

WYKRYWANIE PRZYCZYŃ WAD ODLEWÓW W KONTEKŚCIE PROCESÓW ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ

STANISŁAWA KLUSKA-NAWARECKA, GRZEGORZ DOBROWOLSKI,
ROBERT MARCJAN, EDWARD NAWARECKI

IDENTIFICATION OF REASONS OF FAULTS IN CASTS AS PART OF THE QUALITY CONTROL SYSTEM

Abstract

A proposition of the integrated expert diagnostic system is presented in the paper. The system is oriented towards diagnostics of the faults in casts. All the procedures in the system are based on the ISO norm. The main objective of the system is aiding of the process of identification of faults and finding the reasons of these faults. The work of the system is based on monitoring of the production process and on diagnostics of various incorrect events. The system supplies an information regarding methods of anticipating the faults of casts. This information is supplied to the quality control system, which is further used by the decision making system for the casting shop.

1. WSTĘP

W pracy przedstawiono koncepcję integracji ekspertowego systemu diagnostycznego zorientowanego na diagnostykę wad odlewniczych z procedurami zapewniania jakości opartymi o normy ISO.

Zadaniem systemu ekspertowego jest wspomaganie technologa w procesie identyfikacji braku (rodzaj wady) oraz wskazania przyczyn jego powstania i, w dalszej konsekwencji, wskazania ewentualnych środków naprawy (naprawa wyrobu) lub działań eliminujących powstawanie tego typu wad w kolejnych iteracjach procesu wytwarzania wyrobów danego typu (Ahmet i Kondic, 1996; Graham-Jones i Mellor, 1995;

Kluska-Nawarecka i Marcjan, 1993). Efektywna diagnostyka powinna być zintegrowana z realizowanym w zakładzie procesem technologicznym (Kluska-Nawarecka i in., 1999) oraz stosowanym systemem (procedurami) kontroli jakości (Kluska-Nawarecka i in., 2001). Na etapie kontroli jakości system ekspertowy wykorzystywany jest do wspomagania podejmowania decyzji, z drugiej zaś strony system diagnostyczny jest nieustannie zasilany informacjami o przebiegu i wynikach procesu technologicznego.

W klasycznym podejściu do diagnostyki wad przy użyciu systemu ekspertowego, podstawowym założeniem jest nieistnienie modelu przedmiotowego zjawiska w formie innej niż zbiór zdań orzekających. Jakkolwiek system taki wykazuje użyteczność w

przypadkach, gdy wystarczającym jest opis wad i ich przyczyn w formie abstrahującej od szeregu nieznanych, lokalnych uwarunkowań procesu odlewniczego, to zastosowanie go w odniesieniu do konkretnej odlewni okazuje się być żmudne i często może nie prowadzić do poprawnej diagnozy. Dzieje się tak dlatego, że system musi przeprowadzić akwizycję wiedzy dotyczącej konkretnej rzeczywistości przemysłowej, zadając użytkownikowi serię pytań. Pytania zaś sformułowane są w taki sposób, że wiedza szczegółowa jest jednocześnie przy pomocy użytkownika transformowana na przyjęty w systemie poziom abstrakcji.

Obserwacja powyższych niedogodności i niedoskonałości zaowocowała w postaci pomysłu systemu ekspertowego o charakterze hybrydowym, który wiedzę o specyfice zakładu, stosowanej technologii i historii prowadzenia procesu technologicznego jest w stanie w dużej mierze udostępnić „sobie sam” w oparciu o przyjęty i na bieżąco zasilany model realizowanego procesu odlewniczego.

OGólna charakterystyka proponowanego systemu ekspertowego wygląda następująco:

- Istotną częścią systemu jest model procesu odlewniczego, który organizuje relacyjną bazę danych zbierającą i udostępniającą szczegółową informację o przebiegu procesu i przetwarzanych partiach surowców, półproduktów oraz o wyprodukowanych odlewach.
- Na podstawie danych z bazy budowane są formuły, które określają warunki poprawnego przebiegu procesu dla konkretnych partii surowców i półproduktów.
- System magazynuje przypadki wystąpienia wad, które następnie wykorzystywane są we wnioskowaniu.

- Budowa modelu procesu technologicznego oraz zasilanie systemu danymi jest zintegrowane z procedurami kontroli jakości opartymi o normy ISO.

W artykule przedstawiono koncepcję systemu, proponowany model procesu odlewniczego, schematy wnioskowania i sposoby generowania reguł. Koncepcja zilustrowana jest prostym przykładem.

Rozważany jest także aspekt budowy wspomnianego modelu w oparciu o procedury zapewniania jakości i monitorowania produkcji wynikające ze stosowania norm ISO oraz integracja systemu diagnostycznego z wyżej wymienionymi procedurami. Integracja ta polega na tym, że z jednej strony informacje generowane przez system sterowania jakością stanowią wejście dla systemu diagnostycznego, z drugiej zaś system diagnostyczny jest wykorzystywany do wspomagania podejmowania decyzji podczas realizacji procesu technologicznego.

2. DIAGNOSTYKA WAD Z WYKORZYSTANIEM MODELU PROCESU TECHNOLOGICZNEGO

Diagnostyka wad odlewów w swym klasycznym ujęciu polega na znajdowaniu (wskazywaniu) przyczyny wykrytej wady. Po stwierdzeniu przyczyny danej wady podawane są zalecenia zmierzające do wyeliminowania tej przyczyny (zapobiegające jej powstaniu).

Taki tok postępowania wynika z norm oraz poradników, jak również znajduje odbicie w zasadach działania większości opisywanych w literaturze systemów ekspertowych służących do diagnostyki wad (Ahmet i Kondic, 1996; Graham-Jones i Mellor, 1995; Kłuska-Nawarecka i Marcjan, 1993).

Z formalnego punktu widzenia, problem diagnostyki sprowadza się do wyznaczenia relacji pomiędzy zbiorem wad i zbiorem przyczyn.

$$y = R(x); x \in X, y \in Y \quad (1)$$

gdzie:

X – zbiór wad,

Y – zbiór przyczyn powodujących wystąpienie wady,

R – poszukiwana relacja.

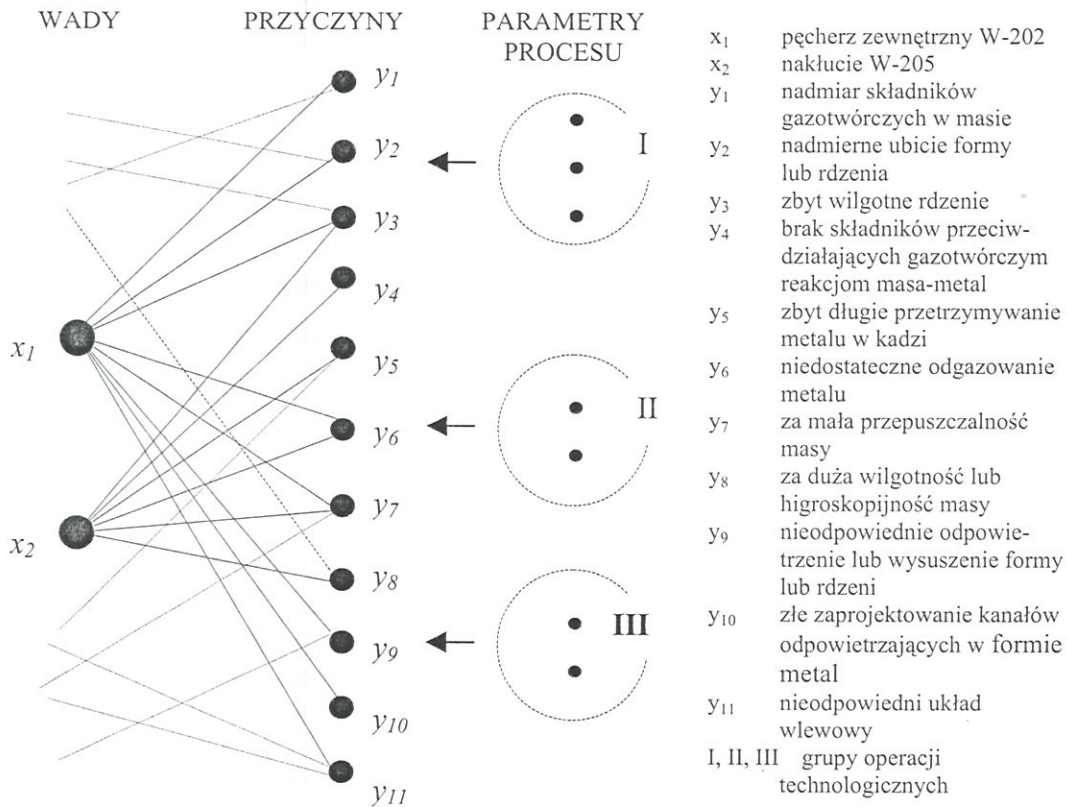
Łatwo zauważyć, że relacja ta jest odwrotnością realnie występującego związku przyczynowo-skutkowego pomiędzy przyczyną (przesłanką), a wynikającym z niej skutkiem w postaci wady, co odpowiada zależności:

$$x = R^{-1}(y); x \in X, y \in Y \quad (2)$$

Gdyby obie te relacje R, R^{-1} były jednoznaczne, wówczas problem diagnostyki wad stałby się trywialny, sprowadzając się do wzajemnego przyporządkowania pomiędzy elementami obu zbiorów.

W rzeczywistości okazuje się, że żaden z powyższych warunków w przypadku wad odlewów, nie zostaje spełniony. Każda z wyróżnionych w normach wad posiada wiele przyczyn, zaś każda przyczyna może powodować co najmniej kilka różnych wad. Istota problemu polega zatem na wyodrębnieniu jednej lub czasem więcej niż jednej przyczyny spośród zbioru przyczyn, która spowodowała daną wadę. Ilustrację tej sytuacji przedstawiono na rysunku 1, stanowiącym graficzną reprezentację relacji pomiędzy wybraną grupą wad, a ich możliwymi przyczynami.

Opierając się na tego typu reprezentacji, dla wyróżnionej wady x_i można napisać:



Rysunek 1. Wybrane wady kształtu i ich przyczyny.

$$IF (x_i) THEN (y_{i1} \vee y_{i2} \vee \dots) \quad (3)$$

Reguła taka nie jest oczywiście satysfakcjonująca, gdyż na tej podstawie nie można podać właściwej przyczyny wady, zaistniałej w konkretnym przypadku.

W klasycznym rozwiązaniu, system ekspertowy odpowiedzialny za wskazanie właściwej przyczyny spośród zbioru znajdującego się w konkluzji reguły (3) stara się pozyskać dodatkowe informacje od użytkownika zadając mu kolejne pytania typu:

- Czy została przekroczona dopuszczalna wartość y_i ?
- Czy wartość jest za niska y_i ?

Rola użytkownika przy udzielaniu odpowiedzi na pytania jest o tyle trudna, że nie zawsze ma możliwość sprawdzenia, jaka sytuacja istniała przy rzeczywistej realizacji procesu technologicznego. Jest to szczególnie trudne, gdy przy produkcji seryjnej nie można dokładnie stwierdzić, w jakim momencie, czy też z której partii półfabrykatów, został wykonany dany odlew.

Przedstawiona w pracy propozycja idzie w kierunku zastąpienia (przynajmniej częściowo) roli użytkownika przez model (quasi-model) procesu, zawierający informacje o jego realnym przebiegu.

Istota tego modelu polega na stworzeniu systemu informacyjnego odwzorowującego strukturę procesu technologicznego i gromadzącego informacje niezbęd-

ne do odtworzenia jego rzeczywistego przebiegu w okresie objętym diagnozowaniem.

Zadania takiego modelu są następujące:

- Przypisuje poszczególnym operacjom technologicznym wartości najistotniejszych parametrów określających ich przebieg.
- Określa relacje czasowe pomiędzy kolejno realizowanymi operacjami (pilotaż przebieg półfabrykatów).
- Generuje informacje pozwalające na korygowanie procesu w toku jego realizacji (w przód, wstecz).
- Generuje reguły wspomagające procedury diagnostyczne (reguły doraźnego i trwałego wykorzystania, tworzenie bazy przypadków).
- Pozwala na realizację procesu uczenia - korygowania reguł (adaptacja do procesu lub do sytuacji).

3. SYSTEM EKSPERTOWY

Proponowany system ekspertowy wykorzystuje następujące źródła informacji:

- wiedzę ekspertów (baza reguł) - skatalogowana wiedza dotycząca wad odlewów oraz przyczyn ich powstawania,
- model procesu technologicznego - system informacyjny realizujący funkcję gromadzenia i przechowywania danych charakteryzujących przebieg

procesu technologicznego.

- bazę przykładów (przypadków) i reguł pomocniczych – zdiagnozowane przypadki wystąpienia wad, ich przyczyny oraz podjęte akcje, zalecenia zmierzające do wyeliminowania wad.

Wiedza ekspertów reprezentowana jest w postaci zestawu reguł modelujących (opisujących) relacje pomiędzy wadami odlewów X a ich możliwymi przyczynami Y . Jest to wiedza o charakterze ogólnym, stałym. Określa terminologię dotyczącą klasyfikacji wad, przyczyn ich powstawania oraz możliwego związku przyczynowo-skutkowego między tymi zbiorami. Wiedza ta pozwala na tworzenie reguł typu:

$$IF (x_i) THEN (y_{i1} \vee y_{i2} \vee \dots) \quad (4)$$

Opisany poniżej model procesu technologicznego stanowi podstawę do strukturalizacji, gromadzenia i przetwarzania wszelkich dostępnych informacji o przebiegu procesu odlewania, które mogą ułatwić proces diagnostyczny oraz zwiększyć wiarygodność stawianych hipotez, dotyczących przyczyn zaobserwowanych wad. Ponadto zastosowanie tego modelu pozwoli odnieść postawioną hipotezę do przebiegu procesu technologicznego, w sensie czasu realizacji operacji oraz partii surowca lub półproduktu. Podstawowym wymaganiem, którego spełnienie warunkuje możliwość wykorzystania tego typu informacji, jest zdolność do odtworzenia historii poszczególnych wyrobów, partii półproduktów lub surowców.

Informację, o której mowa, stanowią będą dane pomiarowe oraz oceny różnych własności partii lub pojedynczych elementów przetwarzanego strumienia. Dane pomiarowe uzyskiwane będą właściwymi metodami laboratoryjnymi lub przy realizacji operacji technologicznej, oceny zaś wypracowywane będą przez operatorów w formie opisowej, podporządkowanej określonym założeniom szczegółowym

Konstrukcja omawianego modelu podporządkowana jest następującym założeniom:

- Struktura wytwarzania (następstwo poszczególnych operacji - półproduktów) może być opisana za pomocą grafu - drzewa, którego wierzchołek reprezentuje gotowy produkt (odlew).
- Wszystkie półprodukty i surowce mogą być podzielone na identyfikowalne partie (proces wytwórczy ma charakter i ciągły, i dyskretny), definiowane jako nierozróżnialne z punktu widzenia prowadzonych pomiarów i obserwacji.
- Informacje o partiach zbierane są w sposób rozproszony, w miejscu wykonywania operacji technologicznej, do której są używane.
- Przebieg procesu w czasie opisany jest przez przyporządkowanie partiom (lub pojedynczym produktom) znaczników czasowych, określających mo-

ment jej wytworzenia w odpowiedniej operacji technologicznej.

Niechaj każda partia wyrobów lub detal opisywana będzie przez listę o następującej postaci:

$$V_i^k = (t_i^k, z_{i1}^k, \dots, z_{in_k}^k, V_{i_j}^{k_l}, \dots, V_{i_m}^{k_n}) \quad (5)$$

gdzie:

i – identyfikator partii lub detalu,

t_i^k – znacznik czasowy partii lub detalu,

k, k_l, k_n – indeksy operacji technologicznych,

$V_{i_j}^{k_l}, \dots, V_{i_m}^{k_n}$ – partie lub detale, będące surowcami operacji technologicznej k ,

$z_{i1}^k, \dots, z_{in_k}^k$ – wartości parametrów, mierzonych lub obserwowanych dla partii lub detalu jako produktu operacji technologicznej k .

Zgodnie z założoną dla procesu strukturą drzewa, partie lub detale, będące surowcami operacji technologicznej, pojawiają się jako zagnieżdżone podlisty i konsekwentnie charakterystyka wyrobu końcowego W ma również taką postać, zawierając swoją własną charakterystykę w połączeniu z charakterystyką zawartych w nim (wykorzystanych) komponentów.

W ten sposób, sprawdzając właściwości wyrobu, można odtworzyć parametry jego komponentów, co daje możliwość przewidywania wystąpienia ewentualnych przyczyn powodujących wady, czyli tworzenia reguł o postaci:

$$IF (z_i^W \vee z_j^V \vee \dots) THEN (y_k) \quad (6)$$

wiązące parametry wyrobu finalnego oraz różnych jego komponentów z przyczynami wad zgodnie z przyjętą taksonomią.

Podczas pracy systemu w sposób ciągły tworzona jest baza przykładów (przypadków). Przykłady opisują sytuacje związane z wystąpieniem wady, zdiagnozowanymi przyczynami powstania wady oraz parametrami procesu technologicznego. W ogólnym przypadku taki przykład charakteryzowany jest przez następujące wielkości:

$$((x_i, \dots, x_n), (y_j, \dots, y_m), V_i^k) \quad (7)$$

gdzie: (x_i, \dots, x_n) zaobserwowane wady,

(y_j, \dots, y_m) zdiagnozowane przyczyny,

$V_i^k = (t_i^k, z_{i1}^k, \dots, z_{in_k}^k, V_{i_j}^{k_l}, \dots, V_{i_m}^{k_n})$; identyfikacja wyrobu wraz z parametrami, procesu technologicznego.

Wykorzystanie bazy przykładów polega na poszukiwaniu analogii (podobieństw) między aktualnie dia-

gnozowaną wadą (wadami), a przypadkami, które zostały rozpoznane w przeszłości.

Określenie takiej relacji podobieństwa jest tutaj dość trudne, można rozważać podobieństwo parametrów procesu technologicznego, podobieństwo zaobserwowanych wad (pojedyncza wada lub pewna ich konfiguracja) itp. Dodatkowo na różnych etapach procesu stawiania diagnozy różne relacje podobieństwa mogą mieć różne znaczenie.

I tak na etapie związanym z rozpoznaniem wady istotne może być podobieństwo parametrów przebiegu procesu technologicznego (z_k, \dots, z_l), może stanowić przesłankę do zasugerowania użytkownikowi możliwości wystąpienia pewnych wad. Taka sugestia może odbywać się zgodnie z regułą:

$$IF (z_k \wedge \dots \wedge z_l) THEN (x_i \vee \dots \vee x_n) \quad (8)$$

Reguła ta opisuje fragment relacji przyczynowo-skutkowej pomiędzy zmierzonymi (zaobserwowanymi) wartościami parametrów a możliwością wystąpienia wady, taki fragment, który ma poparcie w zarejestrowanych wcześniej przypadkach.

Z kolei na etapie związanym z poszukiwaniem przyczyn wady istotne może być podobieństwo na poziomie zaobserwowanych wad (x_i, \dots, x_n). Można wygenerować regułę typu:

$$IF (x_i \wedge \dots \wedge x_n) THEN ((y_j \vee \dots) \wedge (y_j \vee \dots)) \quad (9)$$

Reguła ta jest zawężeniem ogólnej reguły typu (4) opisującej związku przyczynowo-skutkowe pomiędzy przyczynami, a wadami. W następnym kroku można znów wykorzystać podobieństwo na poziomie parametrów, co może być przesłanką do ograniczenia członów „lub” w regule typu (9).

Reguły wygenerowane na podstawie przykładów nie mają charakteru ostatecznego. Stanowią pewien zestaw heurystyk, które mogą ułatwić (ukierunkować) i przyspieszyć proces stawiania diagnozy. Fakt, że pewna sytuacja (wystąpienie wady i zdiagnozowanie jej przyczyn) wystąpiła w przeszłości nie implikuje powtórzenia się tego przypadku, może stanowić jednak bardzo istotną przesłankę ukierunkowującą proces poszukiwania rozwiązania.

Opisywany system ekspertowy ma charakter systemu wspomagającego proces diagnozowania wad. Wygenerowane rozwiązania są proponowane użytkownikowi i wymagają jego akceptacji. Taka prezentacja częściowych rozwiązań (bazujących na wcześniej zaistniałych przypadkach) może odbywać się na każdym etapie procesu. Użytkownik może uznać, że rozwiązanie (zapropionowana analogia między sytuacją bieżącą, a wcześniej zarejestrowanymi przypadkami oraz wskazanie przyczyn wady) jest satysfakcjonujące, lub dalej poszukiwać rozwiązania, aż do wyczer-

pania (zbadania) wszystkich możliwych przyczyn wady.

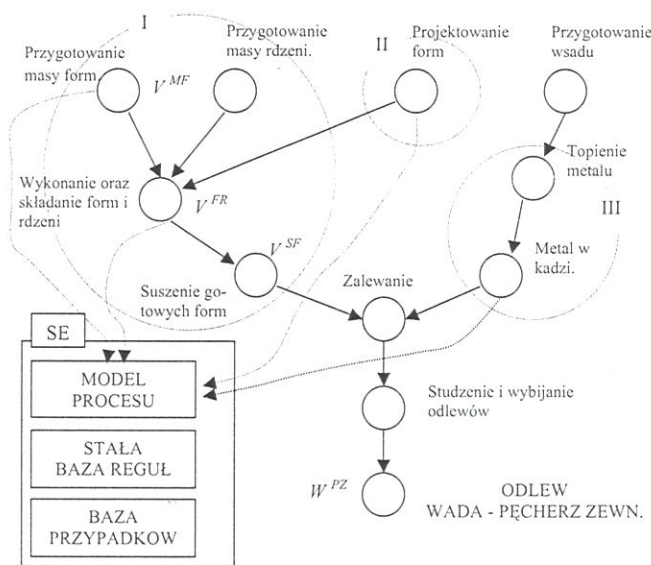
4. PRZYKŁAD PROCEDURY DIAGNOSTYCZNEJ

W celu zilustrowania proponowanej metodyki konstrukcji modelu, a następnie jego wykorzystania do procedur diagnostycznych, przedstawiony zostanie przykład dotyczący rozpoznawania przyczyn wybranej wady.

Rozważona zostanie wada PEČHERZ ZEWNĘTRZNY, która zgodnie ze schematem na rysunku 2 opisana zostaje regułą:

$$IF (x_1) THEN (y_1 \vee y_2 \vee y_3 \vee y_4 \vee y_5 \vee y_6 \vee y_7 \vee y_8 \vee y_9 \vee y_{10} \vee y_{11}) \quad (10)$$

gdzie: y_i przyczyny wady x_1 oznaczone symbolami zgodnie z rysunkiem 2.



Rysunek 2. Schemat tworzenia modelu informacyjnego dla wybranej wady.

Odpowiednio do tego należałoby zadać użytkownikowi pytania dotyczące następujących charakterystyk procesu technologicznego:

- składników gazowych w masie (I)
- ubicia form i rdzeni (I)
- wilgotności rdzeni (I)
- przepuszczalności masy (I)
- wilgotności i ziarnistości (I)
- odpowietrzenia i suszenia form i rdzeni (I)
- składu chemicznego metalu (II)
- odgazowania metalu (II)
- kanałów odpowietrzenia (III)
- układu wlewowego (III)

Przy kolejnych pytaniach zaznaczono, jaka grupa operacji technologicznych może spowodować daną

nieprawidłowość. Użytkownik chcąc odpowiedzieć na te pytania musi wykorzystać swą wiedzę o procesie technologicznym lub we własnym zakresie poszukiwać odpowiednich informacji. Natomiast zgodnie z przedstawioną koncepcją system informacyjny (model procesu) powinien zastąpić użytkownika, a przynajmniej ułatwić jego zadanie.

I tak, w rozważanym przykładzie wyodrębniony zostaje podzbiór operacji technologicznych, które mogą być potencjalnie odpowiedzialne za powstanie danej wady. Na rysunku 2 przedstawiono drzewo (graf) operacji technologicznych odpowiadające tej sytuacji, oraz zaznaczono przykładowo niektóre parametry wykorzystywane do tworzenia danej reprezentacji w systemie informacyjnym.

W wyniku wyodrębnienia odpowiednich zbiorów operacji technologicznych (I, II, III) oraz pobrania odpowiednich informacji, tworzony jest model poprzez generację kolejnych list (w poniższym zapisie pominięto specyfikację identyfikatorów partii lub detali, jako nie istotnych dla prezentowanego przykładu

$$V_{\bullet}^{FR} = (t_{\bullet}^{FR}, z_{\bullet,1}^{FR}, \dots, z_{\bullet,n_{FR}}^{FR}, V_{\bullet}^{MF}, \dots)$$

$$V_{\bullet}^{SF} = (t_{\bullet}^{SF}, z_{\bullet,1}^{SF}, z_{\bullet,2}^{SF}, \dots, z_{\bullet,n_{SF}}^{SF}, V_{\bullet}^{FR}) \quad (11)$$

.....

$$W_{\bullet}^{PZ} = (t_{\bullet}^{PZ}, z_{\bullet,1}^{PZ}, \dots, z_{\bullet,n_{PZ}}^{PZ}, V_{\bullet}^{SO})$$

gdzie:

V_{\bullet}^{MF}, \dots podlista reprezentująca komponenty form z rdzeniami,

V_{\bullet}^{FR} lista reprezentująca pewną partię złożonych form z rdzeniami (ewentualnie pojedynczą formę), scharakteryzowaną chwilą pomiaru lub określania ich cech t_{\bullet}^{FR} i parametrami $z_{\bullet,1}^{FR}, \dots, z_{\bullet,n_{FR}}^{FR}$,

V_{\bullet}^{SF} lista reprezentująca pewną partię wysuszonych form (ewentualnie pojedynczą formę), scharakteryzowaną chwilą pomiaru lub określania ich cech t_{\bullet}^{SF} i parametrami $z_{\bullet,1}^{SF}, z_{\bullet,2}^{SF}, \dots, z_{\bullet,n_{SF}}^{SF}$,

W_{\bullet}^{PZ} lista reprezentująca odlew, posiadający wadę PEŁCZERZ ZEWNĘTRZNY, zawierająca charakterystykę złożoną z opisu wszystkich komponentów i operacji, które mogły spowodować daną wadę.

Parametry z listy W_{\bullet}^{PZ} poddane są analizie, polegającej na wykryciu ewentualnych nieprawidłowości (poprzez porównanie wartości parametrów z ograniczeniami wynikającymi z technologii), w wyniku czego wygenerowane zostają reguły, wskazujące odpowiednie przyczyny wystąpienia wady.

W danym przypadku może to być przykładowo reguła postaci:

$$IF ((z_1^{SF} < \hat{z}_1^{SF}) \vee (z_2^{SF} < \hat{z}_2^{SF})) THEN (y_1) \quad (12)$$

gdzie:

z_1^{SF}, \hat{z}_1^{SF} odpowiednio rzeczywisty i zalecany czas suszenia formy,

z_2^{SF}, \hat{z}_2^{SF} rzeczywista i zalecana temperatura suszenia formy.

Reguła ta zostaje wykorzystana do wskazania przyczyny badanej wady, którą w tym przypadku jest:

Nieodpowiednie odpowietrzenie lub wysuszenie formy lub rdzeni

Łącznie z tą diagnozą podany zostaje zestaw działań zapobiegających – w danym przypadku:

Podwyższyć temperaturę suszenia i/lub wydłużyć czas suszenia

Jeżeli zastosowanie tych zaleceń (po zaakceptowaniu przez użytkownika) przyniesie pożądany rezultat, wówczas reguła powyższa uznana zostaje za potwierdzoną i wprowadzona do bazy przypadków.

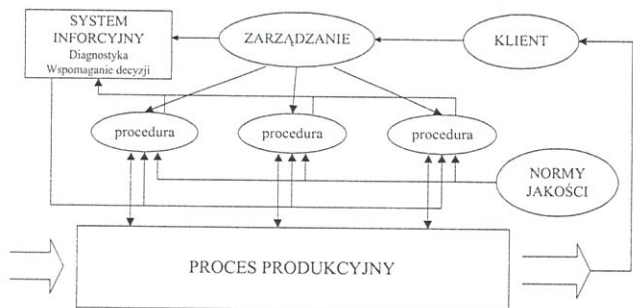
5. PROCEDURY ZAPEWNIANIA JAKOŚCI W PRZEMYSŁE ODLEWNICZYM

Dążenie do zapewnienia jakości stało się ostatnio hasłem przewodnim w wielu dziedzinach produkcji. Jako podstawowy środek umożliwiający realizację tego zamierzenia uważane jest wprowadzenie norm (np. ISO), które określają standardy międzynarodowe w zakresie organizacji kontroli procesów technologicznych.

Idea realizacji jakości odpowiadającej wymogom klienta, może być w największym uproszczeniu przedstawiona jako układ sterowania procesem produkcji, w którym rolę regulatora odgrywa klient (rysunek 3).

Oczywistym jest, że w realnych warunkach oddziaływanie klienta może mieć jedynie charakter pośredni - przez system preferencji przekazywanych na poziomie zarządzania procesem produkcji. Rola warstwy zarządzania polega na zamianie tych preferencji na konkretne zalecenia wprowadzane do procesu technologicznego, za pośrednictwem procedur określanych na podstawie wspomnianych norm (ISO).

Procedury te zostają wkomponowane w strukturę organizacyjną procesu produkcyjnego, obejmując zarówno działania o charakterze kontrolnym jak i dokumentacyjnym.



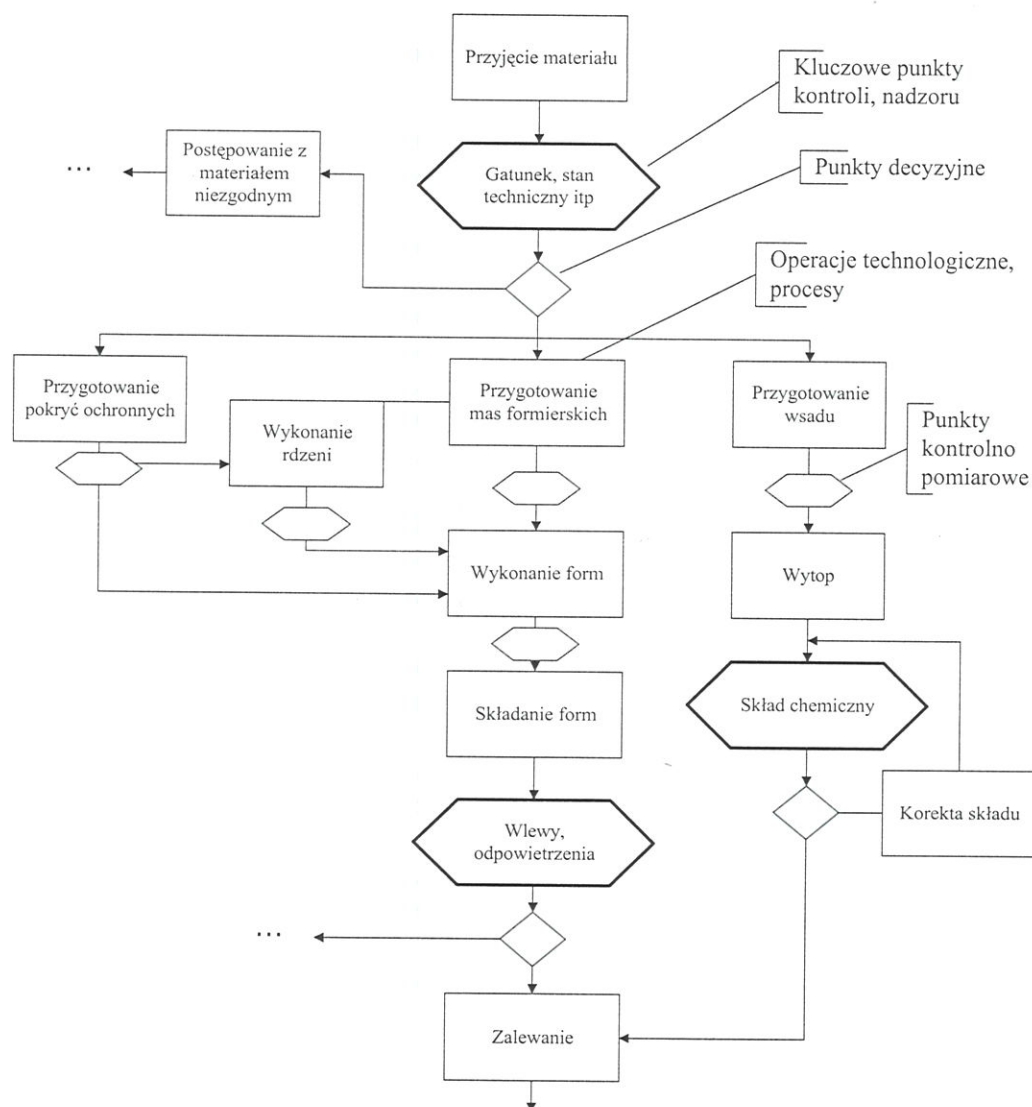
Rysunek 3. Uwarunkowania produkcji i kontrola jakości.

Opisy konkretnych procedur wchodzących w skład systemu zapewniania jakości odpowiadającej wymaganiom klienta, znaleźć można w normach ISO oraz publikacjach opisujących sposoby wdrażania tych norm w konkretnych procesach technologicznych (Tabor i in., 1999). Tutaj chodzi jedynie o zwrócenie uwagi, że efektywne funkcjonowanie takiego systemu uzyskane być może jedynie poprzez włączenie go do komputerowego systemu informacyjnego, zapewniającego archiwizację oraz operatywne wykorzysta-

nie pozyskiwanych danych do wspomaganie procesów decyzyjnych.

System informacyjny posiada dostęp do wyników realizacji procedur kontrolnych, mogąc je wykorzystać do diagnostyki, poddawać przetworzeniu (np. tworzenie statystyk), ewentualnie oddziaływać na sam tryb (procedury) ich pozyskiwania.

Funkcjonowanie ekspertowego systemu diagnostycznego było przedstawione w pierwszej części pracy. Między innymi analizowano tam przypadek prowadzenia wnioskowania na temat przyczyn powstawania wad w oparciu o model procesu technologicznego rozumiany jako system informacyjny dostarczający informacji o przebiegu wytwarzania danego wyrobu (wartości mierzonych parametrów charakteryzujących proces wytwarzania). Obecnie rozważany jest aspekt budowy wspomnianego modelu w oparciu o procedury zapewniania jakości i monitorowania produkcji wynikające ze stosowania norm ISO oraz integracja systemu diagnostycznego z wyżej wymienionymi procedurami. Integracja ta polega na



Rysunek 4. Procedury kontroli jakości w przykładowym procesie produkcyjnym.



tym, że z jednej strony informacje generowane przez system sterowania jakością stanowią wejście dla systemu diagnostycznego, z drugiej zaś system diagnostyczny jest wykorzystywany do wspomagania podejmowania decyzji podczas realizacji procesu technologicznego.

Nie należy rozumieć tego podejścia jako funkcjonalnego dublowania procedur zapewniania jakości, lecz jako uzupełnienie standardowych informacji uzyskiwanych w tym systemie o wskazanie przyczyn powstawania wadliwych odlewów.

Dla zilustrowania tego typu działań, na rysunku 4. przedstawiono typowy przykładowy fragment systemu kontrolno pomiarowego (związanego z realizacją kontroli jakości wg norm ISO) w zakładzie odlewniczym (Tabor in, 1999). Na schemacie pokazane zostały podprocesy (oraz zachodzące między nimi zależności), standardowe punkty pomiaru i kontroli (nadzoru) oraz punkty kontroli w krytycznych punktach procesu, czyli w miejscu połączenia kompleksu operacji stanowiących wyodrębniony fragment procesu technologicznego, a także związane z nimi procedury decyzyjne. Wynikiem kontroli jest liczbowo wartość pewnego parametru fizycznego lub potwierdzenie zamierzonego efektu technologicznego.

Wykorzystanie systemu diagnostycznego i jego integracja z procedurami kontroli jakości może odbywać się na trzech płaszczyznach.

Diagnostyka wyrobu końcowego:

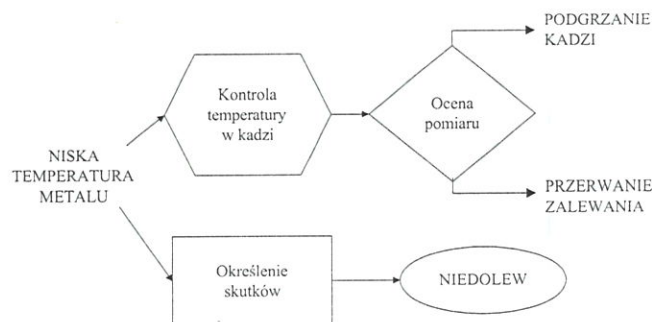
Mamy tutaj do czynienia z klasyczną procedurą diagnostyczną na etapie wyrobu końcowego. System wspomaga technologa (kontrolera) na etapie identyfikacji wady oraz poszukiwania jej przyczyn. Wnioskowanie generalnie odbywa się przy pomocy reguł grupy (3). Efektem końcowym jest „stwierdzenie braku” lub podjęcie decyzji o ewentualnej naprawie wyrobu, przy równoczesnym wskazaniu przyczyny danej wady. Schematyczne przedstawienie tych procedur dla konkretnej wady podaje np. rysunek 5.

Monitorowanie procesu wytwarzania i wspomaganie podejmowania decyzji:

Reguły systemu ekspertowego są wykorzystywane w poszczególnych punktach kontrolno-pomiarowych. Pojawienie się niepożądanego konfiguracji mierzonych parametrów powoduje uaktywnienie się odpowiednich reguł oraz procesu wnioskowania na temat możliwych konsekwencji takiej sytuacji. Zalecenia systemu mogą dotyczyć ewentualnej korekty dalszego przebiegu procesu wytwarzania. Działania tego typu spełniają postulat zapobiegania wadom w miejscu ich powstawania. Przykładową sekwencję takich działań podano na rysunku 6.



Rysunek 5. Diagnostyka wad.



Rysunek 6. Monitorowanie procesu wytwarzania.

Wskazania dotyczące ewentualnej korekty procedur kontroli jakości (związanej postulatem ciągłego doskonalenia procedur zapewniania jakości):

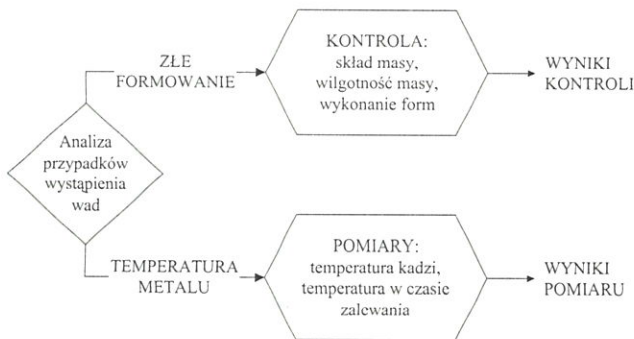
Przykładem tej ostatniej ewentualności może być określenie częstości lub procentowego udziału (prawdopodobieństwa) wystąpienia odpowiednich przyczyn wad (na podstawie gromadzonych przypadków). Dane tego typu, uzyskane dla wybranej grupy wad, przedstawiono w tabeli 1.

Jak widać, udział poszczególnych przyczyn wad może być bardzo różny – w danym przypadku od 2 do 40%, co może determinować zastosowanie odpowiednich reguł wskazujących sposoby zapobiegania wadom. Na rysunku 7. przedstawiono działania kontrolne i pomiarowe wynikające z analizy tabeli 1.

Zalecenia systemu mogą dotyczyć modyfikacji systemu kontroli i monitorowania – wskazanie węzłów procesu technologicznego oraz dodatkowych parametrów, których monitorowanie może spowodować wyeliminowanie określonych przyczyn i zmniejszenie ilości wad, lub też wskazanie parametrów, które nie mają istotnego wpływu na jakość wyrobów i w związku z tym można zrezygnować z być może kosztownych procedur ich pomiaru.

Tablica 1. Przyczyny powstawania wad.

| Przyczyna | % udział w powstawaniu wad |
|-----------------------------|----------------------------|
| złe formowanie | 40 |
| zbyt niska temperatura | 32 |
| niewłaściwy skład chemiczny | 15 |
| zła modyfikacja | 14 |
| wytrącenia | 10 |
| wybijanie | 8 |
| złe zalewanie | 4 |
| wilgotna masa | 2 |
| inne | 5 |



Rysunek 7. Wskazania do zmiany procedur kontroli jakości.

6. BADANIA TESTOWE I ZAŁOŻENIA IMPLEMENTACJI RZECZYWISTEJ

W celu zweryfikowania zaproponowanej koncepcji przeprowadzono szereg badań testowych. Dla wybranego wycinka procesu technologicznego wydzielono odpowiednią bazę reguł diagnostycznych oraz zdefiniowano bazę danych przechowującą informacje o przebiegu procesu technologicznego (stanowiącą model tego procesu). Baza danych była tworzona w oparciu o funkcjonujący model kontroli jakości zgodnie z normami ISO i zawierała następujące informacje:

- dane o wartościach parametrów technologicznych,
- dane dotyczące stosowanych surowców,
- informacje uzyskane w ramach realizowanych procedur kontroli jakości.

Funkcjonowanie systemu testowano na danych historycznych. Uzyskane wyniki dotyczące zdiagnozowanych wad – wskazania przyczyn ich powstawania, oraz sugerowane zalecenia naprawcze były zgodne z opiniami ekspertów.

Na podstawie testów stwierdzono przydatność metody, oraz opracowano założenia i postulaty dotyczące warunków rzeczywistej implementacji (wdrożenia systemu w zakładzie odlewniczym). Najważniejsze z tych postulatów przedstawiono poniżej:

- Rozpoznanie procesu technologicznego – formalny opis procesu według powyżej zaprezentowanego modelu.

- Identyfikacja punktów kontrolnych i pomiarowych (zgodnych z ISO).
- Przygotowanie bazy danych, oraz reguł diagnostycznych zgodnie z realizowanym profilem produkcyjnym.
- Zapewnienie (zaprojektowanie) powiązań pomiędzy bazą wiedzy a bazą danych procesu, utrzymywaną w ramach systemu zapewnienia jakości.
- Integracja z systemem kontroli jakości.

Na zakończenie jeszcze raz należy podkreślić, że warunkiem wdrożenia omawianego systemu diagnostycznego jest, ze względu na założenie o jego bezkosztowości w aspekcie przygotowania danych wejściowych, istnienie pracującego systemu zapewnienia jakości zgodnego z zaleceniami ISO.

7. UWAGI KOŃCOWE

Zapewnienie odpowiedniej jakości produkowanych wyrobów staje się koniecznością w obecnych realiach gospodarczych. Normy ISO zakładają stosowanie odpowiednich metod organizacji produkcji i zarządzania. Jednym z aspektów związanych ze stosowaniem norm ISO jest monitorowanie procesu produkcyjnego i przebiegu wytwarzania, diagnostyka ewentualnych nieprawidłowości i wad oraz wskazywanie środków zaradczych (naprawczych, zapobiegawczych). W pracy starano się zwrócić uwagę na możliwość wykorzystania na tym etapie ekspertowego systemu diagnostycznego. Informacje generowane przez system sterowania jakością stanowią wejście dla systemu diagnostycznego, z drugiej zaś system diagnostyczny jest wykorzystywany do wspomaganie podejmowania decyzji podczas realizacji procesu technologicznego.

Przedstawiona koncepcja systemu informacyjnego, integrującego funkcje systemu ekspertowego z systemem realizacji jakości (wg norm ISO), jest aktualnie przedmiotem prac prowadzonych przez Instytut Odlewnictwa oraz Katedrę Informatyki AGH. W chwili obecnej system ekspertowy w swej wersji klasycznej oraz współpracujące z nim bazy danych zostały już uruchomione i są udostępniane w sieci Internet (pod łączną nazwą INFOCAST).

LITERATURA

- Ahmet, E., Kondic, V., 1996, Knowledge based systems and their application in casting defects control, *Int. Journal Cast Metals Res.*, 1(9), 163-173.
- Graham-Jones, P.J., Mellor, B.G., 1995, Expert and knowledge-based systems in failure analysis, *Engineering Failure Analysis*, 2, (2) 137-149.

- Kluska-Nawarecka, S., Marcjan, R., 1993, Systeme expert pour la diagnostique des defauts d'une fonderie. *Proc. 11th IA-STED Int. Conf. on Applied Informatics*, Annency, 164-166.
- Kluska-Nawarecka, S., Nawarecki, E., Dobrowolski, G., Marcjan R., 1999, Hybrydowy system ekspertowy dla diagnostyki wad odlewniczych, *Mat. Konf. KomPlasTech'99*, ed., Grosman F., Piela A., Kusiak J., Pietrzyk M., Szczyrk, 189-196.
- Kluska-Nawarecka, S., Nawarecki, E., Dobrowolski, G., Marcjan, R., 2001, Diagnostyka wad odlewniczych wykorzystująca procedury zapewniania jakości ISO, *Mat. Konf. Kom-PlasTech'2001*, ed., Grosman, F., Piela, A., Kusiak, J., Pietrzyk, M., Korbielów, 51-56.
- Tabor, A., Zając, A., Rączka, M., 1999, *Zarządzanie jakością*, tom 1, Jakość i systemy zapewnienia jakości, Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej, Kraków.