdzielczy.



Rys.6. Złomy niejednorodnych układów z warstwą ze stali 14HNMBCu

5. NIEKTÓRE ASPEKTY OCENY K_C , K_{IC} , σ DLA STREFY WARSTWY MIĘKKIEJ (W)

Uwzględniając przyjęte uprzednio założenia dotyczące materiałów, tworzących niejednorodny model złącza spajanego, możemy również uznać, iż $\sigma_{ever} = R^{We}(\eta)$ dla warstwy prostopadłej do linii obciążenia ($q = 0$, $\alpha = 0$). Kruche zniszczenie warstwy związane jest z realizacją płaskiego stanu odkształcenia w warstwie. Zgodnie z ustalonymi zasadami mechaniki pękania, realizacja płaskiego stanu odkształcenia wymaga spełnienia warunku: $g = 15 r_p$, gdzie r_p - promień charakteryzujący wielkości strefy odkształceń plastycznych wokół wierzchołka nieciągłości materiałowej, g - grubość elementu. Wobec tego, po uwzględnieniu wartości r_p dla warstwy wartość g_n wynosi:

$$g_n = 15 \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_{In}}{R_e^W K_w} \right)^2 \quad (16)$$

Jeżeli $K_w \rightarrow 1$, to zależność (16) przyjmie postać:

$$g = 15 \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_{Ij}}{R_e^W} \right)^2 \quad (17)$$

i odpowiada sytuacji próbki jednorodnej. Zatem dla tej samej grubości materiału $g = g_n$ i $Re = R^{We}$, odporność na pęknięcie układu niejednorodnego z warstwą, ze szczeliną usytuowaną w środkowej części warstwy, jest zależna w sposób jawny od parametru K_w .

$$K_r = \frac{K_{In}}{K_{Ij}} = K_w \quad (18)$$

Ponadto dla tego samego materiału ($Re = R^{We}$) w warunkach płaskiego stanu odkształcenia powinien być spełniony warunek $K_{In} K_{Ij}$, co prowadzi do zróżnicowania grubości $g_n \neq g$ w postaci związku:

$$g_r = \frac{g_n}{g} = \frac{1}{k_w^2} \quad (19)$$

Podobne skutki występują przy wyższym poziomie odkształceń w niejednorodnym układzie z warstwą (W) dla $\sigma \leq Re$.

Przyjmując parametr σ jako miarę wyćężenia materiału warstwy w sąsiedztwie wierzchołka szczeliny (CTOD), otrzymamy:

$$\sigma_w = \frac{k_{lef}^2}{E_w R_e^W} \quad (20)$$

Wobec tego, po uwzględnieniu korekty na odkształcenia plastyczne wokół wierzchołka szczeliny otrzymamy:

$$\sigma_{wn} = \frac{\sigma^2 \pi a \left(1 + \frac{\sigma^2}{2R_e^W W^2} \right)}{E_w R_e^W} \quad (21)$$

Po uwzględnieniu, iż $\sigma = R_e^W K_w$ otrzymamy:

$$\sigma_{wn} = \frac{R_e^T - K_w^2 \pi a (1 + 0,5 K_w^2)}{K_s E_w} \quad (22)$$

gdzie:

$$K_s = R_e^T / R_e^W,$$

α - połowa długości szczeliny

Gdy $K_w \rightarrow 1$ oraz $R_e^T = R_e^W$, to $K_s = 1$ a $\sigma_{wn} \rightarrow \sigma_{wj}$:

$$\sigma_{wj} = \frac{3R_e^W \pi a}{2E_w} \quad (23)$$

gdzie:

σ_{wj} - parametr charakteryzujący wartość CTOD dla jednorodnego materiału o właściwościach mechanicznych warstwy.

$$\sigma_{wn} / \sigma_{wj} \leq 1$$

co oznacza również uwrażliwienie strefy (W) i zmniejszenie jej odporności na pękanie.

Istotnym czynnikiem rzutującym na rozwój pęknięć w warstwie (W) jest również intensywność odkształceń warstwy (W) i stopień umocnienia. Związek pomiędzy stanem naprężenia a stanem odkształcenia, z uwzględnieniem umocnienia, możemy wyrazić jako:

$$\sigma = c \varepsilon^n \quad (24)$$

gdzie:

C - stała materiałowa,

n - współczynnik umocnienia, $n = 0,1 + 0,3$

Wobec tego, prawomocny jest związek:

$$\frac{\sigma}{R_e} + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_e} \right)^n \quad (25)$$

lub

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_e} = \left(\frac{\sigma}{R_e} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (26)$$

Dla układu niejednorodnego wartość $\sigma = \sigma_{\text{over}}$ określimy ze związku:

$$\sigma = R_e^W \cdot K_w$$

Uznając, iż górna wartość granicy plastyczności warstwy w wyniku umocnienia kontaktowego wynosi $R_e^W(\infty) = R_e^T$, otrzymamy:

$$\frac{R_e^W \cdot K_w}{R_e^T} = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_e^T} \right)^{n_w} \quad (27)$$

Wobec tego, zależność (27) przyjmuje postać:

$$\frac{K_w}{K_s} = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_e^T} \right)^{n_w} \quad \text{lub} \quad \left(\frac{K_w}{K_s} \right)^{\frac{1}{n_w}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_e^T} \quad (28)$$

Stąd możemy określić wartość ε jako:

$$\varepsilon = \varepsilon_e^T \cdot K_w^{\frac{1}{n_w}} \quad (29)$$

Wobec powyższego, uwzględniając charakterystykę rozwoju pęknięcia jako:

$$\sigma_R = \frac{\sigma_w}{\sigma_T} \quad (30)$$

gdzie:

σ_w - CTOD dla warstwy W,

σ_T - CTOD dla materiału rodzimego, strefa T,

σ_R - stosunek określający zmianę warunków rozwoju szczeliny, oraz biorąc pod uwagę wartości σ_w i σ_T , ostatecznie otrzymamy [5]:

$$\sigma_R = \left[\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cT}} \right]^{(n_T/n_w-1)} \left[\frac{1}{K_s} \right]^{(1-1/n_w)} \quad (31)$$

gdzie:

n_T - współczynnik umocnienia dla materiału strefy T,

n_w - współczynnik umocnienia dla warstwy W.

Uwzględniając zależność (28) wyrażenie (31) przyjmie postać:

$$\sigma_R = \left[\frac{K_w}{K_s} \right]^{(1/n_w-1/n_T)} \left[\frac{1}{K_s} \right]^{(1-1/n_w)} \quad (32)$$

Powyższa zależność (32) wskazuje na uzależnienie odporności na pękanie dla obszaru warstwy przy rozwiniętych odkształceniach od parametru K_s , wyrażającego stopień niejednorodności mechanicznej oraz związanego z nim parametru K_w , uwzględniającego dodatkowo uwarunkowania geometryczne układu. Należy w tym miejscu również podkreślić, iż badania eksperymentalne niejednorodnych próbek z warstwą, potwierdzają przedstawione powyżej rozważania dla niejednorodnych układów. Uwzględniając wymagania, np. norm dotyczących oceny K_{IC} , należy stwierdzić, iż w warstwie (W) powstają wraz ze wzrostem K_w sprzyjające warunki do przejścia $K_C \rightarrow K_{IC}$ [4].

Dotyczy to oczywiście środkowej części warstwy (W), w której zachowana jest symetria odkształceń. Zasadniczo na powierzchni kontaktowej oraz w najbliższym sąsiedztwie tracą swoją ważność kryteria $K_I = K_C$ i $K_I = K_{IC}$, z uwagi na obecność naprężeń normalnych i stycznych, i asymetrię odkształceń. W danym przypadku pojawia się konieczność określenia nowego kryterium wyrażającego nową funkcję $f(K_1, K_2) = f_{kr}$, podobnie jak dla niejednorodnych mechanicznie układów, w których stopień niejednorodności wyrażony jest poprzez stałe sprężyste.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

- Bazując na zasadach modelowania i przyjęciu niejednorodnego układu z warstwą jako modelu pewnej grupy połączeń spajanych ustalono:
 - stan naprężeń w niejednorodnym układzie z warstwą podczas statycznego rozciągania;
 - średnie naprężenie $\sigma_{ever} = f(R^W_e, q, \mathfrak{A})$, charakteryzujące wytrzymałość układu, przy dowolnym ułożeniu warstwy w stosunku do linii sił rozciągających;
 - parametr $K_w = \sigma_{ever} / R^W_e$, który charakteryzuje wpływ zmiany stanu naprężenia na mechaniczne własności układu, rys.5;

- względną grubość $a_{cr} = f(K_S, \gamma^T, q)$ warstwy (W), przy której nie wpływa ona negatywnie na wytrzymałość układu przy statycznym rozciąganiu.
- 2. Rozpatrzono warunki kruchego i ciągliwego zniszczenia warstwy, ustalając analityczne warunki ich powstawania - wzory (13) i (15).
- 3. Rozpatrzono wpływ zmiany stanu naprężenia w warstwie na wartość K_I i CTOD, poprzez charakterystykę tych parametrów, mechaniki pękania, poprzez parametr K_W .

LITERATURA

- [1] Kačanov L.M.: Osnovy teorii plastičnosti. Nauka, Moskwa 1969
- [2] Kačanov L.M.: O napriazennom sostojanii plastičnoj prostojki. Mechanika i Maszynos trojenje, 5, 1962
- [3] Pełczyński T.: Wyteżenie i pęknięcie materiałów. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, 1969
- [4] Ranatowski E.: Analiza własności mechanicznych połączeń spajanych. Rozprawy nr 3/1980
- [5] Schwalbe K.H. - Effect of metal mis - match on toughness requirements: Some simple analytical considerations using the Engineering Treatment Model ETM. International Journal of Fracture 56: 257 - 277, 1992

EFFORT AND FRACTURE OF THE HETEROGENEOUS SYSTEM WITH LAYER AS A MODEL OF THE WELD JOINTS

Summary

The paper deals with some aspects of the mechanical properties of undermatched weld joints. At the first the characterisation of the mis - match weld joint model was made. In a further part an analysis of the state of stress of undermatched weld joints was made and determined its influence on the effort of the joints. Conclusions from the theoretical analysis form some basis to an assessment of the fracture parameters such as K_{In} , σ_R .

Andrzej Skibicki

NUMERYCZNE OBLICZANIE NIEUSTABILIZOWANEGO POLA TEMPERATUR W ELEMENTACH OSIOWOSYMETRYCZNYCH ZA POMOCĄ METODY BILANSÓW ELEMENTARNYCH

Opisano własny program na IBM PC, pozwalający metodą elementów różnicowych znaleźć nieustalone pole temperatur w przedmiotach osiowosymetrycznych. Zastępuje on kosztowne programy MES, dając pewne dodatkowe możliwości budowania niektórych modeli. Przeznaczony jest do badania procesów krótkotrwałych, zmiennych. Przykładowo obliczono temperatury podczas tarciowego, kształtowego zamykania rur.

1. CHARAKTERYSTYKA BADANEGO PROCESU

Dzięki metodzie tarciowego, kształtowego zamykania rur grubościennych przedstawionej w [1], można obniżyć koszt produkcji i podwyższyć jakość wytwarzanych elementów. Proces przebiega na zgrzewarce tarciowej. Narzędziem jest matryca z żeliwa sferoidalnego posiadająca kuliste zagłębienie kształtujące. Ciepło wytwarza się na skutek tarcia szybko obracającego się narzędzia i nieruchomej rury. Proces zamykania trwa około 20 sekund. Nagrzewa się zarówno rura, jak i matryca. Podniesienie temperatury rury powoduje uplastycznienie jej materiału, który przesuwa się w głąb matrycy i tworzy szczelne zamknięcie. Ciepło przechodzące do matrycy powoduje obniżenie własności wytrzymałościowych jej materiału. Przy jednoczesnym ścieraniu matrycy przez stale napływający zimny, twardy materiał rury, zużycie objętościowe prowadzi do zużycia narzędzia. Pomimo tego, że matryca posiada dużą masę i dość dobrą zdolność odprowadzania ciepła, wysunięto tezę, że dodatkowe chłodzenie może obniżyć jej temperaturę, a w efekcie zwiększyć żywotność. Aby uniknąć długotrwałych, kosztownych eksperymentów, postanowiono komputerowo symulować przebieg zmian temperatury podczas tego procesu. Przedmiotem zainteresowania jest geometria kanału chłodzącego oraz wymagane parametry płynu: jego temperatura i zdolność do przyjmowania ciepła.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

Dla rozwiązania problemu, posłużono się równaniem różniczkowym przewodzenia ciepła Fouriera-Kirchoffa, przekształconym do postaci ilorazu różnicowego przedniego.

Wychodząc z równania różniczkowego Fouriera-Kirchoffa dla ciała stałego, izotropowego i posługując się metodą bilansów elementarnych Waniczewa [4], gdy nie występują przemiany fazowe i wartości λ nie zmienia się dla danego

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = q_v + \nabla(\lambda \nabla T) \quad (1)$$

gdzie:

- c_p - ciepło właściwe,
- ρ - gęstość,
- λ - współczynnik przewodzenia ciepła,
- T - temperatura,
- q_v - gęstość objętościowa wewnętrznych źródeł ciepła

elementu w analizowanym przedziale czasu można napisać bilans energii od i dopływającej, wydzielonej lub zakumulowanej dla ciała dwuwymiarowego

$$\sum_j Q_{ji} + \sum_j Q_{Fi} + v_i \cdot q_{vi} = v_i \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot \frac{\partial T_i}{\partial \tau} \quad (2)$$

gdzie:

Q_{ji} i Q_{Fi} określone są jako

$$Q_{ji} = \frac{1}{R_{ij}} (T_j - T_i) \quad (3)$$

ciepło przepływające z elementu j do i

$$Q_{Fi} = \frac{1}{R_{iF}} (T_{Fi} - T_i) \quad (4)$$

ciepło dopływające z powierzchni F do węzła i

$$Q_{Fi} = F_{\alpha i} \cdot q_{Fi} \quad (5)$$

- T - temperatura,
- T_{Fi} - temperatura płynu przy powierzchni F ,

- τ - czas,
- i - element rozpatrywany,
- j - elementy sąsiednie,
- v_i - objętość rozpatrywanego elementu,
- q_{vi} - wydajność cieplna źródeł objętościowych w elemencie i ,
- q_{Fi} - wydajność cieplna źródeł powierzchniowych w elemencie i ,
- $F_{\alpha i}$ - powierzchnia przejmowania ciepła z otaczającego płynu,
- R_{ij} - opór cieplny między węzłem i oraz j ,
- R_{iF} - opór cieplny między węzłem i oraz F ,

$$R_{ij} = \frac{L_{ij}}{\lambda_{ij} \cdot F_{ij}}$$

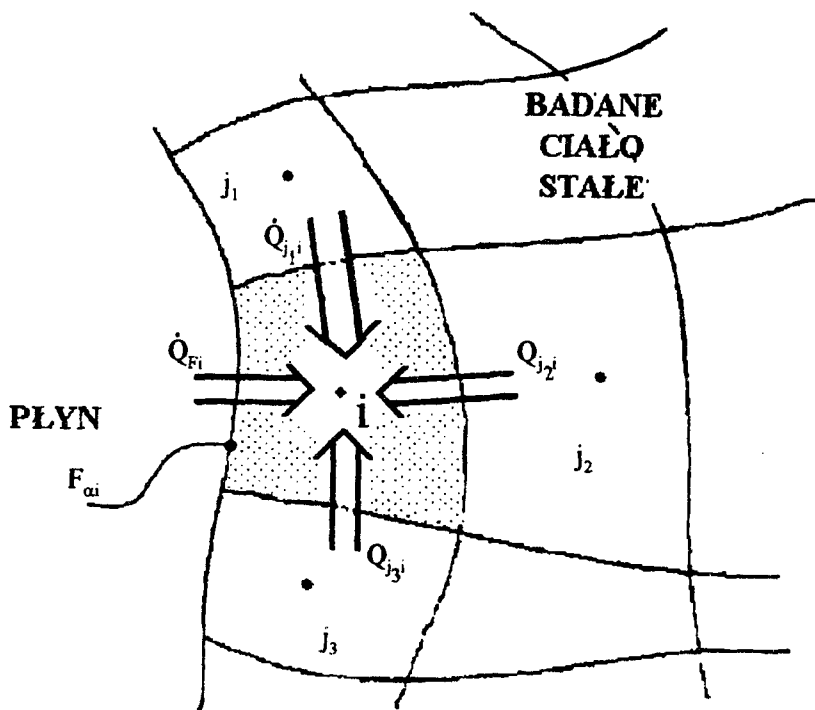
$$R_{iF} = \frac{L_{ip}}{\lambda_{ip} \cdot F_{ip}} + \frac{1}{\alpha_i + F_{\alpha i}}$$

- L_{ij} - odległość badanych węzłów,
- F_{ij} - średnie pole przekroju prostopadłego do odcinka L_{ij} w zespole elementów i oraz j ,
- λ_{ij} - średni współczynnik przejmowania ciepła między węzłami i oraz j ,
- L_{ip} - odległość węzła i od powierzchni ciała,
- F_{ip} - średnie pole przekroju prostopadłego do odcinka L_{ip} w i -tym elemencie różnicowym,
- λ_{ip} - średni współczynnik przewodzenia ciepła w kierunku prostopadłym do powierzchni ciała między i -tym węzłem a powierzchnią,
- α_i - współczynnik wnikania ciepła na zewnętrznej powierzchni badanego elementu,
- $F_{\alpha i}$ - pole zewnętrznej powierzchni elementu różnicowego, (patrz rys.1).

Po podstawieniu (3) (4) (5) do (2), otrzymuje się równanie bilansu cieplnego elementu "i"

$$\sum_j \frac{1}{R_{ij}} T_j + \frac{1}{R_{iF}} T_F - \left(\frac{1}{R_{iF}} + \sum_j \frac{1}{R_{ij}} \right) T_i + v_i q_{vi} + F_{\alpha i} q_{Fi} = v_i c_{pi} r_i \frac{\partial T_i}{\partial t} \quad (6)$$

Aby otrzymać równanie różnicowe przewodzenia ciepła dla stanu nieustalonego człon $\frac{dT_i}{dt}$, zastępuje się odpowiednim ilorazem różnicowym przednim, dającym postać równań dogodniejszą do rozwiązań komputerowych, szczególnie



Rys.1. Bilans ciepły elementu różnicowego

dla dużej ilości elementów różnicowych. Jako znane, przyjmujemy wartości temperatur T_0 na początku rozpatrywanego przedziału czasu t_0 . Przyjmując oznaczenia wg rysunku 2, możemy napisać:

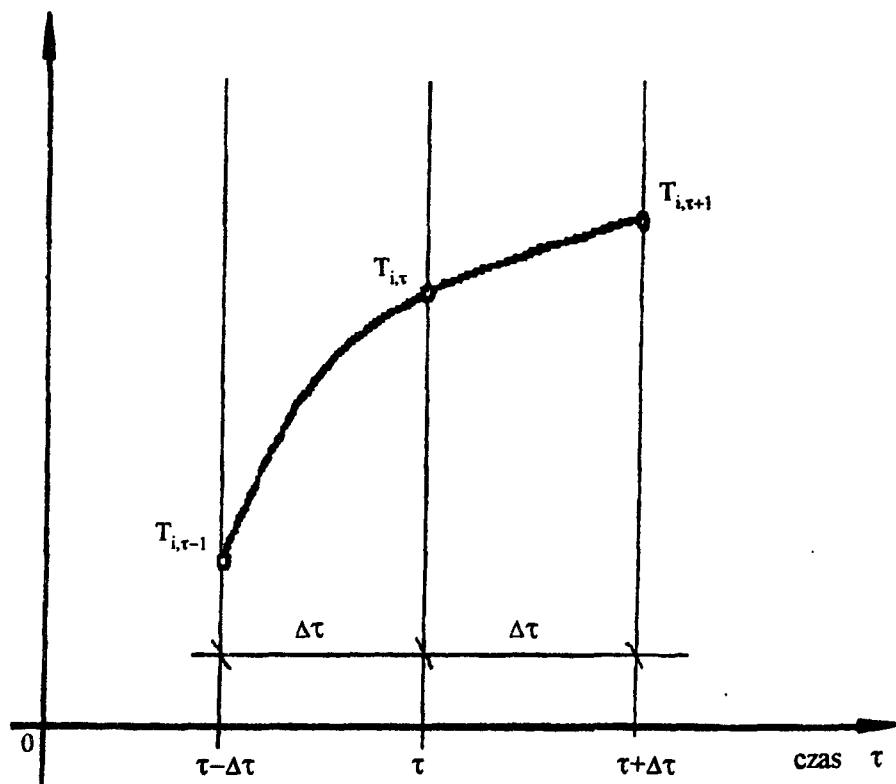
$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{T_{i,\tau+1} - T_{i\tau}}{\Delta\tau} \quad (7)$$

po uporządkowaniu otrzymamy:

$$T_{i,\tau+1} = T_{it} \left[1 - \frac{\Delta t}{v_i \rho_i c_{pi}} \left(\frac{1}{R_{iF}} + \sum_j \frac{1}{R_{ij}} \right) \right] + \frac{\tau}{v_i \rho_i c_{pi}} \left(\sum_j \frac{T_{jt\tau}}{R_{ij}} + \sum_j \frac{T_{Fit}}{R_{iF}} \right) + \frac{\Delta\tau}{\rho_i c_{pi}} \left(\dot{q}_{vit\tau} + \frac{F_{oi}}{v_i} \cdot \dot{q}_{Fit} \right) \quad (8)$$

Otrzymujemy wiele (i) pojedynczych równań liniowych z jedną niewiadomą. Nie trzeba więc przeprowadzać rozwiązywania dużego układu równań. Metoda ilorazu różnicowego pozwala na rozpatrywanie zjawisk 1,2,3-wymiarowych.

T temperatura



Rys.2. Schemat zmian temperatur przy niestalonym przewodzeniu ciepła

3. OPIS PROGRAMU

Dla praktycznego zastosowania metody ilorazu różnicowego należało wybrać sposób numerycznej reprezentacji geometrii badanego przedmiotu. Badane narzędzie dzięki osiowosymetryczności można sprowadzić do zagadnienia dwuwymiarowego. Obwodowe przepływy ciepła przyjęto równe zero. Do przedstawienia zarysu materiału i narzędzia przewidziano obszar 100 x 100 kwadratowych elementów różnicowych o stałym boku dx. Każdy element musi należeć do jednej z sześciu grup:

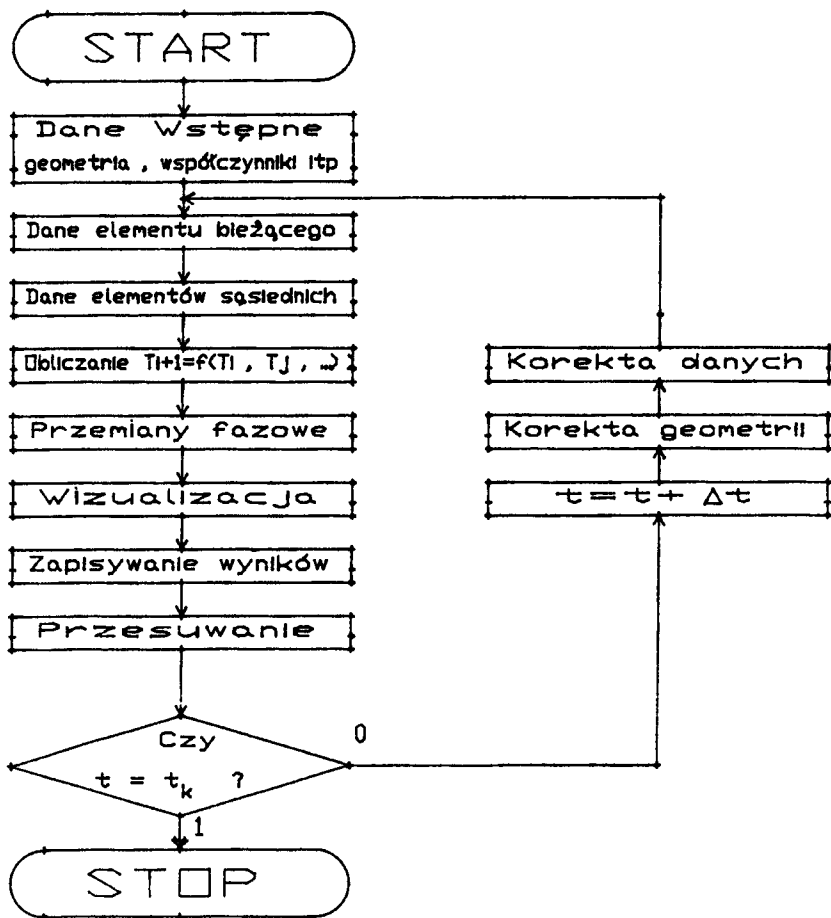
- G1 - płyn o temperaturze T_{g1} i współczynniku przejmowania ciepła α_1 , np. atmosfera,
- G2 - płyn o temperaturze T_{g2} i współczynniku przejmowania ciepła α_2 , np. płyn chłodzący,
- MAT1 - ciało stałe o temperaturze początkowej T_{m1} , współczynniku przewodzenia ciepła λ_1 i $c_p = C_{p1}$, np. stal,
- MAT2 - ciało stałe o temperaturze początkowej T_{m2} , współczynniku przewodzenia ciepła λ_2 i $c_p = C_{p2}$ np. żeliwo,
- Q1 - objętościowe źródło ciepła w MAT1 o wydajności RQ_1 , np. silne źródło ciepła w stali,
- Q2 - objętościowe źródło ciepła w MAT2 o wydajności RQ_2 , np. słabsze źródło ciepła w żeliwie.

Element taki odpowiada pod względem objętości, powierzchni każdego z boków i odpowiedniej części oporu cieplnego pierścieniowi o przekroju kwadratu mającego bok jednostkowy i średnicy odpowiedniej do jego położenia w obszarze 100×100 elementów. Otoczenie danego elementu jest rozpoznawane programowo, na podstawie analogicznego opisu elementów sąsiednich. Umożliwia to łatwe, mechaniczne definiowanie geometrii badanego przedmiotu. Nie zmieniając powiązań między elementami, należy tylko zdefiniować rodzaj elementu w danym oczku siatki (G1.G2 MAT1 ...). Jest to czynność prosta i nieabsorbująca. Niemożliwe stało się jednak definiowanie elementów większych w obszarach mniej nas interesujących, co może prowadzić do zwiększenia czasu obliczeń. Strata ta wydaje się być w dużym stopniu rekompensowana, dzięki oszczędności czasu podczas przygotowywania danych do obliczeń. Dla każdego elementu, w każdym przedziale czasu t jest rozwiązywane równanie (8). Po przebadaniu kolejnego przedziału czasu, następuje kontrola i ewentualnie korekta wartości λ_j , c_{pj} , α_j (np. jako funkcji T lub t). Symulować można również przemieszczanie się, wg założonego planu, nagrzanego lub chłodnego materiału wewnątrz badanego ciała. Możliwości tej nie daje znakomita większość dzisiejszych programów Metody Elementów Skończonych. Uwzględnia się zmiany c_{pj} i λ_j po 2 przemianach fazowych, np. ciepło właściwe przemiany $\alpha \rightarrow \gamma$ i topnienia. Starano się uzyskać elastyczną strukturę programu, np. 6 rodzajów materiału nie jest wartością graniczną. Przyrost czasu Δt , jednostkowy bok elementu, szybkość przesuwania się materiału, moc źródła ciepła, a nawet geometria badanego przedmiotu, mogą być zmieniane nie tylko przed uruchomieniem programu, ale i po każdym kroku czasu. Częstość zapisywania wyników może być zmieniana. Przy odpowiedniej ilości danych, można budować "film" obrazowo ukazujący przebieg zmian pola temperatur.

Program napisano w Turbo-Pascalu 6.0, na komputer IBM PC. Składa się z części liczącej i przedstawiającej wyniki w postaci graficznej. Schemat blokowy przedstawiony jest na rysunku 3.

Na IBM PC AT 12MHz, bez koprocatora arytmetycznego, przy $\Delta t = 0.005$ sek. czas obliczania 1 sekundy symulowanego procesu wynosi 1 godzinę. Użycie

80486/33 daje 8-krotne zwiększenie szybkości pracy. Całkowity czas symulacji nie jest ograniczony możliwościami programu. Pracuje on bez nadzoru, zapisując do późniejszej analizy zadane fragmenty wyników.

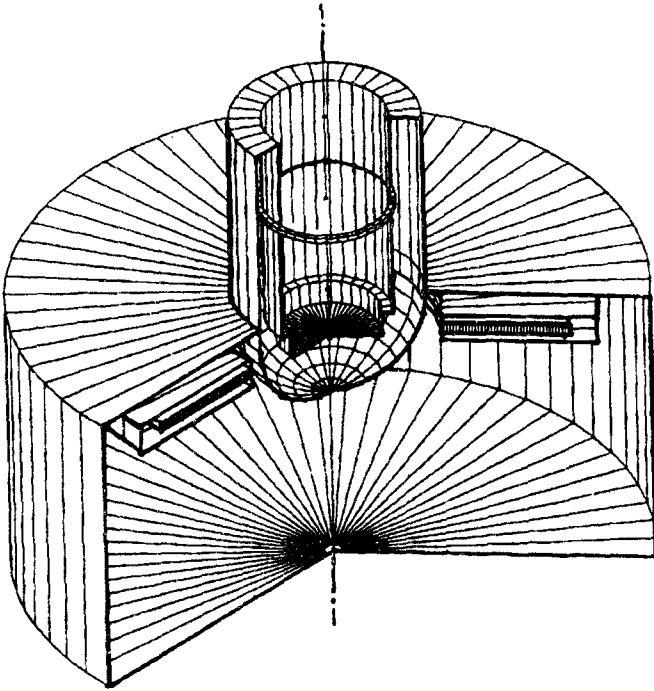


Rys.3. Schemat blokowy programu

4. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA

W przykładzie pokazano obliczenia dla tarcowego, kształtowego zamykania stalowej rury. Badano kolejne pola temperatur pierwszych 21 sek. procesu zamykania, w odstępach co 0.005 sek. . Było to wymuszone zachowaniem stabilności rozwiązania zachwianej silnym źródłem ciepła. Uwzględniono przemiany fazo-

we: $\alpha \rightarrow \gamma$ i topnienie oraz przesunięcie pola temperatur w wyniku przemieszczania się rury i jej nagrzanego, uplastycznionego materiału wewnątrz matrycy. Ciepło właściwe zmieniało się stosownie do zaistniałych przemian fazowych. Wartości α , λ itp. przyjęto za stałe. Na rysunkach podano zarys matrycy i rury (rys.4), wyniki obliczeń dla pojedynczego rozwiązania (rys.5), jego trójwymiarowy wykres (rys.6) i porównanie dwóch różniących się chłodzeniem rozwiązań (rys.7). Dokładniej ideę modelu przedstawiono na rysunku 8.



Rys.4. Wycinek badanego przedmiotu: matrycy i rury

Użyto następujących [3], [4] danych:

przyrost czasu: $\Delta t = 0.005$ sek.

bok elementu: $\Delta x = 0.001$ m

gęstość: $\rho = 7.800$ kg/m³

prędkość przesuwania się rury w narzędziu: $v_l = 0.001$ m/s

Ciepło właściwe: poniżej A1 : $c_{pi1} = 650$ J/kg · °C

powyżej A1 : $c_{pi2} = 725$ J/kg · °C

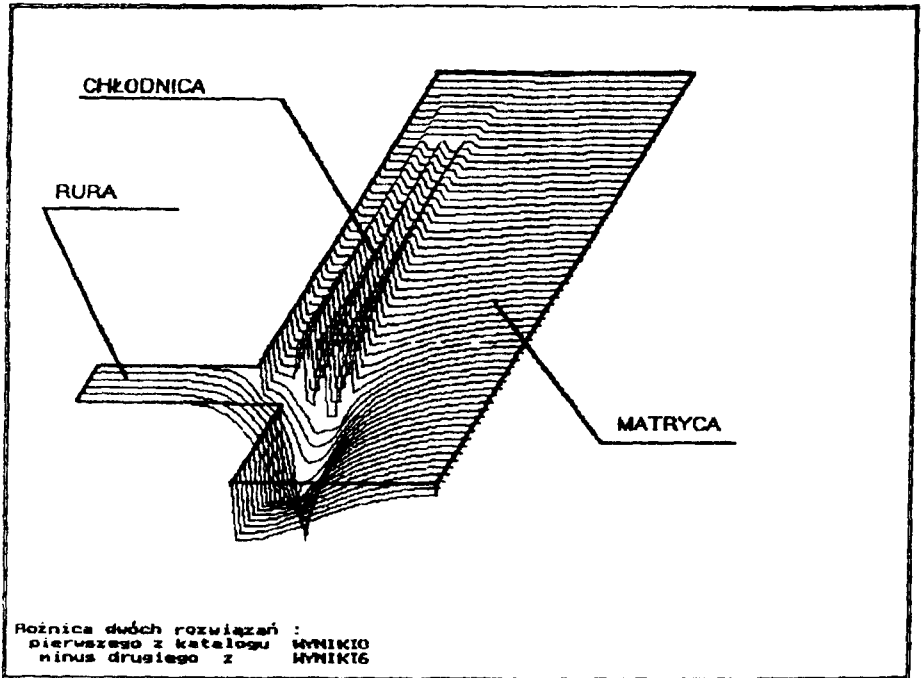
materiału stopionego: $c_{pi3} = 1000$ J/kg · °C

Temperatura przemiany A1 : 727 °C

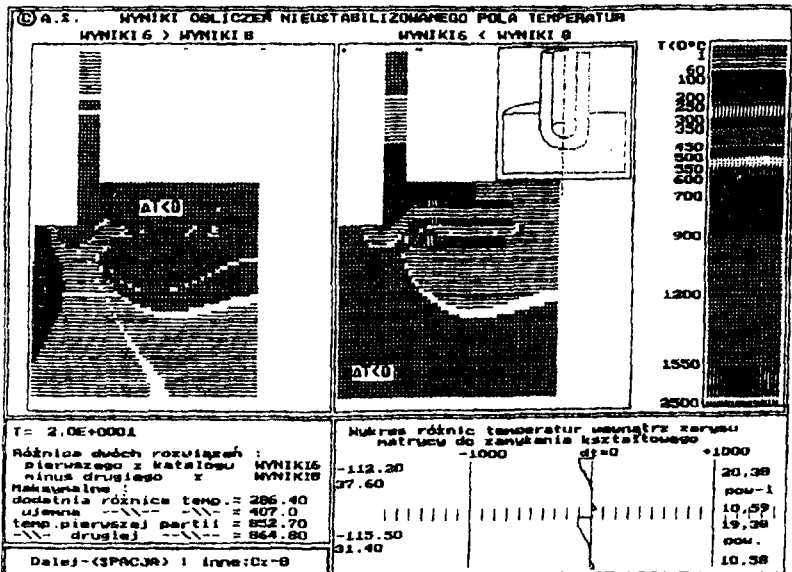
topnienia : 1148 °C

Ciepło przemiany A1 : $c_{pA1} = 30\,000$ J/kg

topnienia : $c_{pT} = 260\,000$ J/kg



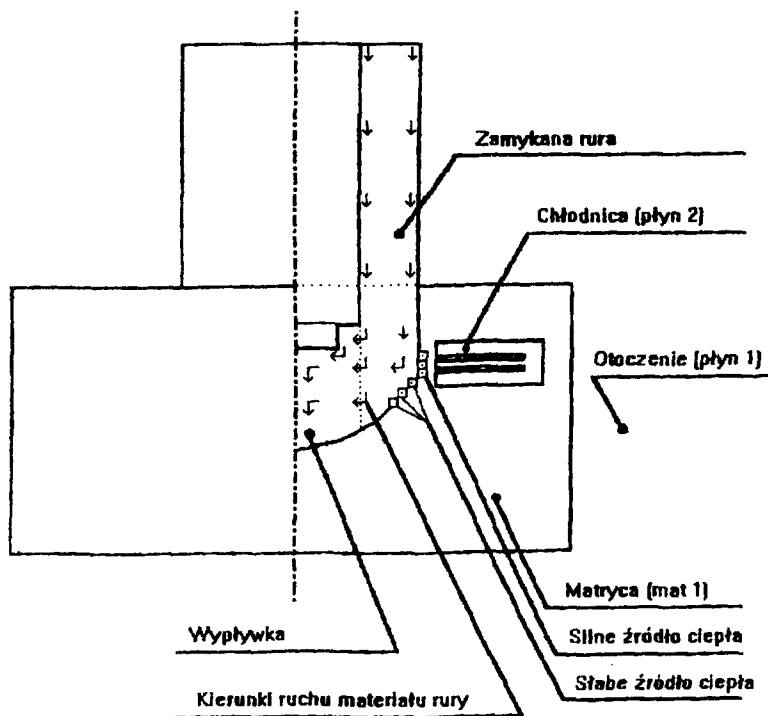
Rys.6. Trójwymiarowy obraz pola temperatur matrycy chłodzonej



Rys.7. Porównanie pola temperatur matrycy: chłodzonej i nie chłodzonej

5. UWAGI I WNIOSKI

1. Otrzymane rozkłady temperatur odpowiadają otrzymany z oceny zmian struktury wewnętrznej materiału matrycy. Dokładna weryfikacja eksperymentalna nie została jeszcze przeprowadzona.
2. Na wyniki obliczeń istotny wpływ mają parametry α_i , λ_i , c_{pi} , które były przyjęte szacunkowo lub wg [2], [3]. Dokładne parametry użytych materiałów należałoby jednak określić eksperymentalnie. Wydajność źródła ciepła określona z bilansu mocy zgrzewarki i wg [2] są zbieżne.
3. Badając układ do tarcowego zamykania rur stwierdzono, że intensywne chłodzenie, może obniżyć maksymalną temperaturę krytycznego obszaru narzędzia. Prowadzi to jednak do schłodzenia zamykanej rury, co może, ale nie musi, utrudniać uzyskanie poprawnego zamknięcia. Poszukiwanie odpowiedniej geometrii narzędzia i właściwego chłodziwa nie są zakończone.
4. Ze względu na długi czas obliczeń, program nie nadaje się do poszukiwania ustalonego pola temperatur.



Rys.8. Struktura modelu obliczeniowego

LITERATURA

- [1] Dymski S., Oleszycki H., Smarzyński S.: Badania nad kształtowanym tarcem czoła rury z zastosowaniem narzędzia z żeliwa chromowego. Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Wysokowydajne metody spawania i napawania, Sekcja Spawalnicza OW SIMP w Częstochowie, Częstochowa, listopad 1990, s. 51
- [2] Myśliwiec M.: Ciepłno-mechaniczne podstawy spawalnictwa, WNT, Warszawa 1972
- [3] Pudlik W.: Wymiana i wymienniki ciepła, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 1988
- [4] Szargut J.: Metody numeryczne w obliczeniach cieplnych pieców przemysłowych, Wydawnictwo Śląsk, 1977

NUMERICAL CALCULATION OF TRANSIENT
TEMPERATURE
FIELD IN AXISYMMETRIC ELEMENT USING THE FINITE
DIFFERENCES ELEMENTS METHOD

Summary

In this paper the finite differences program for IBM PC for transient heat transfer were described. This program give a possibility to create axisymmetric models with: convection, thermal conductivity, latent heat during phase transformations, distributed thermal loads and with moving parts. As exemple are calculated frictional closure of steel tube.

Anna Ławrynowicz
Dariusz Skibicki
Dariusz Boroński

HARP-KOMPUTEROWY SYSTEM WSPOMAGANIA HARMONOGRAMOWANIA PRODUKCJI

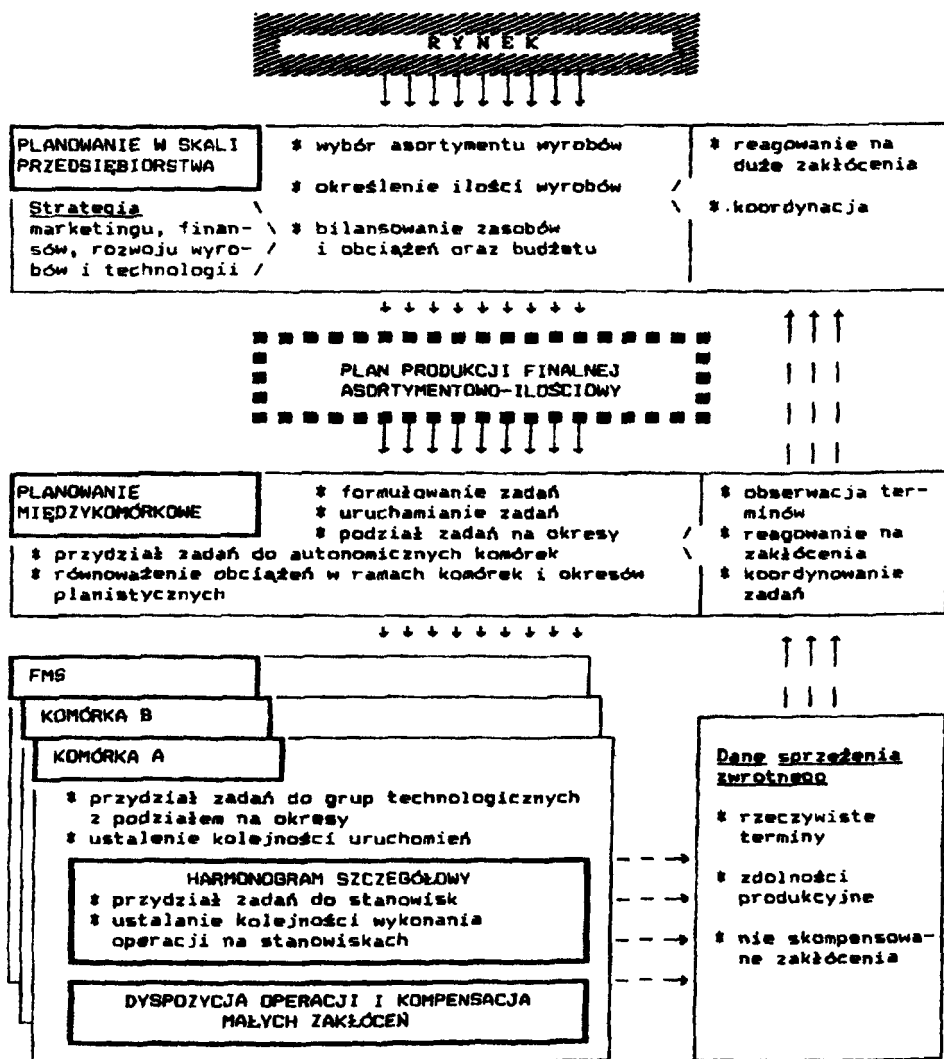
W artykule przeanalizowano problem zarządzania produkcją. Pokazano niektóre możliwości tworzenia oprogramowania aplikacyjnego z wykorzystaniem narzędzi programistycznych, używanych w sztucznej inteligencji i grafice komputerowej. Oprogramowany system wspomaga alokację i szeregowanie zadań w systemach o szybko zmiennym asortymencie produkcji.

1. WPROWADZENIE

Postęp w automatyzacji procesów technologicznych, kontroli i magazynowania oraz czynności technicznego przygotowania produkcji wymusza nowe koncepcje w zakresie planowania i sterowania przebiegiem produkcji. Koncepcje te powinny zmierzać w kierunku budowy takich systemów, w których decyzje podejmowane byłyby w bardzo krótkim czasie i jednocześnie optymalizowałyby przepływ produkcji, głównie ze względu na takie kryteria, jak dotrzymanie terminu zlecenia i pełne wykorzystanie zasobów. Do spełnienia tych wymogów konieczny jest wzrost udziału komputerów i ich urządzeń peryferyjnych we wspomaganie decyzji na wszystkich szczeblach zarządzania produkcją.

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Planowanie produkcji obejmuje na ogół definiowanie zadań produkcyjnych oraz generowanie dla nich wykonalnego harmonogramu. Definiowanie zadań produkcyjnych wyższego poziomu polega na ogół na określeniu wykazu przedmiotów do wytworzenia. Na niższym poziomie planowania następuje grupowanie zadań, mające na celu optymalizację wykorzystania zasobów produkcyjnych. Planowanie przebiegu produkcji ma więc charakter hierarchiczny.



Rys.1. Zarządzanie produkcją

Na rysunku 1 przedstawiono typowe etapy planowania przebiegu produkcji. Na najwyższym szczeblu planowania, w oparciu o zawarte bądź negocjowane kontrakty, a także potrzeby rynku, określone przez badania marketingowe, budowany jest plan produkcji. Plan ten określa strukturę asortymentowo-ilościową wyrobów finalnych do wykonania w danym okresie planistycznym. Plan produkcji bilansowany jest z dysponowanymi zasobami produkcyjnymi.

Pierwszy stopień dekompozycji planowania dokonuje rozbicia planu produkcji na zadania dla poszczególnych autonomicznych komórek produkcyjnych, proporcjonalnie do zdolności produkcyjnych ich wyposażenia oraz okresów planistycznych.

Najniższy szczebel planowania przebiegu produkcji to planowanie wewnątrzkomórkowe. Polega ono na rozbiciu planu pracy dla całej komórki produkcyjnej na zadania dla poszczególnych grup stanowisk (technologicznie zamiennych i następnie na zadania dla pojedynczych stanowisk). Rozdziału zadań dokonuje się w taki sposób, aby zapewnić maksymalne wykorzystanie maszyn i urządzeń. Po rozłożeniu zadań na grupy technologiczne stanowisk, należy określić przebieg procesu produkcyjnego, a więc wyznaczyć kolejność uruchomień poszczególnych wyrobów tak, żeby dotrzymać nałożonych terminów ich realizacji z jednej strony, a z drugiej utrzymać maksymalne wykorzystanie grup stanowisk.

Występujące na wszystkich szczeblach zarządzania bilansowanie zadań z możliwościami produkcyjnymi, jest jedną z najbardziej pracochłonnych czynności planowania. Wielokrotne bilansowanie odbywa się już podczas napływu zamówień. Wyniki tego bilansowania są podstawą szeregu decyzji, dotyczących m.in. przyjęcia lub odrzucenia zamówienia, zmiany wyposażenia, uruchomienia dodatkowej zmiany roboczej, zmiany struktury produkcyjnej itp. Zbilansowanie obciążeń stanowisk, z ich zdolnością produkcyjną na niższych szczeblach zarządzania, umożliwia podjęcie decyzji dotyczących alokacji produkcji. W pierwszym etapie usprawnienia czynności planistycznych powinny więc zmierzać w kierunku komputerowego wspomaganie bilansowania zadań z możliwościami produkcyjnymi. W następnym etapie należy rozwiązać problem harmonogramowania operacji, tj. przyporządkowania operacji do poszczególnych stanowisk oraz określenia kolejności ich wykonania z uwzględnieniem zależności czasowych.

Zagadnienia optymalizacji kolejności prac, zwane w badaniach operacyjnych zagadnieniami szeregowania, z uwagi na ich kombinatoryczny charakter trudny do analizy, nie znalazły w najogólniejszym ujęciu dokładnego rozwiązania [3,4,8,9]. Wobec takiego stanu, za zadawalające przyjmuje się rozwiązania suboptymalne, które wynikają z logicznie uzasadnionych reguł nadawania priorytetów poszczególnym wyrobom, względnie stanowiskom pracy [1,2,6,7]. Znanych jest wiele metod rozwiązywania omawianego problemu szeregowania prac [3,4,8,9]. Do stosowania w praktyce tych algorytmów zniechęca jednak fakt, że wobec zastosowania dużych uproszczeń, uzyskane wyniki udaje się łatwo poprawić przez praktyków, bez stosowania skomplikowanych reguł matematycznych. W wielu przypadkach zagadnienie szeregowania prac można przeanalizować graficznie przy pomocy wykresów Grantt'a [1,3,4]. Wykresy te stanowią wzorce operatywnego postępowania wykonawczego, według których ma być kontrolowany przebieg produkcji.

3. REALIZACJA PROGRAMOWA PLANOWANIA PRODUKCJI

Programy systemu wspomaganie harmonogramowania HARP zrealizowano na komputerze IBM AT 386, pod systemem operacyjnym DOS 5.0 (karta graficzna SVGA) z wykorzystaniem narzędzi programistycznych firmy Borland International Inc.

Pierwszy program napisano w języku Turbo Prolog 2.0 [5] i wspomaga on planistę w zadaniach:

- zakładania i utrzymywania baz danych,
- bilansowania pracochłonności ze zdolnością produkcyjną,
- edycji planów produkcyjnych dla komórek produkcyjnych,
- planowania prac dla grup stanowisk,
- typowania detalooperacji do uruchomienia,
- aktualizacji planów zadań i uruchomień.

Konwersacja między operatorem a komputerem odbywa się za pośrednictwem okienek dialogowych.

Prezentowany program umożliwia bieżącą aktualizację planów zadań i uruchomień, odpowiednio do napływu zadań. Konstrukcja programu, a w szczególności możliwości naliczania pracochłonności, umożliwia bilansowanie obciążeń ze zdolnością produkcyjną na wszystkich szczeblach zarządzania produkcją.

Komputerową realizację wymienionych czynności zapewnia struktura programowego systemu, którą tworzą: baza danych oraz baza wiedzy. Wszystkie operacje na bazach danych dokonywane są w pamięci operacyjnej za pomocą predykatów dynamicznej zmiany pamięci. Sumowanie pracochłonności realizowane jest z wykorzystaniem predykatu `findall`, który tworzy listę wszystkich rozwiązań zwracanych przez predykaty niedeterministyczne. Predykat ten ma następującą postać:

`findall (ZmiennaX, cel(ZmiennaX,...), Lista)`

i powoduje:

- wywołanie celu podanego jako drugi parametr,
- znalezienie wszystkich rozwiązań zmiennej wymienionej jako parametr pierwszy,
- utworzenie z tych rozwiązań listy, której nazwa jest podana jako parametr trzeci.

Przytoczony niżej fragment programu pokazuje użycie predykatu `findall`.

```
findall (Tw, detalo_oper(____, Tw, _), Lista),
sumaTw (Lista, Suma, N),
write (Suma).
sumaTw ([ ], 0, 0).
sumaTw ([H|T]), Suma, N) :-
sumaTw (T, Si, Ni),
Suma=H+Si,
N=Ni+i.
```

Wykazy uruchomień edytowane przez prologowy program, w oparciu o wskaźnik priorytetu będący miarą pilności wykonania detalooperacji, są podstawą budowy wykresów Gantt'a. Praktycznie posługiwanie się tymi wykresami natrafia często na wiele trudności. Wynika to zazwyczaj z dużej pracochłonności ich wykonania. Istotny jest zatem wybór techniki graficznej, która pozwalałaby dostatecznie często, szybko i poprawnie, przygotowywać kolejne wersje harmonogramów. Częstotliwość ich opracowania wynika z przyjętych okresów planistycznych oraz zakłóceń procesu produkcyjnego.

Technika komputerowa znacznie upraszcza i skraca czas wykonywania harmonogramów i może udostępniać różne postacie ich emisji. Wykresy mogą powstawać albo na ekranie monitora, albo na papierze za pomocą drukarki, plotera lub innych narzędzi. Możliwości komputerowej emisji rysunków pozwalają także na określenie odpowiedniej skali (rozmiarów) rysunku. W przypadku wykresów Gantt'a ma to istotne znaczenie. O skali wykresu decyduje ilość operacji zaplanowanych do wykonania w komórce produkcyjnej.

W systemie HARP do budowy harmonogramów wykorzystano możliwości graficzne języka Turbo Pascal 6.0. Zrealizowany program buduje harmonogram dla następująco określonych zadań. Komórka produkcyjna np. gniazdo obróbcze, ma m stanowisk roboczych, które realizują proces produkcyjny n różnych elementów. Poszczególne elementy lub ich serie przesyłane są pomiędzy stanowiskami w dowolnej kolejności. Należy ustalić kolejność wykonywania operacji na stanowiskach, z uwzględnieniem marszrut technologicznych poszczególnych elementów i zależności czasowych.

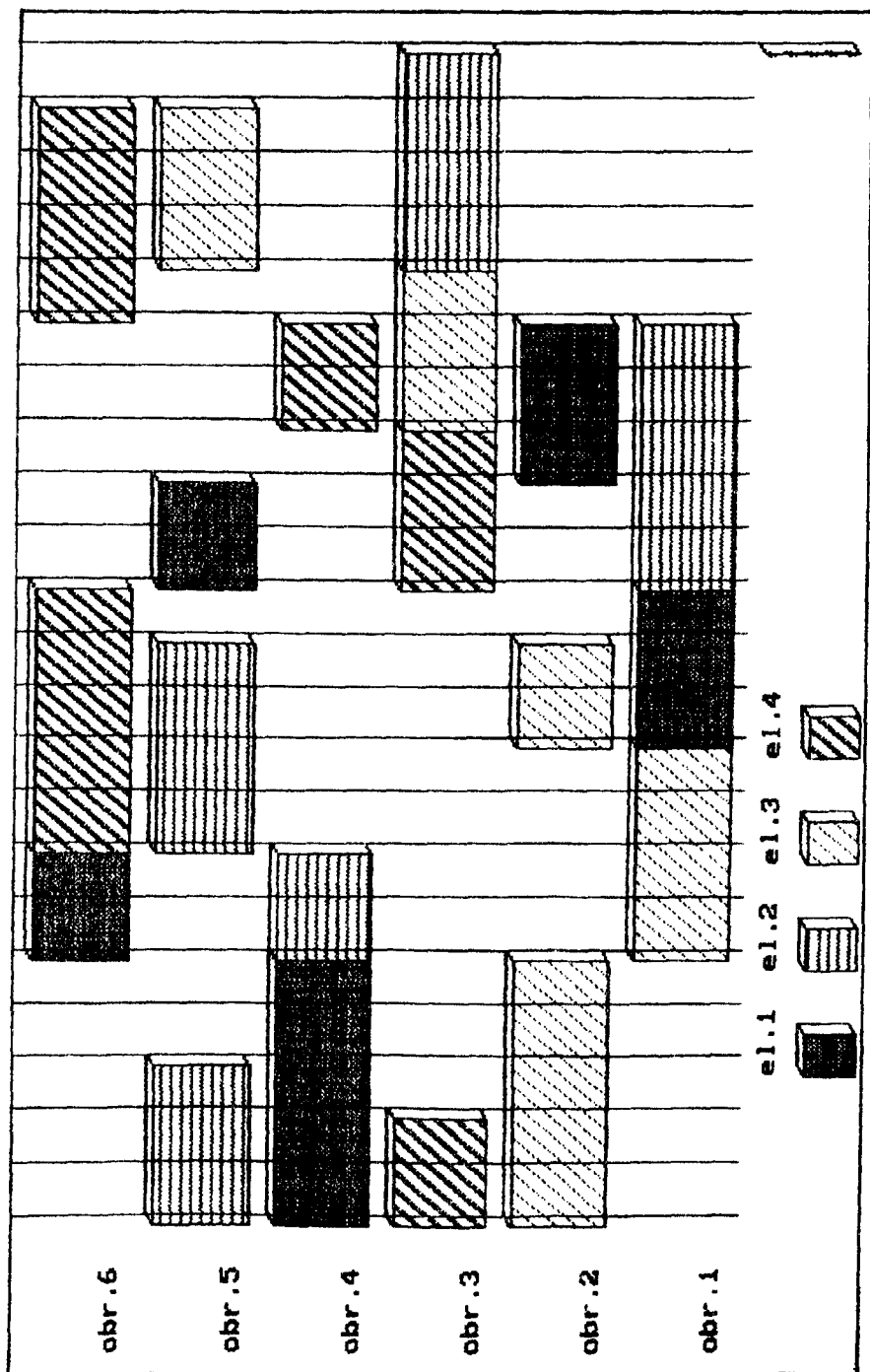
Opcje stawiane do dyspozycji obsługującego program pozwalają m.in. na:

- zakładanie i przechowywanie plików z danymi do symulacji,
- generowanie harmonogramów na ekranie oraz sporządzanie ich wydruków.

Wydruk 1 przedstawia harmonogram obróbki 4 elementów na 6 obrabiarkach, wygenerowany przez system HARP. Wykres ten sporządzono na siatce godzinowej. Na osi poziomej umieszczono skalę czasu, a stanowiska uszeregowano w osi pionowej.

Zaletą systemu HARP jest możliwość wdrożenia w przedsiębiorstwach o szybko zmiennym asortymencie produkcji, a także łatwość obsługi. Podczas pracy z tym systemem, wystarczy umiejętność posługiwania się systemem rozwijanych "menu".

Wydruk 1. Harmonogram



LITERATURA

- [1] Banaszak Z., Jampolski L.: Komputerowo wspomagane modelowanie elastycznych systemów produkcyjnych. WNT, Warszawa 1991
- [2] Bruno G., Elia A., Laface P.: A rule-based systems to schedule production. Artificial Intelligence Industry. Springer-Verlag, 1988
- [3] Doumeings G.: Methodology to Design CIM and of Manufacturing Units. Methods and Tools for CIM. Springer-Verlag, 1984
- [4] Grelak K.: Optymalizacja harmonogramów realizacji procesów produkcyjnych. Prace Naukowe Politechniki Lubelskiej 221, Lublin 1990
- [5] Lucas r.: Database applications using prolog. Ellis Horwood Limited, Chichester 1988
- [6] Ławrynowicz A.: Komputerowe wspomaganie planowania i sterowania produkcją. Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna pt. "Tendencje Rozwojowe w Technologii Maszyn". Zielona Góra 1990
- [7] Ławrynowicz A.: Sztuczna inteligencja w zarządzaniu produkcją. Przegląd Mechaniczny, 3, 1993
- [8] Santarek K., Strzelczak S.: Elastyczne systemy produkcyjne. WNT, Warszawa 1989
- [9] Zaborowski M.: Optymalizacja planów w systemach operatywnego sterowania produkcją. Archiwum Automatyki i Robotyki, 2, PWN, 1991

HARP - COMPUTER SCHEDULING SYSTEM

Summary

This paper studies problem of production management. Shows how to use com-puter tools for the distributes tasks by capabilities and solves scheduling problem of a workshop. It also shows how to implement them in Turbo Prolog 2.0 and Turbo Pascal 6.0.

Stanisław Dymski

WPLÝW AUSTENITYZOWANIA NA STRUKTURĘ I TWARDÓŚĆ NIESTOPOWEGO ŹELIWA SFEROIDALNEGO HARTOWANEGO Z PRZEMIANĄ IZOTERMICZNĄ

W artykule przedstawiono wyniki badań struktury i twardości niestopowego żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną.

Żeliwo austenitzowano w $T_{\gamma} = 850$ i 950°C , a przemianę izotermiczną zrealizowano w zakresie T_{pi} od 250 do 400°C i w czasie τ_{pi} od $0,25$ do 4 godz. Próbki żeliwa poddało badaniom: metalograficznym dyfrakcji rentgenowskiej i twardości. Stwierdzono, że podwyższenie temperatury austenitzowania T_{γ} żeliwa przyczynia się do zwiększenia udziału austenitu szczątkowego w jego osnowie. Stężenie węgla austenitu i ferrytu bainitycznego oraz ich stan fizyczny nie zależy od temperatury austenitzowania. Od tej temperatury nie zależy również twardość żeliwa.

1. WPROWADZENIE

Austenitzowanie przyczynia się do wzbogacenia austenitu w węgiel do wartości odpowiadającej linii E'S' w układzie Fe-C-Si. Węgiel, wzbogacający austenit, pochodzi z wydzielenia grafitowych.

Podwyższenie temperatury austenitzowania prowadzi do większego stężenia węgla w austenicie, w wyniku czego temperatura M_s jego przemiany w martenzyt obniża się [2,9].

Temperatura T_{γ} i czas τ_{γ} austenitzowania wpływają na jednorodność austenitu. Podwyższenie temperatury T_{γ} przyczynia się do poprawy jednorodności austenitu [7].

Przy hartowaniu z przemianą izotermiczną żeliwa sferoidalnego, temperatura austenitzowania decyduje o kinetyce przemiany izotermicznej austenitu w bainit [1,8,12].

Odlewy z żeliwa sferoidalnego, hartowane z przemianą izotermiczną, austenitzuje się w $T_{\gamma} = 850 - 940^{\circ}\text{C}$ [1]. Są również informacje, że temperatura ta zawiera się w przedziale od 830 do 900°C [13]. W miarę jej podwyższania zwiększa się twardość i hartowność żeliwa [1,11]. Istotnym czynnikiem, od którego zależą parametry austenitzowania, jest struktura żeliwa przed hartowaniem [1].

W wyniku hartowania z przemianą izotermiczną w odlewie zwykłą strukturą jest mieszanina bainitu, austenitu szczątkowego, czasem z obecnością martenzytu. Bainit jest strukturą dwufazową, składającą się z przesyconego węglem ferrytu i fazy węglkowej. Przesycenie ferrytu węglem w górnym bainicie nie występuje, natomiast w dolnym bainicie jego stężenie zwiększa się w miarę obniżania temperatury T_{pi} przemiany [8].

Temperatura T_g wpływa również na stężenie węgla w ferrycie bainitu dolnego [8].

W stali substruktura ferrytu bainitycznego zależy od temperatury przemiany izotermicznej T_{pi} . Gęstość dyslokacji w listwach ferrytycznych bainitu dolnego stali krzemowej oceniono na około 10^{10} cm^{-2} , a bainitu górnego - od 10^9 do 10^{10} cm^{-2} [3,4].

W żeliwie w obszarach ziarn eutektycznych otrzymuje się bardziej jednorodny austenit pod względem stężenia węgla, jeżeli austenitowanie odbywa się w wyższej temperaturze [8]. Takie oddziaływanie dotyczy też zmniejszenia w osnowie stopnia segregacji Si i Mn [10].

Mikrosegregacja pierwiastków nie sprzyja jednorodności struktury osnowy żeliwa po hartowaniu z przemianą izotermiczną. Na granicach ziarn eutektycznych koncentruje się mangan lub inne pierwiastki stopowe, ułatwiające tworzenie się tam obszarów martenzytyczno-austenitycznych, które wpływają na niektóre właściwości mechaniczne [5].

Właściwości plastyczne żeliwa sferoidalnego zależą od temperatury T_g , a w miarę jej podwyższania, zwiększa się udział austenitu wysokowęglowego przy końcu I stadium przemiany izotermicznej, co może się przyczynić do pogorszenia plastyczności [12].

Z przeglądu literatury wynika, że obok licznych prac dotyczących hartowania z przemianą izotermiczną żeliwa sferoidalnego, jako istotne dla przemiany izotermicznej, od wyniku której zależy z kolei jej kinetyka, zbyt mało uwagi poświęcono szczególnie ważnemu w tym zakresie czynnikowi, którym jest stan austenitu przed jego przemianą izotermiczną w bainit. Zagadnienie to jest o tyle ważne, że stan fizykochemiczny austenitu, może wpływać na kształtowanie struktury i właściwości mechanicznych żeliwa sferoidalnego po hartowaniu.

2. BADANIA WŁASNE

2.1. Materiał i zakres badań

Do niniejszych badań użyto niestopowego żeliwa sferoidalnego gatunku 550-03, wytopionego w przemysłowym żeliwiaku o wyłożeniu kwaśnym. Żeliwo po modyfikowaniu żelazokrzemem na rynnicy spustowej odlano do mokrych form piaskowych. Odlewy miały kształt wlewka Y2 (PN-92/H-83123). Jak wykazały badania składu chemicznego żeliwa, zawartość pierwiastków była następująca:

3,49% C, 2,37% Si, 0,33% Mn, 0,10% P i 0,007% S. Osnowa metalowa składała się z perlitu (60%) i ferrytu.

Dolne części wlewków Y2 poddano dwustopniowemu wyżarzaniu ferrytyzującemu w temperaturze 950°C w czasie 1 godz., po czym podchładzano z piecem do temperatury 710°C i wychładzano w czasie 6 godz., a do temperatury otoczenia dochładzano w piecu. Po wyżarzaniu osnowa metalowa składała się z ferrytu i śladowej ilości perlitu (około 2%). Badania dylatometryczne wykazały, że ferrytyczne żeliwo wykazuje następujące temperatury krytyczne: $Ac_{1,1} = 780^{\circ}\text{C}$, $Ac_{1,2} = 827^{\circ}\text{C}$, $Ar_{1,1} = 750^{\circ}\text{C}$ i $Ar_{1,2} = 705^{\circ}\text{C}$.

Próbki do badań struktury i twardości wycięto z dolnej części wlewków Y2. Próbki te miały kształt sześcianu o boku 10 mm.

Hartowanie z przemianą izotermiczną zrealizowano w sposób następujący:

- austenitzowanie w $T_g = 850$ i 950°C przy $\tau_g = 1$ godz.,
- przemiana izotermiczna w $T_{pi} = 250, 300, 350$ i 400°C w czasie $\tau_{pi} = 0,25; 0,5; 1; 2$ i 4 godz.

Austenitzowanie przeprowadzono w elektrycznym piecu komorowym typu KS 520/14. Do pieca ładowano pojemniki rurowe z próbkami. Pojemniki te dopełniano węglem drzewnym, po czym zaślepiano korkiem azbestowym. Wykonano to w celu zabezpieczenia próbek przed utlenieniem. Ładowanie pojemników odbyło się do nagrzanego pieca. Czas wygrzewania liczono od momentu, gdy pojemniki nagrzały się do nominalnej temperatury T_y . Po austenitzowaniu próbki z pojemników wrzucono do koszyków, wykonanych z siatki stalowej, które zanurzono w kąpieli solnej SO 140 w piecu wannowym typu PEW-1. Wahanie temperatury kąpieli solnej zawierało się w przedziale $\pm 5\text{K}$. Po określonym czasie wychładzania, założonym w programie badań, próbki wyjmowano z kąpieli solnej i dochładzano w oleju o temperaturze otoczenia.

Do porównań hartowano próbki żeliwa z temperatury 850 i 950°C, po wygrzewaniu w czasie 1 godz. Próbki po wyjęciu z pojemnika chłodzono w oleju.

Przed wykonaniem zglądów metalograficznych powierzchnie próbek szlifowano, w celu usunięcia ewentualnej warstwy odwęglonej. Zglądy próbek żeliwa poddawano obserwacji struktury na świetlnym mikroskopie metalograficznym.

Rentgenowską analizę strukturalną na dyfraktometrze DRON-1,5, przy stosowaniu promieniowania CoK_α o napięciu anody 38 kV, wykonywano na zglądach metalograficznych. Rentgenogramy rejestrowano w zakresie kątów 2θ od około 49 do około 55°. W tym zakresie kątowym rejestrowano linie interferencyjne fazy a - (110) i fazy g - (111).

Z badań dyfraktometrycznych wyznaczano:

- udział fazy g,
- stałe sieciowe austenitu i ferrytu bainitycznego,
- stężenie węgla w austenicie,
- szerokość połówkową linii $b_{1/2}$ faz a i g.

Do wyznaczenia tych wielkości wykorzystano wzory podane w pracy [6].

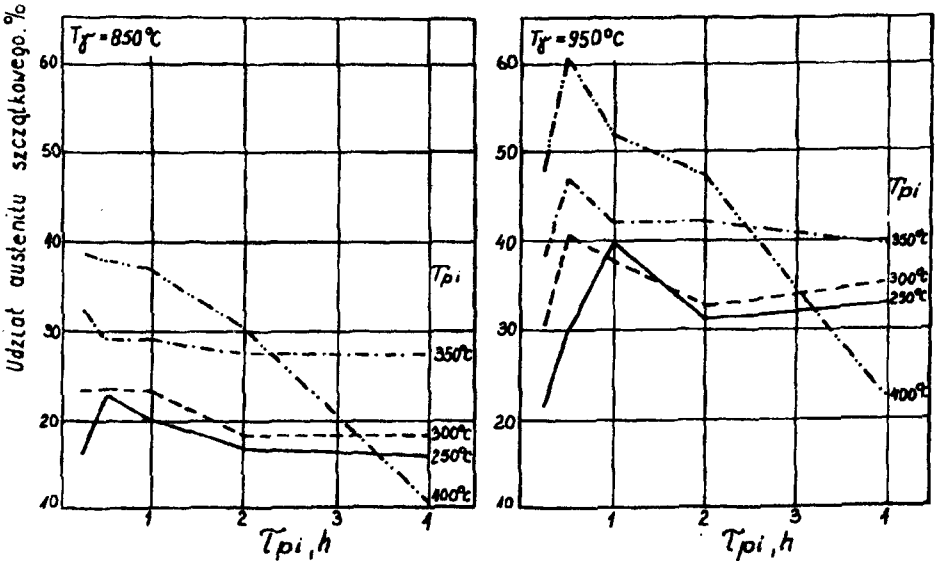
Pomiary twardości próbek żeliwa wykonywano według metody Vickersa, przy obciążeniu 294 N (30 kG). Na każdej próbce wykonywano trzy pomiary.

2.2. Wyniki badań i analiza

2.2.1. Struktura badań i analiza

W osnowie żeliwa sferoidalnego po hartowaniu z $T_y = 850$ i 950°C z przemianą izotermiczną w temperaturze $T_{pi} = 250$ i 300°C występował bainit dolny. W początkowym stadium przemiany, obok bainitu, znajdował się martenzyt. Przemiana w $350 - 400^\circ\text{C}$ spowodowała, że osnowa żeliwa składała się z górnego bainitu.

Obszary austenityczno-martenzytyczne w osnowie żeliwa, wynikające z oddziaływania mikrosegregacji, znajdowały się w strefach granicznych ziarn eutektycznych, lecz ich udział w strukturze był bardzo mały.



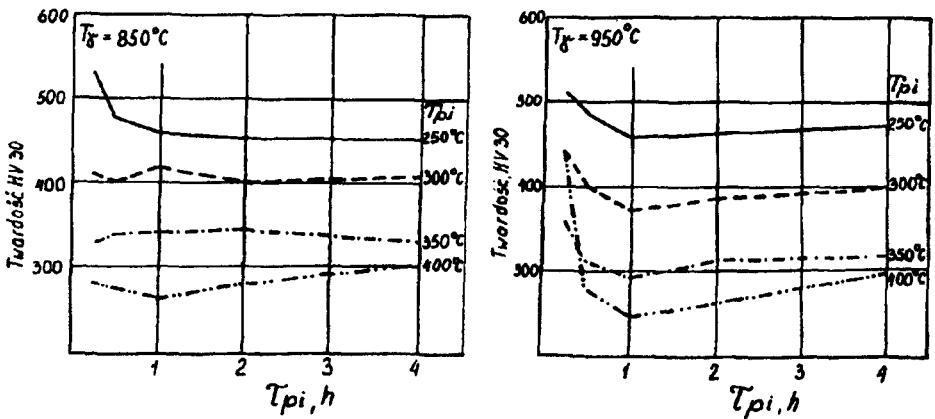
Rys. 1. Wpływ temperatury T_{pi} i czasu t_{pi} przemiany izotermicznej na udział austenitu szczątkowego w osnowie żeliwa sferoidalnego;
 T_g - temperatura austenitowania

Udział austenitu szczątkowego w osnowie żeliwa sferoidalnego austenitowanego w $T_g = 850$ i 950°C , wyznaczony metodą dyfrakcji rentgenowskiej przedstawiono na rysunku 1. Z danych tych wynika, że temperatura austenitowania oddziałuje na udział austenitu szczątkowego w osnowie żeliwa: zwiększa się on w miarę podwyższania temperatury T_g . Wpływa to również na

kinetykę izotermicznej przemiany przechłodzonego austenitu, gdyż wyższa temperatura austenitzowania zwiększa w nim zawartość węgla.

Próbki, hartowane w oleju, miały osnowę martenzytyczną.

Twardość próbek żeliwa sferoidalnego po hartowaniu z przemianą izotermiczną przedstawiono na rysunku 2. Próbki żeliwa o strukturze bainitu dolnego po przemianie przy $T_{pi} = 250^{\circ}\text{C}$, uzyskały największą twardość; najmniejszą twardość próbki z bainitem górnym (400°C). Z porównań przebiegu zmian twardości wynika, że temperatura T_{pi} i czas t_{pi} przemiany izotermicznej, wpływają na twardość żeliwa hartowanego. Temperatura austenitzowania T_g nie oddziałuje w sposób istotny na twardość żeliwa hartowanego z przemianą izotermiczną.



Rys. 2. Wpływ temperatury T_{pi} i czasu t_{pi} przemiany izotermicznej na twardość żeliwa sferoidalnego; T_g - temperatura austenitzowania

2.2.2. Stan fizykochemiczny faz struktury żeliwa

Wartości stałej sieciowej austenitu szczątkowego po hartowaniu z $T_g = 850$ i 950°C zestawiono w tabeli 1.

Związek między czasem przemiany izotermicznej a zawartością węgla w austenicie szczątkowym w poszczególnych temperaturach przemiany zestawiono w postaci wykresów (rys. 3).

Na rysunku 4 przedstawiono zmiany szerokości linii interferencyjnej austenitu szczątkowego pod wpływem czasu przemiany w poszczególnych jej temperaturach.

Stała sieciowa austenitu szczątkowego po hartowaniu martenzytycznym z $T_g = 850^{\circ}\text{C}$ wynosi $3,594 \times 10^{-1}$ nm, a z $T_g = 950^{\circ}\text{C}$ - $3,608 \times 10^{-1}$ nm.

Z analizy wartości stałej sieciowej austenitu szczątkowego wynika, że w miarę podwyższania temperatury T_{pi} i wydłużania czasu t_{pi} przemiany izotermicznej, zwiększa się parametr komórki elementarnej austenitu. Temperatura T_g

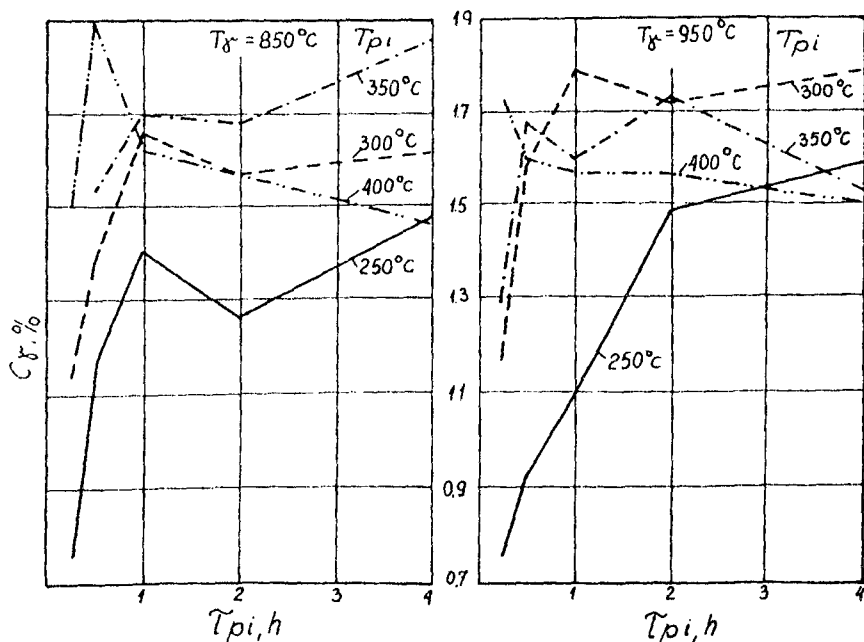
nie wywiera istotnego wpływu na ten parametr austenitu po przemianie izotermicznej.

Tabela 1

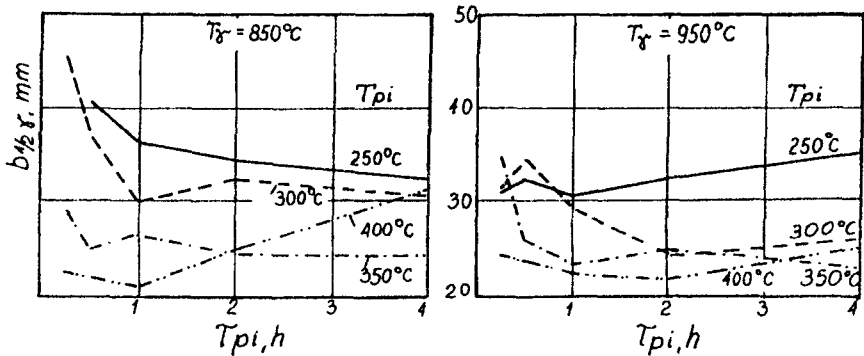
Stała sieciowa austenitu szczytkowego po hartowaniu z przemianą izotermiczną

| Temperatura przemiany $T_{pi}, ^\circ C$ | Stała sieciowa austenitu, $a \times 10^{-1}$ | | | | |
|--|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Czas przemiany - τ_{pi}, h | | | | |
| | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 | 4 |
| 250 | <u>3,598</u> | <u>3,611</u> | <u>3,619</u> | <u>3,614</u> | <u>3,622</u> |
| | 3,398 | 3,604 | 3,609 | 3,622 | 3,625 |
| 300 | <u>3,611</u> | <u>3,619</u> | <u>3,628</u> | <u>3,625</u> | <u>3,627</u> |
| | 3,612 | 3,625 | 3,632 | 3,630 | 3,632 |
| 350 | <u>3,624</u> | <u>3,624</u> | <u>3,629</u> | <u>3,628</u> | <u>3,635</u> |
| | 3,616 | 3,628 | 3,626 | 3,630 | 3,624 |
| 400 | <u>3,622</u> | <u>3,636</u> | <u>3,627</u> | <u>3,645</u> | <u>3,621</u> |
| | 3,630 | 3,626 | 3,625 | 3,625 | 3,622 |

Zawartość węgla w austenicie C_γ zmienia się identycznie jak jego parametr sieci (rys.3).



Rys.3. Wpływ temperatury T_{pi} i czasu τ_{pi} przemiany izotermicznej na zawartość węgla w austenicie szczytkowym zeliwa sferoidalnego C_γ, T_γ - temperatura austenitizowania



Rys. 4. Wpływ temperatury T_{pi} i czasu τ_{pi} przemiany izotermicznej na szerokość linii interferencyjnej austenitu (111); T_τ - temperatura austenitowania

Przedstawiona na rysunku 4 szerokość linii interferencyjnej austenitu, po przemianie izotermicznej w różnych warunkach hartowania, wskazuje na to, że w miarę podwyższania temperatury, a także w miarę wydłużania czasu przemiany, zmniejsza się szerokość połówkowa linii dyfrakcyjnej. Te zmiany zachodzą, gdy zwiększają się rozmiary ziarna austenitu, zmniejsza się ilość defektów sieciowych i poprawia jednorodność roztworu.

Po hartowaniu z $T_\gamma = 850^\circ\text{C}$ i po przemianie w $T_{pi} = 400^\circ\text{C}$ w czasie $\tau_{pi} = 2 - 4$ godz. szerokość - $b_{1/2\gamma}$ stanowi wyjątek, gdyż jej wartość zwiększa się, co może się wiązać, między innymi z naprężeniami wewnętrznymi wskutek wydzielania się węgliką z wysokowęglowego austenitu, ulegającego rozpadowi na ferryt i fazę węglkową przy dużych wartościach τ_{pi} .

Porównanie wykresów na rysunku 4 wskazuje, że temperatura T_γ nie wywiera istotnego oddziaływania na profil linii dyfrakcyjnej w poszczególnych wartościach T_{pi} i τ_{pi} , poza jednym wyjątkiem, o którym wcześniej wspomniano.

W tabeli 2 zestawiono wartości stałej sieciowej ferrytu bainitycznego, wyznaczone metodami dyfrakcyjnymi.

Szerokość połówkową $b_{1/2a}$ w zależności od parametrów przemiany izotermicznej zestawiono w postaci wykresów (rys.5).

Z badań tych wynika, że różnice parametrów sieci ferrytu są widoczne. Po hartowaniu z $T_\gamma = 850^\circ\text{C}$ i po przemianie w $T_{pi} = 250 - 400^\circ\text{C}$ w czasie τ_{pi} do 1 godz. parametr zwiększa się, z wyjątkiem przypadku $T_{pi} = 400^\circ\text{C}$ i $\tau_{pi} = 1$ godz., po czym, przy $\tau_{pi} = 2$ godz. maleje; przedłużenie czasu do $\tau_{pi} = 4$ godz. wywołuje ponowne jego zwiększenie (tab.2). Wpływ T_{pi} na parametr ferrytu jest trudny do określenia. Podobne stwierdzenie należy wyrazić w stosunku do wpływu parametrów przemiany izotermicznej w warunkach $T_\gamma = 950^\circ\text{C}$.

Z analizy wyników trudno jest również określić wpływ temperatury austenitowania na ten parametr ferrytu bainitycznego.

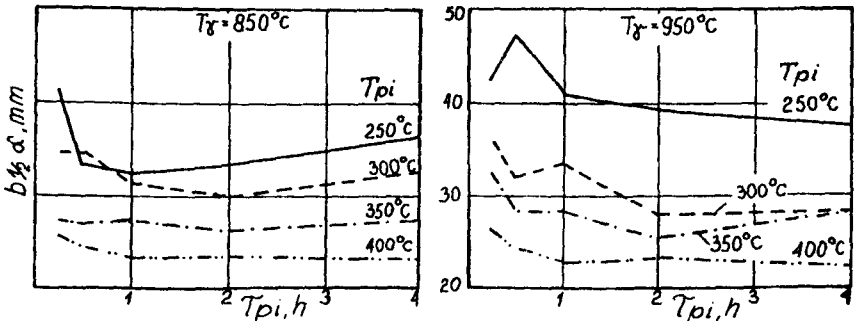
Stała sieciowa ferrytu informuje o stężeniu w nim węgla i w miarę obniżania temperatury T_{pi} , w przeważających przypadkach, jego zawartość się obniża (tab.2).

Tabela 2

Stała sieciowa ferrytu bainitycznego po hartowaniu z przemianą izotemiczną

| Temperatura przemiany - T_{pi} °C | Stała sieciowa ferrytu bainit, $a \times 10^{-1} \text{ nm}^*$ | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|
| | Czas przemiany - τ_{pi} , h | | | | |
| | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 | 4 |
| 250 | 2,875 | 2,862 | 2,868 | 2,860 | 2,864 |
| | 2,862 | 2,863 | 2,862 | 2,862 | 2,863 |
| 300 | 2,856 | 2,859 | 2,866 | 2,863 | 2,867 |
| | 2,858 | 2,872 | 2,864 | 2,864 | 2,866 |
| 350 | 2,859 | 2,860 | 2,864 | 2,863 | 2,867 |
| | 2,863 | 2,863 | 2,860 | 2,863 | 2,866 |
| 400 | 2,860 | 2,869 | 2,864 | 2,861 | 2,862 |
| | 2,868 | 2,864 | 2,861 | 2,866 | 2,867 |

* wartości podane w liczniku dotyczą temperatury $T_{\gamma} = 850^{\circ}\text{C}$, a w mianowniku - $T_{\gamma} = 950^{\circ}\text{C}$



Rys. 5. Wpływ temperatury T_{pi} i czasu τ_{pi} przemiany izotermicznej na szerokość linii interferencyjnej ferrytu bainitycznego (110); T_{γ} - temperatura austenitowania

Z wykresów na rysunku 5 wynika, że na szerokość połówkową linii dyfrakcyjnej ferrytu bainitycznego, wpływa temperatura T_{pi} , a w mniejszym stopniu τ_{pi} . Następuje zmniejszenie szerokości skutkiem doskonalenia się struktury krystalicznej fazy, a przy podwyższaniu T_{pi} . Na stan fizyczny tej fazy nie oddziałuje T_{γ} przy przemianie w zakresie bainitu górnego (350 - 400°C). Wpływ ten jest widoczny w zakresie bainitu dolnego (250 - 300°C), a zwłaszcza przy $T_{pi} = 250^{\circ}\text{C}$ i można go tłumaczyć wzrostem naprężeń wewnętrznych wskutek wydzielania węglików, przemiany bezdyfuzyjnej ferrytu bainitycznego i powstania martenzytu.

3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania i analiza ich wyników skłaniają do przedstawienia następujących stwierdzeń:

1. Temperatura austenitzowania T_γ decyduje o udziale austenitu szczątkowego w osnowie niestopowego żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną.
2. Nie zaobserwowano istotnego wpływu temperatury austenitzowania T_γ na twardość niestopowego żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną.
3. W zakresie przemiany izotermicznej przeschłodzonego austenitu w bainit dolny i górny (250 - 400°C), zachodzi wzbogacenie austenitu szczątkowego w węgiel, zależnie od temperatury i czasu tej przemiany. Oddziaływanie temperatury austenitzowania T_g na wzbogacenie austenitu w węgiel, podczas samej przemiany izotermicznej, nie jest zauważalne. Również temperatura T_g nie wpływa istotnie na stan fizyczny struktury krystalicznej fazy g.
4. Wpływ temperatury austenitzowania T_g na parametr sieci ferrytu bainitycznego jest niezdecydowany. Brak jest również istotnego wpływu tej temperatury na substrukturę fazy a.

LITERATURA

- [1] Dodd J.: Zwischenstufenvergütung von Gusseisen mit Kugelgraphit. Giesserei, t. 65, nr 4s.73, 1978
- [2] Dorazil E., Barta B., Münsterova E.: Mechanische Eigenschaften von zwischenstufenversgütetem unlegierten Gusseisen mit Kugelgraphit. Giesser-eitechnik, t. 19, nr 13, s.79, 1973
- [3] Dorazil E., Svajcar J.: Studium morfologie horniho bainitu u kremikove oceli. Kovove materialy, t. 1, nr 16, s.27, 1978
- [4] Dorazil E., Svajcar J.: Studium morfologie dolniho bainitu u kremikove oceli. Kovove materialy, t. 1, nr 17, s.28, 1979
- [5] Dorazil E., Crhak J., Barta B., Huvar A.: Vysokopevna bainiticka tvarna litina legovana manganem a medi. Slevarenstvi, t. 27, nr 2, s.49, 1979
- [6] Dymski S.: Wpływ hartowania z przemianą izotermiczną i odpuszczania na strukturę i własności mechaniczne żeliwa sferoidalnego. IMP, Warszawa, 1983 (praca niepublikowana)
- [7] Harris D.A., Maitland R.J.: The product of the isothermal decomposition of austenite in a spheroidol graphite cast iron. Iron and Steel, 2, s.53, 1970
- [8] Harris D.A., Maitland R.J.: The effect of austenitizing conditions on the isothermal formation of lower bainite in a spheroidol graphite cast iron. Iron and Steel, 10, s.325, 1970
- [9] Oleszycki H., Dymski S.: Wpływ warunków austenitzowania na zmiany objętościowe i temperaturę M_s niestopowego żeliwa sferoidalnego. MiOC, 59-60, s.10, 1982

- [10] Oleszycki H.: Rola zabiegów cieplnych w kształtowaniu struktury perlitycznej i własności mechanicznych niestopowego żeliwa sferoidalnego. Rozprawy nr 7, ATR Bydgoszcz, 1982
- [11] Pachowski M.: Hartowanie bainitycznego żeliwa sferoidalnego. MiOc, 43, s.16, 1980
- [12] Podrzucki C.: Żeliwo, struktura, właściwości, zastosowanie. T. I i II, Wyd. ZG STOP, Kraków, 1991
- [13] Röhrig K.: Zwischenstufensvergütetes Gusseisen mit Kugelgraphit. Giesserei-Prax, 1-2, s.1, 1983

THE INFLUENCE OF AUSTENITIZING ON THE STRUCTURE AND HARDNESS OF UNALLOYED AUSTEMPERED DUCTILE IRON

Summary

Results of a study of the structure and hardness of alloy ductile cast iron hardened with isothermal process were discussed in the article. The cast iron was austenitized in the temperature of $T_g = 850$ i 950°C and the isothermal process was performed within the range of T_A from 250 to 400°C over the period of τ_A from $0,25$ to 4 hours. The cast iron samples underwent X-ray diffraction and hardness metallographic examination. It was observed that the rise of austenization temperature T_g of the cast iron results in the increase of the portion of retained austenite in its martix. It results from the study that neither the concentration of carbon austenite and bainite ferrite as well as their physical state nor the hardness of the cast iron depend on that temperature.

Stanisław Dymski

WPLÝW HARTOWANIA Z PRZEMIANY ¼ZOTERMICZN ¼ I ODPUSZCZANIA NA WŁ ¼CIVOŚCI MECHANICZNE NIESTOPOWEGO ŹELIWA SFEROIDALNEGO

Badano wplyw parametrów hartowania z przemian ¼ izotermiczn ¼ i odpuszczania na wλ ¼ciwości mechaniczne niestopowego Źeliwa sferoidalnego.

Stwierdzono, Źe odpuszczanie korzystnie wplywa na wλ ¼ciwości mechaniczne Źeliwa. Wλ ¼ciwości wytrzymał ¼ciowe i plastyczne oraz udarnoś ¼ Źeliwa zwi ¼kszaj ¼ si ¼, a jego twardoś ¼ spada.

Niejednorodnoś ¼ osnowy metalowej odgrywa istotn ¼ rol ¼ w kształtowaniu: wytrzymał ¼ci, plastyczn ¼ci i udarn ¼ci Źeliwa sferoidalnego.

1. WPROWADZENIE

Źeliwo sferoidalne hartowane z przemian ¼ izotermiczn ¼ (ADI)* zaliczane jest do tworzyw odlewniczych, którego wλ ¼ciwości wytrzymał ¼ciowe s ¼ bardzo wysokie, a wλ ¼ciwości plastyczne zadowalaj ¼ce, a nawet dobre. W krajach o wysokim stopniu uprzemysłowienia, Źeliwo to stosuje si ¼ z duŹym powodzeniem w przemyśle maszynowym i motoryzacyjnym na bardzo odpowiedzialne cz ¼ści maszyn [4,10,16,18,19,24].

Osnowa metalowa Źeliwa sferoidalnego hartowanego z przemian ¼ izotermiczn ¼ skł ¼da si ¼ z mieszaniny ferrytu bainitycznego z austenitem szcz ¼tkowym i ewentualnie martenzytu. Umocnienie bainitu w stali wynika z rozdrobnienia ziarn ferrytu bainitycznego, duŹej dyspersji w ¼glików, duŹej g ¼stości dyslokacji i utwardzenia roztworu.

Analiza literatury technicznej, dotycz ¼cej wλ ¼ciwości mechanicznych Źeliwa sferoidalnego po hartowaniu z przemian ¼ izotermiczn ¼ w zakresie dolnego i g ¼rnego bainitu, pozwala stwierdzić, Źe wλ ¼ciwości wytrzymał ¼ciowe i plastyczne oraz udarnoś ¼ i twardoś ¼, zaleŹ ¼ od parametrów hartowania i skł ¼adu chemicznego Źeliwa.

*W publikacjach zagranicznych Źeliwo hartowane z przemian ¼ izotermiczn ¼ określa si ¼ w skr ¼cie ADI (austempered ductile iron)

Temperatura austenitzowania oddziałuje na właściwości mechaniczne żeliwa. Żeliwo uzyskuje najmniejsze wydłużenie i wytrzymałość po hartowaniu z temperatury 1000°C [5].

Właściwości mechaniczne niestopowego i niskostopowego żeliwa sferoidalnego po hartowaniu z przemianą izotermiczną stanowiły zainteresowanie autorów publikacji [3,4,16-18,21-23].

E. Dorazil i współautorzy [5,6-9] przeprowadzili badania żeliwa niestopowego i żeliwa z różną zawartością Si oraz niskostopowego z udziałem Mn i Cu oraz Ni, Mo i Cu.

J.E. Bevan i W.G. Scholz [2] również interesowali się wpływem Mn i Mo oraz Cu.

K. Herfurth i N. Ketscher [12] przedstawili wpływ różnych wariantów obróbczych na właściwości mechaniczne. Z kolei K. Herfurth [13-15] przeprowadził badania na niestopowym żeliwie sferoidalnym GGG-60 (gatunek 600-3 wg PN-92/H-83123), wytopionym w warunkach przemysłowych.

J. Stec i J. Piaskowski [26] przedstawili interesujące badania niestopowego żeliwa sferoidalnego, wytopionego w piecu elektrycznym ze złomu stalowego (stal N12E). M. Pachowski [21] wykonał badania również na żeliwie wytopionym w piecu elektrycznym, w odlewni przemysłowej.

Udarność niestopowego żeliwa sferoidalnego była przedmiotem badania R. Voigta [27].

Analiza wyników badań pozwala stwierdzić, że wysokie właściwości wytrzymałościowe ($R_m = 1200 - 1600$ MPa) i dostateczne właściwości plastyczne ($A_5 = 1 - 6\%$), osiągnęło żeliwo o osnowie bainitu dolnego. Dobre właściwości plastyczne ($A_5 = 6 - 12\%$) oraz wytrzymałość na rozciąganie w granicach 800 - 1000 MPa uzyskało żeliwo z bainitem górnym w osnowie.

Optymalne właściwości mechaniczne żeliwo sferoidalne - po hartowaniu z przemianą izotermiczną - osiąga wtedy, gdy w osnowie znajduje się od 60 do 80% ferrytu bainitycznego [5]. Podobne stwierdzenie prezentuje K. Albrecht i współautorzy [1], w odniesieniu do wałów korbowych z żeliwa sferoidalnego, w którym osnowa zawiera 50% ferrytu bainitycznego i do 40% austenitu szczątkowego. Innym przykładem osnowy bainityczno-austenitycznej (20 - 50%) żeliwa sferoidalnego jest niskostopowe żeliwo "Kymenite", produkowane w Finlandii [16].

Badania zmęczeniowe żeliwa sferoidalnego wykazały, że największą wytrzymałość, wykazało żeliwo z osnową bainityczną z dużą zawartością austenitu szczątkowego [5]. Z taką osnową jest związana również wysoka udarność [27].

Praktyczne wykorzystanie znajduje hartowane żeliwo sferoidalne wtedy, gdy w jego strukturze znajduje się dostateczna ilość austenitu szczątkowego, która gwarantuje uzyskanie maksymalnego wydłużenia. Osnowa z samym tylko ferrytem bainitycznym nie sprzyja korzystnej kombinacji właściwości mechanicznych żeliwa [5].

Na właściwości mechaniczne ($R_{0,2}$, R_m , A_5 i K_C) żeliwa sferoidalnego oddziałuje jego skład chemiczny. Wyższe właściwości plastyczne żeliwa przypisuje się niklowi i miedzi nawet wtedy, gdy zawiera ono małe ilości manganu i molibdenu [2,4,5,9,10,20].

Oddziaływanie manganu i molibdenu przyczynia się do obniżenia właściwości wytrzymałościowych i plastycznych oraz udarności. Dlatego gwarancją dobrych właściwości żeliwa jest zawartość Mn lub Mo poniżej 0,3% [1,2,4,5,8,9,20]. Mangan i molibden sprzyjają mikrosegregacji w żelowie, co oczywiście wpływa na wartości niektórych właściwości mechanicznych.

Na ogół po hartowaniu z przemianą izotermiczną nie wykonuje się operacji odpuszczania. Jednakże stopowe żeliwo sferoidalne o osnowie bainitycznej po odlaniu, odpuszcza się w temperaturze 315°C, co podnosi umowną granicę plastyczności o około 30%, bez zmiany właściwości plastycznych [25]. G.J. Cox [3] informuje również o korzystnym wpływie odpuszczania na właściwości mechaniczne. We wcześniejszych badaniach własnych, zaobserwowano pozytywne efekty odpuszczania, zwiększającego R_m i K_C .

T. Podrabsky i współautorzy [23] stwierdzają, że przemiana austenitu szcążkowego przy odpuszczaniu żeliwa, wywołuje zmiany jego właściwości mechanicznych.

W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie wykorzystaniem żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną. W krajowym przemyśle żeliwo sferoidalne wytapia się także w żeliwiakach. Stąd też wypływa cel niniejszych badań, aby do nich wykorzystać żeliwo, wytopione w przemysłowym żeliwiaku.

2. BADANIA WŁASNE

Niestopowe żeliwo sferoidalne zostało wytopione w przemysłowym żeliwiaku kwaśnym z gorącym dmuchem. Proces sferoidyzacji żeliwa przeprowadzono stopem magnezowym ML5, wprowadzonym w postaci prętów do zbiornika żeliwiaka. Na rynnice spustowej ciekły metal modyfikowano żelazokrzemem. Analiza składu chemicznego żeliwa wykazała następujące zawartości pierwiastków: 3,18% C, 2,69% Si, 0,84% Mn, 0,10% P i 0,008% S. Żeliwo odlano do wilgotnych form piaskowych o kształcie klinów YII (PN-92/H-83123).

Badania dylatometryczne wykazały, że żeliwo posiada następujące temperatury krytyczne: $AP_{C1} = 828^\circ\text{C}$, $AK_{C1} = 886^\circ\text{C}$, $AP_{r1} = 797^\circ\text{C}$, $AK_{r1} = 730^\circ\text{C}$ i $T_{gr} = 727^\circ\text{C}$ (temperatura początku grafityzacji cementytu eutektoidalnego).

W próbie rozciągania, udarności i twardości określono następujące właściwości mechaniczne: $R_{0,2} = 433$ MPa, $R_m = 550$ MPa, $A_5 = 2,4\%$, $K_C = 59$ kJ/m² i twardość = 258 HB.

Osnowa składała się z 85% perlitu (reszta ferryt) i śladów cementytu. Grafit odpowiada wzorcom Gf9 i 8 (10%) i Gw45 (PN-75/H-04661).

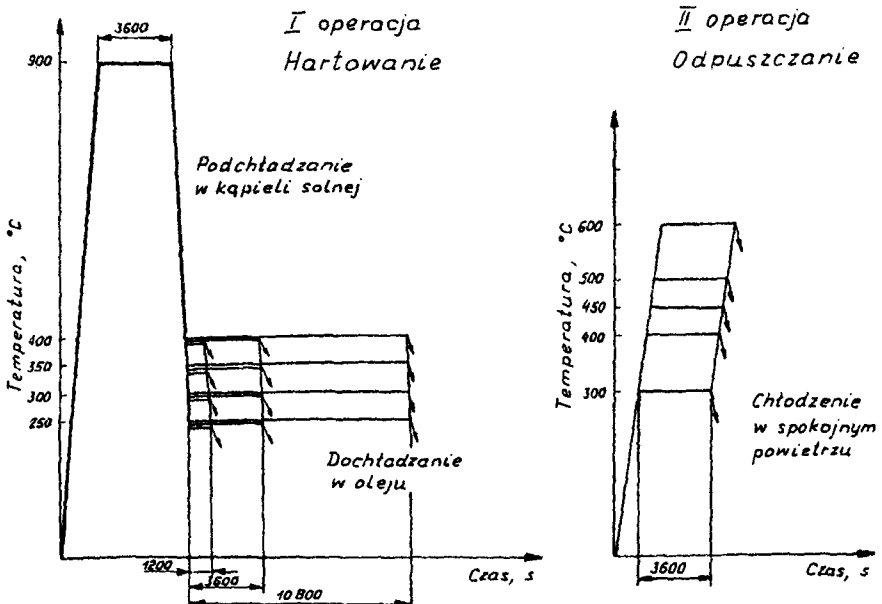
Badania właściwości mechanicznych obejmowały określenie wpływu warunków obróbki cieplnej na umowną granicę plastyczności ($R_{0,2}$), wytrzymałość na rozciąganie (R_m), wydłużenie (A_5) i twardość (HV) oraz udarność (K_C). Z odlewów Y odcięto z dolnej części trzy prostokątne pręty. Dwa z nich były o wymiarach 25x20x180 mm. Z tych właśnie prętów wykonano próbki do próby na rozciąganie o średnicy pomiarowej 10 mm, które posiadały główki do uchwytów pierścieniowych (PN-86/H-83124). Próbę rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej ZD-40 z użyciem tensometru MKe. W próbie tej wyznaczono umowną granicę plastyczności - $R_{0,2}$, wytrzymałość na rozciąganie - R_m , wydłużenie względne - A_5 .

Z trzeciego pręta, o wymiarach 25x13x180 mm, wycięto cztery próbki do badania udarności. Próbki, bez karbu, obrobiono na wymiar 10x10x55 mm. Próbki te wycięto ze stref brzegowych pręta.

Badanie udarności wykonano na młocie udarowym typ PSW-5 o energii 490 kJ (5 kGm).

Strukturę i twardość badano na próbkach pobranych z części pomiarowej zerwanych próbek do próby na rozciąganie. Strukturę żeliwa oceniano za pomocą mikroskopu świetlnego. Pomiary twardości wykonano według metody Vickersa, przy obciążeniu 981 N (100 kG). Na każdej próbce wykonano trzy pomiary.

Obróbkę cieplną przeprowadzono na próbkach do prób na rozciąganie i udarność, według schematu podanego na rysunku 1. Parametry tej obróbki cieplnej zostały określone na podstawie wyników z publikacji [22].



Rys. 1. Schemat obróbki cieplnej próbek do określenia właściwości mechanicznych

Grzanie przy hartowaniu wykonano w piecu elektrycznym sylitowym typ PSK-3. Do pieca ładowano pojemniki rurowe, w których umieszczone były komplety próbek, składające się z trzech próbek do badań wytrzymałościowych i trzech do badań udarności. Pojemniki te dopełniono węglem drzewnym, po czym na otwartą część rury, układano wycinek blachy stalowej o grubości 1 mm. Miało to na celu zabezpieczenie próbek przed ewentualnym utlenieniem. Regulacja temperatury w piecu odbywała się w zakresie ± 5 K temperatury nominalnej.

Po wyladowaniu pojemników z pieca komorowego, próbki zanurzano w kąpeli solnej o temperaturze przemiany izotermicznej. Wychładzanie odbywało się w piecu wannowym typ PEW-1 z solą SO140. Wahania temperatury kąpeli solnej wynosiły ± 5 K. Próbkę, po wyjęciu z kąpeli solnej, dochładzano w oleju.

Operacja odpuszczania próbek hartowanych w temperaturze od 200 do 500°C odbywała się również w kąpeli solnej w piecu wannowym, zaś w 600°C w piecu elektrycznym komorowym. Próbkę po wyjęciu z kąpeli solnej lub z pieca komorowego dochładzano w spokojnym powietrzu. Po obróbce cieplnej, próbki szlifowano papierem ściernym ręcznie, miało to na celu usunięcie warstwy utlenionej.

Niektóre przelomy próbek udarnościowych poddano badaniom, przy użyciu mikroskopu elektronowego TESLA BS-540 przy napięciu przyspieszającym 80 kV. Obserwacje prowadzono na dwustopniowych replikach węglowych.

3. WYNIKI BADAŃ I ANALIZA

3.1. Właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego po hartowaniu z przemianą izotermiczną

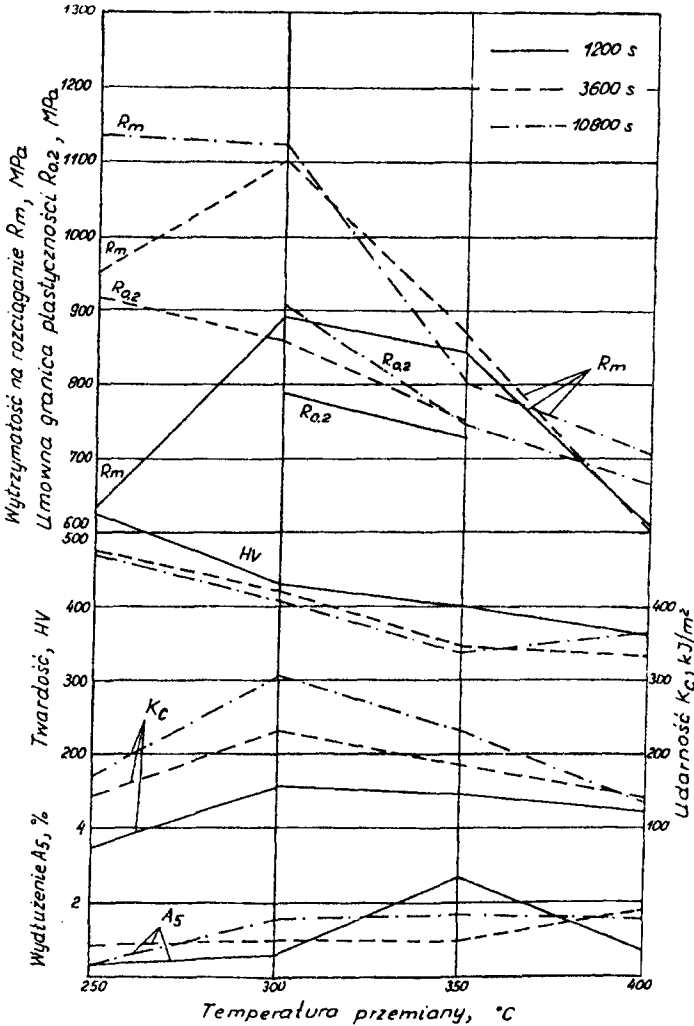
Właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izoermiczną pokazano na rysunku 2.

Osnowa żeliwa po hartowaniu z przemianą izotermiczną w temperaturze 250 i 300°C składała się z bainitu dolnego. Po przemianie w 350 i 400°C, w osnowie żeliwa występował bainit górny. Obok bainitu znajdował się martenzyt, zwłaszcza w próbkach w początkowym stadium przemiany. W osnowie znajdował się także austenit szczątkowy, którego udział zależy od parametrów przemiany izotermicznej [22].

Struktura osnowy metalowej żeliwa w istotny sposób oddziałuje na poziom jego właściwości mechanicznych po przemianie izotermicznej.

Przemiana izotermiczna przechłodzonego austenitu wywołuje zmiany właściwości mechanicznych żeliwa zależnie od jej temperatury i czasu. Wraz ze wzrostem temperatury przemiany twardość żeliwa ciągle spada, przy czym przedłużenie jej czasu nie powoduje tak istotnych zmian.

Wytrzymałość na rozciąganie żeliwa w 250°C w początkowym stadium jest niska, dopiero przedłużenie czasu przemiany prowadzi do zwiększenia R_m aż do 1100 MPa. Jest to związane z malejącym udziałem martenzytu w osnowie żeliwa. Wydłużenie czasu przemiany w 300°C zwiększa wartość $R_{0,2}$ i R_m . Podwyższenie temperatury do 400°C powoduje, że wartości tych właściwości zmniejszają się. Jest to związane z przemianą austenitu.



Rys. 2. Wpływ temperatury i czasu przemiany izotermicznej na właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego

Wydłużenie zmienia się nieznacznie i w przyjętym zakresie temperatury wynosi około 2%, za wyjątkiem przemiany w 350°C i czasie 1200 s, w której przekroczyło ono tę wartość.

Udarność żeliwa po przemianie w zakresie bainitu dolnego (250 - 350°C) zwiększa się i osiąga 300 kJ/m² przy temperaturze 300°C i w czasie 10800 s. Przemiana w zakresie bainitu górnego wywołuje spadek udarności.



Rys. 3. Przełom próbki udarnościowej hartowanej z przemianą izotermiczną w temperaturze 300°C w czasie 10800 s:
a - centrum ziarna eutektycznego, pow. 7000x,
b - strefa graniczna ziarna eutektycznego, pow. 5000x
(repliki węglowe dwustopniowe)

Na podstawie wyników właściwości mechanicznych żeliwa po hartowaniu, nie stwierdzono korzystnego oddziaływania austenitu szczątkowego na właściwości plastyczne żeliwa (A_5) i udarność (K_C).

Na przelomie próbki udarowościowej po przemianie w temperaturze 300°C , w czasie 10800 s, która osiągnęła $K_C = 300 \text{ kJ/m}^2$ stwierdzono, że w ziarnie eutektycznym występuje przelom mieszany. W obszarze centralnym, blisko grafitu, występuje przelom ciągliwy (rys. 3a), a w jego obszarze granicznym, na styku dwóch lub trzech granic - przelom kruchy (rys. 3b). Zróżnicowany przelom w ziarnie eutektycznym potwierdza istnienie niejednorodności strukturalnej w osnowie żeliwa. Może więc ona być przyczynkiem niskich właściwości plastycznych i udarności żeliwa.

3.2. Właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego po puszczeniu

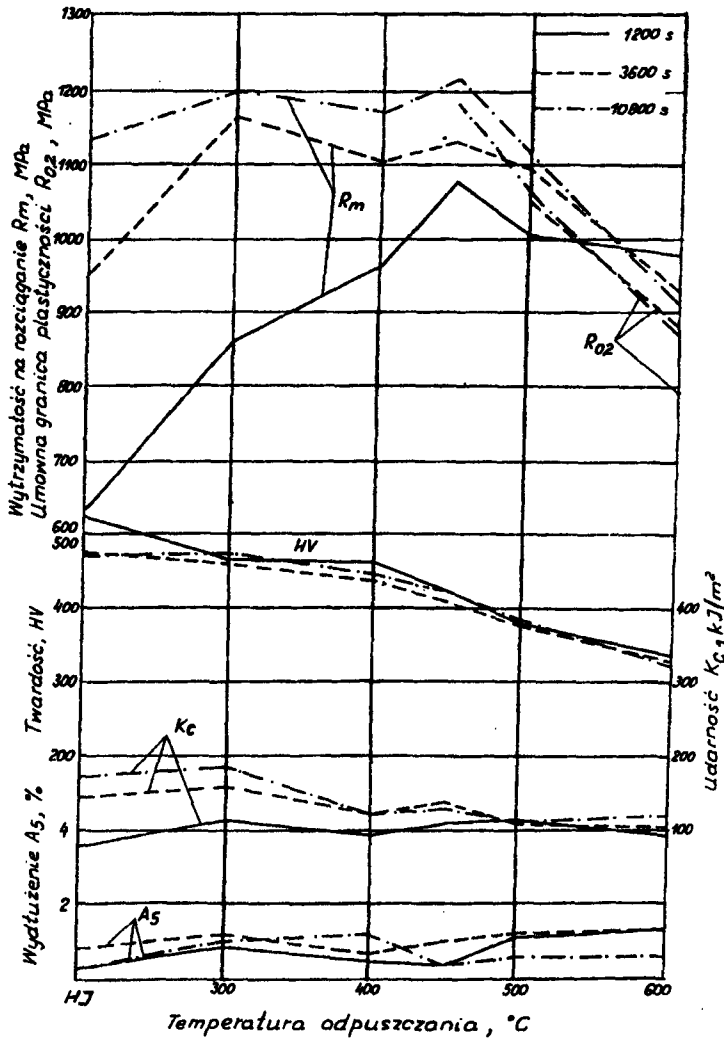
Odpuszczanie niestopowego żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną prowadzi do zmiany właściwości mechanicznych. Zmiany te przedstawiono na rysunkach 4 - 7.

Struktura żeliwa po odpuszczaniu w niskiej temperaturze składa się z bainitu dolnego lub górnego, austenitu szczątkowego i odpuszczonego martenzytu. W zakresie średnich wartości temperatury odpuszczania struktura próbek była podobna do troostytu, a wysokich - do sorbitu. W niskim i średnim zakresie temperatury, obszary graniczne ziaren eutektycznych różniły się od ich obszarów centralnych. Obszary graniczne były ciemniejsze ze względu na znajdujące się tam skupiska martenzytu odpuszczonego. W obszarach tych obok martenzytu występuje austenit, który nie uległ przemianie. Stąd w literaturze podaje się, że są to obszary austenityczno-martenzytyczne.

Badanie twardości żeliwa po odpuszczeniu wykazało, że zależy ona od temperatury odpuszczania. Wzrost temperatury prowadzi do zmniejszenia twardości żeliwa. Zmniejszenie to najintensywniej przebiega w zakresie temperatury od 400 do 600°C . Wpływ czasu przemiany izotermicznej na twardość żeliwa jest zauważalny, lecz nie jest on tak istotny, jak temperatura odpuszczania. Twardość żeliwa po przemianie izotermicznej w 350 , 400°C i po dłuższych czasach oraz po odpuszczaniu w zakresie $400 - 500^{\circ}\text{C}$ zwiększa się nieznacznie. Przyczyną tego jest przemiana austenitu szczątkowego i węglików.

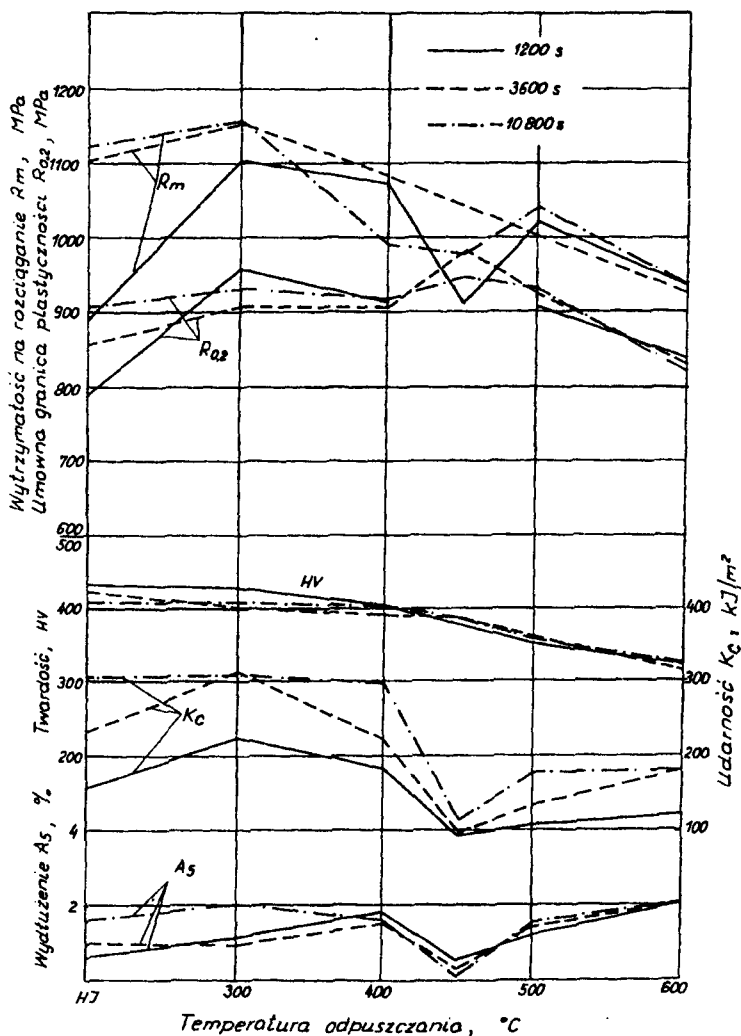
Odpuszczanie w temperaturze 300°C przyczyniło się do zwiększenia właściwości wytrzymałościowych. Największą wartość R_m uzyskało żeliwo, hartowane w zakresie bainitu dolnego, a jej wartości wynoszą od 1100 do 1200 MPa . Podniesienie temperatury odpuszczania do 450°C powoduje z reguły zmniejszenie właściwości wytrzymałościowych. Wyjątek stanowi przemiana w 250°C . Wytrzymałość żeliwa w tej temperaturze i w czasie 1200 s oraz po odpuszczaniu w 450°C osiągnęła maksymalną wartość. Dalsze podwyższenie temperatury odpuszczania spowodowało jej obniżenie (rys. 4). Taki przebieg zmian wytrzyma-

małości żeliwa wynika z udziału martenzytu w jego osnowie. Zmiany wytrzymałości hartowanego na martenzyt żeliwa charakteryzują się podobnym przebiegiem.

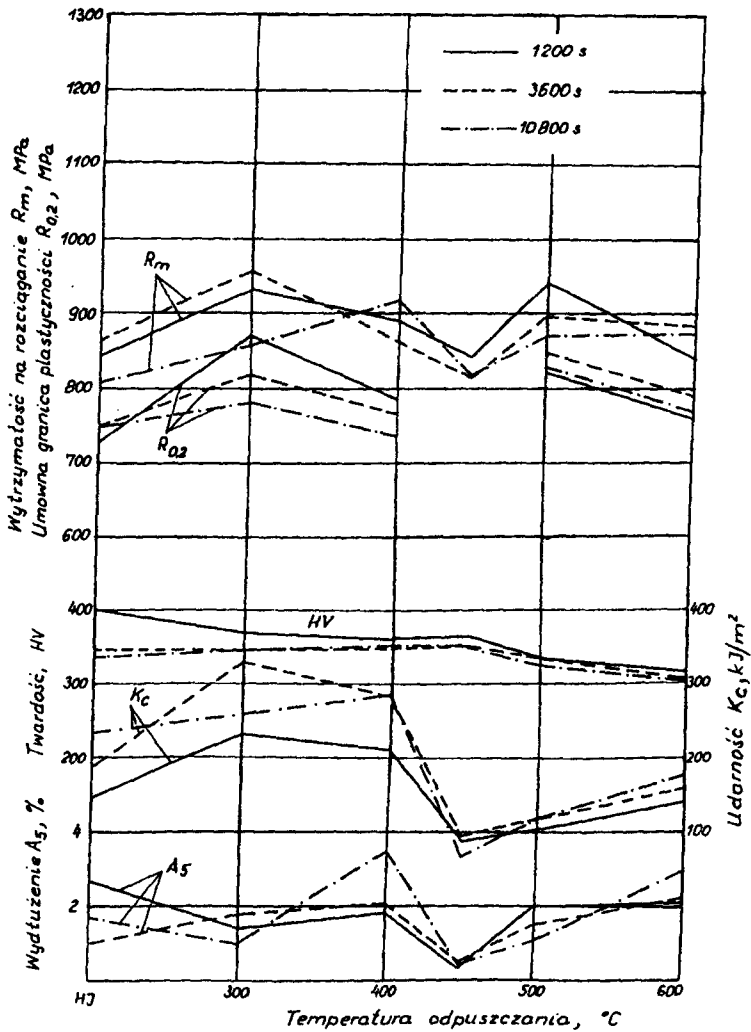


Rys. 4. Wpływ temperatury odpuszczania na właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną w 250°C w czasie 1200 - 10800 s (HJ - właściwości po hartowaniu)

Odpuszczanie w zakresie 400 - 450°C żeliwa po przemianie w 250°C w czasie 3600 i 10800 s przyczyniło się do zwiększenia R_m , a dalsze podniesienie temperatury wpłynęło na jej spadek.



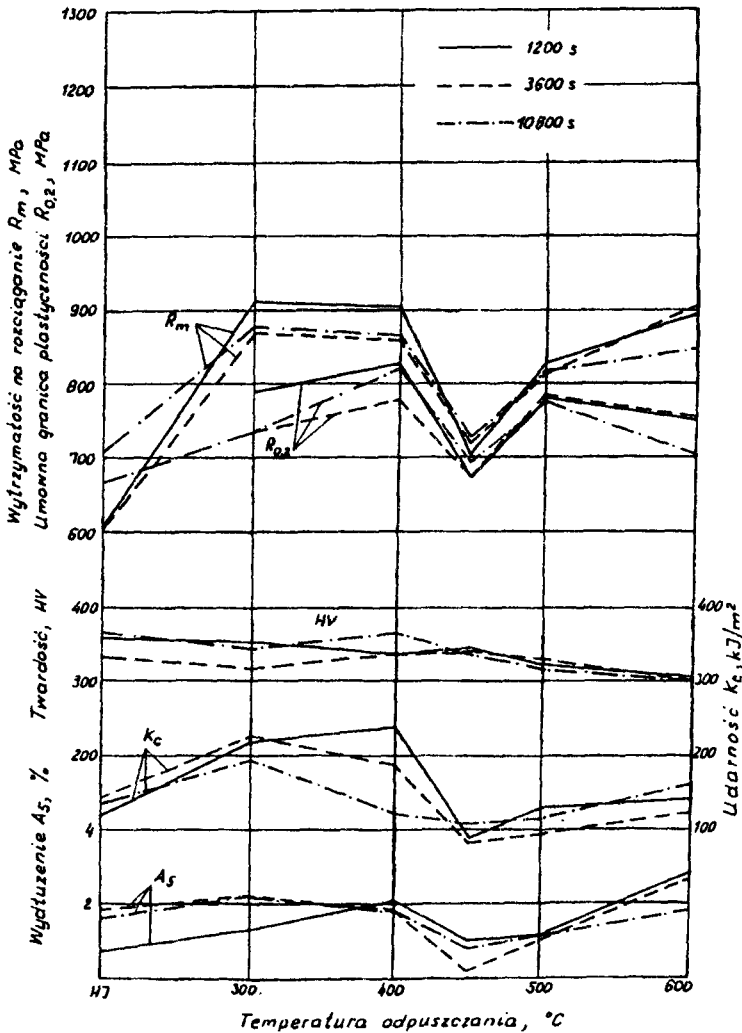
Rys. 5. Wpływ temperatury odpuszczania na właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną w 300°C w czasie 1200 - 10800 s (HJ - właściwości po hartowaniu)



Rys. 6. Wpływ temperatury odpuszczania na właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną w 350°C w czasie 1200 - 10800 s (HJ - właściwości po hartowaniu)

Wytrzymałość żeliwa po przemianie w 400°C i odpuszczaniu w zakresie 300 - 400°C utrzymuje się na tym samym poziomie. Umowna granica plastyczności żeliwa w tym zakresie temperatury odpuszczania rośnie. Odpuszczanie w 450°C przyczyniło się do obniżenia $R_{0,2}$ i R_m (rys. 7). Podobne efekty można zauważyć na rysunkach 5 - 6.

Odpuszczanie w 500°C żeliwa po przemianie 300, 350 i 400°C spowodowało wzrost $R_{0,2}$ i R_m , lecz przy temperaturze 600°C właściwości te się zmniejszają.



Rys. 7. Wpływ temperatury odpuszczania na właściwości mechaniczne żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną w 400°C w czasie 1200 - 10800 s (HJ - właściwości po hartowaniu)

Żeliwo hartowane w 400°C i odpuszczane w zakresie 500 - 600°C odznacza się zwiększeniem wartości R_m , lecz wartości $R_{0,2}$ zmniejszają się, co jest niewątpliwie związane z przemianami, zachodzącymi w strukturze bainitu górnego i austenitu szczątkowego.

Wydłużenie A_5 po odpuszczaniu żeliwa zmienia się w przedziale od 0,5 do 3,5%. Żeliwo po przemianie w zakresie bainitu dolnego (250 - 300°C) nie wykazuje istotnych zmian wydłużenia pod wpływem temperatury odpuszczania, za wyjątkiem temperatury 450°C. W zakresie przyjętych wartości temperatury odpuszczania, wydłużenie żeliwa nieznacznie, lecz ciągle się zwiększa. Podobnie przebiegają zmiany wydłużenia po odpuszczaniu żeliwa o osnowie górnego bainitu.

Żeliwo po przemianie w 300 i 350°C oraz odpuszczaniu w 300 i 400°C odznacza się największą udarnością. Spadek udarności żeliwa obserwuje się po odpuszczaniu w 450°C (rys. 5 - 7). Odpuszczanie w 500 i 600°C spowodowało zwiększenie się udarności żeliwa.

Zaobserwowane zjawisko spadku właściwości wytrzymałościowych i plastycznych oraz udarności żeliwa po odpuszczaniu w 450°C należy odnosić do przemian zachodzących w osnowie żeliwa, które polegają na przemianie węglików, wydzielających się wewnątrz i na granicy ziarn i bloków fazy α . Pótwierdzają to przełomy próbek udarnościowych, które charakteryzują się kruchym przełomem (rys. 8).



Rys. 8. Przełom próbki udarnościowej hartowanej z przemianą izotermiczną w temperaturze 400°C w czasie 1200 s i odpuszczonej w 450°C, pow. 5000x (replika węglowa dwustopniowa)

Zaistniałe zjawisko po odpuszczaniu w 450°C jest zbliżone do zjawiska, występującego w stali (kruchość odpuszczania). Przy tym zjawisko to w zasadzie jest związane ze stałą konstrukcyjną do ulepszenia cieplnego, zawierającą Cr, Cr i Ni lub Mn, a zwłaszcza zwiększoną ilość fosforu. Klasyczna kruchość

odpuszczania w stali, objawia się tylko zmniejszoną udarnością, a właściwości wytrzymałościowe i plastyczne nie ulegają zmianie.

W literaturze technicznej, dotyczącej żeliwa, nie ma informacji o takim zjawisku, a wymaga ono jednak dalszych badań, w celu jego wyjaśnienia.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy ich wyników można stwierdzić :

właściwości mechaniczne niestopowego żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną wytopionego w żeliwiaku, są zadowalające i pozwalają uznać, że to tworzywo odlewnicze może być wykorzystane w praktyce.

Odpuszczanie żeliwa hartowanego w zakresie bainitu dolnego i górnego wykazało zwiększenie:

- wytrzymałości na rozciąganie do około 45%,
- umownej granicy plastyczności do około 20%,
- wydłużenia do około 200%,
- udarności do około 70%.

Twardość żeliwa po odpuszczaniu zmniejsza się i zawiera w przedziale od 300 do 340 HV, co stwarza jeszcze możliwości dobrej jego obrabialności.

Na właściwości wytrzymałościowe i plastyczne oraz udarność żeliwa sferoidalnego po hartowaniu z przemianą izotermiczną i po odpuszczaniu wpływa w istotny sposób niejednorodność jego osnowy metalowej. Zagadnienie to jest bardzo ważne, stąd też będzie ono przedmiotem dalszych badań i analizy.

Odpuszczanie niestopowego żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną, wytopionego w żeliwiaku, może być również korzystne przy eksploatacji odlewów z tego żeliwa, w warunkach podwyższonej temperatury. Przy odpuszczaniu w obszarach granicznych ziaren eutektycznych następuje przemiana austenitu szczytkowego i martenzytu, co wpływa na stabilność wymiarową odlewów podczas eksploatacji.

LITERATURA

- [1] Albrecht K. i inni: Optimieren von Kurbelwellen aus Gusseisen mit Kugelgraphit. Konstruieren und Giessen, 1986, nr 2, s. 13
- [2] Bevan I.E., Scholz W.G.: Effects of Molybdenum On Transformation Characteristics and Properties of High - Strength Ductile Irons. Modern Casting, 1977, nr 11, s. 102
- [3] Cox G.J.: Tensile Properties of Spheroidal Graphite Acicular Irons. Brit. Foundrym, t.75, 1982, nr 1, s. 1
- [4] Dodd J.: Zwischenstufenvergütung von Gusseisen mit Kugelgraphit. Giesserei, 1978, t. 65, nr 4, s. 73
- [5] Dorazil E.: Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron. Foundry, 1986, nr 7, s. 36

- [6] Dorazil E. i inni: *Mechanische Eigenschaften von zwischenstufenvergütetem Gusseisen mit Kugelgraphit*. Giessereitechnik, 1973, nr 3, s. 79
- [7] Dorazil E. i inni: *Vysokopročnyj bejnityj čugun s šarovidnym grafitom*. MITOM, 1978, nr 7, s. 19
- [8] Dorazil E. i inni: *Vysokopevna bainiticka tvarna litina legovana manganem medi*. Slevarenstvi, 1979, nr 2, s. 49
- [9] Dorazil E. i inni: *Nizkolegovana bainiticka tvarna litina*. Strojirenstvi, 1979, nr 8, s. 475
- [10] Harding R.A., Gilbert G.N.Y.: *Why the Properties of Austempered Ductile Irons Should Interest Engineers*. Brit. Foundrym, t. 79, 1986, nr 10, s. 489
- [11] Harris D.A., Maitland R.J.: *The Products of the Isothermal Decomposition of Austenite in a Spheroidal Graphite Cast Iron*. Iron and Steel, 1970, nr 2, s. 53
- [12] Herfurth K., Ketscher N.: *Varietien für das Vergüten von Gusseisen mit Kugelgraphitein Überblich*. Giessereitechnik, 1974, nr 5, s. 155
- [13] Herfurth K.: *Probleme und Möglichkeiten bei der Realisierung höherer Festigkeiten bei Gusseisen mit Kugelgraphit durch Wärmebehandlung*. Giessereitechnik, 1977, nr 3, s. 78
- [14] Herfurth K.: *Własności mechaniczne żeliwa sferoidalnego hartowanego z przemianą izotermiczną bądź wyżarzanego perlityzująco*. Narada Monotematyczna. IMP Warszawa Serpelice, 6 - 8.IX.1979 r
- [15] Herfurth K. i inni: *Gefügebildung im Gusseisen mit Kugelgraphit bei isothermischer Umwandlung des Austenits*. Giessereitechnik, 1979, nr 7, s. 205
- [16] Johansson M.: *Austenityczno-bainityczne żeliwo sferoidalne*. Narada monotematyczna pt.: "Obróbka cieplna żeliwa", IMP w Warszawie-Serpelice, 6-8.09.1979 r.
- [17] Kippola D. i inni: *Keilprobe zur Prüfung der Wanddickenempfindlichkeit in zwischenstufenvergütetem Gusseisen mit Kugelgraphit*. Giesserei-Prax. 1985, nr 6, s. 80
- [18] Mannes W. i inni: *Erprobung von Zahnrädern aus unlegierten bainitischen Gusseisen mit Kugelgraphit*. Konstruieren-Giessen, 1985, nr 4, s. 19
- [19] Miska K.M.: *ADI Development Registers Steady Progress*. Mod. Casting. 1986, t. 76, nr 6, s. 35
- [20] Pachowski M.: *Hartowanie bainityczne żeliwa sferoidalnego*. MiOC, nr 43, 1980, s. 16
- [21] Pachowski M.: *Hartowanie izotermiczne niskostopowego żeliwa sferoidalnego*. Przegląd Odlewnictwa, 1983, nr 1, s. 20
- [22] Pachowski M., Dymski S.: *Wpływ hartowania z przemianą izotermiczną i odpuszczania na strukturę i twardość żeliwa sferoidalnego*. MOCIP, 1990, nr 106-108, s. 44
- [23] Podbrabsky T., Dorazil E., Kohout J.: *Vliv popausteni na strukturu a mechanicke vlastnosti izotermicky zusechtene oceli a tvarne litiny*. Slevarenstvi, 1989, t. 37, nr 9, s. 381
- [24] Röhrig K.: *Getriebezahnräder aus Gusseisen mit Kugelgraphit*. Industrie Anzeiger, 1978, nr 12, s. 26
- [25] Schelleng R.D.: *Tensile and Fatigue Properties of Nickel - Molybdenum Bainitic Ductile Iron*. Mod. Casting, 1969, t. 56, nr 6, s. 223
- [26] Stec J., Piaskowski J.: *Określenie optymalnego cyklu ulepszania cieplnego i hartowania z przemianą izotermiczną dla wysokojakościowego żeliwa sferoidalnego wytapianego w piecu elektrycznym*. Prace Instytutu Odlewnictwa, 1979, nr 1, s. 17
- [27] Voigt R.: *Gefügeuntersuchung mit dem Raster elektronenmikroskop von zwischenstufenvergütetem Gusseisen mit Kugelgraphit*. Giesserei-Prax. 1985, nr 7, s. 95

THE INFLUENCE OF HARDENING WITH IZOTHERMAL TRANSFORMATION AND TEMPERING ON MECHANICAL PROPERTIES OF SPHEROIDAL CAST IRON

Summary

The influence of the parameters of hardening with isothermal transformation and tempering on mechanical properties of spheroidal cast iron was examined.

It was observed that tempering has a positive influence on mechanical properties of iron. Mechanical strength and plasticity as well as impact strength increase, and hardness decreases.

The inhomogeneity of metal matrix plays an important role in shaping mechanical strength, plasticity and impact strength of spheroidal cast iron.

Anna Ławrynowicz

PROLOGOWE BAZY DANYCH

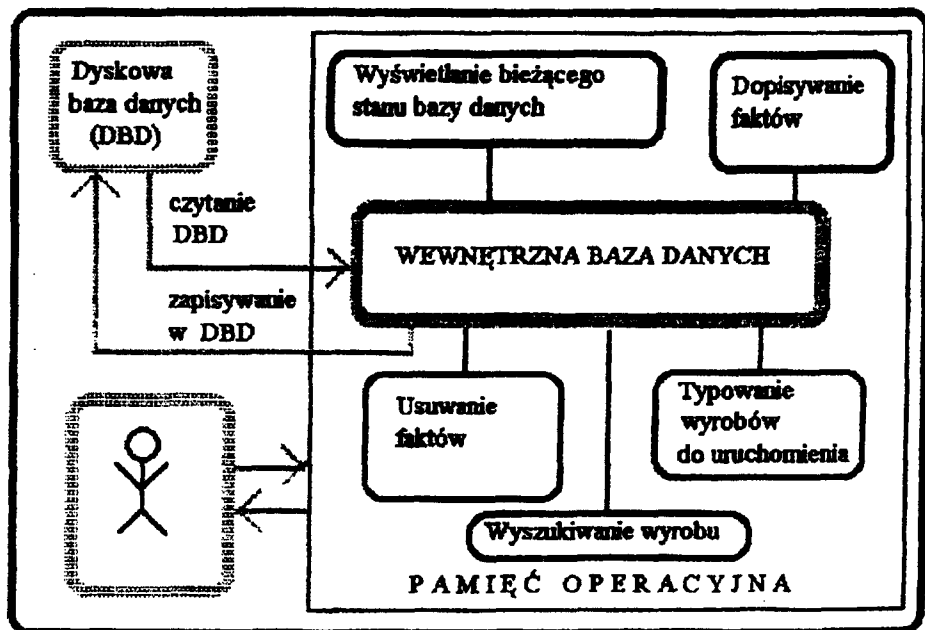
W artykule przedstawiono prologowe możliwości niemal bezpośredniej implementacji baz danych. Zaprezentowano kompletny program, który może być adaptowany do indywidualnych zastosowań praktycznych. Omawiana aplikacja powstała w oparciu o techniki sztucznej inteligencji.

Postęp w budowie komputerowych systemów wspomagających działalność produkcyjną człowieka w znacznym stopniu uzależniony był od rozwoju w zakresie modelowania baz danych. Współczesne systemy komputerowe bazują na ogół na relacyjnym modelu baz danych. Obecnie istnieje wiele narzędzi programistycznych, które umożliwiają implementację tego typu modeli [2,4]. Wygodnym językiem do niemal bezpośrednich implementacji relacyjnych baz danych jest między innymi język Prolog [1,3,6]. Wykorzystanie tego języka do tworzenia baz danych ma szczególne znaczenie, ponieważ jest to język sztucznej inteligencji, który umożliwia jednocześnie tworzenie tak dynamicznie rozwijających się systemów ekspertowych [5].

W Prologu relacyjną bazę danych tworzy zbiór tzw. faktów. Poniżej zamieszczono konwersacyjny program napisany w Turbo Prologu 2.0, który umożliwia utrzymywanie bazy danych i wspomaga użytkownika w zadaniach planowania produkcji na szczeblu przedsiębiorstwa. Przez utrzymywanie rozumie się tu takie operacje na bazie danych, jak:

- aktualizację bieżących danych,
- dodawanie nowych faktów (krotki lub inaczej wiersza),
- usuwanie faktów,
- przeglądanie bazy,
- wyszukiwanie faktów.

Wszelkie operacje na bazie danych dokonuje się w pamięci operacyjnej za pośrednictwem predykatów dynamicznej zmiany pamięci (rys. 1).



Rys. 1. Zarządzanie bazą danych ZAMÓWIENIA

Baza danych przytoczonego niżej programu ZAMÓWIENIA zawiera relację "wyrób", której postać tabelaryczna jest następująca:

Tabela 1

| Kod wyrobu | Nazwa wyrobu | Ilość | Nazwa odbiorcy | Kod pocztowy | Miejscowość | Ulica | Numer | Termin |
|------------|---------------|-------|---------------------|--------------|-------------|---------|-------|--------|
| F3528 | frez NFWc | 200 | Zakłady Metalowe | 83257 | Lisewo | Jasna | 7/3 | 9 |
| F2517 | frez NFTA | 850 | Fabryka Obrabiarek | 81325 | Brzoza | Szeroka | 12 | 3 |
| N2517 | narzynka NHMN | 50 | Warsztaty Naprawcze | 83421 | Czersk | Rynek | 5 | 4 |
| F3528 | frez NFWc | 100 | Fabryka Obrabiarek | 81325 | Brzoza | Szeroka | 12 | 3 |

Na przykładzie programu ZAMÓWIENIA pokazano ideę konstrukcji faktów oraz predykatów, służących do zarządzania danymi przechowywanymi

w pamięci dyskowej. Predykaty, do których należą fakty, muszą być zadeklarowane w specjalnej sekcji programu o nazwie - DATABASE. Predykat sterujący menu umożliwia wypisanie na ekranie głównego menu systemu, pobranie od użytkownika numeru funkcji oraz wywołanie funkcji menu (z parametrem odpowiadającym numerowi podanemu przez użytkownika) do wykonania. Po każdorazowym wykonaniu funkcji następuje powrót do głównego menu. Strukturę menu programu Zamówienia przedstawiono na rysunku 2.

MENU

- 1-wyświetlanie bieżącego stanu bazy danych,
- 2 -dopisywanie nowego wyrobu,
- 3-usunięcie wyrobu,
- 4-wyświetlanie wykazu wyrobów wytypowanych do uruchomienia,
- 5-uzupełnianie bazy danych o dane zapisane w pliku,
- 6-zapisanie bazy danych w pliku,
- 7-wyszukiwanie wyrobu,
- ESC-koniec pracy.

Rys.2. Menu programu ZAMÓWIENIA

Opcja 1 umożliwia wyświetlanie bazy danych, znajdującej się aktualnie w pamięci operacyjnej. Za pomocą opcji 2,3 i 5 można dokonywać zmian w bazie danych. Dopisywanie nowego faktu do bazy danych umożliwia predykat standardowy assert (opcja 2). Predykat retract (opcja 3) usuwa fakty z bazy danych. Baza danych programu przechowywana w pamięci operacyjnej może zostać zapisana do pamięci dyskowej, przy użyciu standardowego predykatu save (opcja 6). Użycie tego predykatu spowoduje utworzenie w aktualnym katalogu bieżącego dysku, pliku tekstowego o podanej przez użytkownika nazwie. Wczytanie do pamięci operacyjnej tak zapisanych faktów następuje za pomocą predykatu standardowego consult (opcja 5). Zainicjowanie opcji 4 powoduje wytypowanie wyrobów do uruchomienia w oparciu o wskaźnik priorytetu, którym jest termin zamówienia. Ta opcja programu wspomaga więc użytkownika w zadaniach -nerowania planów asortymentowo-ilościowych. Opcja 7 umożliwia wyszukiwanie faktów według kodu wyrobu. Aktywowanie tej opcji powoduje wyświetlenie wszystkich zamówień na produkcję określonego przez użytkownika wyrobu. Podobną opcję można wprowadzić, w celu wyszukiwania faktów według odbiorcy.

Program ZAMÓWIENIA zrealizowany został na komputerze IBM AT 386 (4MB RAM) pod systemem operacyjnym DOS.

```

/*****/
/* Program ZAMÓWIENIA */
/* Anna Ławrynowicz 1993 */
/* */
/*****/

```

DOMAINS

```

kodWyr,nazwa,odbiorca,miejsc,ulica=symbol
ilosc,nr,termin=integer
kodPo=real

```

DATABASE

```

wyrob(kodWyr,nazwa,ilosc,odbiorca,kodPo,miejsc,ulica,nr,termin)

```

PREDICATES

```

wykonanieProgramu
opcja(integer)
wyswietl
uruchomienie
wyszukiwanie

```

GOAL

```

wykonanieProgramu.

```

CLAUSES

```

wykonanieProgramu :-
    makewindow(1,9,9,"",0,0,25,80),
    makewindow(2,30,14,"MENU:",6,11,15,55), cursor(1,1),
    write("1-wyswietlanie biezacego stanu bazy danych"),
    cursor(2,1), write("2-dopisywanie nowego wyrobu"),
    cursor(3,1), write("3-usuniecie wyrobu"), cursor(4,1),
    write("4-wykaz wyrobow wytypowanych do uruchomienia"),
    cursor(5,1),
    write("5-uzupelnienie bazy danych o dane zapisane w pliku"),
    cursor(6,1), write("6-zapisanie bazy danych w pliku"),
    cursor(7,1), write("7-wyszukiwanie wyrobu"),
    cursor(10,1), write("Esc-koniec pracy "),
    cursor(11,1), write("PODAJ OPCJE: "),
    readint(1),removewindow,removewindow,
    opcja(1),
    wykonanieProgramu.
wykonanieProgramu.
opcja(1) :- wyswietl.

```

opcja(2) :-

```

    makewindow(3,9,11,"",0,0,25,80),
    makewindow(4,30,14,"WPROWADZANIE WYROBU",2,20,22,40),
    cursor(1,1),write("Podaj kod wyrobu: "),
    cursor(2,1),readln(KodWyr),
    cursor(3,1),write("Podaj nazwe wyrobu: ")
    cursor(4,1),readln(Nazwa),
    cursor(5,1),write("Podaj wielkosc zamowienia: "),
    cursor(6,1),readint(Ilosc),
    cursor(7,1),write("Podaj nazwe odbiorcy: "),
    cursor(8,1),readln(Odbiorca),
    cursor(9,1),write("Podaj kod pocztowy odbiorcy: "),
    cursor(10,1),readreal(KodPo),
    cursor(11,1),write("Podaj miejscowosc: "),
    cursor(12,1),readln(Miejsc),
    cursor(13,1),write("Podaj ulice: "),
    cursor(14,1),readln(Ulica),
    cursor(15,1),write("Podaj numer: "),
    cursor(16,1),readint(Nr),
    cursor(17,1),write("Podaj termin realizacji zamowienia: "),
    cursor(18,1),readint(Termin),removewindow,removewindow,
    assert(wyrob(KodWyr,Nazwa,Ilosc,Odbiorca,KodPo,Miejsc,Ulica,Nr,Termin)).

```

opcja(3) :-

```

    makewindow(5,9,9,"",25,80),
    makewindow(6,14,11,"USUWANIE WYROBU",15,20,8,38),
    cursor(1,1),write("Podaj kod usuwanego wyrobu: "),
    cursor(2,1),readln(KodWyr),removewindow,
    cursor(3,1),write("Podaj nazwe odbiorcy: "),
    cursor(4,1),readln(Odbiorca),
    retract(wyrob(KodWyr,_,_Odbiorca,_,_,_)),!;
    makewindow(8,12,12,"",15,20,8,38),
    cursor(1,3),write("Brak takiego wyrobu"),
    readln(_),removewindow,removewindow.

```

opcja(4) :-uruchomienie.

opcja(5) :-

```

    makewindow(7,9,11,"",0,0,25,80),
    makewindow(8,30,14,"WCZYTANIE BAZY Z PLIKU",5,5,10,74),
    cursor(1,3),write("Podaj nazwe pliku: *.dba"),
    cursor(2,3),readln(Plik),
    existfile(Plik),!

```



```
consult(Plik);
cursor(3,3),write("Brak pliku o podanej nazwie"),
  readln(),removewindow,removewindow.
```

opcja(6) :-

```
makewindow(9,9,11,"",0,0,25,80),
makewindow(10,14,11,"ZAPISANIE BAZY W PLIKU",5,5,10,74),
cursor(1,3),write("Podaj nazwe pliku: *.dba "),
cursor(2,3),readln(Plik),removewindow,removewindow,
save(Plik).
```

opcja(7) :- wyszukiwanie.

opcja() :-

```
makewindow(11,9,11,"",0,0,25,80),
makewindow(12,19,7,"",6,28,5,26),
cursor(1,0),write("Zle podany numer opcji"),
readln(),removewindow,removewindow.
```

wyswietl :-

```
makewindow(13,14,11,"",0,0,25,80),
write("ELEMENTY BAZY: "),nl,
wyrob(KodWyr,Nazwa,Ilosc,Odbiorca,KodPo,Miejsc,Ulica,Nr,Termin),
write(KodWyr," ",Nazwa," ",Ilosc," ",Odbiorca," ",KodPo," ",Miejsc," ",Ulica,"
", Nr," ",Termin),nl,fail.
```

wyswietl :- nl,readln(),removewindow.

uruchomienie :-

```
makewindow(14,14,11,"",0,0,25,80),
write("Podaj termin realizacji zamówień: "),
readint(Miesiac),nl,
write("WYKAZ WYROBÓW WYTYPOWANYCH DO URUCHOMIE-
NIA"),nl,
wyrob(KodWyr,Nazwa,Ilosc,Odbiorca,KodPo,Miejsc,Ulica,Nr,Termin),
Termin<=Miesiac,
write(KodWyr," ",Nazwa," ",Ilosc," ",Odbiorca," ",KodPo," ",Miejsc," ",
Ulica," ",Nr," ",Termin),nl,fail.
```

uruchomienie :- nl,readln(),removewindow.

wyszukiwanie :-

```
makewindow(15,14,11,"",0,0,25,80),
write("Podaj kod wyrobu: "),
```

```
readln(Kod),nl,
wyrob(KodWyr,Nazwa,Ilosc,Odbiorca,KodPo,Miejsc,Ulica,Nr,Termin),
      KodWyr=Kod,
write(KodWyr," ",Nazwa," ",Ilosc," ",Odbiorca," ",KodPo," ",Miejsc," ",Ulica,"
      ", Nr," ",Termin),nl,fail.
```

wyszukiwanie :- nl,readln(_),removewindow.

```
/******  
/*   BAZA DANYCH           */  
/******  
wyrob(f3528,"frez NFWc",200,"Zaklady Mctalowe",83257,  
      "Lisewo","Jasna",7/3,9).  
wyrob(f2517,"frez NFTa",850,"Fabryka Obrabiarek",81325,  
      "Brzoza","Szeroka",12,3).  
wyrob(n2517,"narzynka NHMn",50,"Warsztaty Naprawcze",83421,  
      "Czersk","Rynek",5,4).  
wyrob(f2517,"frez NFWc",100,"Fabryka Obrabiarek",81325,  
      "Brzoza","Szeroka",12,3).
```

LITERATURA

- [1] Clark K.L., McCabe F.G.: Micro-Prolog. WNT, Warszawa 1988
- [2] Gatnar E., Stapor K.: Prolog. Wydawnictwo PLJ, 1991
- [3] Lucas r.: Database applications using Prolog. Ellis Horwood Limited, Chichester 1988
- [4] Ławrynowicz A.: Reprezentacja wiedzy w sztucznej inteligencji. Przegląd Mechaniczny 4, s.16-20, 1993
- [5] Merritt D.: Building expert system in Prolog. Springer-Verlag, 1989
- [6] Szajna J., Adamski M., Kozłowski T.: Turbo Prolog. Programowanie w języku logiki

DATABASE APPLICATIONS USING PROLOG

Summary

This paper shows how to implement database in Turbo Prolog 2.0. It is based on the techniques used in artificial intelligence. This paper presents example of practical applications.

Zdzisław Ławrynowicz

ELEKTRONIMIKROSKOPOWE BADANIA STRUKTURY ZŁOTA PO IMPLANTOWANIU PLAZMOWYM JONAMI AZOTU

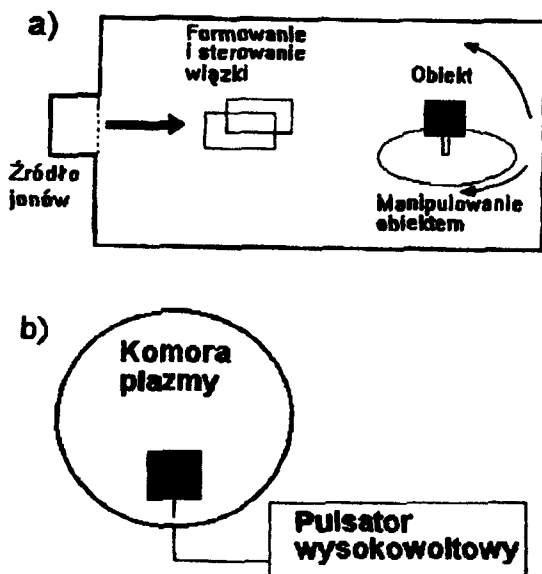
Zaimplantowane do złota w plazmie jony azotu wydzielają się wewnątrz materiału w postaci gazowych pęcherzy. Zaobserwowano wzajemne przemieszczanie się pęcherzy i ich wzrost w wyniku koalescencji. W przypadku metali trudno tworzących azotki, wartość zaimplantowanej dawki powinna być ściśle określona, w celu uniknięcia tworzenia się pęcherzy.

1. WPROWADZENIE

Implantowanie jest metodą wykorzystywaną do modyfikowania własności powierzchniowych różnych materiałów. Z naukowego i technicznego punktu widzenia szczególnie istotne są takie cechy powierzchni, jak: twardość, zużycie ściernie, zmęczenie i korozja. Implantowanie w plazmie posiada szereg zalet w stosunku do innych technik obróbki powierzchniowej materiałów. Są to:

- zdolność wprowadzenia każdego jonów do obszaru powierzchni każdej substancji bez ograniczeń termodynamicznych,
- zdolność do wykonania procesu implantowania w niskich temperaturach,
- możliwość wykonania implantowania bez dalszej obróbki cieplnej i powierzchniowej (szlifowanie),
- brak występowania jakichkolwiek problemów związanych z adhezją warstwy zaimplantowanej,
- możliwość jednoczesnego implantowania całych partii elementów o zakrzywionej powierzchni zewnętrznej.

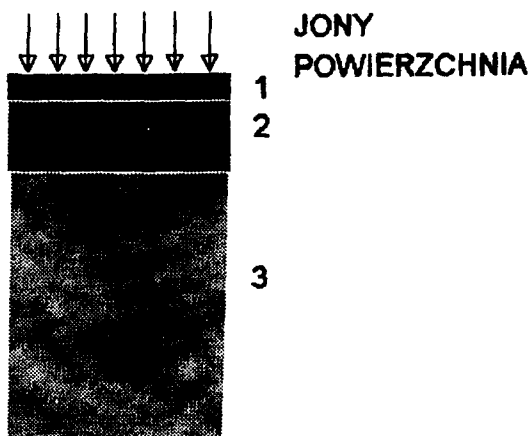
Porównanie metody wiązkowego implantowania z metodą implantowania w plazmie przedstawiono schematycznie na rysunku 1. Główną wadą implantowania wiązkowego był stosunkowo wysoki koszt tego procesu, wadę tę wyeliminowano w nowej technice implantowania, nazwanej implantowaniem w plazmie (plasma source ion implantation - PSII) [4-6,11,27]. Dokładne omówienie techniki implantowania w plazmie oraz własności zaimplantowanych warstw powierzchniowych materiałów z wykorzystaniem tej techniki implantowania znajdzie czytelnik w opublikowanych ostatnio pracach [22,23].



Rys.1. Porównanie metody implantowania wiązkowego (a) z metodą implantowania w plazmie (b) (PSII)

Implantowanie jonami azotu wywiera znaczny wpływ na właściwości warstwy powierzchniowej szeregu stopów [7,9,12]. Sądzi się, że tworzące się wtedy o dużej dyspersji azotki, wysoka gęstość dyslokacji oraz przemiana marenzytyczna, są czynnikami powodującymi umocnienie warstwy powierzchniowej. Tworzenie się azotków w warstwie zaimplantowanej jest jednakże podstawowym czynnikiem zmieniającym właściwości tej warstwy. Wiele azotków metali, jak TiN, ZrN itp., należy do grupy łatwo tworzących się azotków [20]. Jednakże azotki metali szlachetnych znacznie trudniej się tworzą lub w ogóle nie powstają w warunkach implantowania. W ubiegłych latach jednak zaobserwowano powstawanie azotków AgN_3 i CuN_3 [29] po zaimplantowaniu jonami azotu do dawki $2 \times 10^{18} \text{ N/cm}^2$ [24]. Dotąd nie uzyskano jednak dowodów na tworzenie się azotków złota. Kelly [18] sugeruje, iż brak tworzenia się azotków złota, przypisać należy ucieczce azotu z zaimplantowanej powierzchni, natomiast Attila [1] przypisuje to wysokiemu współczynnikowi rozpylania jonowego, które uniemożliwia osiągnięcie koncentracji azotu w zaimplantowanej warstwie, określonej dla składu stechiometrycznego. "Cofanie się" powierzchni (spowodowane jonowym rozpylaniem) wydaje się mieć duże znaczenie dla warunków tworzenia się azotków, wymaga jednak dalszych badań. Współczynniki rozpylania jonowego dla Cu, Ag i Au są wysokie, co oznacza, iż w czasie implantowania nie powinny tworzyć się gazowe pęcherze [2, 17]. Jednakże, gdy użyto większych energii przy implantowaniu, tworzenie się pęcherzy zaobserwowano również w Cu, Ag i Au [19]. Szczególnie,

gdy podczas implantowania nie występuje migracja azotu w zaimplantowanej warstwie (niska temperatura) oraz implantowany materiał należy do kategorii metali trudno tworzących azotki, to wielkość zaimplantowanej dawki musi być starannie dobierana, aby uniknąć powstawania pęcherzy [26]. W przypadku azotu implantowanego do Au może on ponadto zajmować trzy rodzaje miejsc: 1) pozycje międzywęzłowe, 2) pozycje różnowęzłowe i 3) pozycje w miejscu defektów (głównie wzdłuż dyslokacji lub granic ziaren - w przypadku polikryształów) [8]. Głębokość warstwy zmodyfikowanej podczas implantowania materiałów o niskiej wartości granicy plastyczności (wyważona Cu, Ag, a - Fe) może przekraczać 100 mm. Można w niej wyróżnić trzy warstwy o różnej strukturze (rys. 2). Grubość warstw 123 jest większa aniżeli 100 mm. Do chwili obecnej, nieznanym jest powód tak dużej grubości warstwy zmodyfikowanej, podczas gdy średnia głębokość wnikających jonów wynosi zaledwie ok. 100 mm.

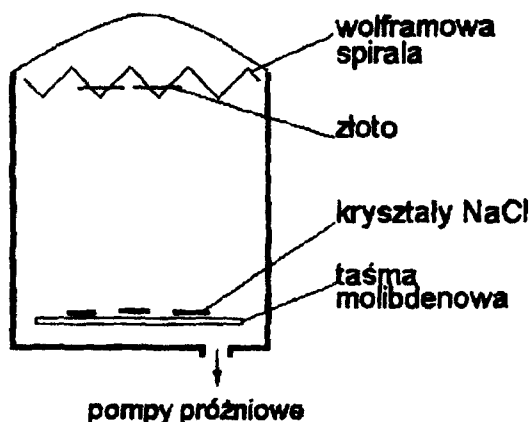


Rys.2. Schemat warstw utworzonych w czasie implantowania azotem na powierzchni obiektu metalowego; 1 - warstwa z zaimplantowanymi jonami azotu o grubości ok. 1 mm, 2 - warstwa z wysoką koncentracją defektów punktowych oraz pętli dyslokacyjnych, 3 - warstwa z rozwiniętą strukturą dyslokacyjną [8]

Dotychczas nie były publikowane rezultaty badań zmian mikrostruktury, wywołane implantowaniem w plazmie (PSII). Prezentowana praca jest próbą lepszego zrozumienia procesów zachodzących w czasie PSII materiału o sieci RSC (złoto), który zaliczany jest do grupy materiałów trudno tworzących azotki.

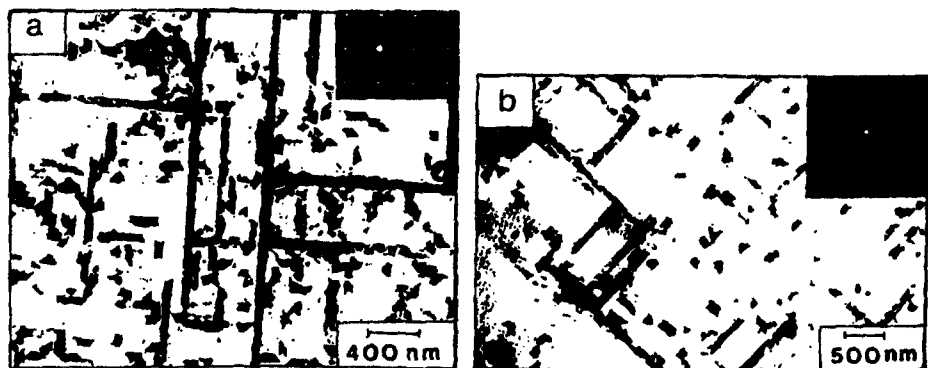
2. METODYKA BADAŃ

Jako substratu użyto świeżo przelamanych powierzchni kryształów NaCl, które utrzymywano w temperaturze 450°C na opornościowo grzanej molibdenowej taśmie (rys.3). Kryształy NaCl przelamywano bezpośrednio przed za-



Rys.3. Wyposażenie stanowiska badawczego, wykorzystywanego do otrzymywania monokryształów złota

ładowaniem do zapyłarki próżniowej. Temperaturę substratu mierzono za pomocą termoelementu (0,2 mm) chromelalumen dotykającego molibdenowej taśmy. Jako źródła odparowywania złota (99,999% czystości) użyto skrętkę wolframową. Grubość naporowywanych warstw (60,85,100 i 125 nm) oraz szybkość naporowywania była kontrolowana. Na rysunku 4 przedstawiono mikrostrukturę monokryształów złota o grubości odpowiednio 85 i 125 nm. Utworzone monokryształy złota zdejmowano z kryształów NaCl poprzez zanurzenie w wodzie destylowanej, a następnie wylawiano na miedziane siatki.



Rys.4. Mikrostruktura uzyskanych monokryształów złota przed implantowaniem o grubości: a) 85 nm, b) 125 nm. Załączone obrazy dyfrakcyjne wskazują na [100] orientację folii

Folie z polikrystalicznego złota, o grubości 0,065 mm wyzarzono w próżni w temperaturze 980°C w czasie 4 godzin, a następnie chłodzono z piecem. Po tej obróbce folie posiadały grube ziarno i preferowaną [100] orientację. Następnie były one pocieniane elektrolitycznie w kąpeli złożonej z: 200 ml wody, 14 g cyjanku potasu, 6 g żelazocyjanku potasowego, 6 g winianu sodowo-potasowego (roztwór A) i 0,8 ml amoniaku, 4 ml kwasu fosforowego, 20 ml wody (roztwór B). Roztwory A i B mieszano bezpośrednio przed użyciem. Z uwagi na duże niebezpieczeństwo pracy z powyższym elektrolitem 9 wydzielanie cyjanowodoru), folie pocieniano również elektrolitycznie w 1-molowym roztworze LiCl w metanolu w temperaturze 245K ($I = 0,25$ A, $V = 9,5$ V) [21]. Pocienione elektrolitycznie folie oraz monokryształy Au implantowano w plazmie do całkowitej dawki 2×10^7 N jonów/cm². Gęstość plazmy użytej w tym eksperymencie wahała się $2-4 \times 10^9$ cm⁻³. Komora do implantowania w plazmie miała kształt szklanej kuli o średnicy 14 cm. Generator pulsów zapewniał uzyskanie max. 50 kV i prądu do 10 A ze zmienną długością pulsów w zakresie 8-200 ms. Próbkę w czasie implantowania nie były chłodzone, maksymalna temperatura osiągnięta przez próbki dochodziła do 350°C. Strukturę zaimplantowanych próbek badano na mikroskopie elektronowym JEOL 2000FX przy napięciu przyspieszającym 200 kV.

Preparaty ze złota użyto w prezentowanych badaniach z trzech powodów: po pierwsze, szlachetny charakter tego metalu minimalizował problemy związane z kontaminacją, po drugie, nie uzyskano dotychczas dowodów potwierdzających tworzenie się azotków złota - nawet, gdy zaimplantowana dawka dochodziła do 2×10^{18} N/cm² [29] i po trzecie, teoretyczne obliczenia [21] wykazały, iż metal ten posiada największą między- i różnowęzłową rozpuszczalność. W przypadku niskiej rozpuszczalności, np. rozpuszczalności helu w niklu [3], hel ma skłonność do wydzielania się, tworząc wypchnięte gazem pęcherze, które tworzą się w takich miejscach, jak granice ziaren, dyslokacje lub wydzielania innych faz, przez co następuje znaczący spadek udatności. Często stosowana technika mieszania jonowego (ion mixing implantation), polegająca na implantowaniu osadzonych warstw na obcym podłożu, pozwala nie tylko na zwiększenie twardości tej warstwy, ale i na zwiększenie jej adhezji z podłożem. Dla materiału trudno tworzącego azotki, którym jest złoto, również istotna jest w tym przypadku duża odporność na korozję elementu, poddanego jonowemu mieszanii.

Mimo ostatnich eksperymentów dotyczących implantowania w plazmie [4-6,27] niemal nieznanne są mikrostrukturalne efekty tego procesu. Dlatego też wybór optymalnych parametrów procesu implantowania w plazmie, odbywa się za pomocą prób i błędów. Prezentowana praca jest próbą wyjaśnienia procesów zachodzących w materiale o sieci RSC podczas implantowania w plazmie, w przypadku, gdy utrudnione jest tworzenie się azotków.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

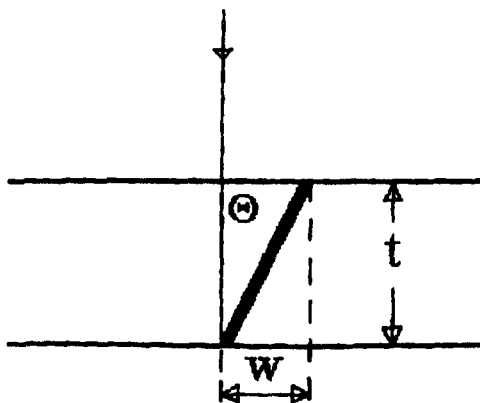
Krystalograficzne cechy występujące w cienkiej folii mogą być wykorzystane do pomiaru grubości folii pod warunkiem, że przecinają one górną i dolną powierzchnię folii. W ten sposób grubość folii może zostać określona z wykorzystaniem pasm poślizgu [28], błędów ułożenia [14], dyslokacji [13], dużych wydzielen [15], bliźniaków lub granic ziarn [25]. We wszystkich tych przypadkach, grubość folii t może zostać obliczona z zależności: $t = w \tan \Theta$, gdzie w jest szerokością rzutu danej cechy krystalograficznej, a Θ jest kątem jaki tworzy ona z powierzchnią folii (rys.5), przy założeniu, że powierzchnia folii jest prostopadła do wiązki elektronów. Szerokość rzutu w może zostać łatwo zmierzona na mikrofotografii, natomiast określenie kąta Θ wymaga znajomości płaszczyzny, na której defekt leży. Jeśli np. do określenia grubości folii użyjemy błędów ułożenia, które w kryształach Au leżą na płaszczyznach $\{111\}$, to kąt Θ możemy wyznaczyć z zależności krystalograficznej:

$$\cos \Theta = \frac{h_1 h_2 + k_1 k_2 + l_1 l_2}{\left[(h_1^2 + k_1^2 + l_1^2)(h_2^2 + k_2^2 + l_2^2) \right]^{1/2}}$$

gdzie:

$h_1 k_1 l_1$ - wskaźniki powierzchni folii,

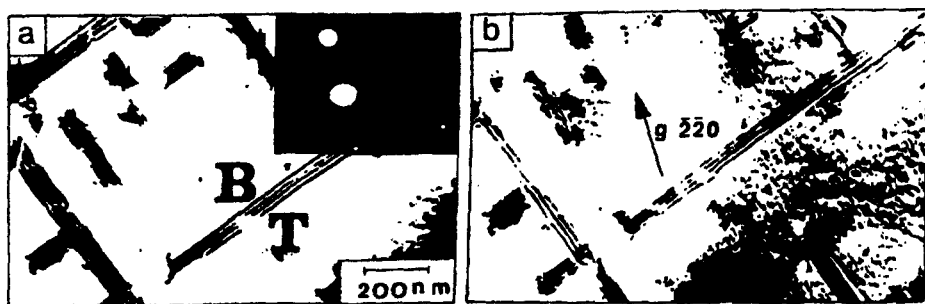
$h_2 k_2 l_2$ - wskaźniki płaszczyzny habitus defektu.



Rys.5. Schemat pomiaru grubości folii z wykorzystaniem pomiaru szerokości rzutu błędu ułożenia leżącego na znanej płaszczyźnie krystalograficznej (płaszczyzna folii jest prostopadła do wiązki) [25]

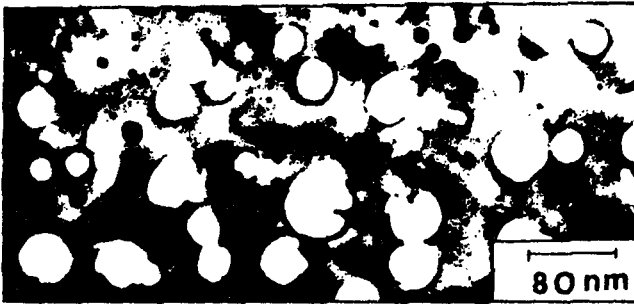
Jak wykazał Hirsch [16], przy wyznaczaniu grubości folii może powstać błąd do 5% w przypadku, jeśli obraz dyfrakcyjny z badanego obszaru folii nie

jest idealnie symetryczny i jednakowo intensywny wokół refleksu centralnego. Inny, znacznie większy błąd, może powstać, gdy powierzchnia folii nie jest prostopadła do wiązki elektronów. Samo ustawienie goniometru na wartość zerową nie oznacza spełnienia powyższego warunku, gdyż może wystąpić lokalne wygięcie folii. Analiza krystalograficzna błędów ułożenia (BU) ogranicza się na ogół do określenia charakteru nachylenia płaszczyzny krystalograficznej, na której leży BU (czy jest to BU zewnętrzny - zawierający dodatkową płaszczyznę, czy BU wewnętrzny - w którym została usunięta jedna płaszczyzna). Obraz BU w jasnym polu składa się z serii ciemnych i jasnych prążków, biegnących równoległe do linii przecięcia powierzchni BU z powierzchnią folii. Zewnętrzne prążki są albo jasne, albo ciemne, tzn., że obraz BU jest symetryczny. Natomiast obraz BU w ciemnym polu jest niesymetryczny, zewnętrzne prążki nie są takie same. Jeżeli obraz w ciemnym polu uzyskano, używając refleksu przeciwległego (-g) w stosunku do refleksu (g) operującego w jasnym polu, to takie same prążki wystąpią w jasnym i ciemnym polu na dole folii, natomiast na górnej powierzchni folii prążki będą miały przeciwny kontrast (rys.6) [10]. Jeżeli natomiast początek wektora g umieścimy w centrum obrazu BU i wektor g skierowany jest w stronę ciemnego zewnętrznego prążka, to dla wszystkich refleksów typu $\{400\}$, $\{111\}$ i $\{220\}$ oznacza, iż jest to wewnętrzny BU [10]. Zgodnie z powyższym, na rysunku 6 widoczny jest wewnętrzny błąd ułożenia.



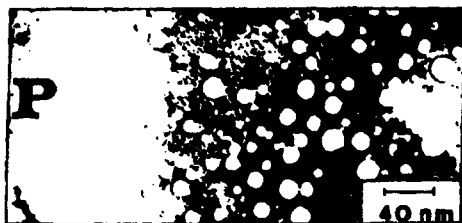
Rys.6. Obraz błędu ułożenia w: a) jasnym, b) ciemnym polu z wykorzystaniem refleksu (220) widocznym na załączonym obrazie dyfrakcyjnym. Jest to wewnętrzny (intrinsic) BU. Litera G oznacza górną powierzchnię folii, a D dolną powierzchnię

Rysunek 7 przedstawia strukturę próbki po implantowaniu w plazmie azotu do całkowitej dawki 2×10^{17} N jonów/cm², zawierającą dużą ilość jasnych kół. Istnieje tutaj możliwość, iż efekt ten wprowadzony został albo w czasie pocieniania elektrolitycznego, albo są to powierzchniowe kraterki utworzone podczas implantowania [1]. W obu przypadkach kontrast jasnych kół w stosunku do osnowy byłby jak na rysunku 7, ale powinny wystąpić prążki równoległe do krawędzi

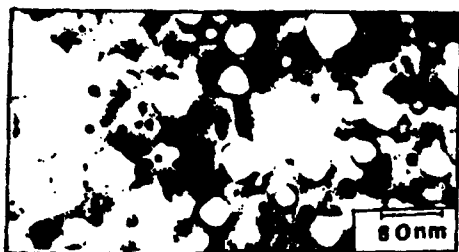


Rys.7. Struktura Au po implantowaniu w plazmie jonami azotu do całkowitej dawki 2×10^{17} N jonów/cm²

jamek trawiennych czy kraterów. Jednakże obserwacja zaimplantowanych próbek wykazuje brak występowania prążków, poza tym w próbkach przed zaimplantowaniem brak jest jasnych kół, co pozwala przypuszczać, iż powstały one w czasie implantowania. Prawdopodobnie, gdy ilość zaimplantowanego azotu przekroczyła granicę rozpuszczalności, rozpoczął się proces wydzielania azotu w postaci pęcherzy gazowych wewnątrz folii, a sprzyjało temu nagrzewanie folii podczas implantowania. Wykonane pomiary objętości zajmowanej przez wypełnione azotem pęcherze (dla ułatwienia obliczeń przyjęto ich kształt za kulisty) wykazały, iż zajmują one od 0,035% objętości w przypadku grubości folii ok. 80 nm, do 0,045% objętości dla folii o grubości ok. 120 nm. Zatem ich obecność nie powoduje istotnych zmian wymiarowych zaimplantowanej warstwy. Na rysunku 8 przedstawiono typową strukturę utworzoną po implantowaniu w pobliżu obszaru perforacji cienkiej folii. W lewej części mikrografii, odpowiadającej obszarowi najbliższemu perforacji (najcieńszy obszar folii) brak jest pęcherzy gazowych, które pojawiają się w części środkowej. W prawej części (najgrubszy obszar folii) zaobserwować można dużą liczbę pęcherzy o dużych rozmiarach. Poza tym występuje tam znaczna liczba ciemnych punktów o średnicy ok. 5 nm (rys.8). Pęcherze występowały wewnątrz ziarn, na granicach ziarn i na liniach dyslokacji, te ostatnie osiągały na ogół duże rozmiary (rys.9). Można założyć, iż azot dyfundując wzdłuż linii dyslokacji, wykorzystał ją jako "kanał" łatwej dyfuzji i tym zjawiskiem można tłumaczyć znaczne rozmiary bąbli leżących na dyslokacjach w porównaniu do bąbli o znacznie mniejszych rozmiarach leżących na zewnątrz ziarn (rys.9).



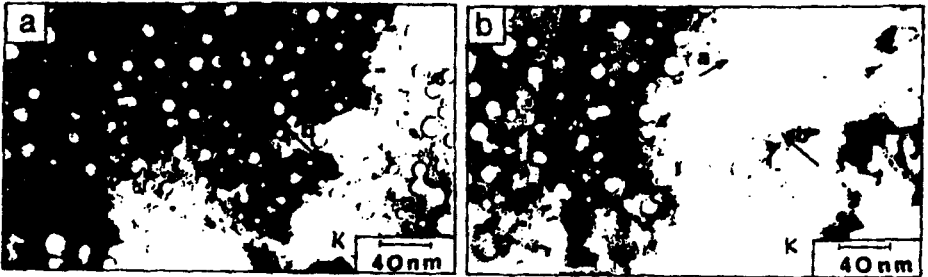
Rys.8. Struktura zaimplantowanej folii Au w okolicy perforacji. Widoczna zmiana wielkości pęcherzy w zależności od grubości folii



Rys.9. Struktura Au po implantowaniu. Rozrost pęcherzy wypełnionych azotem leżących na linii dyslokacji

W trakcie obserwacji zaimplantowanych próbek na mikroskopie elektronowym zauważono, iż pęcherze zmieniają swoje położenie. Zasugetowało to wykonanie prostego eksperymentu, polegającego na nagrzewaniu badanych folii na mikroskopie elektronowym. Po zrobieniu pierwszego zdjęcia, usuwano aperturę kondensora mikroskopu, co pozwalało na nagrzewanie próbki wiązką elektronów przez kilka minut. Następnie folię ponownie fotografowano, proces ten powtarzano kilka razy. Kolejne zdjęcia tego samego obszaru wykonane po różnych okresach nagrzewania folii, umożliwiły prześledzenie procesu migracji i wzrostu poszczególnych pęcherzy (rys.10). Pojedyncze pęcherze zmieniały położenie względem siebie, co potwierdzają kolejne zdjęcia. Jako stałego punktu odniesienia, nie zmieniającego swojej pozycji, użyto krawędzi perforacji, co umożliwiło precyzyjne nałożenie na siebie kolejnych negatywów. Często obserwowane pęcherze znikały, gdyż wchodziły one w kontakt z innymi i w wyniku koalescencji tworzyły większy pęcherz (rys.10). Jeżeli wokół pęcherzy istniało pole sprężystych naprężeń, to były one niedostatecznie duże do wytworzenia efektu kontrastu dyfrakcyjnego. Sądzi się jednak, iż pole naprężeń istnieje, ponieważ w wielu przypadkach zaobserwowano występowanie par: mały-duży pęcherz, w których pęcherze ze sobą niemal się stykały, jednak nie zachodziła ich

koalescencja w czasie nagrzewania (rys. 10). Obserwacja taka sugeruje, iż między tymi pęcherzami muszą istnieć krótko zakresowe siły odpychające.



Rys. 10. a) Struktura Au bezpośrednio po implantowaniu; b) obraz struktury tego samego obszaru folii po okresie ok. 5 min. ogrzewania folii wiązką elektronów. Widoczna zmiana wielkości i położenia gazowych pęcherzy. Krawędź perforacji oznaczono jako K

4. PODSUMOWANIE

Stwierdzono, iż po implantowaniu w plazmie azotu materiału, w którym utrudnione jest tworzenie się azotków, wystąpiła duża liczba pęcherzy gazowych. Mogą one zmieniać swoje położenie oraz rozrastać się w wyniku koalescencji. Obecność pęcherzy prowadzi do znacznego spadku udarności zaimplantowanej warstwy. W przypadku jonowego mieszania (ion mixing implantation), które zwiększa adhezję warstwy napylonej do podłoża, należy ściśle określać wartość dawki zaimplantowanych jonów, gdyż dla materiałów trudno tworzących azotki, przekroczenie granicy rozpuszczalności azotu może doprowadzić do wydzielania się jego w postaci gazowych pęcherzy. W celu uniknięcia tworzenia się pęcherzy, można przy implantowaniu dużymi dawkami stosować materiały łatwo tworzące azotki lub w przypadku materiałów trudno tworzących azotki, ściśle ograniczać wielkość zaimplantowanej dawki.

LITERATURA

- [1] Anttila A. et al.: J. Appl. Phys., vol. 57, 1985, s. 1423
- [2] Barnes R.S., Mazey D.J.: Proc. of the Royal Society of London, vol. 275, ser. A, 1963, s. 47
- [3] Baskes M.I., Melius C.F.: Phys. Rev., B20, 1979, s. 3197
- [4] Conrad J.R. et al: J. Appl. Phys., vol. 62, 1987, s. 4591
- [5] Conrad J.R.: Mat. Sci. and Eng., A116, 1989, s. 197
- [6] Conrad J.R. et al.: J. Appl. Phys., vol. 65, 1989, s. 1707

- [7] Conrad J.R.: *J. Appl. Phys.*, vol. 62, 1987, s. 777
- [8] Didenko A.N. et al.: *Mater. Sci. and Eng.*, A115, 1989, s. 337
- [9] Dodd G. et al.: *Nucl. Instr. and Meth.*, B7/8, 1985, s. 219
- [10] Edington J.W.: *Practical electron microscopy in materials science. Monographs 1-4*, University of Cambridge
- [11] El-Hossary F. et al.: *Surf. Eng.*, vol. 4, 1988, s. 150
- [12] Fayeulle S. et al.: *Nucl. Instr. and Meth.*, B7/8, 1985, s. 171
- [13] Formby C.L.: *Phil. Mag.*, vol. 13, 1966, s.621
- [14] Hall E.L., Van der Sande J.B.: *Phil. Mag.*, vol. 32, 1975, s. 1289
- [15] Heimendahl M.: *J. Appl. Phys.*, vol. 35, 1964, s. 457
- [16] Hirsch P.B. et al.: *Electron microscopy of thin crystals*. London, Butterworths, 1965
- [17] Kamada K. et al.: *Scripta Metal.*, vol. 22, 1988, s. 1281
- [18] Kelly R.: *J. Vac. Sci. Technol.*, vol. 21, 1982, s. 778
- [19] Kiss A.Z. et al.: *Nucl. Instr. and Meth.*, vol. 203, 1982, s. 107
- [20] Kustas F.M. et al.: *Nucl. Instr. and Meth.*, B31, 1988, s. 393
- [21] Laakmann J. et al.: *Acta Met.*, vol. 35, 1987, s. 2063
- [22] Ławrynowicz Z.: *Met. Obr. Ciepl. Inż. Pow.*, vol. 115-117, 1992
- [23] Ławrynowicz Z.: *Met. Obr. Ciepl. Inż. Pow.*, vol. 118-120, 1992
- [24] Prabhawalkar P.D. et al.: *Nucl. Instr. and Meth.*, B7/8, 1985, s. 147
- [25] Scott V.D., Love G.: *Mater. Sci. and Tech.*, vol. 3, 1987, s. 600
- [26] Sigle W.: *Phil. Mag. A*, vol. 58, 1988, s. 463
- [27] Tendys J. et al.: *Appl. Phys. Lett.*, vol. 53, 1988, s. 2143
- [28] Vigeholm B., Lindbo J.: *Trans. AIME*, vol. 245, 1969, s. 833
- [29] Zhou X. et al.: *Nucl. Instr. and Meth.*, B39, 1989, s. 583

TEM INVESTIGATIONS OF GOLD STRUCTURE AFTER PSII

Summary

When nitrogen ions were implanted into Au at ambient temperature, they were trapped in bubbles created by themselves during the implantation. The bubbles could be seen to move through the gold and coalescing with other bubbles which lay in their path. In case of metals which are difficult to form nitrides, the nitrogen dose should be selected precisely to avoid bubbles formation.

Edmund Dulcet

WPŁYW STOPNIA ROZDROBNIENIA ZIELONKI NA RÓWNOMIERNOŚĆ WYMIESZANIA JEJ Z KONSERWANTEM

W pracy przedstawiono metodykę oraz wyniki badań nad wpływem stopnia rozdrobnienia lucerny na równomierność wymieszania jej z benzoesanem sodu. Stwierdzono, że większą równomierność wymieszania konserwantu z zielonką uzyskano przy mniejszych długościach siecarki, przy czym różnice te były niewielkie. Tylko w jednym przypadku stwierdzono różnicę istotną statystycznie.

1. WSTĘP I CEL PRACY

Obecnie w procesie kiszenia pasz zielonych - szczególnie trudno kiszających - stosuje się często konserwanty chemiczne, enzymatyczne, mikrobiologiczne [5,8,9,12,13]. Jednym z głównych czynników warunkujących uzyskanie właściwych efektów dodawania konserwantów jest dokładne wymieszanie odpowiedniej ich ilości z materiałem roślinnym przeznaczonym do kiszenia [1,4,5,8,9]. Jest to jednak niezwykle trudne, ponieważ: nie można zapewnić przepływu równomiernej masy roślin, przeznaczonych do wymieszania z konserwantem w żadnej z faz zbioru, różna jest jakość zbieranego z pnia lub wałka materiału roślinnego, przenikanie konserwantów w głąb masy roślinnej w zbiornikach jest nierównomierne [1,4,5,8]. Zdaniem badaczy zajmujących się tym zagadnieniem, jednym z czynników mogących mieć wpływ na równomierność wymieszania konserwantu z zielonką, jest stopień jej rozdrobnienia [1,7,9,12].

Obecnie brak jest odpowiedzi na pytanie czy i jak stopień rozdrobnienia zielonki wpływa na równomierność wymieszania jej z konserwantem.

Dlatego też celem niniejszej pracy jest określenie wpływu stopnia rozdrobnienia zielonki na równomierność wymieszania jej z konserwantem.

2. METODYKA BADAŃ

Materiałem roślinnym stosowanym w badaniach była lucerna mieszańcowa (Medicago media) I pokosu w fazie początku kwitnienia. Charakterystykę lucerny mieszańcowej użytej w badaniach przedstawiono w tabeli 1.

Charakterystyka lucerny mieszańcowej

| Zawartość suchej masy | Wymiary wałków szerokość x x wysokość | Masa 1 mb wałka | Średnia długość łodyg przed rozdrobnieniem | Teoretyczna długość siewki | Średnia rzeczywista długość siewki (po rozdrobnieniu) |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------------|--|----------------------------|---|
| [%] | [mm] | [kg] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 23 | 1000x250-270 | 4,0 | 875 | 10 | 28,8 |
| | | | | 20 | 49,6 |
| | | | | 40 | 80,6 |
| | | | | 80 | 159,2 |

Jako konserwant stosowano benzoesan sodu w stanie ciekłym.

Dla określenia zawartości suchej masy w zielonce oraz do ilościowego oznaczania zawartości kwasu benzoesowego, pobierano próbki zgodnie z obowiązującą w Polsce metodyką, która ujęta jest w normie BN-74-9162-01.

Średnią długość łodyg przed i po rozdrobnieniu określano według metodyki przedstawionej w pracach Dulceta [2], Sęka i Dulceta [10].

Równomierność wymieszania benzoesanu sodu z lucerną oceniano w oparciu o oznaczanie ilościowe kwasu benzoesowego, zawartego w próbkach zielonki pobranej z 5 różnych miejsc przyczepu (według schematu koperty). Oznaczenie to przeprowadzono metodą spektrofotometryczną, przedstawioną w Encyclopedii of industrial chemical analysis, s.68-71 [6].

Równomierność wymieszania benzoesanu sodu z zielonką charakteryzowano za pomocą wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesanu sodu z zielonką.

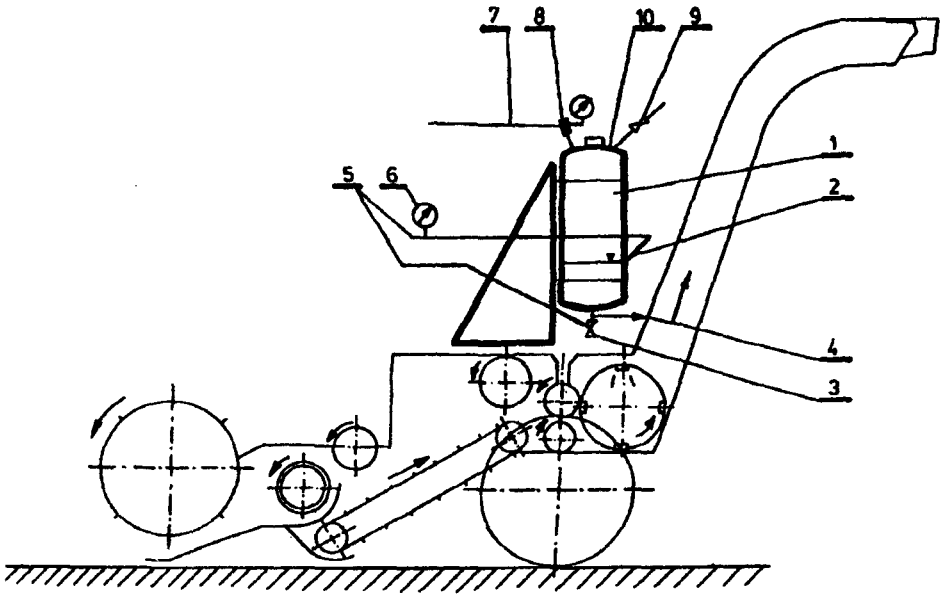
Wskaźnik nierównomierności wymieszania benzoesanu sodu z zielonką rozumiany jest jako procentowy stosunek odchylenia standardowego do średniej arytmetycznej zawartości benzoesanu sodu w zielonce.

$$K = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

gdzie:

- K - wskaźnik nierównomierności, %
- S - odchylenie standardowe, g
- \bar{x} - średnia arytmetyczna, g

Do dodawania benzoesanu sodu do zielonki w czasie jej zbioru zastosowano agregat: Ciągnik Ursus C-360, przyczepianą siewczarnię zbierającą Z-305 z nadbudowanym ciśnieniowym urządzeniem dozującym do konserwantów ciekłych (rys.1) i przyczepą skrzyniową z nadstawkami burtowymi. Dyszę wylotową urządzenia dozującego zamontowano przed zespołem walców ugniatających siewczarnię [3,4].



Rys.1. Schemat ciśnieniowego urządzenia dozującego nadbudowanego na sieczkarni zbierającej: 1 - zbiornik, 2 - czujnik poziomu konserwantu, 3 - elektromagnetyczny zawór odcinający, 4 - dysza, 5 - przewody elektryczne czujnika poziomu konserwantu i zaworu elektromagnetycznego, 6 - dwustanowy wskaźnik poziomu konserwantu, 7 - przewód doprowadzający sprężone powietrze z instalacji pneumatycznej ciągnika, 8 - reduktor z manometrem i zaworem bezpieczeństwa, 9 - zawór odpowietrzania zbiornika, 10 - pokrywa zbiornika wraz z korkiem wlewu

Przed przystąpieniem do badań przy pomocy tyczek wyznaczono odcinki pomiarowe o długości 100 m. Na odcinkach tych układano ręcznie wałki lucerny tak, aby charakteryzowały się równą wysokością i szerokością oraz równomiernym rozłożeniem masy na całej ich długości (charakterystykę wałka z lucerny przedstawiono w tabeli 1.).

Agregat poruszał się ze stałą prędkością, wynikającą z wymagań agrotechnicznych przy zbiorze zielonek na kisonki (1,65 m/s - 5,94 km/h), przy poślizgu nie przekraczającym 4%. Dla obliczonej wydajności zbioru dobrano dyszę dozownika tak, aby wydajność dozowania wynosiła 4,0 kg benzoesu sodu na tonę lucerny mieszańcowej [8,13]. Wskaźnik nierównomierności wydajności dozowania dla dobranej dyszy nie przekraczał 1,5%.

Badania miały następujący przebieg: skoszenie lucerny kosiarką palcową oraz ręczne ułożenie wałów. Następnie ustawiano zespół rozdrabniającego sieczkarni na żądanej teoretycznej długości sieczki, uruchamiano agregat oraz dozownik i przejeżdżano odcinek pomiarowy z ustaloną wcześniej prędkością, mierząc czas przejazdu odcinka pomiarowego. Końcówką kanału wylotowego sterowano tak, aby na całej powierzchni przyczepy równomiernie rozłożyć

drobnioną zielonkę. Następnie na przyczepę nakładano ramkę, dzielącą powierzchnię podłogi, na 5 równych części, z których pobierano reprezentatywne próbki, przeznaczone do ilościowego oznaczania zawartości kwasu benzooesowego oraz oceny stopnia rozdrobnienia zielonki. Po zakończeniu tych czynności zmieniano teoretyczną długość cięcia i powtarzano tok badań.

Badania te powtórzono trzy razy. Maksymalny błąd doświadczenia nie przekraczał 4%. Uzyskane wyniki badań poddano analizie wariancji. Hipotezy zerowe weryfikuje test F na poziomie istotności 0,05 i 0,01. Obliczenia prowadzono według programu opracowanego w języku FORTRAN na mikrokomputerze SM-1420. Istotność różnic między grupami doświadczalnymi oceniano testem rozstępu Duncana [11].

3. WYNIKI I ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki oznaczeń zawartości benzoesu sodu w próbkach zielonki, w zależności od stopnia jej rozdrobnienia przedstawiono w tabeli 2.

Z tabeli tej wynika, że dla nastawionej teoretycznej długości siewczki 10, 20, 40 i 80 mm, średnia rzeczywista długość siewczki z lucerny była większa od teoretycznej, odpowiednio 2,88; 2,48; 2,02; 1,99 razy (28,8; 49,6; 80,6; 159,2 mm). Najniższą wartość wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesu sodu z lucerną - 11,1% - uzyskano dla rzeczywistej długości siewczki 49,6 mm, natomiast najwyższą wartość - 16,8% (wzrost o 5,7%) - dla rzeczywistej długości siewczki 159,2 mm.

Wyniki analizy statystycznej zawarte w tabeli 2 wykazały, że wartości wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesu sodu z lucerną, różnią się istotnie statystycznie między średnią rzeczywistą długością siewczki 49,6 mm i 159,2 mm. W pozostałych relacjach różnice te były nieistotne statystycznie.

4. PODSUMOWANIE

W oparciu o uzyskane wyniki badań stwierdzono, że większą równomierność wymieszania konserwantu z zielonką, ocenianą przy pomocy wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesu sodu z lucerną, uzyskano przy mniejszych długościach siewczki, przy czym różnice te były niewielkie. Statystycznie istotną różnicę stwierdzono jedynie między wartościami wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesu sodu z lucerną zależnie od długości siewczki tylko między 49,6 mm a 159,2 mm. W pozostałych relacjach różnice te były nieistotne statystycznie.

Tabela 2

Zawartość benzoenu sodu w próbkach zielonki z lucerny mieszanej (Wyniki oznaczeń zawartości benzoenu sodu w zielonce są średnią arytmetyczną dwóch równoległych oznaczeń nie różniących się więcej niż o 0,01%. Wyniki podane w tabeli są średnią arytmetyczną z trzech przyczep)

| Teoretyczna długość sietki [mm] | Średnia rzeczywista długość sietki (po rozdrobnieniu) [mm] | Zawartość benzoenu sodu (g/kg lucerny) | | | | | | Odchylenie standardowe S [g] | Wskaźnik nierównomierności wymieszania benzoenu sodu z lucerną K [%] |
|---------------------------------|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|--|
| | | 3,005 | 2,760 | 3,050 | 4,020 | 3,005 | 3,168 | | |
| 10 | 28,8 | 3,005 | 2,760 | 3,050 | 4,020 | 3,005 | 3,168 | 0,4380 | 13,8 |
| 20 | 49,6 | 3,150 | 3,050 | 3,980 | 2,980 | 3,490 | 3,33 | 0,3692 | 11,1 ^a |
| 40 | 80,6 | 3,230 | 2,900 | 4,100 | 2,700 | 2,970 | 3,18 | 0,4903 | 15,4 |
| 80 | 159,2 | 2,470 | 2,910 | 2,780 | 3,700 | 3,800 | 3,132 | 0,5225 | 16,8 ^b |

Wartości oznaczone małymi literami (a,b) różnią się między sobą statystycznie istotnie ($p < 0,05$)

Harrison [7] prowadząc badania nad wpływem długości sieczki z lucerny (dwie długości cięcia) na absorpcję i wielkość strat ciekłego NH_3 i SO_2 dodawanego do lucerny w czasie jej zbioru sieczkarnią zbierającą podaje, że długość cięcia nie wpływała istotnie na absorpcję i wielkość strat użytych konserwantów. Natomiast odmiennego zdania jest Knodt i in. (cyt. za Harrisonem - [7]). Powyższe badania tylko pośrednio dotyczą zagadnień związanych z równomiernością wymieszania konserwantów z zielonką, niemniej sugerują, że stopień rozdrobnienia materiału roślinnego, może być czynnikiem wpływającym na równomierność wymieszania konserwantów z zielonką.

Podobne sugestie spotyka się w pracach Tarnowa [12], Raymonda [9], Colzaniego i in. [1], lecz nie podają oni żadnych wyników badań.

W związku z powyższym, wydaje się celowym kontynuowanie tych badań z zastosowaniem innych materiałów roślinnych takich, jak trawy, kukurydza.

LITERATURA

- [1] Colzani G., Santorio E., Martillotti F., Verna M.: *Studia e prove sperimentali su vari sistemi per distribuzione di integrativi e conservativi nei tricianti*. Istituto Sperimentale per la Meccanizzazione Agricola, Roma, 1978
- [2] Dulcet E.: *Badanie stopnia rozdrabniania pasz objętościowych urządzeniami tnącymi przyczep zbierających*. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rolnictwo 22, 1986
- [3] Dulcet E., Brzozowski T., Snochowski A.: *Urządzenie do dodawania preparatów chemicznych płynnych*. Wzór użytkowy nr 44149, UP Warszawa 1988
- [4] Dulcet E.: *Wo sielierzusätze Zugeben? Zur Plazierung der Düsen im Feldhäcksler*. Landtechnik 5, 1992
- [5] Dulcet E.: *Influence of Feeding Place of Conservants into the Soilage in an Harvesting Chaff Cutter on the Uniformity of Their Intermixing with the Soilage*. International Conference on Agriculture Engineering. Uppsala, 1992
- [6] *Encyclopedia of industrial chemical analysis*. New York, London, Sydney, Toronto, Vol.7, 1978
- [7] Harrison P.H.: *Treatment of Forage with Sulphur Dioxide in a Forage Harvester*. Transactions of the ASAE, Vol. 28(3), 1985
- [8] Podkówka W.: *Nowoczesne metody kiszzenia pasz*. PWRiL Warszawa, 1979
- [9] Raymond W.F.: *Conservation and feeding of forage crops*. The Agricultural Engineer. Autumn, 1976
- [10] Sęk T., Dulcet E.: *Wpływ parametrów technicznych biernego urządzenia tnącego przyczepy zbierającej na wskaźniki energetyczno-siłowe i eksploatacyjne procesu cięcia*. Część I. *Metodyka badań*. Ocena stopnia rozdrobnienia materiałów. Roczniki Nauk Rol., t. 77,C,4, 1988
- [11] Sierocka M.: *Program na analizę wariancji "AWAR"*. ATR Bydgoszcz, 1988
- [12] Tarnow M.T.: *Chimiczeskoje konserwirovanije kormow*. Kolos, Moskwa 1964
- [13] Trela S.: *Kiszzenie roślin wysokobiałkowych*. PWRiL Warszawa, 1975

THE INFLUENCE OF THE GREEN FORAGE CRUMBLE DEGREE ON UNIFORM MIXING WITH CONSERVANT

Summary

This study has presented methodics and results of the investigations on influence of the crumble degree of lucerne on uniform mixing with sodium benzoate. It has been found better mixing this conservant with green forage while lower lengths of chaff were used, however stated differences have not beenlargen. Only in one case the stated difference has been statistically important.

Edmund Dulcet

MIEJSCA DODAWANIA KONSERWANTU DO ZIELONKI W SIECZKARNI ZBIERAJĄCEJ

W pracy przedstawiono metodykę oraz wyniki badań nad wpływem miejsca dodawania konserwantu do zielonki w sieczkarni zbierającej na równomierność wymieszania go z zielonką.

Stwierdzono, że miejsce dodawania konserwantu do zielonki w sieczkarni zbierającej, wpływa w istotny sposób na równomierność wymieszania go z zielonką.

1. WSTĘP I CEL PRACY

Jednym z głównych czynników warunkujących uzyskanie właściwych efektów dodawania konserwantów chemicznych, enzymatycznych czy ostatnio biologicznych jest dokładne wymieszanie odpowiedniej ich ilości z materiałem roślinnym przeznaczonym do kiszenia [1,3,4,8,11,13,14].

Przy dodawaniu konserwantów do zielonki w czasie ich zbioru sieczkarnią zbierającą, niezmiernie ważne jest miejsce ich dodawania do zielonki w tej maszynie [3,10]. Dysze wylotowe urządzeń dozujących montowane są w różnych miejscach sieczkarni zbierających. Spotyka się mocowanie dysz wylotowych (dyszy) przed zespołem rozdrabniającym [9], w zespole rozdrabniającym [1,7] lub w różnych miejscach kanału wylotowego, najczęściej w dolnej jego części (nad bębniem zespołu rozdrabniającego) lub na końcu kanału przed końcówką sterującą [2,6]. Brak dotychczas jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, w którym miejscu sieczkarni zbierającej należy dodawać konserwant do zielonki, aby uzyskać jak największą równomierność wymieszania go z zielonką [1,3,10].

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu miejsca dodawania konserwantu do zielonki w sieczkarni zbierającej na równomierność wymieszania go z zielonką. Do rozwiązania tego problemu postawiono hipotezę roboczą, która podlegała weryfikacji i posłużyła do sformułowania zadań w dalszej części pracy.

Hipoteza: Miejsce dodawania konserwantu do zielonki w sieczkarni zbierającej wpływa w istotny sposób na równomierność wymieszania go z zielonką.

Zweryfikowanie hipotezy roboczej umożliwi dalszy postęp w technice dodawania konserwantów.

2. METODYKA BADAŃ

W badaniach jako konserwantu użyto benzoesu sodu w stanie ciekłym o następujących właściwościach fizycznych: temperatura konserwantu 20°C, gęstość 1129 kg/m³, lepkość dynamiczna 8,3526 N.s/m², napięcie powierzchniowe 0,0204 N/m.

Materiałem roślinnym stosowanym w badaniach była koniczyna czerwona I pokosu w fazie: początek kwitnienia, o średnim plonie 336 q/ha. Zbierano ją sieczkarnią zbierającą Z-305. Charakterystykę koniczyny czerwonej przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Charakterystyka koniczyny czerwonej

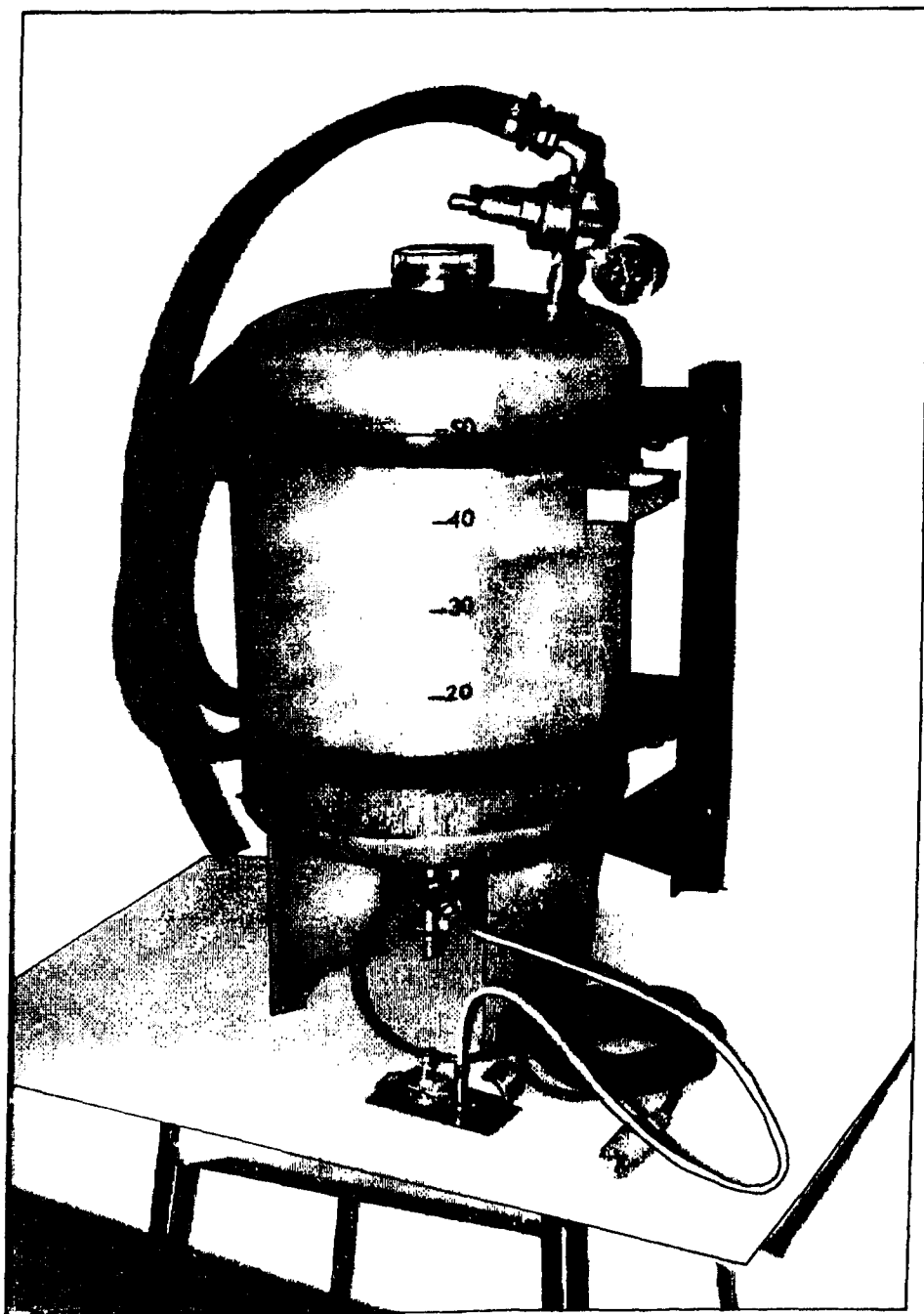
| Sposób dodawania konserwantu do zielonki | Zawartość suchej masy (%) | Wymiary wałków szer. x wys. (mm x mm) | Masa 1 mb walka (kg) | Średnia długość łodyg przed rozdrobnieniem (mm) | Średnia długość łodyg po rozdrobnieniu (mm) |
|--|---------------------------|---------------------------------------|----------------------|---|---|
| W czasie zbioru roślin (zwałków) | 24,89 | 1000x170÷175 | 3,0 | 539 | 25,1 |

Równomierność wymieszania benzoesu sodu z koniczyną czerwoną oceniano w oparciu o oznaczenie ilościowe kwasu benzoesowego zawartego w próbkach zielonki pobranych z 12 różnych miejsc przyczepy. Oznaczenie to przeprowadzono metodą spektrofotometryczną [5].

Równomierność wymieszania benzoesu sodu z zielonką charakteryzowano za pomocą wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesu sodu z zielonką.

Wskaźnik nierównomierności wymieszania benzoesu sodu z zielonką rozumiany jest jako procentowy stosunek odchylenia standardowego do średniej arytmetycznej zawartości benzoesu sodu w zielonce.

Do badań użyto agregat - ciągnik - przyczepianą sieczkarnię zbierającą bębnową nożową z nabudowanym ciśnieniowym urządzeniem dozującym do konserwantów ciekłych i zagregatowaną z nią przyczepą skrzyniową z nadstawkami burtowymi. Widok ciśnieniowego urządzenia do konserwantów ciekłych przedstawiono na rys.1. Dyszę wylotową urządzenia dozującego montowano kolejno w pięciu różnych miejscach sieczkarni zbierającej: przed zespołem, wałców ugniatających, w zespole rozdrabniająjącym, w dolnej części kanału wylotowego sieczkarni, w środkowej części kanału wylotowego oraz na końcu kanału wylotowego przed końcówką sterującą. Agregat poruszał się z prędkością 1,65 m/s (5,93 km/godz.), przy poślizgu nie przekraczającym 5%.



Rys.1. Widok ciśnieniowego urządzenia dozującego do konserwantów ciekłych

Dla obliczonej wydajności zbioru dobrano dysze dozownika tak, aby wydajność dozowania wynosiła 4,0 kg benzoesu sodu na tonę koniczyny czerwonej [11]. Wskaźnik nierównomierności wydajności dozowania dla dobranej dyszy nie przekraczał 1%.

Przystępując do badań przygotowano walek materiału roślinnego. Prace te objęły skoszenie koniczyny oraz ręczne ułożenie walka koniczyny o długości 100 m na betonowym torze tak, aby charakteryzował się on równą wysokością i szerokością oraz równomiernym rozłożeniem masy na całej jego długości. Następnie uruchamiano agregat, włączając również dozownik i przejeżdżano odcinek pomiarowy z ustaloną wcześniej prędkością, mierząc czas przejazdu odcinka pomiarowego. Następnie na przyczepę nakładano ramkę dzielącą powierzchnię podłogi na 12 równych części, z których to pobierano reprezentatywne próbki przeznaczone dla ilościowego oznaczenia zawartości kwasu benzoesowego. Po zakończeniu tych czynności zmieniano kolejno miejsca zamocowania dyszy wylotowej dozownika w sieczkarni zbierającej powtarzano i tok badań. Trzy razy przeprowadzono badania. Błąd względny pomiarów nie przekraczał 4%.

Uzyskane wyniki badań poddano analizie wariacji. Hipotezy zerowe weryfikuje test F na poziomie istotności 0,05 i 0,01. Obliczenia prowadzono według programu opracowanego w języku FORTRAN na mikrokomputerze SM-1420. Istotność różnic oceniano testem rozstępu Duncana.

3. WYNIKI I ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

W tabeli 2 przedstawiono wyniki oznaczeń zawartości benzoesu sodu w próbkach zielonki dla pięciu różnych miejsc dodawania go do zielonki w sieczkarni zbierającej. W oparciu o dane zawarte w tej tabeli wykonano histogram rozkładu średnich arytmetycznych zawartości benzoesu sodu w zielonce, który przedstawiono na rys. 2.

Przy dodawaniu benzoesu sodu do zielonki przed zespołem walców ugniatających, średnia arytmetyczna zawartość konserwantu w zielonce wynosiła 3,531 g (rys. 2), przy odchyleniu standardowym 0,40887 g. Obliczony wskaźnik nierównomierności wymieszania benzoesu sodu z zielonką wynosił 11,6%. Zbliżone wyniki uzyskano dodając konserwant do zielonki w zespole rozdrabniającej sieczkarni. Średnia arytmetyczna wynosiła 3,552 g (rys. 2), przy odchyleniu standardowym 0,43289 g, a wskaźnik nierównomierności wymieszania wynosił 12,2%. Nieco gorsze wyniki uzyskano dodając konserwant do zielonki w dolnej części kanału wylotowego sieczkarni. I tak, średnia arytmetyczna wynosiła 3,281 g (rys. 2), odchylenie standardowe 0,429,99 g. Wskaźnik nierównomierności wymieszania wynosił 12,8% i był wyższy o 1,2%, niż w przypadku dodawania konserwantu do zielonki przed zespołem walców ugniatających. Dodawanie benzoesu sodu do zielonki w środkowej części kanału wylotowego spowodowało, że średnia arytmetyczna zawartość benzoesu sodu,

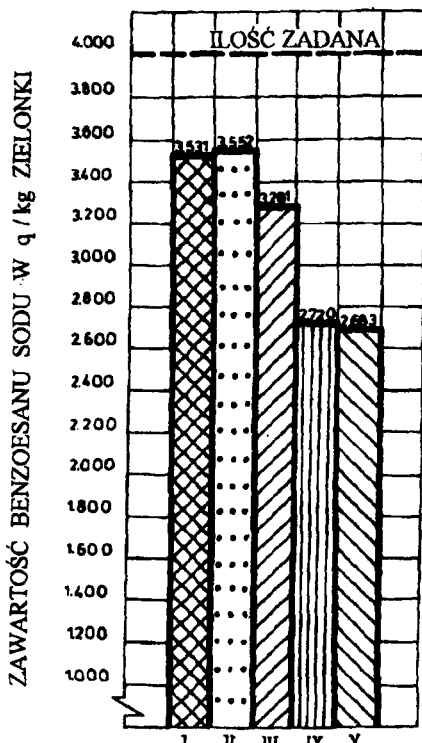
Tabela 2

Zawartość benzoenu sodu w próbkach zielonki z koniczyną czerwoną
(Wyniki zawarte w tabeli są średnią arytmetyczną z trzech przyczep)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Średnia arytme- tyczna \bar{x} |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| Miejsce dodawania konserwantu (umiejscowienie dyszy wylotowej) | | | | | | | | | | | | | |
| przed zespołem walców ugniatających (I) | 3,276 | 3,750 | 4,120 | 3,183 | 3,320 | 4,025 | 3,850 | 4,112 | 3,320 | 3,010 | 3,184 | 3,225 | 3,531 |
| w zespole rozdrabniającym (II) | 4,158 | 4,135 | 3,110 | 3,525 | 3,080 | 3,718 | 3,197 | 3,324 | 3,383 | 4,160 | 3,110 | 3,265 | 3,552 |
| w dolnej części kanału wylotowego siewczarki (III) | 2,914 | 3,105 | 4,120 | 2,895 | 3,290 | 3,130 | 3,120 | 3,617 | 2,940 | 4,038 | 3,013 | 3,191 | 3,281 |
| w środkowej części kanału wylotowego osiewczarki (I) | 2,615 | 3,825 | 2,327 | 2,414 | 1,820 | 2,107 | 3,987 | 2,765 | 2,005 | 3,674 | 2,893 | 2,208 | 2,720 |
| na końcu kanału wylotowego (V) | 3,424 | 2,838 | 2,891 | 1,480 | 3,462 | 1,538 | 1,812 | 2,416 | 3,310 | 3,190 | 2,990 | 2,846 | 2,683 |

jak i odchylenie standardowe, różniły się wyraźnie od poprzednich wyników. Średnia arytmetyczna wynosiła 2,720 g (rys.2), przy odchyleniu standardowym 0,73773 g. W porównaniu z dodawaniem konserwantu do zielonki przed zespołem walców ugniatających była ona mniejsza o 30%, przy odchyleniu standardowym około 1,8 razy większym. Wskaźnik nierównomierności wymieszania benzoesu sodu wynosił 27,1% i był około 2,3 razy większy. Zbliżone wyniki uzyskano dodając konserwant do zielonki w końcowej części kanału wylotowego siewczkarni. Średnia arytmetyczna wynosiła 2,683 g (rys.2), odchylenie standardowe 0,71238 g, a wskaźnik nierównomierności wynosił 26,6%.

Wyniki analizy wariancji zawarte w tabeli 3 wskazują, iż różnice między wartościami wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesu sodu w zielonce zależne od miejsca jego dodawania do zielonki w siewczkarni zbierającej, są wysokoistotne statystycznie.



Rys.2. Histogram rozkładu średnich arytmetycznych zawartości benzoesu sodu w zielonce, w zależności od miejsca dodawania go do zielonki w siewczkarni zbierającej: I - przed zespołem walców ugniatających, II - w zespole rozrabniającym, III - w dolnej części kanału wylotowego siewczkarni, IV - w środkowej części kanału wylotowego, V - na końcu kanału wylotowego - przed końcówką sterującą

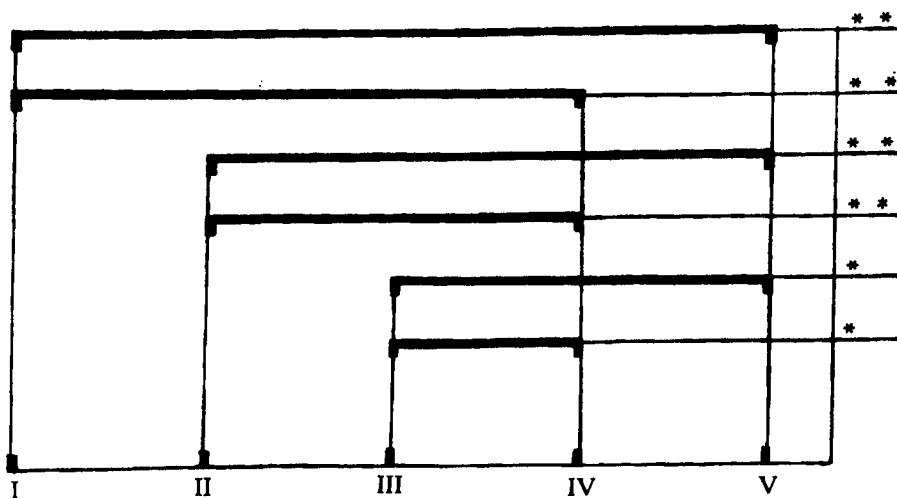
Tabela 3

Analiza wariancji dla określenia istotności różnic między wartościami wskaźnika nierównomierności wymieszania benzooesanu sodu w zielonce, zależnie od miejsca dodawania go do zielonki w siewczkarni zbierającej

| Źródło zmienności | Stopnie swobody | Suma kwadratów | Średni kwadrat | Test F | Istotność |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------|--------|-----------|
| Ogólna grupy | 14 | 1333.70 | 95.404 | 9,849 | 0,9983** |
| | 4 | 1065.30 | 266.310 | | |
| | 10 | 270.41 | 27.041 | | |

** - różnice wysokoistotne statystycznie (poziom istotności p 0,01).

Wyniki testu rozstępu Duncana przedstawiono graficznie na rysunku 3.



Rys.3. Wyniki testu rozstępu Duncana - różnice statystyczne między wartościami wskaźnika nierównomierności wymieszania benzooesanu sodu, w zależności od miejsca dodawania go do zielonki w siewczkarni zbierającej: I - przed zespołem walców z ugniatających, II - w zespole rozdrabniającym, III - w dolnej części kanału wylotowego siewczkarni, IV - w środkowej części kanału wylotowego siewczkarni, V - na końcu kanału wylotowego - przed końcówką sterującą;

* - różnice istotne statystycznie ** - różnice wysokoistotne statystycznie

Wartości wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesu sodu z zieloną różnią się wysokoistotnie statystycznie, ze względu na miejsca dodawania konserwantu do zielonki - przed zespołem walców ugniatających, w zespole rozdrabniającym a miejscami dodawania go w środkowej części i na końcu kanału wylotowego. Różnice istotne statystycznie występowały między miejscem dodawania konserwantu w dolnej części kanału wylotowego a miejscami dodawania w środkowej części i na końcu kanału wylotowego. W pozostałych relacjach różnice te były nieistotne statystycznie.

Na podstawie wyżej przytoczonych wyników badań można stwierdzić, że miejsce dodawania konserwantu do zielonki w sieczkarni zbierającej, jest czynnikiem wpływającym na równomierność wymieszania go z zieloną.

Można to wytłumaczyć tym, że dodając konserwant do zielonki w kanale wylotowym sieczkarni zbierającej podlega on intensywnemu zawirowaniu i rozbićiu na krople o różnej średnicy. Część rozbitego konserwantu, szczególnie krople o mniejszej średnicy zostają porwane przez strumień powietrza i wyrzuczone przez niego na zewnątrz. Wprowadzenie natomiast konserwantu do zielonki przed zespołem walców ugniatających lub do zespołu rozdrabniającego powoduje, że konserwant pokrywa i wiąże się z zieloną, zanim zostanie rozbity na krople w kanale wylotowym sieczkarni.

4. WNIOSKI

1. Miejsce dodawania konserwantu do zielonki w sieczkarni zbierającej jest czynnikiem wpływającym na równomierność wymieszania go z zieloną. Największą równomierność wymieszania konserwantu z zieloną uzyskano dodając go do zielonki przed zespołem walców ugniatających i do zespołu rozdrabniającego sieczkarni.
2. Stwierdzono statystyczne różnice między wartościami wskaźnika nierównomierności wymieszania konserwantu w zielonce, zależnie od miejsca dodawania go do zielonki w sieczkarni zbierającej.

LITERATURA

- [1] Colzani G., Santorio G., Martillotti F., Verna M.: *Studia e prove sperimentali su vari sistemi per distribuzione di integrativi nei tricianti*. Istituto sperimentale per la Meccanizzazione, Agricola - Roma, 1978
- [2] Dulcet E.: *Badania stanowiskowo-laboratoryjne oraz polowe urządzeń do dodawania preparatów chemicznych*. Prace ATR w Bydgoszczy, 1989
- [3] Dulcet E.: *Wo silierzustze Zugeben? Zur Platzierung der Dsen im Feldhcksler*. Landtechnik 5, 1992

- [4] Dullcet E.: Influence of Feeding Place of Conservants into the Soilage in an Harvesting Chaff Cutter on the Uniformity of Their Intermixing with the Soilage. International Conference on Agriculture Engineering. Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala 1992
- [5] Encyclopedia of industrial chemical analysis. New York - London - Sydney - Toronto. Ed. by Foster Dee Snell and Clifford I. Hilton, Vol. 7, 1968
- [6] Grochowicz J., Siwiło R.: Metoda i technika utrwalania wilgotnego ziarna cieklymi konserwantami. *Postępy Nauk Rolniczych* 3, 1978
- [7] Harrison P. H.: Treatment of Forage with Sulphur Dioxide in a Forage Harvester. *TRANSACTIONS of the ASAE*, vol. 28 (3), 1985
- [8] Kuzmickij A., V.: Technologija zakładki senaža i silosa s wniesieniem chemiczeskich konservantov. *Sbornik Naucnych Trudov Sielskoch* 131. Bieloruska Akad., 1985
- [9] Maskova H., Havelik J., Lunacek M., Holubova V.: Aplikace Konzervacnich Pripravku pri Wyrobe Obejmowych Krimiv. *Zindelska Technika* 26, 1980
- [10] Pirkelmann H.: Flssige Sillermittel gleichmassig verteilen. *DLG-Mitteilungen* 11, 1976
- [11] Podkówka W.: Nowoczesne metody kisenia pasz. *PWRiL, Warszawa* 1979
- [12] Raymond W., F.: Conservation and feeding of forage Crops. *The Agricultural Engineer Autumn*, 1976
- [13] Roszkowski A: Mechanizacja zbioru i konserwacji pasz zielonych. *PWRiL, Warszawa*, 1979
- [14] Tarnov M., t.: Chemiczeskoje konservovanije kormov. *Kołos, Moskva*, 1964

CONSERVANT PLACE OF FEEDING TO SOILAGE IN THE HARVESTING CHAFF CUTTER

Summary

In the report there are presented the results of testing over influence of feeding place of conservant into the soilage in a harvesting chaff cutter on the uniformity of its intermixing with the soilage.

The best intermixing uniformity was obtained when feeding of conservant into the soilage within the working range of the cutter disintegrating unit.

Edmund Dulcet

WPLYW WYDAJNOŚCI ZBIORU ZIELONKI NA RÓWNOMIERNOŚĆ WYMIESZANIA JEJ Z KONSERWANTEM ORAZ NA WIELKOŚĆ JEJ STRAT

W pracy przedstawiono metodykę oraz wyniki badań nad wpływem wydajności zbioru koniczyny czerwonej zbieranej przyczepianą sieczkarnią zbierającą na równomierność wymieszania jej z konserwantem oraz na wielkość jego strat. Stwierdzono, że największą równomierność wymieszania konserwantu z zielonką oraz mniejsze straty konserwantu uzyskano przy większych wydajnościach zbioru, przy czym różnice te zależnie od wydajności zbioru były niewielkie i statystycznie się nie różniły.

I. WSTĘP I CEL PRACY

W celu uzyskania kiszonek dobrej jakości należy sterować procesem fermentacji między innymi poprzez dodawanie do zielonek konserwantów chemicznych, enzymatycznych, mikrobiologicznych [8-10].

Skuteczność działania konserwantów w procesie kiszenia uzależniona jest od równomiernego wymieszania ściśle określonej ich ilości z zielonką, w zależności od gatunku (gatunków) roślin przeznaczonych do kiszenia. Ponadto, przy dodawaniu konserwantu do zielonek pewna jego ilość nie zetknie się z zielonką, uchodząc do otoczenia. Wpływa to na mniejszą od założonej ilość konserwantu pozostającego w zielonce, co może być przyczyną uzyskania kiszonki złej jakości [1,6,7,8].

Równomierność wymieszania konserwantu z zielonką i wielkość jego strat zależą od wielu czynników, z których najważniejsze to: stan skupienia konserwantu, godne zaufania urządzenie dozujące, sposób dodawania konserwantu do zielonki, miejsce dodawania konserwantu do zielonki w maszynie zbierającej, gatunek roślin przeznaczonych do zakiszania i stopień ich rozdrobnienia [1-4,8,12].

Z dotychczasowych obserwacji wynika, że również wydajność zbioru rośliny (roślin) przeznaczonej do kiszenia może wpływać na równomierność wymieszania konserwantu z zielonką oraz na wielkość jego strat. Obecnie brak jest w literaturze danych na ten temat.

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu zmian wydajności zbioru rośliny na równomierność wymieszania jej z konserwantem oraz na wielkość jego strat, przy dodawaniu go do zielonki w czasie jej zbioru siewką zbierającą.

2. METODYKA BADAŃ

Materiałem roślinnym stosowanym w badaniach była koniczyna czerwona I pokosu w fazie początek kwitnienia o średnim plonie 360 q/ha. Charakterystykę koniczyny czerwonej użytej w badaniach przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Charakterystyka koniczyny czerwonej

| Zawartość suchej masy | Wymiary wałków szerokość x wysokość | Masa 1 mb wałka | Średnia długość łądy przed rozdrobieniem | Teoretyczna długość siewki [mm] | Średnia rzeczywista długość siewki po rozdrobieniu [mm] |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------|--|---------------------------------|---|
| [%] | [mm] | [kg] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 21,8 | 1000x110:280 | 1;2;3;4;5 | 586 | 10 | 27,6 |

Jako konserwant stosowano benzoesan sodu w stanie ciekłym.

Dla określenia zawartości suchej masy w zielonce oraz do ilościowego oznaczenia zawartości kwasu benzoesowego pobrano próbki, według metodyki przedstawionej w normie BN-74-9162-01.

Średnią długość łądy koniczyny przed i po rozdrobieniu określono według metodyki przedstawionej w pracy Sęka i Dulceta [11].

Równomierność wymieszania benzoesanu sodu z zieloną oraz wielkość jego strat oceniano w oparciu o oznaczenie ilościowe kwasu benzoesowego metodą spektrofotometryczną w próbkach zielonek pobranych z 5 różnych miejsc przyczepy (według schematu koperty) [5].

Równomierność wymieszania benzoesanu sodu z koniczyną czerwoną charakteryzowano za pomocą wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesanu sodu z zieloną. Rozumiany jest on jako procentowy stosunek odchylenia standardowego do średniej arytmetycznej zawartości benzoesanu sodu w zielonce.

Wielkość strat benzoesanu sodu w zielonce określano jako różnicę między ilością zadaną benzoesanu sodu a stosunkiem średniej arytmetycznej zawartości benzoesanu sodu w zielonce do ilości zadanej.

Do badań użyto agregat ciągnik - sieczkarnię zbierającą z nabudowanym ciśnieniowym urządzeniem dozującym do konserwantów ciekłych i zagregatowaną z nią przyczepą skrzyniową z nadstawkami burtowymi [1].

Zespół rozdrabniający sieczkarni nastawiono na teoretyczną długość sieczki 10 mm. Dyszę urządzenia dozującego umieszczono w dolnej części kanału wylotowego sieczkarni.

Przed przystąpieniem do badań za pomocą tyczek, wyznaczono odcinki pomiarowe o długości 100 m. Na odcinkach tych układano ręcznie wałki koniczyny tak, aby charakteryzowały się równą wysokością i szerokością oraz równomiernym rozłożeniem masy na całej ich długości. Agregat poruszał się ze stałą prędkością, wynikającą z wymagań agrotechnicznych przy zbiorze zielonek na kisonki (1,65 m/s - 5,94 km/h), przy poślizgu nie przekraczającym 4%.

Różne wydajności zbioru uzyskano poprzez zmianę masy koniczyny czerwonej na 1 mb wałka (1;2;3;4;5 kg/mb). Dla obliczonych wydajności zbioru (5,93; 11,86; 17,79; 23,72; 29,65 t/h) dobierano dysze dozownika tak, aby wydajność dozowania wynosiła 4 kg na tonę koniczyny. Wskaźnik nierównomierności wydajności dozowania dla dobranych dysz nie przekraczał 3%. Badania te przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Błąd względny pomiarów nie przekraczał 5%.

Uzyskane wyniki badań poddano analizie wariacji, według programu opracowanego na mikrokomputerze SM-1420. Istotność różnic między grupami doświadczalnymi oceniano testem rozstępu Duncana [13].

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 2. Najniższą wartość wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesu sodu z koniczyną czerwoną (11,2%) uzyskano dla największej wydajności zbioru, tj. 29,65 t/h. Wskaźnik nierównomierności dla najmniejszej wydajności zbioru (5,93 t/h) wynosił 14,5% i był większy o 3,3%, niż przy największej wydajności zbioru. Należy podkreślić, że różnice w wartościach analizowanego wskaźnika, są niewielkie (obszar zmienności - 3,3%) i mieszczą się w granicach błędu pomiarów (5%). Potwierdzeniem tego jest przeprowadzona analiza statystyczna, która wykazała, że wartości wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesu sodu z koniczyną czerwoną w zależności od zmian wydajności jej zbioru (od 5,93 do 29,65 t/h), statystycznie się nie różnią.

Analiza uzyskanych wyników badań wykazała również (tabela 2), że w stosunku do ilości zadanej benzoesu sodu do koniczyny (4 g na kg zielonki), najmniejsze straty konserwantu 17,1% wystąpiły dla największej wydajności zbioru (29,65 t/h), natomiast największe straty 21,4% przy wydajności zbioru koniczyny 11,85 t/h (wzrost o 4,3%). Zbliżone wielkości strat (w grani-

Tabela 2

Zawartość benzoenu sodu w próbkach zielonki z kończyną czerwoną - w gramach na kilogram zielonki *
(Wyniki podane w tabeli są średnią arytmetyczną z trzech przyczep)

| Wydajność zbioru (t/h) | Nr kolejny próbki | | | | | | średnia arytmetyczna \bar{x} | Wskaźnik nierównomierności wymieszania benzoenu sodu z zielonką (%) | Straty konserwantu (%) |
|------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|---|------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| 5,93 | 3,048 | 2,750 | 3,002 | 4,015 | 3,004 | 3,164 | 14,5 | 20,9 | |
| 11,86 | 2,960 | 2,660 | 4,005 | 2,980 | 3,110 | 3,143 | 14,5 | 21,4 | |
| 17,79 | 3,005 | 2,980 | 2,840 | 3,100 | 3,980 | 3,181 | 13,3 | 20,5 | |
| 23,72 | 3,001 | 4,050 | 2,860 | 3,000 | 3,100 | 3,202 | 13,4 | 20,0 | |
| 29,65 | 3,480 | 2,970 | 3,130 | 3,030 | 3,970 | 3,316 | 11,2 | 17,1 | |

* Dane zawarte w tabeli są średnią arytmetyczną dwóch równoległych oznaczeń nie różniących się między sobą więcej niż 0,01%

cach 20%) uzyskano dla pozostałych wydajności zbioru. Wyniki analizy statystycznej zawarte w tabeli 2 wykazały, że wielkości strat konserwantu statystycznie się nie różnią.

4. PODSUMOWANIE

W oparciu o uzyskane wyniki badań stwierdzono, że różnice w wartościach wskaźnika nierównomierności wymieszania benzoesu sodu z koniczyną czerwona oraz wielkości uzyskanych strat konserwantu, zależnie od wydajności zbioru, (wydajność zbioru od 5,93 t/h do 29,65 t/h), były niewielkie (obszar zmienności 3,3% - wskaźnik nierównomierności; 4,3%-straty) i statystycznie się nie różnią.

W dostępnej literaturze brak jest wyników badań nad powyższym zagadnieniem. Uniemożliwia to porównanie ich z innymi wynikami, jak i przeprowadzenie dyskusji. Dlatego też wydaje się celowym kontynuowanie tego typu badań z zastosowaniem innych materiałów roślinnych przy użyciu przede wszystkim pojawiających się ostatnio na rynku konserwantów mikrobiologicznych (Lactomix, Inoculant, Bacillina, Sila-Bac).

LITERATURA

- [1] Dulcet E.: Badania nad równomiernością wymieszania konserwantu z zielonką w procesie zbioru na kiszonkę oraz nad wielkością jego strat. Rozprawy 58, ATR Bydgoszcz, 1993
- [2] Dulcet E.: Wpływ miejsca dodawania konserwantu do zielonki w siewczarni zbierającej na równomierność wymieszania jej z zielonką. Roczniki Nauk Rolniczych PAN, t. 94,C,4, 1994
- [3] Dulcet E.: Influence of the method of adding the preservative to the green forage on the uniformity of maxing it with the green forage and on its Losses. XII C.J.G.R World Congress and AgEng'94 Conference on Agricultural Engineering, Milano (Italy), 1994
- [4] Dulcet E.: Straty konserwantu przy różnych sposobach aplikacji do zakiszanych zielonek. Problemy Inżynierii Rolniczej, 1, 1994
- [5] Encyclopedia of industrial chemical analysis. New York, London, Sydney, Toronto, Vol 7, 1968
- [6] Harrison P.H.: Treatment of Forage with Sulphur Dioxide in a Forage Harvester. Transactions of the ASAE, Vol. 28/31, 1985
- [7] Kuzmickij A.W.: Technologija zakładki senaža i siłosa s wniesieniem chemiczeskich konserwantow. Sbornik Naucnych Trudow. Sel. Bieloruska Akad., 131, 1985
- [8] Podkówka W.: Nowoczesne metody kisenia pasz. PWRiL, Warszawa, 1979
- [9] Podkówka W., Potkański A.: Wpływ czynników chemicznych i fizycznych na przydatność pasz do zakiszania. Postępy Nauk Rolniczych, 1, 1993
- [10] Robkowsky D., Hertwig F., Neubert G.: Was biologische Silierhilfen Leisten. DLG Mitteilungen, 5, 1993

- [11] Sęk T., Dulcet E.: Wpływ parametrów technicznych biernego urządzenia tnącego przyczepy zbierającej na wskaźniki energetyczno-siłowe i eksploatacyjne procesu cięcia. Część I. Metodyka badań. Ocena stopnia rozdrobnienia materiałów. Roczniki Nauk Rolniczych PAN, t.77, C, 4, 1988
- [12] Sęk T., Dulcet E.: Straty konserwantu przy dodawaniu do zielonki podczas zbioru. Zeszyty Naukowe ATR w Bydgoszczy, Mechanika 35, 1992
- [13] Sierocka M.: Program na analizę wariacji "AWAR". Praca niepublikowana, ATR Bydgoszcz, 1988

THE INFLUENCE OF THE HARVESTINE EFFICIENCY OF GREEN FORAGE ON UNIFORM MIXING WITH CONSERVANT AND ON DIMENTION OF THE CONSERVANT WASTAGE

Summary

This study has presented methodies and results of investigations on influence the harvesting effeciency of red clover collected by the additional harvesting chaff cutter on uniform mixing with the conservant and on dimension of the conservant wastage.

It has been found that the best uniform mixing conservant with the green forage and the least conservant wastage were obtained while the working capacity of the harvest was better, however stated differences have not been large and statistically unimportant.

**Biblioteka Główna ATR
w Bydgoszczy**

| | |
|----|-----------------|
| Cz | 1006 39 1996 |
|----|-----------------|