

ZASTOSOWANIE WYBRANYCH NARZĘDZI JAKOŚCI W DIAGNOSTYCE NIEZGODNOŚCI ODLEWÓW W PRZEMYSŁE MOTORYZACYJNYM

Dominika SIWIEC, Karolina CZERWIŃSKA

Streszczenie: Wszystkie odlewy mogą posiadać wady związane na przykład z odchyleniami cech materiału, właściwości i struktury. Umiejętne wykorzystywanie dostępnych technologii oraz narzędzi zarządzania jakością pozwala na wykrywanie oraz eliminowanie niezgodności odlewów jak i zapobieganie ponownego ich występowania w przyszłości. Celem artykułu jest wskazanie użyteczności diagramu Pareto – Lorenza i diagramu Ishikawy do diagnozowania nieciągłości materiałowych w odlewach tłoków aluminiowych. W części teoretycznej omówiono obszar występowania niezgodności w odlewach, pojęcie jakości i scharakteryzowano wybrane narzędzia zarządzania jakością. W części praktycznej dokonano analizy niezgodności odlewów tłoków aluminiowych.

Słowa kluczowe: niezgodności odlewów, odlewy ze stopów aluminium, przemysł, jakość, narzędzia zarządzania jakością, Ishikawa, diagram Pareto-Lorenza, burza mózgów

1. Wprowadzenie

Dynamicznie rozwijający się przemysł motoryzacyjny jak i zmiany zachodzące w gospodarce przemysłowej sprawiły, że wymagania dotyczące technologii, konstrukcji czy estetyki wyrobów znacznie się zmieniły. Klienci oczekują bardzo dobrej jakości produktów przy jednocześnie niskiej cenie [2]. Prężnie rozwijający się przemysł, panująca konkurencja i wymagający konsumenci napędzający rynek, spowodowały, że firmy, które nie zapewniają jednostajnie jednakowo dobrych i spełniających wymagań produktów nie są w stanie przetrwać na rynku zbytu. Nieuniknione jest powstawanie błędów pracowników, czy niezgodności produktów, jednakże wczesne znalezienie przyczyn występowania problemów i umiejętne im zapobieganie wspomaga proces doskonalenia się przedsiębiorstw. Firmy, które poprawnie wykorzystują i stosują narzędzia i metody zarządzania jakością, stają się liderem jednocześnie zapewniając zadowolenie klienta i możliwy jego powrót w przyszłości.

Do działań związanych z zarządzaniem jakością zalicza się głównie te, które powodują osiągnięcie jakościowych wymagań stawianych przez klientów. Zakres tych działań obejmuje planowanie, organizację, kierownictwo oraz kontrolę [3]. Jakość natomiast to realizacja wszystkich wymogów klienta, związanych głównie z estetyką, użytecznością, eksploatacją danego produktu. Uogólniając, przez jakość rozumie się stopień w jakim produkt lub usługa jest w stanie spełnić oczekiwania konsumenta. W. E. Deming jakość definiuje jako skalę jednolitości i sprawności wyrobu przy jednocześnie niskim koszcie oraz jak najlepszym dopasowaniu do oczekiwań rynku [10].

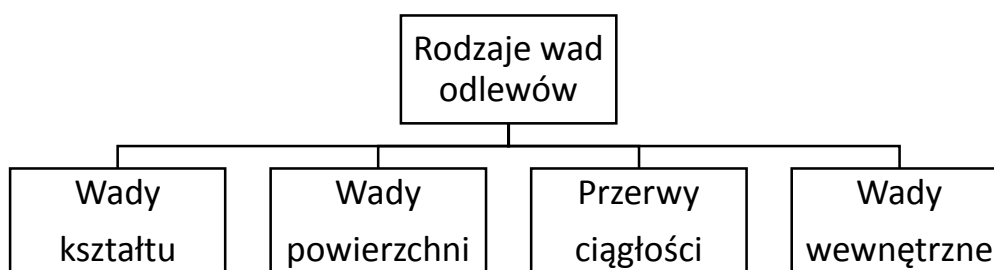
Istotnymi dla każdej gałęzi przemysłu są odlewy, a te wykonywane ze stopów aluminium są stosowane w przemyśle motoryzacyjnym. Jakość odlewów określana jest poprzez warunki techniczne odbioru odlewów. Produkując odlewy, niemożliwe jest zapewnienie o braku wad każdej wytworzonej sztuki. Stosowanie odpowiedniej aparatury kontrolno-pomiarowej

prowadzi do działań minimalizujących straty [6]. W momencie stwierdzenia, że odlew nie posiada wad, uznaje się, że jest on dobrej jakości [8].

2. Jakość odlewów i charakter występowania ich niezgodności

Odlewy występują w każdej gałęzi przemysłu, a ich masa zależy od wielkości odlewu i wykorzystanego materiału wsadowego [8]. Coraz większy udział w przemyśle mają odlewy aluminiowe, głównie te które wytwarzane są podczas procesu odlewania ciśnieniowego. Wysokie wymagania dotyczące właściwości mechanicznych odlewów używanych m. in. w przemyśle samochodowym oraz motoryzacyjnym, związane z bezpieczeństwem osób korzystających z tego rodzaju transportu, także zaawansowane technologie łączenia oraz rozmiar odlewów wymusza wykorzystywanie coraz to nowszych stopów aluminium jak i technologii ich odlewania [7]. Produkcja odlewu, a tym samym zachowanie wysokiej jakości wyrobu gotowego wiąże się z wieloma czynnikami, tj.: temperaturą, parametrami, tworzywem i powierzchnią. Problemem występującym podczas procesu produkcji odlewu jest brak możliwości jednoczesnej kontroli wszystkich czynników procesu technologicznego. Określając jakość odlewu, korzysta się z wymagań technicznych odbioru odlewu, które powinny spełniać rzeczywiste wymagania techniczne.

Jednym, a zarazem najważniejszym wariantem mającym wpływ na jakość oraz konkurencyjność odlewu, jest potwierdzenie, że odlew ten jest wolny od wad [8]. Za wadę odlewu uznaje się zmianę jego kształtu, jakości powierzchni surowej, także zmianę struktury odlewu. Cechy wad odlewów umożliwiają ich identyfikację, dzięki której powstała klasyfikacja wad odlewów. W Polsce klasyfikacja ta jest jedną z niewielu, które objęte są państwowymi normami. Wyróżnia się cztery grupy wad, tak jak przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Rodzaje wad odlewów
Źródło: [4]

Etapy odbioru odlewu dokonywanego przez dział kontroli technicznej polega na stwierdzeniu wad kształtu, kolejno powierzchni i przerw ciągłości. W przypadku wad wewnętrznych możliwe jest wykrycie ich podczas przeprowadzanych badań nieniszczących i niszczących, jak i podczas obróbki skrawaniem [4]. Przykładowo w celu wykrycia wad wewnętrznych takich jak na przykład porowatość wykorzystuje się defektoskopię. Niejednokrotnie nieskuteczne okazuje się zasilanie odlewów poprzez nadlewy, gdyż ciężko jest zachować zgodność zjawisk skurczowych ze sztywnością formy. Istotne staje się zastosowanie wielowariantowej nieniszczącej kontroli odlewów [12].

W celu minimalizacji powstawania wad odlewów już na etapie tworzenia technologii wykorzystuje się narzędzia zarządzania jakością oraz wspomagające ten proces komputerowe metody projektowe. Gdy pojawi się wada odlewnicza, koniecznością jest rozpoczęcie analizy mającej na celu wykrycie przyczyn jej powstania. Przeprowadzenie odpowiedniej analizy wad odlewów polega na [8]:

- ustaleniu z jakim rodzajem wady ma się do czynienia,
- wykorzystaniu odpowiedniego narzędzia zarządzania jakością, aby określić najbardziej prawdopodobne przyczyny pojawienia się niezgodności,
- zastosowanie działań korygujących i naprawczych.

Wszystkie działania korygujące i zapobiegawcze mogą pozwolić na osiągnięcie zamierzonych efektów tylko wtedy, gdy są umiejętnie wykorzystywane i stosowane.

3. Wybrane narzędzia zarządzania jakością

Jakość ma związek z wytworami pracy człowieka. Jakością jest więc stopień jaki osiągają dane usługi lub wyroby w odniesieniu do wymagań, oczekiwań ustalonych zwyczajowo bądź obowiązkowo [5]. Aby osiągnąć i utrzymać wyznaczony poziom jakości należy posługiwać się i właściwie stosować przeznaczone do danego problemu metody i narzędzia zarządzania jakością. Narzędzia zarządzania jakością umożliwiają zbieranie i przetwarzanie danych mających związek z jakością. Są instrumentami, dzięki którym nadzoruje się i diagnozuje procesy projektowe, wytwarzania, kontroli i wiele innych [9].

Jednym z narzędzi zarządzania jakością jest diagram przyczyn i skutków, który nazywany jest również diagramem Ishikawy bądź „rybią ością” [1]. Za pomocą tego narzędzia rozwiązuje się złożone problemy organizacyjne, analizując powiązane ze sobą czynniki. Do głównych kategorii (5M) zalicza się następujące [9]:

- człowiek (Man),
- maszyna (Machine),
- materiał (Material),
- metodę (Method),
- zarządzanie (Management).

Celem stosowania diagramu Ishikawy jest znalezienie potencjalnych przyczyn wystąpienia problemu [11]. Narzędzie to jest proste i przejrzyste podczas dokonywania analizy omawianego problemu i daje oczekiwane efekty.

Równie często stosowanym narzędziem inżynierii zarządzania jakością jest diagram Pareto-Lorenza. Jest on graficzną prezentacją, dzięki której można stwierdzić, że ze wszystkich czynników mających wpływ na wynik określonego działania lub ze wszystkich przyczyn mających związek z wystąpieniem problemu, ważne znaczenie ma tylko mała ich część [5]. Podstawą wykresu Parety-Lorenza jest prawidłowość, że 20% przyczyn decyduje o 80% skutków. W praktycznie w każdym procesie, znaczna większość wad spowodowana jest jedynie przez niewielką liczbę przyczyn [9]. Zastosowanie diagramu Pareto-Lorenza pozwala skupić obszary korygujące bądź doskonalące na czynnikach najważniejszych. Często sporządza się wykres Lorenza, służący graficznej interpretacji zależności badanych wielkości w postaci skumulowanej [5].

Formą pracy zespołowej jest burza mózgów, stosowana w celu poszukiwania jak największej liczby dowolnie zgłaszanych pomysłów przez członków zespołu [5]. Podczas przeprowadzania burzy mózgów ważne jest, aby członkowie byli na równi pod względem kwalifikacji zawodowych. W zespole osób biorących udział w burzy mózgów, należy wyznaczyć lidera, który będzie kontrolował jej przebieg, równocześnie sprawdzając czy

przeprowadzana jest poprawnie. W metodzie tej istotne jest, aby nie krytykować i akceptować każdy zgłaszany pomysł. W końcowym etapie, wyznaczone do tego osoby, dokonują zestawienia pomysłów, ich oceny i selekcji [5].

4. Przedmiot badań

Przedmiot badań stanowił odlew tłoka stosowanego w silnikach wysokoprężnych samochodów osobowych, firmy Toyota, produkowanego w jednej z podkarpackich firm - Federal Mogul. Rysunek 2 przedstawia model gotowego tłoka silnika wysokoprężnego.



Rys. 2. Przedmiot badań – tłok silnika wysokoprężnego stosowanego w samochodach osobowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie: dokumenty udostępnione przez firmę Federal Mogul Gorzyce. Materiały niepublikowane, Gorzyce, 2014.

Odlew tłoka wykonany jest ze stopu B2 (stop AlSiCuMgNi). Zakres składu chemicznego stopu B2 podano w tabeli 1. Aluminiowe tłoki stosowane są w silnikach, nie tylko ze względu na mniejsze koszty obróbki mechanicznej (w porównaniu do tłoków stalowych). Współcześnie produkowane tłoki wykonywane są ze stopów aluminium oraz krzemu. Producent zapewnia iż, jego aluminiowe tłoki wytrzymują maksymalne ciśnienie do około 200 barów a także miliona kilometrów przebiegu pojazdu.

Tab. 1. Zakres składu chemicznego stopu B2

Pierwiastek	Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Mn	Zn	Pb	Sn	Ti	Zr	V
max, %	14.5	5.2	1.5	3.2	0.7	0.2	0.1	0.08	0.1	0.2	0.2	0.2
min, %	12.0	3.7	0.5	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-

Źródło: opracowanie własne na podstawie: dokumenty udostępnione przez firmę Federal Mogul Gorzyce. Materiały niepublikowane, Gorzyce, 2014.

Trwałość tłoków aluminiowych warunkuje wytrzymałość komory spalania na ciśnienie oraz temperature. Istnieje tu bowiem ryzyko pęknięć zmęczeniowych podstawy komory i

krawędzi. Ze względu na to Federal-Mogul opracował proces „DuraBowl”, który polega na wtórnym topieniu a następnie niezwłocznym schłodzeniu krawędzi komory spalania w wykonanym tłoku. Powstała warstwa aluminium posiada bardzo drobną ziarnistość krzemu, nawet do jednej dziesiątej pierwotnej wielkości, co istotnie poprawia trwałość zmęczeniową odlewu tłoka. Dodatkowo komora spalania w denku tłoka chroniona jest powłoką, która zawiera nanodiamenty w warstwie chromu, aby odbijać ciepło oraz w celu ograniczenia stopniowego niszczenia krawędzi denka tłoka.

5. Wspomaganie diagnostyki wad odlewu tłoka przy użyciu Diagramu Pareto-Lorenza

Aktualnie każdy z wyprodukowanych tłoków poddawany jest kilku kontrolom w trakcie procesu produkcyjnego. W celu minimalizacji liczby wyrobów weryfikowanych negatywnie podjęto badania przyczyn odrzutów. W analizie skupiono się na najbardziej obciążonej części tłoka – komorze spalania. Celem badań było dokładne określenie przyczyn, w odniesieniu do których zastosowanie odpowiednich działań zapobiegawczych mogło w znaczny sposób przyczynić się do redukcji liczby odrzuconych odlewów tłoków. Aby zidentyfikować przyczyny niezgodności zdecydowano się zastosować kombinację narzędzi zarządzania jakością – diagramu Pareto-Lorenza oraz diagramu Ishikawy.

Pierwszym etapem analizy wadliwości odlewów tłoków stosowanych do silnika wysokoprężnego samochodów osobowych jest analiza Pareto-Lorenza wykonywana w celu identyfikacji najważniejszych niezgodności odlewów z punktu widzenia ilości ich występowania.

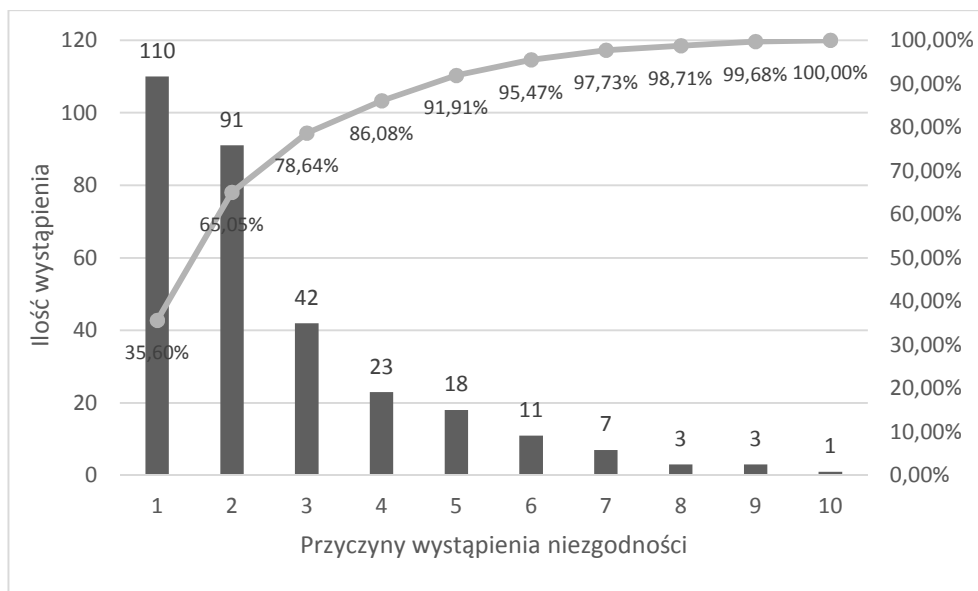
Tabela 2 przedstawia rodzaje i ilość wszystkich niezgodności odlewu tłoka w skali roku uporządkowane w sposób malejący. W tabeli obliczono także udział procentowy wyszczególnionych przyczyn w całkowitej liczbie odrzuczeń.

Tab. 2. Rodzaje oraz liczba niezgodności odlewu tłoka w skali roku

Numer niezgodności	Liczba niezgodności	Udział procentowy	Wartość skumulowana	Opis niezgodności
1	110	35,60%	35,60%	Obecność tlenków
2	91	29,45%	65,05%	Obecność rzadzisz
3	42	13,59%	78,64%	Resztki masy formierskiej w kokili oraz zanieczyszczenie aluminium
4	23	7,44%	86,08%	Niedolew
5	18	5,83%	91,91%	Uszkodzenie sit filtracyjnych w kadzi lub systemie przelewowym
6	11	3,56%	95,47%	Jama skurczowa
7	7	2,27%	97,73%	Uszkodzone rury wlewowe
8	3	0,97%	98,71%	Nie równomierne chłodzenie kokili
9	3	0,97%	99,68%	Zbyt wolne lub zbyt szybkie tempo zalewania formy
10	1	0,32%	100%	Przegrzanie materiały po krystalizacji
Suma	291			

Źródło: opracowanie własne na podstawie: dokumenty udostępnione przez firmę Federal Mogul Gorzyce. Materiały niepublikowane, Gorzyce, 2014

Na podstawie określonych i uszeregowanych niezgodności gotowego odlewu tłoka z tabeli 2, wykonano diagram Pareto – Lorenza, który przedstawia rysunek 3.



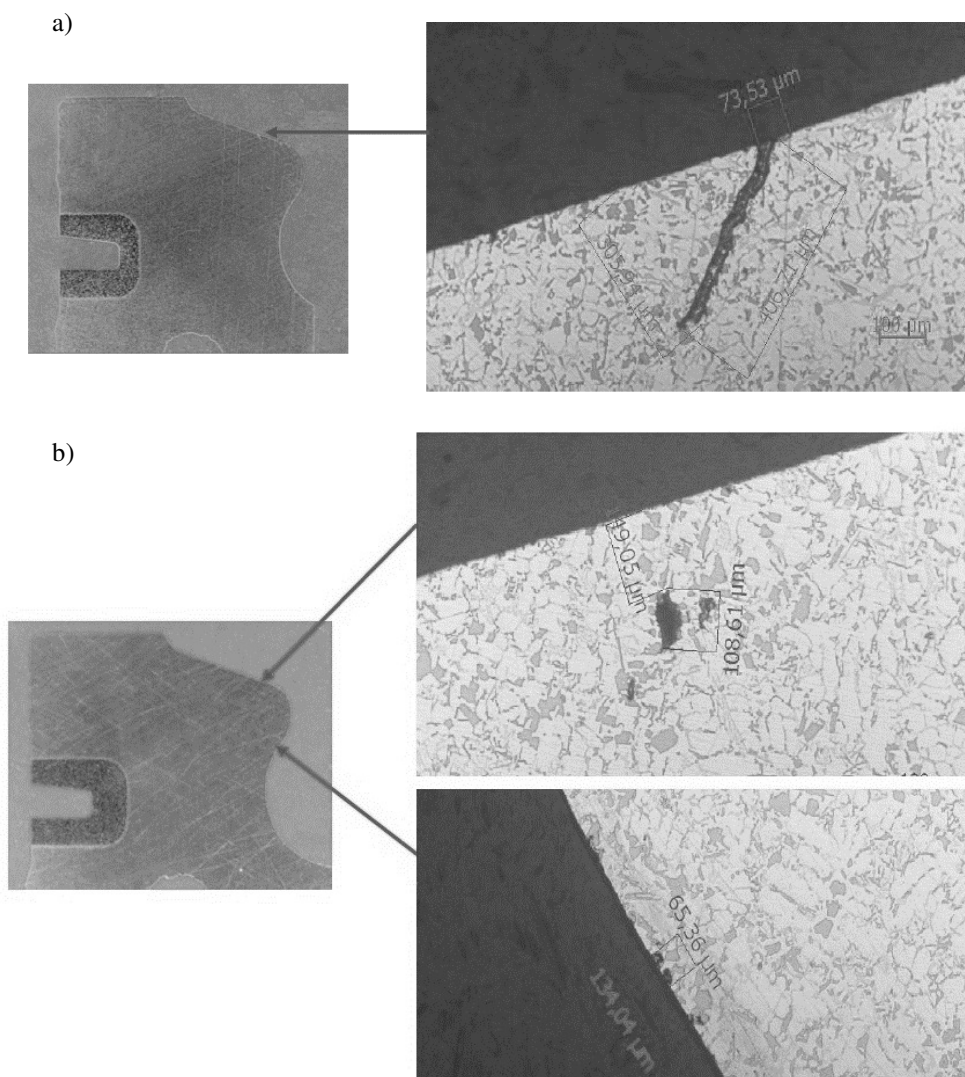
Rys. 3. Diagram Pareto-Lorenza dla niezgodności występujących w tłoku do silnika wysokoprężnego

Z rysunku 3 wynika, że za 65,05% niezgodności występujących w czasie procesu odlewania tłoka do silnika wysokoprężnego stosowanego w samochodach osobowych odpowiadają 2 rodzaje niezgodności tj. obecność tlenków oraz obecność rzadzisz w gotowych odlewach. W pierwszej kolejności należy wyeliminować najliczniejszą przyczynę niezgodności (obecność tlenków w gotowym odlewie), gdyż stanowi ona 37,80% z wszystkich stwierdzonych niezgodności. Dodatkowo należy wykluczyć występowanie drugiej co do liczności wady jaką jest obecność rzadzisz w gotowych odlewach tłoków stanowiącą 31,27% wszystkich niezgodności.

6. Wspomaganie diagnostyki wad odlewu tłoka przy użyciu Diagramu Ishikawy

Na podstawie wcześniej przeprowadzonej analizy wadliwości odlewów tłoków stosowanych do silnika wysokoprężnego samochodów osobowych wybrano dwie wady odlewnicze, które należą do najczęściej występujących niezgodności w komorze spalania w odlewach aluminiowych tłoków. W celu zobrazowania wytypowanych niezgodności oraz ich zlokalizowania wykonano badania penetracyjne, a następnie sporządzono zglądy metalograficzne z obszarów występowania nieciągłości materiału (rys. 4).

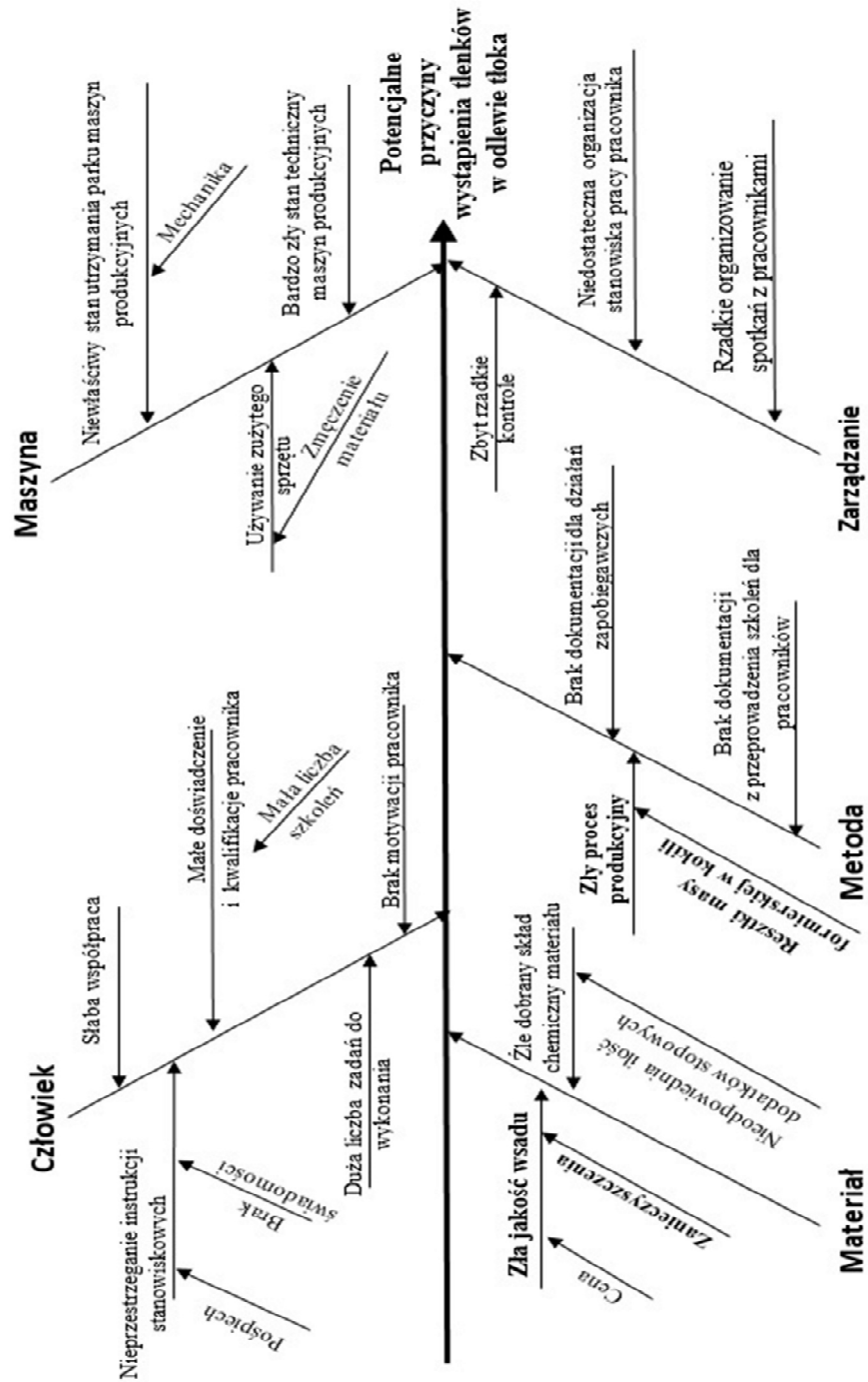
Dla każdej z wytypowanych niezgodności tj. obecność tlenków oraz obecność rzadzisz w gotowych odlewach, w ramach sesji „burzy mózgów” wspieranej diagramami Ishikawy wyszczególniono przyczyny główne i pośrednie podstawowych obszarach 5M, a następnie opracowano diagramy Ishikawy (rys. 5-6). Dzięki przeprowadzeniu sesji „burzy mózgów” możliwe jest uzyskanie szerszego poglądu na rozpatrywany problem, ze względu na zaangażowanie sporej liczby pracowników. Wypracowane sugestie dotyczące przyczyn



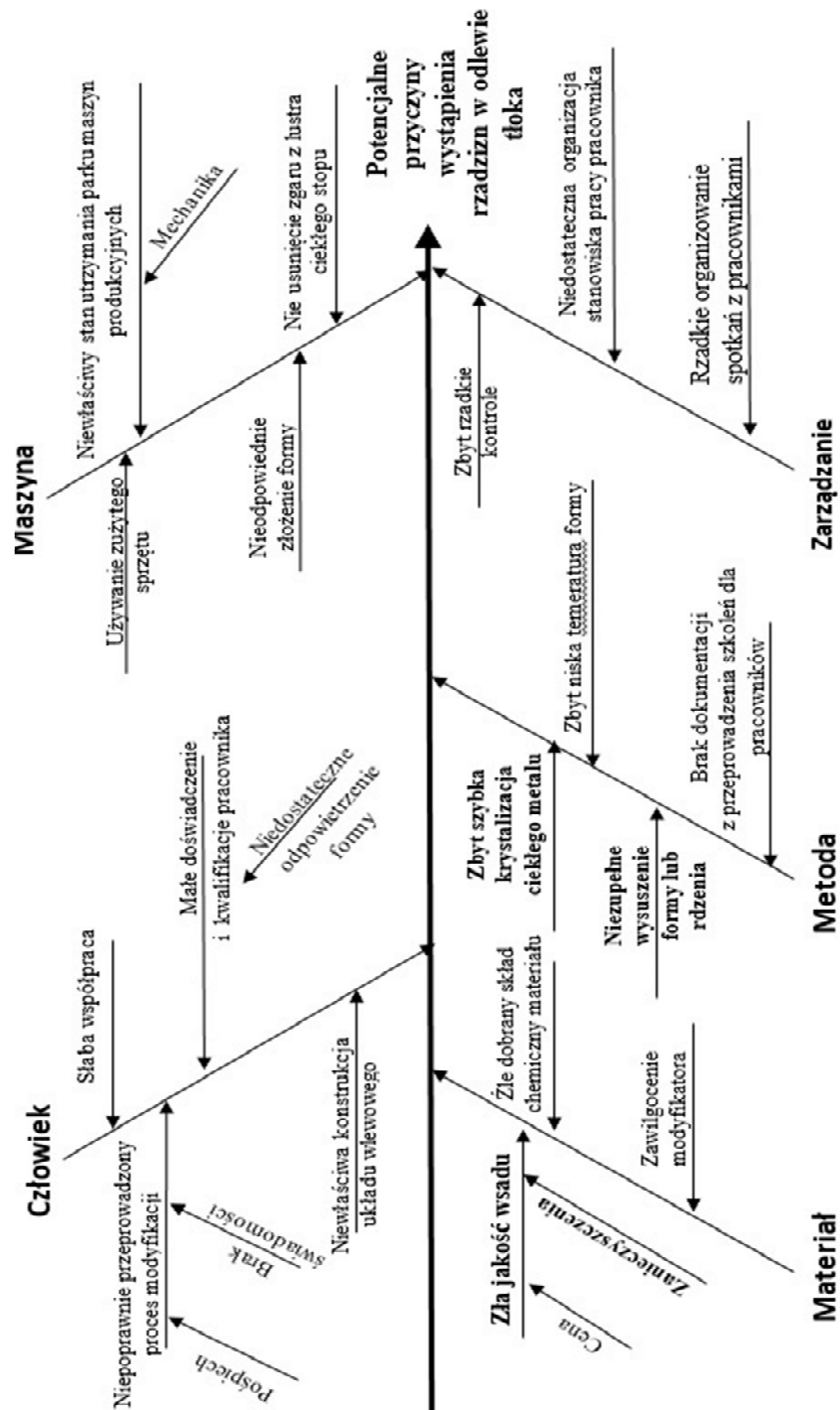
Rys. 4. Przekrój przez nieciągłość materiału komory spalania odlewu tłoka po luminescencji kolorowej pow. X100: a) tlenek, b) rzadzizna

Wśród czynników wpływających na powstawanie niezgodności w komorze spalania omawianego tłoka wyróżniono: materiał a w tej grupie największe znaczenie miała zła jakość wsadu (zanieczyszczenia). W grupie metoda najważniejszym czynnikiem jest zły proces produkcyjny – obecność resztek masy formierskiej w kokili.

Na podstawie diagramu Ishikawy dotyczącego niezgodności materiału jaką są rzadzizny w gotowym odlewie tłoka umiejscowione w komorze spalania widać, iż do najważniejszych przyczyn należy z grupy materiał - zła jakość wsadu a konkretnie obecne tam zanieczyszczenia. W grupie metoda wyróżnione zostały dwie przyczyny: zbyt szybka krystalizacja ciekłego metalu oraz niepełne wysuszenie formy lub rdzenia.



Rys. 5. Diagram Ishikawy dla niezgodności – obecność tlenków w odlewie tłoka



Rys. 6. Diagram Ishikawy dla niezgodności – obecność rzadzin w odlewie tłoka

7. Podsumowanie

Wykryte nieciągłości materiału zlokalizowane były w komorze spalania tłoków, są to wady odlewnicze typu porowatość skurczowa (jamy skurczowe oraz rzadzizny). Porowatość odlewów ze stopów aluminium stanowi wadę odlewniczą mającą postać skupisk bardzo drobnych gazowych pęcherzy występujących w całej masie odlewu. Nieduże rozmiary por utrudniają ujawnianie nieciągłości w odlewach poddawanych badaniom metodami nieniszczącymi. Obecność tego typu nieciągłości materiału dyskwalifikuje tłok, gdyż jego właściwości wytrzymałościowe ulegają obniżeniu. W związku z tym dokonano analizy wadliwości wyrobu (analiza Pareto – Lorenza) w celu zidentyfikowania najistotniejszych niezgodności odlewów z punktu widzenia ilości ich występowania, a także wykonano analizę przyczyn występowania niezgodności przy użyciu diagramu Ishikawy.

Badania przeprowadzone przy użyciu diagramu Pareto – Lorenza wykazały, iż najważniejszymi nieciągłościami występującymi w komorze spalania aluminiowego tłoka stosowanego do silników wysokoprężnych samochodów osobowych stanowią dwa rodzaje niezgodności tj. obecność tlenków (35,60%) oraz obecność rzadzizn w gotowych odlewach (29,45%). Powodują one występowanie 65,05% wszystkich braków po procesie odlewania tłoków.

Dalsza analiza niezgodności odlewu omawianego rodzaju tłoków przeprowadzona przy użyciu diagramu Ishikawy, pozwoliła na wskazanie przyczyn odpowiedzialnych za obecność tlenków i rzadzizn w gotowych odlewach tłoków. Przyczyny niezgodności podzielone zostały na pięć głównych grup tj. materiał, maszyna, metoda, człowiek oraz zarządzanie. Do najważniejszych przyczyn obecności tlenków i rzadzizn w odlewie tłoka należy zła jakość wsadu (zanieczyszczenia), a dodatkowo do najważniejszych przyczyn obecności rzadzizn zaliczono również zbyt szybka krystalizacja ciekłego metalu oraz niezupełne wysuszenie formy lub rdzenia.

W celu ich eliminacji wyróżnionych rodzajów najczęściej powodujących występujących niezgodności: zanieczyszczenie wsadu oraz zbyt szybka krystalizacja ciekłego metalu oraz niezupełne wysuszenie formy lub rdzenia należy zwrócić szczególną uwagę na poprawienie jakości wsadu (zanieczyszczenia) oraz poprawę procesu produkcyjnego – wyeliminowanie obecności resztek masy formierskiej w kokili.

Literatura

1. Antosz K., Pacana A. i inni: Narzędzia Lean Manufacturing. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2013.
2. Bociąga M., Klimecka-Tatar D.: Narzędzia zarządzania jakością w branży cementowej. Archiwum Wiedzy Inżynierskiej, Tom 1, Nr 1, 2016, 36-38.
3. Chądzyńska M., Klimecka-Tatar D.: Zastosowanie narzędzia zarządzania jakością w małym przedsiębiorstwie kaletniczym. Archiwum Wiedzy Inżynierskiej, Tom 1, Nr 1, 2016, 42-44.
4. Gawdzińska K., Nagolska D., Szweycer M.: Klasyfikacja wad struktury metalowych odlewów kompozytowych z nasycanym zbrojeniem. Archives of Foundry Engineering. Vol. 12, Nr 1, 2012, 39-46.
5. Hamrol A.: Zarządzanie i inżynieria jakości. PWN, Warszawa, 2017.
6. Krzak I., Tchórz A.: Zastosowanie rentgenowskiej tomografii komputerowej do wspomaganie badań materiałowych odlewów. Prace Instytutu Odlewnictwa, Vol. 55, Nr 3, 2015, 33-42.

7. Łuszczak M., Dańko R.: Stan zagadnienia w zakresie odlewania dużych odlewów strukturalnych ze stopów aluminium. Archives of Foundry Engineering, Vol. 13, Nr 3, 2013, 113 -116.
8. Poloczek Ł., Kielbus A.: Wpływ czynników technologicznych na jakość odlewów ze stopów aluminium. Zarządzanie Przedsiębiorstwem, Vol. 19, Nr 2, 2016, 14-19.
9. Sęp J., Perłowski R., Pacana A.: Techniki wspomaganie zarządzania jakością. Wydanie II. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2010.
10. Szczęsna M., Klimecka-Tatar D.: Wybrane narzędzia zarządzania jakością w branży odzieżowej. Archiwum Wiedzy Inżynierskiej, Tom 2, Nr 1, 2017, 6-8.
11. Wolniak R., Skotnicka B.: Metody i narzędzia zarządzania jakością, teoria i praktyka. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2008.
12. Zych J.: Wieloetapowa, ultradźwiękowa kontrola procesu wytwarzania odlewów z żeliwa sferoidalnego. Archiwum Odlewnictwa, Rocznik 1, Nr 1 (1/2), 2001, 227- 236.

Inż. Dominika SIWIEC
Mgr inż. Karolina CZERWIŃSKA
Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji
Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza
35-959 Rzeszów, ul. Aleja Powstańców Warszawy 12
tel./fax: (0-17) 865 11 00
e-mail: dominikasiwec@o2.pl
kczzerwinska@vp.pl