

ZASTOSOWANIE DIAGRAMU PRZYCZYNOWO-SKUTKOWEGO ISHIKAWY W DIAGNOSTYCE WAD ODLEWÓW

Lukasz POLOCZEK, Andrzej KIELBUS, Bartłomiej DYBOWSKI

Streszczenie: Wytworzenie produktów o wymaganej przez klienta jakości stanowi jedną z najbardziej istotnych kwestii związanych z zarządzaniem przedsiębiorstwem. Dotychczas stosowana kontrola jakości wyrobu przeprowadzana była po zakończeniu procesu produkcyjnego. Coraz częściej ustępuje ona miejsca przedsięwzięciom mającym na celu doprowadzenie do stanu, w którym ilość produktów wadliwych będzie zdecydowanie ograniczona. W tej sytuacji niezbędne staje się podjęcie działań mających na celu ustalenie przyczyn o największym znaczeniu dla końcowego efektu procesu produkcyjnego. W tym celu coraz częściej wykorzystywane są narzędzia zarządzania jakością. W artykule przedstawiono zastosowanie diagramu przyczynowo-skutkowego Ishikawy do identyfikacji przyczyn występowania wad odlewów wykonanych ze stopów Al-Si odlewanych grawitacyjnie do form piaskowych.

Słowa kluczowe: jakość odlewów, diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy, narzędzia zarządzania jakością, stopy Al-Si

1. Wprowadzenie

Odlewy są stosowane w każdej gałęzi przemysłu, a ich masa waha się od kilku gramów, aż do kilkudziesięciu ton w zależności od gabarytu odlewu i zastosowanego materiału wsadowego. Odlewy wykonane ze stopów aluminium znajdują zastosowanie głównie w przemyśle maszynowym, motoryzacyjnym, energetycznym, a także w budownictwie, hutnictwie czy też w artykułach gospodarstwa domowego.

Na proces produkcji odlewów, wpływa wiele czynników (temperatura zalewania ciekłego stopu, konstrukcja układu wlewowego, tworzywo modelu i jego gęstość, powierzchnia styku modelu z ciekłym stopem, itp.). Nie wszystkie z nich mogą być kontrolowane w danej chwili, stąd też problem z całkowitym ustabilizowaniem procesu produkcyjnego. Wymagania jakościowe odlewu określone są poprzez warunki techniczne odbioru, które powinny odpowiadać rzeczywistym potrzebom technicznym.

Podstawowym aspektem wpływającym na jakość, a tym samym na konkurencyjność odlewu jest stwierdzenie iż odlew jest wolny od wad [1, 2]. Wadą odlewu jest każda niezgodność z warunkami technicznymi odbioru lub z wymaganiami uzgodnionymi z odbiorcą [3]. Wadliwy odlew zostaje odrzucony bądź poddany dodatkowym zabiegom, umożliwiającym tym samym jego dalszą eksploatację w cyklu produkcyjnym. Poprzez warunki techniczne określamy dalsze postępowanie z wadliwym odlewem. Główne wady odlewu powstające w trakcie procesu produkcji dzielą się na [3,4]:

- a) Wady kształtu: uszkodzenia mechaniczne, niedolewy, guzy, zalewki, przestawienia, wypchnięcia, wypaczenia.
- b) Wady powierzchni surowej: chropowatość, pęcherze zewnętrzne, korniki, ospowatości, nakłucia, obciążnięcia, fałdy, strupy, blizny, rakowatości, wgniecenia,

zanieczyszczenia, spalenia, zatarcia, nadtopienia, skóry słonia, pocenia, naloty kwieciste, wżarcia, żyłki, przypalenia, zaprószczenia, utlenienia, skorupy

- c) Przerwy ciągłości: pęknięcia na gorąco, pęknięcia na zimno, naderwania, pęknięcia żarzeniowe, pęknięcia międzykrystaliczne
- d) Wady wewnętrzne: pęcherze, porowatość, jamy skurczowe, rzadzizny, zażużenia, zapiaszczenia, zimne krople, obce metale, segregacje, gruboziarnistości, niejednorodności.

Stworzenie procesu produkcyjnego, który zapewniłby całkowitą eliminację wystąpienia wad jest praktycznie niemożliwe. Z tego powodu zakłady metalurgiczne (odlewnie) w swoich analizach techniczno-ekonomicznych zakładają pewien dopuszczalny procent wystąpienia wadliwych odlewów, który nie obniża ich rentowności. Przykładową strukturę informacyjną dotyczącą systemu analizy wad odlewniczych przedstawiono na rysunku 1 [5].



Rys.1. Przykładowy system analizy wad odlewniczych

Problem dotyczący jakości wytwarzanych produktów stanowi obecnie jedną z najbardziej istotnych kwestii odnoszących się do zarządzania przedsiębiorstwem. Dotychczas stosowana kontrola jakości wyrobu przeprowadzana po zakończeniu procesu produkcyjnego coraz częściej ustępują miejsca przedsięwzięciom mającym na celu doprowadzenie do stanu, w którym powstawanie produktów wadliwych będzie zdecydowanie ograniczone. W tej sytuacji niezbędne staje się przedsięwzięcie działań mających na celu ustalenie przyczyn o największym znaczeniu dla końcowego efektu procesu produkcyjnego. W tym celu coraz częściej stosuje się narzędzia zarządzania jakością [6]. W dalszej części artykułu omówiono jedno z narzędzi zarządzania jakością, które zostało wykorzystane do identyfikacji przyczyn występowania wad odlewów wykonanych ze stopów Al-Si odlewanych grawitacyjnie do form piaskowych.

2. Zapewnienie jakości gotowego odlewu

Proces odlewania jest procesem złożonym, na który składa się wiele etapów, w wyniku których otrzymuje się wartościowy produkt w postaci odlewu. W trakcie uruchamiania nowego procesu technologicznego, przeprowadzana jest analiza i późniejsza weryfikacja optymalnych założeń technologicznych. Założenia technologiczne są ściśle powiązane

z wymaganiami technicznymi, które przedstawione są dokumentacji technicznej tj. rysunków odlewów, rysunków części obrabianych, warunków technicznych odbioru oraz w innych dokumentach towarzyszących. Dokładna znajomość wymagań, umożliwia zaprojektowanie technologii w sposób, który pozwoli na zminimalizowanie problemów podczas seryjnej produkcji. Analiza wymagań oparta jest przede wszystkim o aspekty związane z:

- dopuszczalnymi tolerancjami kształtu (geometrii) i wymiarów,
- jakością struktury wewnętrznej i powierzchni surowych odlewów,
- wymagań właściwości mechanicznych odlewów,
- wymagań właściwości użytkowych odlewów.

Wymienione wymagania muszą uwzględniać wszystkie etapy procesu produkcji odlewów począwszy od metalurgii ciekłego metalu poprzez technologię formy, obróbkę poodlewniczą, system kontroli, aż po gotowy półwyrob lub wyrób.

Do głównych etapów wpływających na jakość odlewów podczas procesu produkcji zalicza się:

- dobór składu chemicznego,
- właściwy dobór technologii formy i rdzeni,
- przygotowanie, topienie i uszlachetnianie ciekłego stopu (rafinacja i modyfikacja),
- obróbka poodlewnicza tj. obróbka cieplna, obróbka wykańczająca (czyszczenie, polerowanie, śrutownie) powierzchni surowej odlewów, operacje kontrolne i odbiorcze,
- kontrola jakości gotowego produktu.

W celu zminimalizowania wad odlewniczych na etapie opracowywania technologii stosuje się nie tylko narzędzia zarządzania jakością, ale również wspomaganie komputerowymi metodami projektowania [7]. Jednakże zawsze należy mieć na uwadze to, że wszystkie istniejące programy komputerowe służą jedynie wspomaganie projektowania wszystkich etapów wytwarzania odlewu i nie zastąpią w pełni konstruktora, technologa, czy metalurga. Nawet niewielkie odchylenia od założonych (rzeczywistych) parametrów technologicznych mogą wprowadzić przekłamania w wynikach symulacji komputerowej poszczególnych etapów wytwarzania.

W przypadku wystąpienia wady odlewniczej konieczne jest przeprowadzenie analizy związanej z klasyfikacją wady oraz określenie przyczyn jej powstania. Prawidłowe postępowanie przy analizie wad odlewów składa się z następujących etapów:

1. Ustalenie rodzaju wady – identyfikacja wady.
2. Zastosowanie wybranego narzędzia zarządzania jakością celem wytypowania kilku najbardziej prawdopodobnych przyczyn wystąpienia wady.
3. Działania korygujące i naprawcze.

3. Narzędzia zarządzania jakością

Różnorodność problemów związanych z procesem odlewania powoduje, iż znalezienie odpowiedzi dotyczącej przyczyn oraz skutków powstania tych problemów nie jest zadaniem prostym i wymaga pewnego rodzaju usystematyzowania. W tym celu stosuje się narzędzia zarządzania jakością, które pozwalają na analizowanie, monitorowanie z równoczesnym oddziaływaniem na proces w całym cyklu produkcji wyrobu. Do najczęściej stosowanych narzędzi zarządzania jakością zaliczyć można:

- diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy,

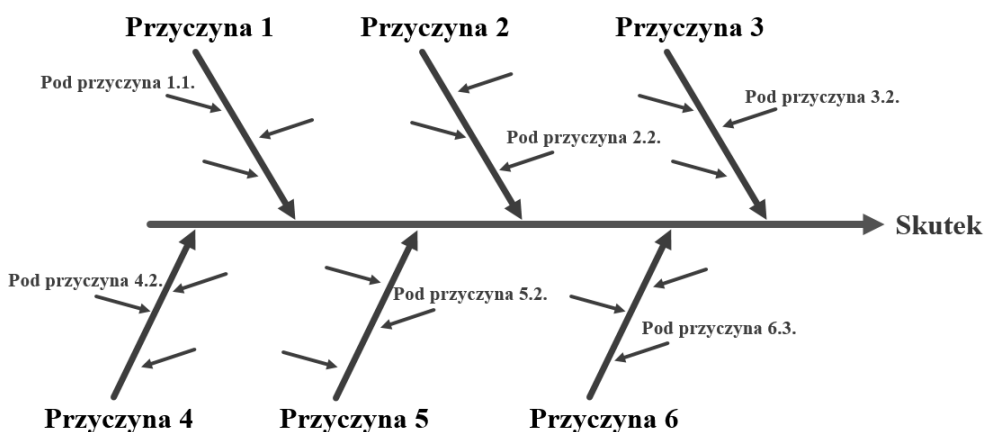
- analizę Pareto,
- schemat blokowy,
- wykresy korelacji zmiennych,
- histogram,
- graficzna prezentacja wyników,
- arkusze kontrolne.

3.1 Diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy

Jednym z najczęściej stosowanych narzędzi zarządzania jakością jest diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy. Pozwala on na zidentyfikowanie i rozpoznanie najczęściej pojawiających się niezgodności oraz na określenie przyczyn ich powstania. Diagram Ishikawy umożliwia graficzną prezentację powiązań pomiędzy przyczynami danego problemu, a ich hierarchią. Jego nazwa wywodzi się od nazwiska autora, jednakże czasami ze względu na swój kształt nazywany jest również schematem rybiej ości lub schematem jodełkowym. Jego budowa ma strukturę hierarchiczną, która porządkuje w sposób chronologiczny i logiczny czynności lub przyczyny związane z zaistniałym problem [6]. Sporządzenie diagramu Ishikawy (Rys. 2) składa się z kilku kroków:

- wytypowanie niezgodności,
- zdefiniowanie przyczyn głównych,
- określenie przyczyn szczegółowych, bezpośrednio powiązanych z przyczynami głównymi i stanowiącymi ich rozwinięcie,
- wybór najistotniejszego czynnika (czynnik krytyczny).

Przyczyny główne zapisuje się na osiach skierowanych w kierunku osi głównej diagramu. Z kolei przyczyny pośrednie (szczegółowe) są połączone z przyczynami głównymi i stanowią ich rozwinięcie.



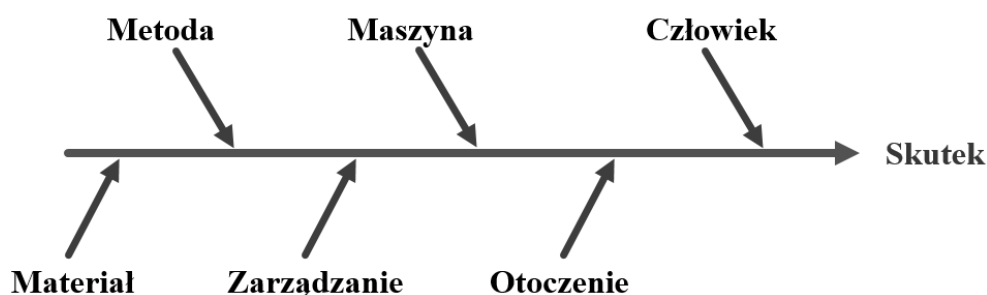
Rys. 2. Schemat diagramu przyczynowo-skutkowego Ishikawy

W celu określenia najistotniejszych przyczyn stosuje się tzw. podejście 5M, lub 5M+E, polegające na zakwalifikowaniu przyczyn wystąpienia niezgodności do głównych czynników. Czynniki te to [8]:

- MANPOWER (czynnik ludzki);

- MACHINE (wykorzystanie maszyny);
- MATERIAL (wykorzystanie materiałów i tworzyw);
- METHOD (metoda wytwarzania);
- MANAGMENT (kierowanie, zarządzanie);
- ENVIRONMENT (czynniki środowiskowe- otoczenie).

Schemat wykresu Ishikawy skonstruowanego w oparciu o zasadę 5M+E przedstawiono na rysunku 3.

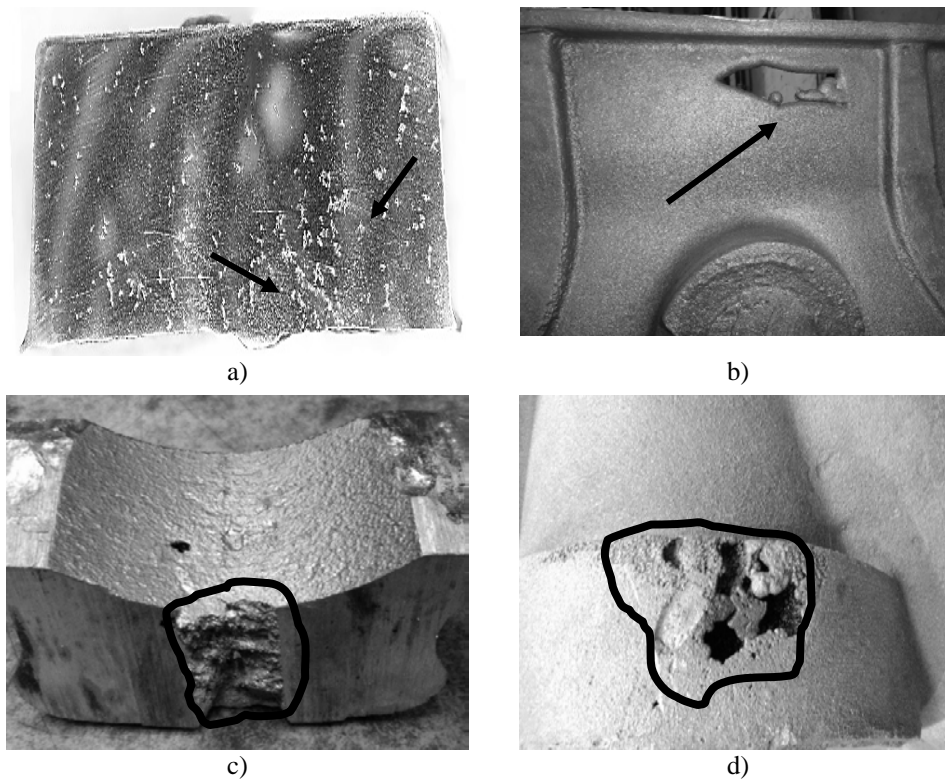


Rys. 3. Schemat diagramu Ishikawy w układzie 5M+E

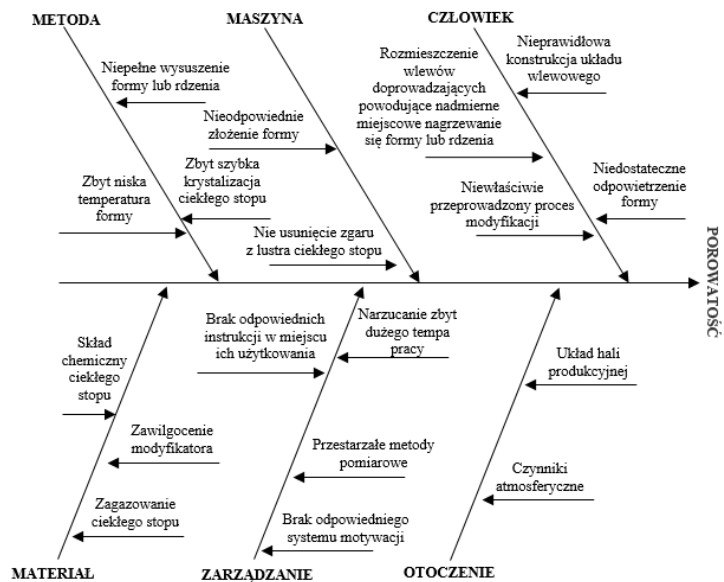
Diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy stosowany jest nie tylko w przypadku procesu produkcyjnego, ale stanowi również skuteczne narzędzie wykorzystywane do analizy już na etapie projektowania czy też przygotowania procesu produkcyjnego pod względem technologicznym. W praktyce inżynierskiej diagram Ishikawy pozwala na powiązanie ze sobą przyczyn wpływających na określony wynik procesu oraz na określenie wystąpienia najbardziej prawdopodobnej przyczyny dzięki analizie współzależnych powiązań. Szczególną zaletą tej metody jest przedstawienie danego problemu w sposób prosty, czytelny oraz łatwy do opracowania. Ponadto metoda ta pozwala na całościowe ujęcie problemu co jest bardzo ważne na etapie projektowania i tworzenia nowej technologii.

4. Wspomaganie diagnostyki wad odlewów przy zastosowaniu diagramu Ishikawy

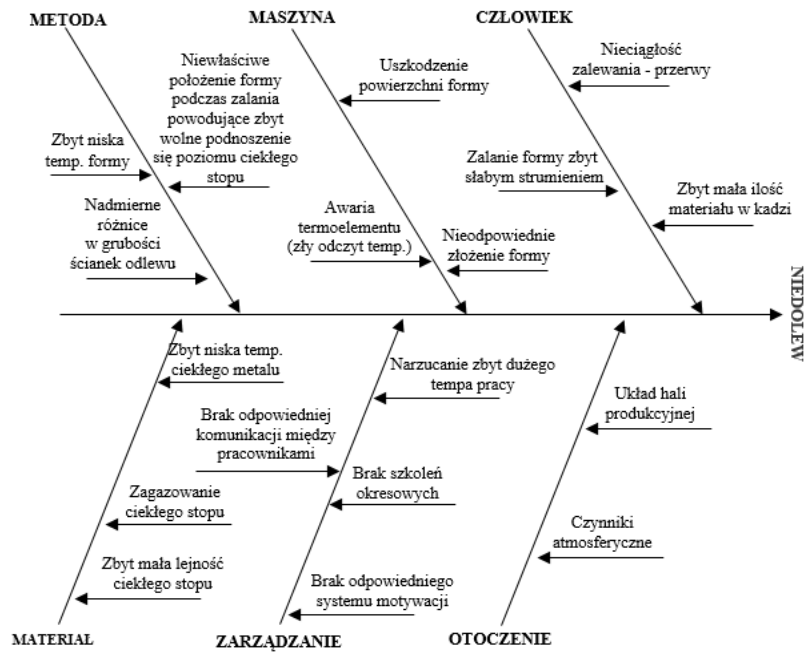
Na podstawie wcześniej prowadzonych badań [9,10] wybrano 4 wady odlewnicze należące do najczęściej pojawiających się niezgodności w odlewach wykonanych ze stopów Al-Si odlewanych grawitacyjnie do form piaskowych. Dla każdej z wytypowanych wad (porowatość, niedolew, jama skurczowa, zaproszenie) przedstawionych na rysunku 4 określono przyczyny główne oraz pośrednie, a następnie sporządzono diagramy Ishikawy w układzie 5M+E (rys. 5÷8).



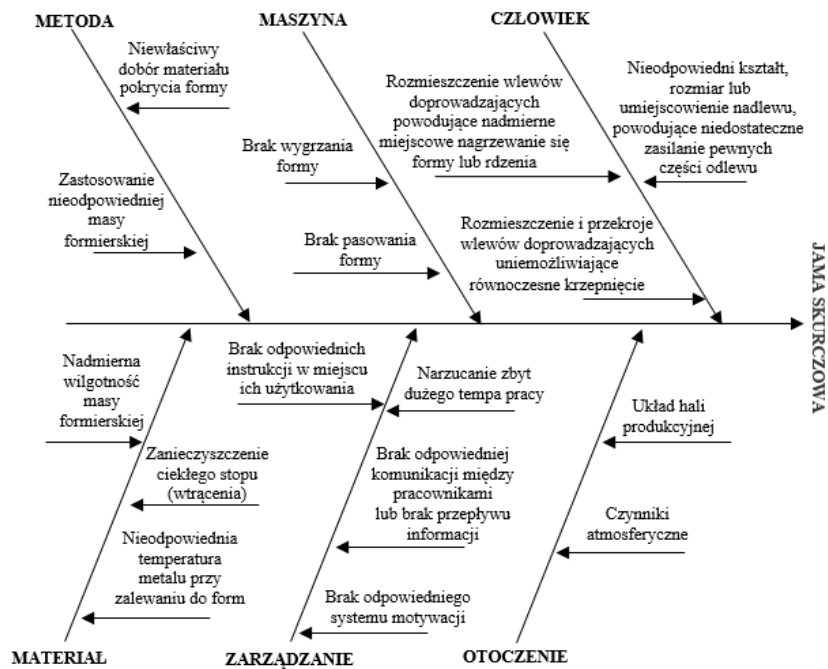
Rys. 4. Wytypowane wady odlewnicze: a) nadmierna porowatość; b) niedolew; c) jama skurczowa; d) zaproszenie masą formierską



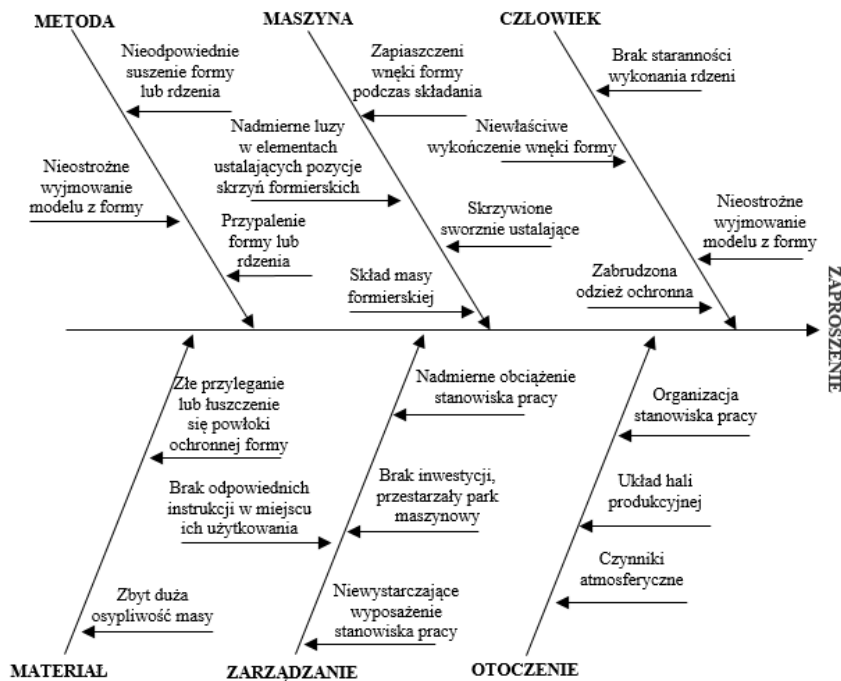
Rys. 5. Diagram Ishikawy dla niezgodności typu porowatość



Rys. 6. Diagram Ishikawy dla niezgodności typu niedolew



Rys.7. Diagram Ishikawy dla niezgodności typu jama skurczowa



Rys. 8. Diagram Ishikawy dla niezgodności typu zaproszenie

Mimo iż diagram Ishikawy jest narzędziem prostym jego przygotowanie może okazać się bardzo pracochłonne i bardzo często jego konstrukcja wiąże się z przeprowadzeniem tak zwanej „burzy mózgow”, co wymaga zaangażowania licznej grupy ludzi. Jednakże dzięki temu jesteśmy w stanie uzyskać szerszy pogląd problemu. Sugestie dotyczące przyczyn problemu wypracowane zespołowo mają zdecydowanie większe szanse na ich wdrożenie w procesie, gdyż zazwyczaj istota problemu tkwi w wielu dziedzinach.

5. Podsumowanie

Zastosowanie diagramu przyczynowo-skutkowego Ishikawy w celu identyfikacji niezgodności występujących w odlewach wykonanych ze stopów Al-Si odlewanych grawitacyjnie do form piaskowych uzasadnione jest nie tylko podczas procesu produkcji odlewów. Stanowi również doskonałe narzędzie wykorzystywane do analizy problemów na etapie projektowania technologii, gdzie efektywność podejmowanych działań jest najistotniejsza dla osiągnięcia wyznaczonego celu. Wykorzystanie narzędzia zarządzania jakością, jakim jest diagram Ishikawy, pozwoliło na zidentyfikowanie oraz rozpoznanie przyczyn występowania niezgodności odlewów podczas procesu produkcyjnego. Jedną z głównych zalet tego narzędzia jest możliwość hierarchizacji i klasyfikacji przyczyn wystąpienia niezgodności w procesie odlewania, co pozwala na podjęcie odpowiednich kroków mających na celu usprawnienie procesu. Jednakże podczas konstrukcji diagramu pojawił się problem z odpowiednim zakwalifikowaniem niektórych przyczyn powstania wad do odpowiednich grup głównych. Diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy stanowi doskonałą podstawę do dalszych badań. Takie zebranie i uporządkowanie problemu stanowi bazę do dalszych analiz.

Literatura

1. Fałęcki Z., Analiza wad odlewów, WNT, Warszawa, 1997.
2. Górny Z., Lech Z., Odlewanie kokilowe stopów metali nieżelaznych, WNT, Warszawa 1975
3. Kozakowski S., Badanie odlewów: technologie odlewnicze, typowe dla nich wady i metody ich ujawniania, Biuro Gamma mgr Bogusław Osuchowski, Warszawa, 2001
4. Władysław C. Poradnik Inżyniera. Odlewnictwo, WNT, Warszawa, 1972
5. Łybacki W., Zawadzka K., Wspomaganie diagnostyki wad odlewów narzędziami zarządzania jakością, „Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji Vol. 28 nr 1” 2008, s. 89 – 101
6. Szczęśniak B., Zaszadzień M., Wapienik Ł., Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie z. 63a, Nr kol. 1891, 2012
7. Kluska-Nawarecka S.: Metody komputerowe wspomaganie diagnostyki wad odlewów, Instytut Odlewnictwa, Kraków, 1999.
8. Łunarski J., Zarządzanie jakością. Standardy i zasady, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008
9. Dybowski B., Poloczek Ł., Kielbus A., The porosity description in hypoeutectic Al-Si alloys, „Key Engineering Materials 682”, 2016, s. 83-90
10. Poloczek Ł., Dybowski B., Kielbus A., Jarosz R., Rationization production proces of monolithic casting for power industry, Wybrane Zagadnienia Technologii Procesowej w Przemśle, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2015.

Mgr inż. Łukasz POLOCZEK
Katedra Inżynierii Produkcji
Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii
Politechnika Śląska,
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice
e-mail: lukasz.poloczek@polsl.pl

Dr hab. inż. Andrzej KIELBUS prof. nzw. w Politechnice Śląskiej
Mgr inż. Bartłomiej DYBOWSKI
Instytut Nauki o Materiałach
Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii,
Politechnika Śląska,
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice
email: andrzej.kielbus@polsl.pl
bartlomiej.dybowski@polsl.pl