

OCENA RANGI PRZYCZYŃ USZKODZENIA ŚCIERNIC W PROCESIE PRZECINANIA ŚCIERNICOWEGO PRZY WYKORZYSTANIU WAŻONEGO DIAGRAMU ISHIKAWY

Czesław NIŻANKOWSKI, Agnieszka MISIURA

Streszczenie: W artykule przedstawiono wykorzystanie ważonego diagramu Ishikawy do oceny rangi przyczyn uszkodzenia ściernic w procesie przecinania ściernicowego. Zaletą użytego narzędzia jest uporządkowanie informacji, hierarchizacja danych, łatwa lokalizacja przyczyn problemu, swobodne wprowadzanie nowych przyczyn oraz ich systematyzacja na bieżąco. Technika ta może stanowić podstawę do dalszych działań i analiz. Uzyskane wyniki można zastosować jako dane wejściowe do innych technik, które pozwalają na wprowadzenie działań naprawczych eliminujących kluczowe dla analizowanego problemu przyczyny i podprzyczyny.

Słowa kluczowe: przecinanie ściernicowe, ściernice do przecinania, przyczyny rozrywania się ściernic, ważony diagram Ishikawy.

1. Przecinanie ściernicowe

Przecinanie ściernicowe jest techniką obróbki ścierniej stosowaną przy rozdzielaniu materiału na zimno lub na gorąco, głównie w hutniczych liniach technologicznych walcowania, odlewniach, kuźniach i w zakładach przemysłu budowy maszyn. Przecinanie ściernicowe posiada obecnie szeroki zakres zastosowania we wskazanych gałęziach przemysłu, głównie dzięki stałemu postępowi w obszarze przecinarek i ściernic pozwalającemu na zwiększenie wydajności i elastyczności produkcji oraz obniżenie kosztów wytwarzania. Dzięki temu przecinanie ściernicą jest obróbką częściej stosowaną w praktyce przemysłowej niż przecinanie przy pomocy piły ramowej lub piły taśmowej.

Wydajność procesu przecinania ściernicowego określana jest zazwyczaj za pomocą parametru K_F . Jest to współczynnik wydajności cięcia, określany jako stosunek pola powierzchni przeciętego przekroju do pola powierzchni czołowej zużytej ściernicy [**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**]. Na podstawie licznych badań stwierdzono, że wartość współczynnika wydajności cięcia K_F w dużym stopniu zależy od prędkości obwodowej ściernicy. Wzrost prędkości obwodowej powoduje, wzrost wartości współczynnika K_F .

Spośród eksploatacyjnych parametrów obróbki główną rolę odgrywa zatem prędkość skrawania (równa liczbowo prędkości obwodowej ściernicy) i posuw ściernicy, poprzeczny lub skośny względem przecinanego materiału. Przy poprawnie dobranych warunkach obróbki powierzchnia przekroju materiału powinna być wolna od przypaleń i wypływek zakrzepniętego materiału.

Do przecinania ściernicowego najczęściej stosowane są przecinarki ściernicowe o odpowiednio dużej prędkości wrzeczona i mocy napędu. Rzadziej - przecinarki ręczne. W przecinarkach ściernicowych wykorzystywane są narzędzia w postaci ściernic tarczowych, korundowych, diamentowych, z węglika krzemu lub regularnego azotku boru.

Wysokość tarczy może wynosić 0,5 ÷ 6,0 mm.

2. Budowa i dobór ściernic do przecinania

Dobór ściernic do przecinania pod względem ich kształtu i wymiarów zależy przede wszystkim od przecinarki i przecinanego przedmiotu. Należy brać pod uwagę trwałość ściernicy, wydajność przecinania, rodzaj i gatunek materiału obrabianego, chropowatość i dokładność wymiarową osiąganą przy przecinaniu oraz zadziory w i wypłytki.

W procesie przecinania ściernicowego, ze względu na kształt, stosowane są dwa rodzaje ściernic:

- płaskie ściernice tarczowe typu 41, do przecinarek ściernicowych ręcznych i stacjonarnych,
- ściernice z obniżonym środkiem typu 42, do przecinarek ściernicowych ręcznych (tzw. flexy).

Zastosowanie ściernic z obniżonym środkiem umożliwia przeniesienie niewielkich obciążeń bocznych, co nie jest możliwe w przypadku ściernic płaskich.

Wysokość ściernic najczęściej stosowanych do przecinania wynosi 2 ÷ 4 mm. W szczególnych przypadkach stosuje się ściernice o wysokości nawet 0,1 mm.

Materiał ścierny dobierany jest w zależności od rodzaju i gatunku materiału przecinanego. Przeważnie stosuje się elektrokorund zwykły lub czarny węgiel krzemu. Przy przecinaniu materiałów trudno obrabialnych, takich jak materiały ceramiczne (szkło, porcelana, szamot) oraz węgliki spiekane, stosowane są ściernice z nasypem diamentowym, a przy takich jak stale żaroodporne i odporne na korozję regularny azotek boru.

Przy doborze twardości ściernicy do przecinania przyjmuje się zasadę, że twarde materiały przecina się miękką ściernicą i odwrotnie. Miękkie ściernice stosuje się również do przecinania materiałów wrażliwych na wzrost temperatury, przy cięciu przedmiotów o pełnym przekroju i długiej linii wcięcia ściernicy w przecinany przedmiot. Twarde ściernice stosuje się do przecinania rur i profili, przy których linia cięcia jest krótka.

Do przecinania ściernicowego rzadko już używa się ściernic o spoiwie gumowym. Obecnie eksploatuje się ściernice o spoiwie żywicznym wzmocnionym siatką (siatkami) z włókna szklanego.

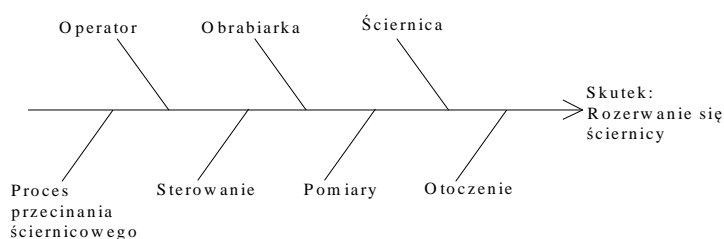
W skład spoiwa obok żywicy wchodzi wypełniacze. Są to najczęściej związki nieorganiczne. Zadaniem wypełniaczy w ściernicach do przecinania jest poprawienie zdolności skrawnej ściernicy, co w konsekwencji prowadzi do znacznego wzrostu wydajności procesu przecinania.

W procesie przecinania ściernicowego najczęściej są stosowane ściernice o zakresie średnic zewnętrznych $D = 30 \div 1500$ mm i średnicach otworu osadczego z zakresu $d = 5 \div 207$ mm. Wiele aktualnie stosowanych ściernic do przecinania, zwłaszcza wykonanych ze ścierniw diamentowych i z regularnego azotku boru ma nieciągłą czynną powierzchnię ściernicy. Wszelkiego rodzaju nieprawidłowości w budowie lub procesie eksploatacji ściernicy do przecinania z reguły prowadzą do jej uszkodzenia, które przeważnie kończy się (bardzo niebezpiecznym dla całego układu człowiek-obrabiarka) rozerwaniem ściernicy [**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**].

3. Analiza rangi przyczyn uszkodzenia ściernic

Istotą przeprowadzonej analizy jest ocena rangi przyczyn uszkodzenia ściernic w procesie przecinania ściernicowego przy wykorzystaniu ważonego diagramu Ishikawy.

Na podstawie informacji zebranych w 4 przedsiębiorstwach przemysłowych ustalono główne kategorie przyczyn rozerwania się ściernicy. Podstawowe kategorie przyczyn I rzędu przedstawiono na rysunku 1.



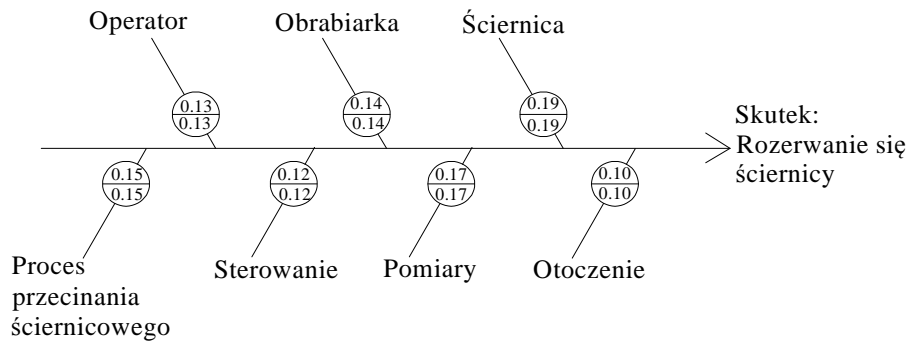
Rys. 1. Diagram Ishikawy, przyczyny 1-szego rzędu

Do nadania wag dla przedstawionych siedmiu przyczyn głównych wykorzystana została macierz porównań, w rozbudowanym systemie ocen, w układzie: 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1. Ocena 0,75 oznacza silniejszy wpływ, natomiast ocena 0,25 mniejszy wpływ. Wyniki przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Wypełniona macierz porównań

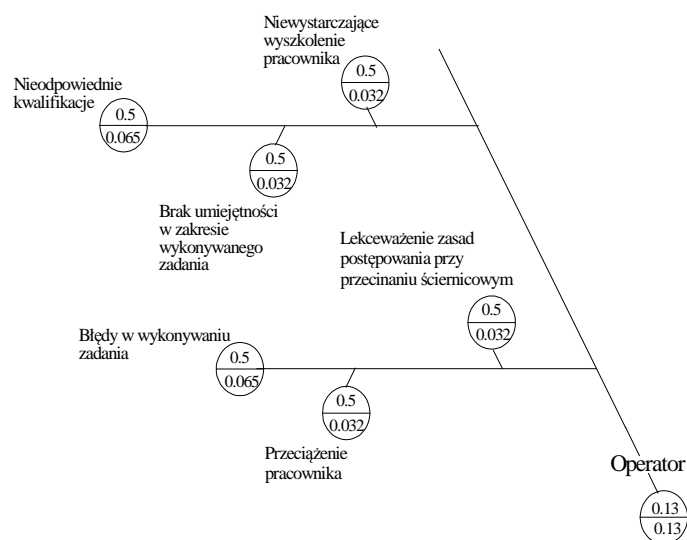
	Operator	Obrabiarka	Ściernica	Przecinanie ściernicowe	Sterowanie	Pomiary	Otoczenie	Σ	Σ_n
	1	2	3	4	5	6	7		
Operator	X	0.5	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	2.75	0.13
Obrabiarka	0.5	X	0.25	0.5	0.5	0.5	0.75	3	0.14
Ściernica	0.75	0.75	X	0.5	0.75	0.5	0.75	4	0.19
Przecinanie ściernicowe	0.5	0.5	0.5	X	0.75	0.5	0.5	3.25	0.15
Sterowanie	0.5	0.5	0.25	0.25	X	0.25	0.75	2.5	0.12
Pomiary	0.5	0.5	0.5	0.5	0.75	X	0.75	3.5	0.17
Otoczenie	0.5	0.25	0.25	0.5	0.25	0.25	X	2	0.10
							Σ_c	21	1.00

Na podstawie wypełnionej macierzy porównań uzupełniono diagram Ishikawy (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**). Na przedstawionym diagramie wagi są zapisane w okrągłych polach. Górna waga zawiera wagę względną (odniesioną do danego poziomu), natomiast dolna waga jest wagą bezwzględną (odniesioną do całego wykresu). Z przedstawionych przyczyn głównych najwyższą wagę ma grupa określona jako ściernica.



Rys. 2. Ważony diagram Ishikawy z wagami przyczyn głównych

W obszarze przyczyn określanych jako operator (Rys. 3.) występują dwie podprzyczyny: nieodpowiednie kwalifikacje i błędy w wykonywaniu zadania. Waga bezwzględna dla tych podprzyczyn wynosi 0.065.

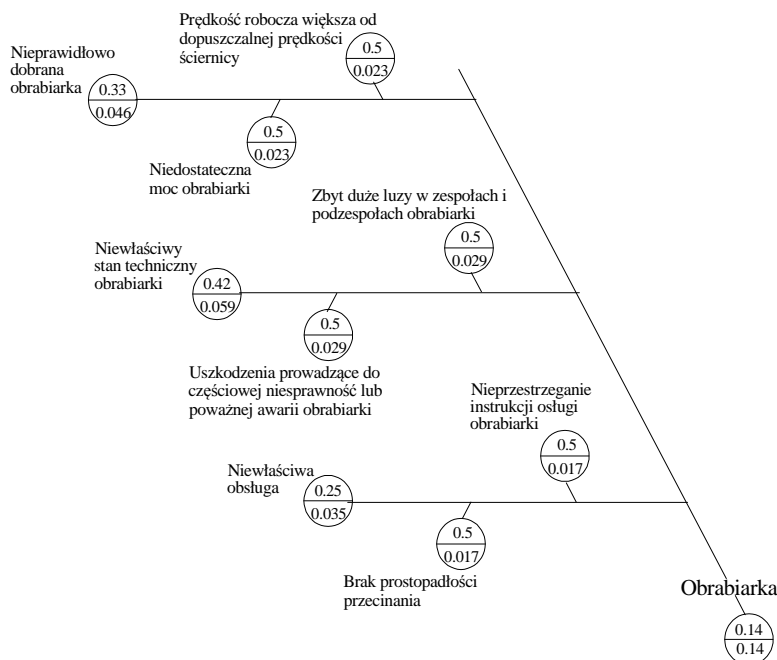


Rys. 3. Ważony diagram Ishikawy dla przyczyn z grupy operator

Analiza wyżej wymienionych podprzyczyn pozwoliła na wyodrębnienie przyczyn drugiego rzędu. W obrębie podprzyczyny niskie kwalifikacje, są to niewystarczające wykształcenie pracownika i brak umiejętności w zakresie wykonywanego zadania. Natomiast w przypadku podprzyczyny błędy w wykonywaniu zadania można wyróżnić lekceważenie zasad postępowania podczas procesu przecinania ściernicowego i przeciążenie pracownika. Waga bezwzględna dla tych podprzyczyn drugiego rzędu jest taka sama i wynosi 0.032.

W przypadku przyczyn określanych jako obrabiarka (Rys. 4) analiza pozwoliła

wyodrębnić trzy podprzyczyny.



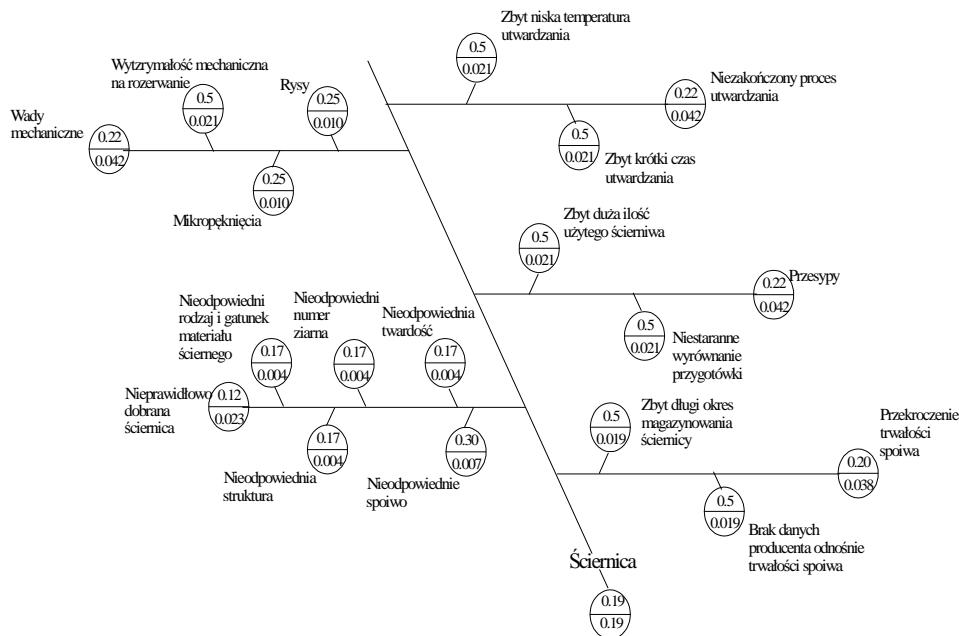
Rys. 4. Ważony diagram Ishikawy dla przyczyn z grupy obrabiarka

Wymieniając je w zależności od stopnia ich ważności można wyróżnić: niewłaściwy stan techniczny obrabiarki (0.059), nieprawidłowo dobraną obrabiarkę (0.046) oraz niewłaściwą obsługę obrabiarki (0.035). W obrębie każdej podprzyczyny z grupy obrabiarka można wyodrębnić po dwie podprzyczyny drugiego rzędu. Na podprzyczynę określaną jako niewłaściwy stan techniczny obrabiarki mają wpływ takie podprzyczyny drugiego rzędu jak: zbyt duże luzy w zespołach i podzespołach obrabiarki i inne uszkodzenia prowadzące do częściowej niesprawności lub poważnej awarii obrabiarki. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie i ich waga bezwzględna wynosi 0.029.

Prędkość szlifowania większa od dopuszczalnej prędkości obwodowej ściernicy i niedostateczna moc obrabiarki stanowią podprzyczyny II rzędu dla nieprawidłowo dobranej obrabiarki. Waga bezwzględna dla tych podprzyczyn drugiego rzędu wynosi 0.023.

Natomiast na niewłaściwą obsługę obrabiarki wpływ mają takie podprzyczyny II rzędu jak: nieprzestrzeganie instrukcji obsługi obrabiarki i brak prostopadłości przecinania, dla których waga bezwzględna wynosi 0.017.

W obszarze przyczyn określanych jako ściernica (Rys. 5) występuje pięć podprzyczyn. Dla podprzyczyn z grupy ściernica największą rangę i zarazem wagę bezwzględną (0.042) mają podprzyczyny: wady mechaniczne, niezakończony proces utwardzania i przesypy. Następnie w kolejności rangi można wyróżnić przekroczenie trwałości spoiwa (0.038) oraz nieprawidłowo dobraną ściernicę (0.023). W obrębie każdej podprzyczyny z grupy ściernica można wyodrębnić po kilka podprzyczyn drugiego rzędu.



Rys. 5. Ważony diagram Ishikawy dla przyczyn z grupy ściernica

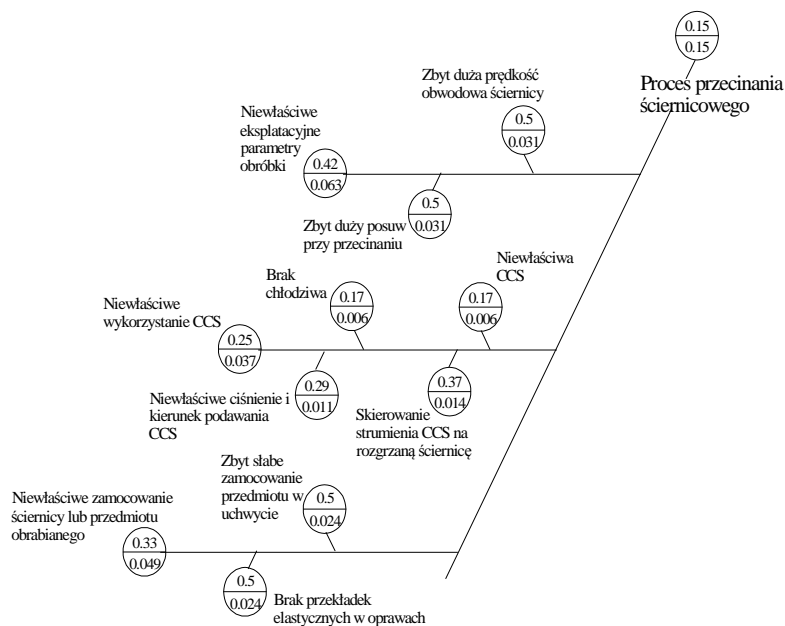
Na wady mechaniczne ściernicy wpływ mają takie podprzyczyny drugiego rzędu jak: wytrzymałość mechaniczna na rozerwanie, rysy, mikropęknięcia. Ich wagi bezwzględne wynoszą kolejno: 0.021, 0.010, 0.010.

Nieprawidłowo dobrana ściernica wynika z: nieodpowiedniego rodzaju i gatunku materiału ściernego, nieodpowiedniego numeru ziarna, nieodpowiedniej twardości, nieodpowiedniej struktury i nieodpowiedniego spoiwa. Wartości bezwzględne dla tych podprzyczyn drugiego rzędu wynoszą kolejno: 0.004, 0.004, 0.004, 0.004, 0.007.

Niezakończony proces utwardzania wynika ze zbyt niskiej temperatury i zbyt krótkiego czasu utwardzania. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie, ich waga bezwzględna wynosi 0.021.

Przesypy wynikają ze zbyt dużej ilości użytego ścierniwa i niestarannie wyrównanej przygotówki. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie, ich waga bezwzględna wynosi 0.021. Przekroczenie trwałości spoiwa wynika ze zbyt długiego okresu magazynowania ściernicy i braku danych producenta odnośnie trwałości spoiwa. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie, ich waga bezwzględna wynosi 0.019.

W obszarze przyczyn określanych jako proces przecinania ściernicowego (Rys. 6) występują trzy podprzyczyny: niewłaściwe eksploatacyjne parametry obróbki (0.063), niewłaściwe zamocowanie ściernicy lub przedmiotu obrabianego (0.049) i niewłaściwe wykorzystanie cieczy chłodząco-smarującej (0.037). Wartości bezwzględne dla tych podprzyczyn podane są w nawiasach i jak można zauważyć najwyższą rangę ma podprzyczyna określana jako niewłaściwe, eksploatacyjne parametry obróbki.



Rys. 6. Ważony diagram Ishikawy dla przyczyn z grupy proces przecinania ściernicowego

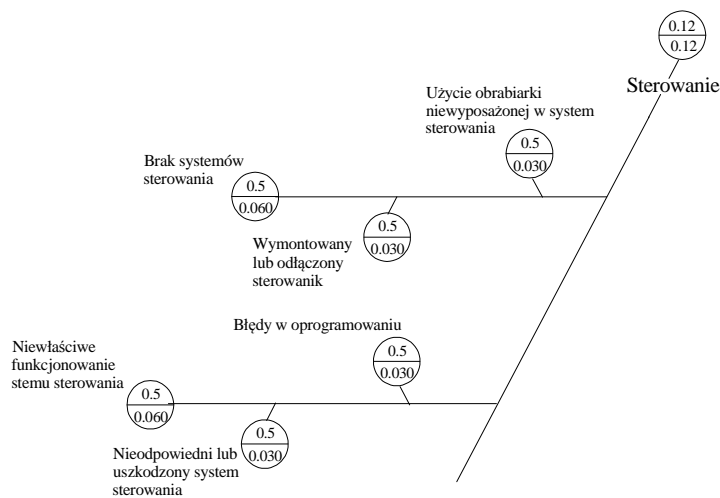
Na niewłaściwy dobór eksploatacyjnych parametrów obróbki wpływ ma zbyt duża prędkość obwodowa ściernicy i zbyt duży posuw przy przecinaniu. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie, ich waga bezwzględna wynosi 0.031.

Podprzyczyny drugiego rzędu z grupy niewłaściwe wykorzystanie cieczy chłodząco-smarującej to: brak chłodziwa, niewłaściwa ciecz chłodząco-smarująca, niewłaściwe ciśnienie i kierunek podawania cieczy chłodząco-smarującej, skierowanie strumienia cieczy chłodząco-smarującej na rozgrzaną ściernicę. Wartości bezwzględne dla tych podprzyczyn drugiego rzędu wynoszą kolejno: 0.006, 0.006, 0.011, 0.014.

Na niewłaściwe zamocowanie ściernicy lub przedmiotu obrabianego może wpływać zbyt słabe zamocowanie przedmiotu w uchwycie, brak przekładek elastycznych w niektórych oprawkach. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie, ich wartość bezwzględna wynosi 0.024.

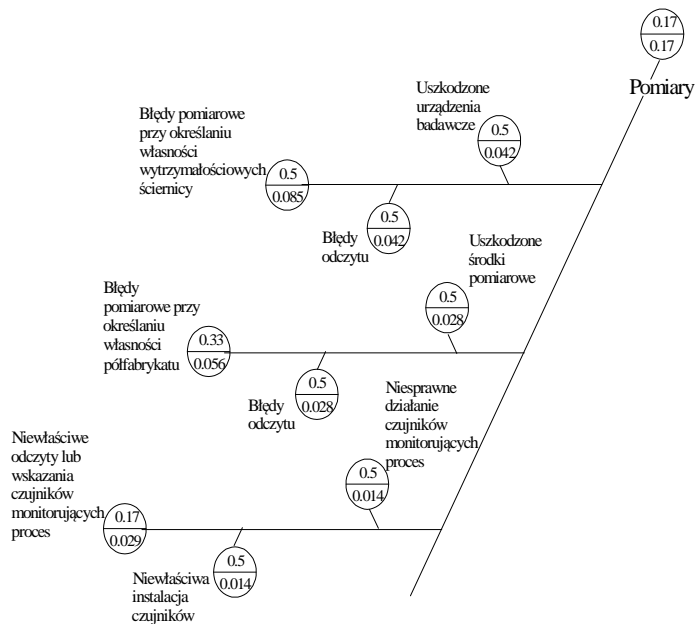
W obszarze przyczyn określanych jako sterowanie (Rys. 7) występują dwie podprzyczyny: brak systemów sterowania i niewłaściwe funkcjonowanie sytemu sterowania. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie ich waga bezwzględna wynosi 0.060. Brak systemów sterowania może wynikać z użycie obrabiarki niewyposażonej w system sterowania, wymontowany lub odłączony sterownik. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie ich wartość bezwzględna wynosi 0.030.

Na niewłaściwe funkcjonowanie sytemu sterowania wpływają błędy w oprogramowaniu, nieodpowiednie lub uszkodzone systemy sterowania. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie ich wartość bezwzględna wynosi 0.030.



Rys. 7. Ważony diagram Ishikawy dla przyczyn z grupy sterowanie

W obszarze przyczyn określanych jako pomiary (Rys. 8) występują trzy podprzyczyny.



Rys. 8. Ważony diagram Ishikawy dla przyczyn z grupy pomiary

Analizując wagi bezwzględne tych podprzyczyn widać, że najwyższą rangę ma podprzyczyna błędy pomiarowe przy określaniu własności wytrzymałościowych ściernicy (0.085). Następnie można wyróżnić błędy pomiarowe przy określaniu własności półfabrykatu (0.056) i niewłaściwe odczyty lub wskazania czujników monitorujących proces (0.029).

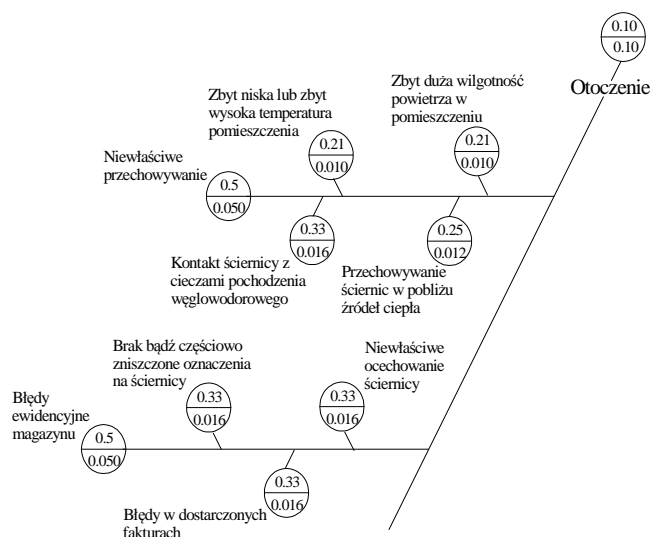
Na błędy pomiarowe przy określaniu własności wytrzymałościowych ściernicy mogą

wpływać uszkodzone urządzenia badawcze, błędy odczytu. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie, ich wartość bezwzględna wynosi 0.042.

Natomiast na błędy pomiarowe przy określaniu własności półfabrykatu wpływ mają uszkodzone środki pomiarowe lub błędy odczytu. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie ich wartość bezwzględna wynosi 0.028.

Niewłaściwe odczyty lub wskazania czujników monitorujących proces wynikają z niesprawności czujników monitorujących proces, niewłaściwej instalacji czujników monitorujących proces. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie, ich wartość bezwzględna wynosi 0.014.

W obszarze przyczyn określanych jako otoczenie (Rys. 9) występują dwie podprzyczyny: niewłaściwe przechowywanie i błędy ewidencyjne magazynu. Podprzyczyny te są równoważne względem siebie, ich waga bezwzględna wynosi 0.050.



Rys. 9. Ważony diagram Ishikawy dla przyczyn z grupy otoczenie

Niewłaściwe przechowywanie ściernic może wynikać ze zbyt niskiej lub zbyt wysokiej temperatury pomieszczeń, zbyt dużej wilgotności powietrza w pomieszczeniu, kontaktu ściernicy z cieciami pochodzenia węglowodorowego, przechowywania ściernic w pobliżu źródeł ciepła. Wartości bezwzględne dla tych podprzyczyn drugiego rzędu wynoszą kolejno: 0.010, 0.010, 0.016, 0.012.

Na błędy ewidencyjne magazynu wpływ mają takie podprzyczyny drugiego rzędu jak - brak bądź częściowo zniszczone oznaczenia na ściernicy, niewłaściwe odczekanie ściernicy, błędy w dostarczonych fakturach. Wartości bezwzględne dla tych podprzyczyn drugiego rzędu wynoszą kolejno: 0.016, 0.016, 0.016.

W analizowanym przypadku, z podprzyczyn pierwszego rzędu, najwyższą wagę bezwzględną (0.085) ma podprzyczyna błędy pomiarowe przy określaniu własności wytrzymałościowych ściernicy z grupy pomiar. Natomiast drugą, co do wielkości wagę bezwzględną (0.065) mają dwie podprzyczyny, nieodpowiednie kwalifikacje oraz błędy w wykonywaniu zadania z grupy operator.

Analiza podprzyczyn drugiego rzędu wykazała, że najwyższą wagę bezwzględną (0.042) mają dwie podprzyczyny urządzenia badawcze i błędy odczytu z grupy błędy pomiarowe przy określaniu własności wytrzymałościowych ściernicy.

4. Wnioski

Przedstawiona analiza pozwoliła na precyzyjną ocenę rangi przyczyn rozerwania się ściernicy w procesie przecinania ściernicowej części typu wałek. Wyznaczenie przyczyn rozrywania się ściernic i porównywanie ich parami umożliwia szersze i dokładniejsze poznanie występujących w tym procesie zagrożeń dla producentów i użytkowników ściernic do przecinania oraz ich systematyzację i hierarchizację.

Do głównych przyczyn powodujących rozerwanie się ściernicy należy zaliczyć: błędy pomiarowe przy określaniu własności wytrzymałościowych ściernicy, nieodpowiednie kwalifikacje operatora i błędy w wykonywaniu zadania.

Poznanie rangi tych przyczyn i przeciwdziałanie ich skutkowi (np. w ramach dalszego zastosowania analizy FMEA) pozwala na bezpieczną pracę tymi narzędziami z korzyścią dla przebiegu procesu przecinania ściernicowego oraz jakości obrabianych przedmiotów.

Przeprowadzona analiza przyjętego problemu przy zastosowaniu ważonego diagramu Ishikawy w pełni potwierdziła przydatność koncepcji badawczej opracowanej przez A. Gwiazdę [3].

Literatura

1. Feld M.: Projektowanie procesów technologicznych typowych części maszyn. WNT, Warszawa, 1976.
2. Feld M., Biegalski H.: Możliwości rozwoju wielkośrednicowych ściernic segmentowych do przecinania. XVII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Kraków 1994, str. 45-56.
3. Gwiazda A.: Ważony wykres Ishikawy. Komputerowo zintegrowane zarządzanie. WNT, Warszawa, 2004, str. 443-450.

Dr hab. inż. Czesław NIŻANKOWSKI, prof. PK

Mgr inż. Agnieszka MISIURA

Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji

Politechnika Krakowska

31-864 Kraków, al. Jana Pawła II 37