

MATERIAŁY UZUPEŁNIAJĄCE DO AUTOMATYCZNYCH LINII FORMIERSKICH

Józef Dańko, Aleksander Fedoryszyn

ANALIZA AUTOMATYCZNYCH LINII ODLEWNICZYCH DO FORMOWANIA BEZSKRZYNKOWEGO

1. Wstęp

Aktualnie w odlewnictwie wykorzystywane są linie wytwarzania odlewów o różnym poziomie technicznym. Ze względu na ich trwałość okres eksploatacji często przekracza kilkanaście lat. Jeżeli w tak długim przedziale czasu nie następuje w określonej odlewni modernizacja linii i jej wzbogacenie o najnowsze, udoskonalone produkty danej firmy pojawia się zróżnicowanie poziomu jakości w ramach rozwiązań tego samego typu.

Automatyzacja w poprzednim okresie dotyczyła procesów technologicznych związanych głównie z wykonaniem formy, stąd wcześniejsze rozwiązania były określane jako automatyczne linie formierskie (ALF). Czynności zalewania formy ciekłym metalem, rdzeniowanie i wybijanie odbywały się tych liniach poza cyklem automatycznym. Oferowane obecnie rozwiązania linii automatyzują praktycznie wszystkie czynności związane z wykonaniem odlewu; uzasadniona jest zatem ich nazwa - automatyczne linie odlewnicze (ALO).

Na podstawie przeprowadzonej analizy [11] można stwierdzić, że nowe walory użytkowe automatycznych linii odlewniczych w mniejszym stopniu osiągają aktualnie przez unikalne rozwiązania konstrukcyjne poszczególnych, mechanicznych elementów linii, niż w wyniku rozwoju w zakresie ich automatycznego sterowania, diagnozowania oraz eksploatacji z zastosowaniem robotów i manipulatorów. W związku z tym, w ramach wartościowania rozwiązań danego typu linii, jak również całej ich populacji można wyodrębnić rozwiązania o cechach linii odlewniczych nowej generacji, odpowiadających obecnemu i przewidywalnemu stanowi techniki w tym zakresie. Pod tym określeniem należy rozumieć strukturę automatycznych linii odlewniczych, ich wyposażenie, sposób organizacji procesu technologicznego oraz realizacji poszczególnych jego etapów w powiązaniu z kontrolą i sterowaniem, które wnoszą istotną zmianę w przebiegu procesu wytwarzania odlewów, a także eksploatacji linii w stosunku do stanu poprzedniego.

Prowadzona w tym kontekście analiza stanu obecnego i prognoza rozwoju automatycznych linii odlewniczych wiąże się z koniecznością udzielenia odpowiedzi na pytania:

- jaka jest ocena jakości nowych funkcji użytkowych danej linii na tle ogólnego poziomu rozwiązań, usprawiedliwiająca zaliczenie jej do automatycznych linii odlewniczych nowej generacji?
- jaki czasowy i techniczny poziom odniesienia jest miarodajny do takiej oceny?
- jakie są uwarunkowania możliwości przewidywania kierunków dalszego rozwoju linii?

Określając okres czasu, który należy objąć analizą należy stwierdzić, że powinien on umożliwić ocenę rozwiązań o zbliżonej jakości i podobnych tendencjach rozwojowych [2 - 11]. Należy przy tym podkreślić, że poziom rozwiązań technicznych jest w danym momencie silnie związany z koniunkturą odlewnictwa w skali globalnej, a przynajmniej w skali krajów należących do dominujących organizacji gospodarczych w danym regionie, wymuszających zbliżony poziom techniki odlewniczej.

Ustalony dla potrzeb tej publikacji, czasowy poziom odniesienia analizy to okres ostatnich kilku lat, poczynając od wystawy INTERLITMASZ'88 [2] oraz targów GIFA'94 [6,7] i FOND-EX'96 [3]. Techniczny poziom odniesienia jest określony przez objęcie analizą automatycznych linii odlewniczych produkowanych przez renomowane, zachodnie firmy [7, 8, 9], gwarantujące

rozwiązania techniczne o wysokim, światowym poziomie i stale doskonalące poziom swoich wyrobów.

2. Charakterystyka struktury i wyposażenia linii wytwarzania odlewów

Aktualnie w liniach, podstawowym urządzeniem są jedno- i dwupozycyjne automaty przelotowe z dwoma wymiennymi kompletami oprzyrządowania modelowego, wykonujące na przemian górną i dolną półformę. Ilość linii o takim rozwiązaniu procesu formowania obecnie sięga 82% [1]. W liniach jest stosowane automatyczne zalewanie form (np. urządzenia DISAPOUR firmy DISA i urządzenie firmy WÖHR), automatyczne zakładanie rdzeni (np. urządzenie DISACORE) oraz wybijanie odlewów w wieloczynnościowych bębnach obrotowych (np. typu DISACOOOL, UNIVERSAL), lub w bębnach wibracyjnych (np typu SST firmy SCHENCK) [4, 9]. Urządzenia te realizują wszystkie operacje wybijania, łącznie z rozdzieleniem strumienia masy i odlewów oraz ich transportem. Coraz częściej wybijanie jest poprzedzone rozdzieleniem form i usunięciem z masy odlewów za pomocą manipulatorów do wyjmowania odlewów. Dotychczas tego typu wybijanie odlewów z form bezskrzynkowych o pionowej powierzchni podziału jest stosowane w linii Disamatic 2070 [9]. Niezależnie od aspektów pełnej automatyzacji, wybijanie poprzedzone wyjmowaniem odlewu z formy pozwala na skrócenie czasu termicznego oddziaływania odlewu na masę i zmniejsza jej cieplne zużycie. Intensywny rozwój robotyki w ostatnich latach, stwarza możliwość realizacji tej wersji wybijania również w liniach skrzynkowych, gdyż układy sterowania pracą współczesnych linii odlewniczych uwzględniają już konieczność regulacji czasu kontaktu masy z odlewami [4, 9].

W automatycznych liniach odlewniczych obserwuje się tendencję do ograniczenia stosowania wielopozycyjnych automatów formierskich, przede wszystkim ze względu na bardziej skomplikowaną ich budowę, rozległość struktury przestrzennej i większą energochłonność. Współczynnik wykorzystania czasu pracy linii dochodzi do 85%, przy zalecanej jej eksploatacji w ruchu dwuzmianowym. Linie odlewnicze obecnie oferowane niemal powszechnie są wyposażone w systemy mikroprocesorowe, spełniające funkcje sterujące, diagnostyczne i ewidencyjne [6, 9].

Dzięki znacznemu postępowi w mechanizacji formowania, obserwowany jest ponowny, wzrost zainteresowania technologią form piaskowych. Prognozy na przyszłość wskazują, że zostanie zachowane znaczenie tej technologii w produkcji odlewów. Można wyrazić opinię, że warunkiem utrzymania się na rynku producentów maszyn jest w najbliższej perspektywie sprostanie przez nich wyzwaniu, wynikającemu z dążenia do budowy systemów elastycznych oraz modułowych, z możliwością sterowania programowego pracą maszyn i linii.

Istotna zmiana przebiegu procesu wytwarzania odlewów w stosunku do stanu poprzedniego, jest uzyskiwana głównie przez wprowadzenie automatów formierskich o określonych charakterystykach i parametrach użytkowych. Przy wyborze automatu dla znanego asortymentu odlewów i wielkości ich serii analizuje się między innymi, zarówno parametry związane z zasilaniem w masę formierską, jej dozowanie i zagęszczanie, jak też związane ze stosowaniem kasetowych płyt modelowych, ich wielkością, budową i możliwością pełnego zagospodarowania powierzchni roboczej. Optymalny wybór wymaga prowadzenia wielu długotrwałych i wszechstronnych analiz [5].

Formowanie bezskrzynkowe stanowi dalej najbardziej ekonomiczną metodę seryjnej i masowej produkcji form dla większości odlewów drobnych i średnich. Dolna granica seryjności produkcji zależy wyłącznie od kosztu oprzyrządowania modelowego, ponieważ system automatycznej wymiany oprzyrządowania umożliwi zmianę modeli bez przerw w produkcji.

Linie odlewnicze z automatami do formowania bezskrzynkowego charakteryzują się szerokim zakresem stosowania do produkcji odlewów z żeliwa, stopów aluminium i miedzi w piaskowych formach.

Kierunki rozwoju linii z automatami do formowania bezskrzynkowego, w Europie nadal wyznacza firma DISA, rozszerzająca swoje możliwości przez połączenie w jeden organizm DISA GEORG FISCHER +GF+ znanych przez lata producentów maszyn odlewniczych

BADISCHE MASCHINENFABRIK DURLACH (Niemcy) i GEORG FISCHER (Szwajcaria). W Stanach Zjednoczonych AP linie odlewnicze z automatami do formowania bezskrzynekowego wytwarza firma HUNTER [9], której obszar działania (sprzedaż i serwis) nie ogranicza się jedynie do terenu USA i Kanady.

Linie odlewnicze z automatami do zagęszczania podciśnieniowo-impulsowego, stosujące skrzynki usuwalne oferuje również od kilku lat firma HAFLINGER [9].

Automaty do formowania bezskrzynekowego są w większości budowane jako jednopozycyjne. Wyjątkiem tu są automaty firmy HUNTER, w których kolejne operacje realizowane są na dwóch pozycjach; trzecia służy jedynie do magazynowania płyt podformowych [9, 10]. Linie firmy HUNTER bazują na trójpozycyjnych automatach formierskich HMP - obecnie typu D i E, w których masa formierska do skrzynek jest zasypywana grawitacyjnie, a następnie prasowana pod średnimi lub wysokimi naciskami. Stosowana jest dwustronna płyta modelowa, a prasowanie dolnej i górnej półformy odbywa się na różnych pozycjach.

Zagęszczanie masy formierskiej, niezależnie od typu automatu formierskiego realizowane jest dwuetapowo. Wstępny stopień zagęszczenia uzyskuje się metodami dmuchowymi, w tym także metodą podciśnieniową lub przez zasypywanie grawitacyjne masy do komory formowania. Ostateczne zagęszczenie uzyskuje się przez prasowanie masy pod średnimi lub wysokimi naciskami, za pomocą płyt prasujących lub płyt modelowych. Stosowany jest również sposób polegający na dwustronnym prasowaniu masy formierskiej, któremu towarzyszy jej przedmuchiwanie sprężonym powietrzem, dostarczonym za pomocą odrębnego zespołu zaworowego. Wprowadza się także podciśnieniowe zasysanie masy do komór formowania, przy czym stosuje się zawory, pozwalające na dynamiczne, impulsowe obniżenie ciśnienia w przestrzeni kasety płyty modelowej i w komorach roboczych, połączonych ze zbiornikami próżniowymi. Pod tym względem interesujące są linie firmy HAFLINGER, w których ponadto zastosowano oryginalne rozwiązanie wózków transportujących i jednocześnie chroniących formy przed uszkodzeniem.

Zbiornicze zestawienie parametrów automatów do formowania bezskrzynekowego firmy DISA przedstawiono w tabeli 1. Dane dotyczące automatów pozostałych producentów przedstawiono w tabeli 2.

Struktura automatycznych linii do bezskrzynekowego formowania zdecydowanie się różni od układów, w których występuje obieg skrzynek formierskich. Jest to najbardziej zwarty i prosty układ formowania. Obejmuje zasadniczo agregat (automat) formierski oraz przenośnik transportujący formy na odcinek zalewania i chłodzenia. Odcinek chłodzenia może być przedłużony przez dodatkowy przenośnik, zazwyczaj członowy, doprowadzający zalane formy do stanowiska wybijania odlewów [2-3, 7-11].

Duża prostota struktury linii formowania bezskrzynekowego oraz znaczne jej skrócenie są rezultatem przede wszystkim:

- wyeliminowania skrzynek formierskich i związanych z tym czynności takich jak transport skrzynek, ich rozdzielanie i podanie do maszyny formierskiej, nakładanie na zespół modelowy, wypychanie, czyszczenie itp.,
- zagregowania w obrębie automatu niemal wszystkich operacji formowania, które w odniesieniu do poszczególnych połówek formy mogą zachodzić równocześnie (dozowanie, zagęszczanie wstępne i ostateczne, oddzielanie itp.),
- umożliwienia rdzeniowania form na stanowisku maszyny, co eliminuje odcinek rdzeniowania.

W zakresie linii automatycznych do formowania bezskrzynekowego światową renomę osiągnęło bezsprzecznie urządzenie Disamatic firmy DISA (obecnie DISA GEORG FISCHER +GF+). Linie Disamatic mają najprostszą strukturę, charakteryzującą się stosowaniem specjalistycznych przenośników skokowo- przenoszących z bocznymi listwami (burtami) oraz dolnymi listwami (rusztami). Strukturę linii stanowi szeregowy, sekwencyjny i prostoliniowy układ powyższych urządzeń, narzucający zarówno kolejność czynności technologicznych, jak również sposób ich organizacji w cyklu produkcji odlewów. Podstawowymi systemami są linie .DISAMATIC 2110 MK3, 2013 MK5 A/B , 2130 A/B/C oraz 2070 MK2 [8,9]. Schemat linii 2070 MK2 przedstawiono na rysunku 1.

Tabela 1

Parametry automatów formierskich Disamatic do formowania bezskrzynkowego o pionowej płaszczyźnie podziału [9]

| Lp | Parametr | Jedn. | Symbol odmiany konstrukcyjnej automatu | | | | | | | | | | |
|----|--------------------------------|----------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | | Disamatic 2011 | Disamatic 2110 | | Disamatic 2013 | | Disamatic 2032 | Disamatic 2130 | | | Disamatic 2070 | |
| | | | | LP | MK3 | MK5- A | MK5- B | | A | B | C | A | B |
| 1 | Wymiary form | mm | 500x400x 100-300 | 500x400x 100-315 | 500x400x 100-315 | 600x480x 120-330 | 650x535x 120-360 | 775x600x 400 | 730x650x 200-475 | 775x600x 200-475 | 850x650x 200-475 | 950x700x 200-560 | 950x800x 250-650 |
| 2 | Wydajność | form/h | 240-300 | 186-205 | 275-300 | 355-370 | 330-350 | 300 | 345-380 | | | 250 | 235-245 |
| 3 | Podstawowe operacje zagęszcz. | | wstrzeliwanie równoległe pomiędzy 2 płyty modelowe + prasowanie płytami modelowymi | | | | | | | | | | |
| 4 | Ilość pozycji | | 1 | | | | | | | | | | |
| 5 | Jednostkowe naciski prasowania | MPa | < 3,0 | 0,4-1,25 | 0,4- 1,25 | 0,4-2,0 | 0,4-1,65 | <2,2 | < 1,45 | <1,5 | <1,25 | <1,5 | <1,5 |
| 6 | Ciśnienie w układzie pneumat. | MPa | 0,4-1,0 | 0,55-1,0 | | | | 0,6-1,0 | 0,5-1,0 | | | | |
| 7 | Zużycie powietrza | um ³ /min | 8,0 | 3,2 | 4,0 | 8,0 | | 14,0 | 25,0 | | | 22,0 | |
| 8 | Zużycie masy form. (max) | m ³ /h | 20 | 18 | 26 | 46 | 57 | 85 | 107 | 104 | 124 | 115 | |
| 9 | Zainstalowana moc elektr. | kW | | 16 | 22 | 60 | | | 51-115 | | | 55 | |
| 10 | Masa automatu | t | 19,0 | 5,5 | 6,0 | 18,0 | | 320 | | | | 35 | |
| 11 | Wymiary gabarytowe | mm | 1010x x3220 | 1100x4140 x5150 | | 1290x6053 x5945 | 1290x6138 x6180 | 1600x7206 x3150 | | | | 1600x8622 x3620 | |

Tabela 2

Charakterystyka automatów do formowania bezskrzynekowego o poziomej płaszczyźnie podziału [9]

| | | Symbol odmiany konstrukcyjnej automatu | | | | | | | | | | |
|----|---------------------------------------|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|
| Lp | Parametr | Jedn. | Hunter | | | Haflinger | | | | | | Disa-Forma |
| | | | HMP-10E | HMP-20E | HMP-32E | HFM 30 | HFM 40 | HFM 50 | HFM60 | HFM 70 | HFM 80 | 3030 |
| 1 | Wymiary form | mm | 355x483x 140/114 | 508x610x 165/140 lub 216/190 | 762x813x 241/216 lub 305/279 | 560x560x 140-200 | 560x720x 180-250 | 720x720x 180-250 | 720x820x2 00-280 | 820x820x 200-280 | 820x960x 250-320 | 560x720x 130-250 |
| 2 | Wydajność | form/h | 120-160 | 90-130 | 60-85 | 150 | 130 | 130 | 100 | 100 | 90 | 150 |
| 3. | Podstawowe operacje zagęszczania masy | | grawitacyjne zasypywanie masy formierskiej i prasowanie płytami | | | podciśnieniowe, impulsowe zasysanie masy do komór formowania + prasowanie | | | | | | zasysanie podciśnieniowe masy + prasowanie |
| 4 | Ilość pozycji | | 3 | | | 1 | | | | | | 1 |
| 5 | Jednostkowe naciski prasowania form | MN/m ² | 0,5- 0,6 | | | 0,4-1,0 | | | | | | |
| 6 | Zużycie masy formierskiej | m ³ /h | 10,5 | 19,5-24,0 | 38,7-43,6 | | | | | | | 26,0-45,0 |
| 7 | Zainstalowana moc elektr. | kW | | | | 33 | 48 | 60 | 70 | 70 | 96 | |

Odrębności w strukturze linii są wynikiem różnic w usytuowaniu płaszczyzny podziału formy. Zróżnicowanie płaszczyzny podziału w automatach do formowania bezskrzynkowego wymaga zmiany czynności towarzyszących rdzeniowaniu. W urządzeniach Disamatic, w których płaszczyzna podziału formy jest pionowa, dostęp do wnętrza formy jest utrudniony. Ręczne zakładanie rdzeni w tym przypadku nie może być brane pod uwagę, gdyż znacznie wydłużałoby cykl formowania obniżając wydajność linii. W związku z tym, rdzeniowanie przeprowadza się automatycznie za pomocą pneumatycznego urządzenia, do którego wcześniej wstawia się rdzenie w odpowiednie gniazda. W linii Disamatic z pionowym podziałem formy nie można wytwarzać odlewów, wymagających stosowania ciężkich i skomplikowanych rdzeni, mocowanych tylko w jednym gnieździe rdzeniowym. Nadaje się ona przede wszystkim do wytwarzania szerokiego asortymentu odlewów, które nie wymagają rdzeniowania oraz do niedużych odlewów.

Pionowe usytuowanie płaszczyzny podziału formy stanowi natomiast ułatwienie dla realizacji rozdziału masy na część, która jest kierowana do regeneracji osnowy i na tę, która wymaga jedynie odświeżenia przed ponownym użyciem. Realizacji tej służy wyjmowanie odlewów z formy, możliwe w liniach z automatami Disamatic 2070.

Poziome zorientowanie płaszczyzny podziału usuwa niedogodności związane z rdzeniowaniem. Układanie rdzeni w dolnej połowie formy przebiega szybko i wygodnie bez konieczności stosowania specjalnych urządzeń. Poziomy układ umożliwia produkcję form o większych wymiarach. Znane, automatyczne linie odlewnicze systemu Disa -Forma zapewniają znaczną poprawę warunków na stanowisku roboczym. Zasysanie masy do komór prasowania odbywa się z wykorzystaniem próżni, co znacznie ogranicza hałas. W strefie chłodzenia odlewów został zastosowany wydajny system odciągu gazów.

System łatwej i szybkiej wymiany płyt modelowych nadaje linii elastyczność i możliwość wykonywania małych serii odlewów. Istnieje możliwość optymalizacji stosunku masy i metalu przez regulację grubości formy, w zależności od rodzaju odlewu. Linia jest wyposażona w urządzenie do automatycznego zakładania rdzeni.

Podstawowym wyposażeniem linii firmy HUNTER jest automat formierski i obrotowa, wielopoziomowa platforma typu HSL/HSR lub HV o wielkości - 10, 20 oraz 32, na której zalane formy są gromadzone na jednym, dwóch i więcej poziomach. Ostatnio jest oferowane rozwiązanie z liniowym układem przenośników zamkniętych pionowo, na których odbywa się zalewanie pakietów form oraz ich chłodzenie (rys.2). Poziom hałasu w czasie całego automatycznego cyklu pracy linii jest niższy od dopuszczalnego, wynoszącego 85 dBA. Zaletą rozwiązania jest wyeliminowanie przepychania pakietów form często powodującego, w innych systemach, ich uszkodzenie. Forma raz ułożona na określonym miejscu platformy nie podlega przemieszczeniu względem niej, aż do całkowitego zakrzepnięcia i wystudzenia odlewu. Na okres zalewania i krzepnięcia metalu nakładane są na formy automatycznie, z wielką precyzją tzw. żakiety i obciążniki, co wyklucza przestawienie lub uszkodzenie form. Po wystudzeniu formy spychane są na kratę wstrząsową [9,10].

Charakterystykę linii odlewniczych wyposażonych w prezentowane automaty przedstawiono w tabeli 3 oraz na rysunkach 2 i 3.

Linie do formowania bezskrzynkowego są zazwyczaj wyposażone w automatyczne urządzenia do zalewania form. Linie odlewnicze z poziomą płaszczyzną podziału form są wyposażone w urządzenia obciążające formy przed ich zalaniem. Z tego też względu struktura tych linii jest bardziej rozbudowana. Spośród znanych linii, najbardziej zwartą strukturę mają linie firmy HUNTER, ze względu na stosowaną platformę obrotową lub liniowy, pionowo zamknięty układ przenośników.

Tabela 3

Charakterystyka wybranych, automatycznych linii odlewniczych do formowania bezskrzynkowego [11]

| | | Producent, sposób formowania, płaszczyzna podziału, symbol linii | | | | | | |
|----------------------------|--|--|-----------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|--|---|
| Lp | Parametr | Jedn. | Disa, pionowa | | | Disa-Forma, pozioma | Hunter, pozioma | Haflinger, pozioma |
| 1 | Typ automatu | | Disamatic 2110 MK3 | Disamatic 2013 MK5-A | Disamatic 2070 | Disa-Forma 3030 | HMP 10 | HFM 40 |
| 2 | Środek transportu form | | przenośnik AMC | | przenośnik PMC | przenośnik wózkowy | platforma obroto- wa, jednopozio- mowa HSL10/20 lub wielopozio- mowa HV-10 | przenośnik wóz- kowy o burtach chroniących formy przed zniszczeniem |
| KRYTERIUM OCENY ALO | | | | | | | | |
| 1 | Wydajność | m ² /h | 44 - 48 | 102,2 - 106,6 | 182,9 | 130 | 25,7 | 52,4 |
| 2 | Czas chłodzenia | min | (max.50) | 8 (max.72) | 10 (max. 80) | (max.∞) | 8 - 16 lub 53 | 15 -120 |
| 3 | Zajmowana powierzchnia (w obrysie linii) | m ² | 22 | 37 | 67 | brak danych | 99,6 | 63 -119,7 |
| 4 | Zwartość struktury (stopień wykorzystania powierzchni) | m ² / (m ² /h) | 2-2,18 | 2,76 - 2,88 | 2,72 | - | 0,26 | 0,43 - 0,83 |

3. Elementy technicznej oceny linii odlewniczych

Różnorodność rozwiązań linii odlewniczych stanowi istotną trudność ich zobiektywizowanej oceny oraz wyboru do realizacji określonych zadań produkcyjnych. Różnorodność ta wynika głównie ze zróżnicowania konstrukcji poszczególnych elementów linii, ich układu przestrzennego i funkcji spełnianych w procesie technologicznym. Producenci maszyn nie mogą być jedynym, miarodajnym źródłem informacji wykorzystywanym w ocenie, poza danymi techniczno-ruchowymi możliwymi do zweryfikowania w warunkach odlewni. Zobiektywizowane i uwolnione od względów handlowych kryteria powinny uwzględniać te cechy i parametry linii, które są porównywalne w danej klasie linii, a ponadto możliwe do względnie dokładnego, ilościowego określenia. Wartości kryteriów muszą się wiązać conajmniej w sposób jakościowy z kryterium globalnym, jakim jest ekonomiczne wytwarzanie określonej masy odlewów w linii automatycznej w zadanych warunkach jej eksploatacji. Prezyzyjne określenie liczbowej wartości kryterium globalnego jest niezmiernie trudne z uwagi na:

- brak pełnych informacji o przewidywanych warunkach eksploatacji linii,
- brak pełnych danych o programie asortymentowym i masowym produkcji,
- rzeczywista niezawodność linii i jej zmiana w trakcie długotrwałej eksploatacji,
- starzenie techniczne i ekonomiczne poszczególnych urządzeń linii oraz linii jako całości.

Analiza linii prowadzi do wytypowania kryteriów technicznych i techniczno-produkcyjnych dotyczących: wydajności, jakości zagęszczenia, niezawodności, funkcjonalności linii, stopnia automatyzacji., stopnia rozbudowania linii i czasu chłodzenia.

W tabeli 3 przedstawiono dane związane ze zdefiniowanymi poniżej, wybranymi kryteriami:

1⁰. Kryterium wydajności mierzone w m² powierzchni wykonanych form w jednostce czasu. Kryterium to ma sens techniczno-produkcyjny, łączy parametr techniczny - wymiarów skrzynek z wydajnością, która jest wskaźnikiem produkcyjnym. Wartość kryterium odzwierciedla ekonomiczny aspekt pracy linii i silnie wpływa na wartość kryterium globalnego.

2⁰. Kryterium czasu chłodzenia, wyrażone wartością czasu chłodzenia 1 formy. Kryterium ma znaczenie technologiczne. W liniach odlewniczych chłodzenie pakietów odbywa się poza głównym ciągiem transportowym. W liniach formowania bezskrzynekowego zwiększanie czasu chłodzenia uzyskuje się przez wydłużenie odcinka transportu zalanych form. Powiększenie wartości kryterium chłodzenia jest związane z większymi nakładami inwestycyjnymi, dlatego czas chłodzenia powinien być dobrany doświadczalnie dla całego zakresu asortymentów odlewów możliwych do produkcji w danej linii.

3⁰. Kryterium zwartości układu linii, które określa się jako stosunek wydajności, wyrażonej w m² form wykonanych w ciągu godziny i przypadających na 1 m² powierzchni zajmowanej przez linię. Dla linii automatycznych wartość tego kryterium świadczy o wykorzystaniu powierzchni odlewni. Kryterium to związane jest z **kryterium stopnia rozbudowania linii** wyrażone przez średnią ilość urządzeń zastosowanych w linii, przypadających na jedną podstawową operację technologiczną. Odwrotnością tego kryterium może być tzw. kryterium stopnia zagregowania czynności technologicznych w jednym urządzeniu.

4. Zakres automatyzacji operacji technologicznych

Zakres automatyzacji operacji technologicznych, realizowanych w cyklu pracy linii odlewniczych został znacznie rozszerzony, co przy obecnym poziomie niezawodności automatyki stwarza realną szansę kompleksowej automatyzacji całej linii, łącznie z zalewaniem i wybijaniem odlewów oraz z wymianą oprzyrządowania linii.

W nowoczesnych maszynach i urządzeniach odlewniczych programowalne regulatory-sterowniki oraz systemy wizualizacji [6, 9], demonstrujące stan przebiegu procesów i pracy

urządzeń, są ich integralnym wyposażeniem pomiarowo-kontrolnym. W zasadzie, aktualnie nie oferuje się urządzeń bez mikroprocesorowych systemów automatyzacji.

Każdy profesjonalny system sterowania zawiera komputer przemysłowy (wykonawczy), sprzężony z urządzeniami pomiarowymi i wykonawczymi, który poprzez karty wejść/wyjść analogowych i cyfrowych spełnia rolę sterownika PLC. System informacyjny jest natomiast realizowany przez komputer operatorski, pozwalając na wizualizację przebiegów, obsługę stanów alarmowych, sterowanie nadrzędne, dobór nastaw regulatorów, sporządzanie raportów, graficzne opracowanie danych oraz ich archiwizację. Pakiet oprogramowania obejmuje najczęściej: bazę danych systemu, edytor schematów technologicznych, kompilator bazy danych oraz kompilator programu. Wizualizacja, obejmująca wyświetlanie schematów technologicznych zawiera często elementy animacji [6,7,9].

Regulatory, a raczej systemy regulacji w tego typu układach, poza elementami wykonawczymi i pomiarowymi są programami (napisanymi w języku wysokiego poziomu), odwołującymi się do zdefiniowanych bibliotek bloków funkcjonalnych przetwarzania sygnałów analogowych i logicznych. Projektant definiuje połączenia bloków i częstotliwość ich aktywizacji. Układy uzupełnione są często o programy symulacyjne oraz programy umożliwiające identyfikację obiektów, ułatwiające dobór nastaw regulatorów na obiekcie.

Przedstawiona charakterystyka systemów sterowania dotyczy wyposażenia linii odlewniczych, zarówno skrzynkowych, jak i bezskrzynkowych. W liniach systemu Disamatic MK5 opracowano komputerowe zarządzanie produkcją CIM (Computer Integrated Manufacturing), modułowy i elastyczny system umożliwiający łatwą jego rozbudowę [9]. W liniach firmy HUNTER stosuje się pełny monitoring linii wraz z diagnozowaniem uszkodzeń. W maszynach serii E tej firmy, sterowanie zostało zrealizowane z wykorzystaniem samodzielnie działającego sterownika PLC. W wykonaniu maszyn serii D sterowanie jest całkowicie skomputeryzowane. Specjalna, hunterowska stacja operatorska REACT wyposażona jest w ekran dotykowy (Touch Screen), który umożliwia wizualizację przebiegu procesu, obsługę zdarzeń i sterowanie nadrzędne przez dotykanie zdefiniowanych punktów na ekranie [9,10].

Specjalistyczne oprogramowanie umożliwia tworzenie bazy danych w oparciu, o którą możliwe jest komputerowe, elastyczne zarządzanie zewnętrznym zasobem wszystkich posiadanych płyt modelowych oraz przyporządkowanym do nich oprzyrządowaniem pomocniczym. Komputerowy, adaptacyjny (samouczący się) system sterowania grubością wykonywanego pakietu formy pozwala na stosowanie automatycznego zalewania form.

5. Elastyczność i automatyczna zmiana oprzyrządowania w liniach odlewniczych

W odlewnictwie, analogicznie do innych technik wytwarzania, występuje silna tendencja do zwiększania asortymentu odlewów, skrócenia czasu przygotowania ich technologii i wdrożenia do produkcji. W związku z tym, pojawia się konieczność stosowania systemów mechanizacji i automatyzacji produkcji, zapewniających szybkie podjęcie produkcji nowych odlewów, najczęściej przy małej skali produkcji. Takie systemy nazywa się elastycznymi [1, 2].

Systemy elastycznej, automatycznej produkcji odlewów stanowiąc będą główny kierunek dalszego rozwoju przemysłu odlewniczego. Aktualnie w technologii światowej stopień elastyczności produkcji jest traktowany jako istotny element przetrwania danej techniki wytwarzania.

Przechodzenie na systemy produkcji elastycznej jest w odlewnictwie uwarunkowane nie tylko koniecznością poniesienia znacznych nakładów na zakup odpowiedniego wyposażenia maszynowego i oprzyrządowania, ale także specyfiką technologii odlewniczej, charakteryzującą się znaczną liczbą operacji, koniecznych do wytworzenia odlewów poszczególnego rodzaju.

Pod pojęciem elastycznych systemów wytwarzania odlewów rozumieć należy zestawienie oprzyrządowania pracującego w systemie automatycznym, z jednoczesnym automatycznym jego przezbrajaniem podczas zmiany asortymentu produkowanych odlewów.

Ważną cechą systemów elastycznych jest gotowość i łatwość zakończenia istniejącej produkcji w dowolnym momencie, bez spowodowania znacznych strat oraz w krótkim czasie, lub w

trakcie trwania procesu możliwość przystąpienia do produkcji innego typu odlewów, których jakość musi spełniać wszystkie wymagania w tym zakresie.

Grupowanie wyposażenia linii, zestawianego w moduły realizujące w niej określone zadania, zwiększa elastyczność produkcji. Nowoczesne linie odlewnicze, z założenia projektowane w systemie modułowym (np firma BMD-DISA), zakładające wysoki stopień montażu u producenta, umożliwiają komponowanie bardzo różnorodnych układów, stosownie do potrzeb i warunków lokalowych odbiorcy [2, 7,9].

W warunkach małoseryjnej produkcji, która charakteryzuje się częstą zmianą oprzyrządowania modelowego, szerokie zastosowanie znalazły linie z tak zwanym ślizgającym oprzyrządowaniem. Stosowane są przy tym kasetowe płyty modelowe zawierające 2, 4 lub 8 szybkowymienialnych części - sekcji. W poszczególnych sekcjach są umocowane modele różnej wielkości, a na wkładkach do mocowania poszczególnych sekcji montowane są także elementy układu wlewowo - zasilającego.

Zależność pomiędzy rzeczywistą wydajnością automatu formierskiego (Q_r), a czasem wymiany oprzyrządowania modelowego i liczbą odlewów w serii może być przedstawiona wzorem [1]

$$Q_r = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{S_{sr}}} = Q_c \cdot \beta$$

gdzie: $\beta = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{S_{sr}}}$, $\alpha = \frac{t_w}{t_c}$, $t_w = t_{zm} - t_3$

α - współczynnik czasu trwania wymiany oprzyrządowania,

t_c - średni założony czas trwania operacji wymiany oprzyrządowania odlewniczego,

β - współczynnik wydajności automatu (przedstawiony graficznie na rys.3),

S_{sr} - średnia wielkość serii odlewów,

Q_c - wydajność nominalna automatu,

t_w - różnica pomiędzy czasem wymiany oprzyrządowania (t_{zm}) a czasem trwania tej operacji technologicznej, do której to oprzyrządowanie jest niezbędne (t_3).

Aktualnie około 92% produkowanych automatycznych linii odlewniczych pozwala skrócić czas t_w praktycznie do zera [1]. Na liniach z jednym automatem formierskim, kolejno wykonującym obie półformy, wymiana płyty następuje w każdym cyklu.

Podstawowe schematy układów automatycznej wymiany płyt w automatycznych liniach odlewniczych różnych typów można podzielić na dwie grupy. Do I należą urządzenia, w których płyty przemieszczane są przez mechanizmy automatu. Do II - urządzenia, w których przemieszczane są one przez układy zewnętrzne. Otwartą przy tym sprawą jest wybór rozwiązania przemieszczania oprzyrządowania (prostoliniowe, członkowe czy karuzelowe) w jedno- i wielopozycyjnych automatach.

6. Podsumowanie

Analiza rozwiązań linii i ich wyposażenia dowodzi, że nowa ich generacja charakteryzuje się głównie zwartą strukturą, stosowaniem rozwiniętych systemów sterowania, możliwością elastycznego zestawiania oprzyrządowania i wydajnego produkowania różnorodnych odlewów w krótkich seriach. Zamieszczona ogólna charakterystyka nowych rozwiązań potwierdza spełnienie warunków, podanych w zaproponowanej definicji linii odlewniczych, zasługujących na miano „nowej generacji”.

Stosowane w liniach agregaty i automaty formierskie, najczęściej jedno i dwu pozycyjne charakteryzują się wysokim stopniem mechanizacji i automatyzacji. Dzięki znacznemu postępowi w mechanizacji formowania, obserwowany jest ponowny wzrost znaczenia technologii form piaskowych w produkcji odlewów. Dominujące techniki formowania to połączenie metod dmuchowych (dynamicznych, impulsowych i podciśnieniowych) z

doprasowaniem. W automatach bezskrzynkowych, jak i skrzynkowych istotną rolę przypisuje się automatycznym urządzeniom i zespołom wymiany oprzyrządowania modelowego oraz sterowania zasobem płyt modelowych, kasetowych umożliwiających na jednej płycie optymalne zestawianie kilku różnych modeli. Można stwierdzić, że do produkcji odlewów drobnych i średnich najbardziej odpowiednie są, stale unowocześniane linie do formowania bezskrzynkowego - szczególnie firmy DISA i HUNTER. Linie te, oprócz zalet technicznych umożliwiają uzyskanie korzystnych efektów ekonomicznych, dzięki prostocie konstrukcji urządzeń i wysokiej sprawności eksploatacyjnej. Sprawność eksploatacyjna między innymi wynika z zastosowania niezawodnych napędów hydraulicznych i sterowania.

Z przeprowadzonej analizy wartości kryteriów wynika, że linie bezskrzynkowe zdecydowanie przewyższają linie skrzynkowe w zakresie funkcjonalności, wykorzystania powierzchni odlewni i zabudowy, przy zachowaniu dobrych parametrów w zakresie zagęszczania, niezawodności, stopnia automatyzacji, oraz chłodzenia. Rozszerzenie technologii formowania bezskrzynkowego zmierza w kierunku powiększania gabarytów form, automatyzacji rdzeniowania i zwiększania możliwości zagęszczania masy.

Funkcjonalność, trwałość i niezawodność to podstawowe cechy urządzeń wchodzących w skład linii. Linie, projektowane w systemie modułowym (np firma BMD-DISA), o wysokim stopniu montażu u producenta, umożliwiają tworzenie bardzo różnorodnych struktur przestrzennych, stosownie do potrzeb i warunków lokalizacyjnych inwestora. Umożliwiają również realizację elastycznej produkcji odlewów z różnych tworzyw i o specyficznych wymaganiach dotyczących oprzyrządowania technologicznego.

O nowoczesności rozwiązań decydują przede wszystkim stosowane systemy sterowania. Zastosowanie mikroelektroniki i sterowania z wykorzystaniem mikrokomputerów umożliwiło znaczne rozszerzenie funkcji systemów sterowania. Systemy obejmują kontrolę prawidłowości działania urządzeń, diagnostykę i sposoby usuwania uszkodzeń, wymianę oprzyrządowania oraz rejestrację danych produkcyjnych. Poza normalnymi funkcjami związanymi ze sterowaniem, zastosowane w liniach mikrokomputery spełniają dodatkowe takie funkcje jak:

- kontrola stanu poszczególnych zespołów i ich przebiegu w czasie,
- kontrola różnych parametrów układu hydraulicznego i pneumatycznego,
- nadzór nad ruchami mechanizmów w celu uniknięcia kolizji i sprawdzanie działania wyłączników krańcowych,
- sygnalizacja zacięć i uszkodzeń, wyświetlane na monitorze w kodzie cyfrowym oraz w tekście słownym, łącznie z podaniem instrukcji usuwania zacięć i uszkodzeń,
- diagnoza prawidłowości działania układu sterowania- program samokontroli.

Można wyrazić opinię, że dalszy, oczekiwany postęp w tej dziedzinie przyniesie kolejne, udoskonalone wyposażenie sprzętowe o większych możliwościach i bogatsze pakiety oprogramowania, stanowiące podstawę wielokierunkowej optymalizacji realizowanych w liniach procesów odlewniczych.

LITERATURA

1. Bielikow O.A.: Problemy gibkogo awtomatirizowannogo proizvodstva otlivok. Litejnoje Proizw. 1995, nr. 11, s. 18.
2. Fedoryszyn A., Dańko J.: Nowoczesne rozwiązania automatów i linii odlewniczych na wystawie INERLITMASZ'88. Przegląd Odlewnictwa nr. 1, 1989, s. 11.
3. Fedoryszyn A., Smyksy K., Bobok L': Maszyny i urządzenia odlewnicze na targach CAST- EX I FOND - EX 96. Przegląd Odlewnictwa nr.9, 1996, s. 12.
4. Gregoraszczyk M, Fedoryszyn A., Smyksy K., Bast J.: Aktualny stan w zakresie mechanizacji wybijania odlewów. Przegląd Odlewnictwa /w druku/.
5. Hespers W., Lustig M.: Systematic planning of investments in moulding plants, allowing for technical and organizational developments. Casting Plant and Technology, nr. 4, 1988, s. 14- 23.

6. Jopkiewicz A.: Mikroprocesorowe systemy sterowania i wizualizacji procesów i maszyn odlewniczych. Przegląd Odlewnictwa nr. 6, 1994, s. 200.
7. Marcinkowski J.: Międzynarodowe Forum Technologii w Düsseldorfie. Część II. Przegląd Odlewnictwa nr. 2, 1995, s. 60.
8. Materiały informacyjne: Nowości w DISA TECHNOLOGIES. Przegląd Odlewnictwa nr. 2, 1995, s. 9.
9. Materiały prospektowe firm DISA, BMD, DISA FORMA, DISA TECHNOLOGIES, DISA GEORG FISHER, GEORG FISHER, HUNTER, UNIVERSAL, HEINRICH WAGNER, HAFLINGER.
10. Pawłowski T., Żakiewicz S.: Automaty i linie formierskie firmy HUNTER. Przegląd Odlewnictwa nr. 3, 1995, s. 111.
11. Praca zespołowa: Zebranie danych o światowych tendencjach w zakresie rozwoju technologii odlewniczych z uwzględnieniem problematyki ochrony środowiska. Temat II: Maszyny i Mechanizacja Procesów Odlewniczych, Część II: Maszyny i urządzenia do wytwarzania form i rdzeni odlewniczych. Część III: Struktury i rozwiązania automatycznych linii odlewniczych. Wyposażenie gniazd i linii formierskich. Urządzenia do wybijania odlewów. Praca naukowo-badawcza AGH nr w ramach projektu zamawianego KBN, realizowanego przez Instytut Odlewnictwa, Kraków 1995-96.

Tabela 4.1. Wartości kryterium jakości zagęszczania masy formierskiej różnymi sposobami stosowanymi w automatach formierskich

| ZAGĘSZCZANIE MASY PRASOWANIEM | | | | | | | | | | | | |
|---|---|------------|--------------|--|------------|--------------|---|------------|--------------|---|------------|--------------|
| Rodzaj głowicy prasującej | Płaska | | | Kształtowa wymienna | | | Wielotłoczkowa | | | Model | | |
| Możliwości w zakresie nacisków jednostkowych prasowania.MPa | 0 - 0,5 | 0 - 1,0 | 0 - 2,0 | 0 - 0,5 | 0 - 1,0 | 0 - 2,0 | 0 - 0,5 | 0 - 1,0 | 0 - 2,0 | 0 - 0,5 | 0 - 1,0 | 0 - 2,0 |
| Wartość kryterium | 3,0 | 4,0 | 4,5 | 3,5 | 4,5 | 5,0 | 4,5 | 5,5 | 6,0 | 3,5 | 4,5 | 5,0 |
| ZAGĘSZCZANIE MASY PRZEZ WSTRZĄSIENIE | | | | | | | | | | | | |
| Sposób doboru czasu operacji wstrząsania | Przypadkowy (niesterowany) | | | Nastawiany (sterowany) | | | Czas ustalony sztywno | | | Czas sterowany technologicznie | | |
| Wartość kryterium | 1,5 | | | 2,5 | | | 2,0 | | | 3,0 | | |
| ZAGĘSZCZANIE PRZEZ PRASOWANIE Z RÓWNOCZESNYM WSTRZĄSIENIEM | | | | | | | | | | | | |
| Sposób doboru czasu operacji wstrząsania | Przypadkowy (niesterowany) | | | Nastawiany (sterowany) | | | Czas ustalony sztywno | | | Czas sterowany technologicznie | | |
| Wartość kryterium | 3,5 | | | 4,5 | | | 4,0 | | | 5,0 | | |
| ZAGĘSZCZANIE PRZEZ WSTRZELIWANIE MASY | | | | | | | | | | | | |
| Głowica strzałowa | Pionowa | | | | | | Pozioma | | | | | |
| Sposób doprowadzenia masy do wnęki technolog. | Głowica wielootworowa - szczelinowa | | | Głowica z pojedynczym otworem strzałowym | | | Głowica wielootworowa - szczelinowa | | | Głowica z pojedynczym otworem strzałowym | | |
| Wartość kryterium | 2,5 | | | 2,0 | | | 1,5 | | | 1,0 | | |
| ZAGĘSZCZANIE IMPULSEM POWIETRZA LUB SPALIN | | | | | | | | | | | | |
| Odmiany procesu impulsowego lub eksplozyjnego | Niskociśnieniowy bez dodatkowego doprasowania | | | Niskociśnieniowy z doprasowaniem hydraulicznym | | | Wysokociśnieniowy z prasowaniem hydraulicznym | | | Impulsowo-próżniowy | | |
| Wartość kryterium | 3,5 | | | 4,5 | | | 5,0 | | | 5,0 | | |
| ZAGĘSZCZANIE STRUMIENIEM POWIETRZA (SEIATSU) | | | | | | | | | | | | |
| Sposób doprowadzenia masy do wnęki technolog. | Dozowanie wprost ze zbiornika | | | Spulchnianie listwowe | | | Spulchnianie wirnikowe | | | Specjalna spulchniarka szczotkowa (firmowa) | | |
| Dodatkowe zagęszczanie masy głowicą | Brak | Płaska | Wielotłoczk. | Brak | Płaska | Wielotłoczk. | Brak | Płaska | Wielotłoczk. | Brak | Płaska | Wielotłoczk. |
| Wartość kryterium | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 3,5 | 4,5 | 5,0 | 4,0 | 5,0 | 5,0 |

