

## SPIS TREŚCI

Przedmowa IX

Wykaz ważniejszych oznaczeń XIII

Wprowadzenie 1

1. Metody optymalizacji parametrycznej operacji wytwórczych 3

2. Model matematyczny obiektu badań 13

3. Plan doświadczenia 17

3.1. Struktura planu doświadczenia 19

3.2. Kryteria wyboru planu doświadczenia 20

3.3. Sposoby realizacji powtórzeń 22

4. Analiza wyników pomiarów 23

4.1. Miara położenia i rozproszenia 23

4.2. Eliminacja błędów grubych 26

4.2.1. Test Grubbsa 26

4.2.2. Test Dixona 29

4.2.3. Test 3s 31

5. Optymalizacja parametryczna operacji wytwórczych 32

5.1. Warunki i parametry obróbki 32

5.2. Kryteria optymalizacji 35

5.3. Ograniczenia obszaru rozwiązań 41

6. Wyznaczenie optymalizowanych czynników operacji wytwórczych 44

6.1. Plan statyczny randomizowany kompletnie PS/RK 45

6.2. Plan statyczny randomizowany kwadrat łaciński PS/RQ-L 49

6.3. Plan statyczny randomizowany kwadrat grecko-łaciński PS/RQ-GL 54

|                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7. Optymalizacja parametryczna bez wyznaczania funkcji obiektu badań                                                                                                        | 59  |
| 7.1. Plan dynamiczny optymalizacji sekwencyjnej pojedynczy PD/OSp                                                                                                           | 59  |
| 7.2. Plan dynamiczny optymalizacyjny gradientowy PD/OG                                                                                                                      | 62  |
| 8. Optymalizacja parametryczna z wyznaczaniem funkcji obiektu badań                                                                                                         | 66  |
| 9. Statystyczna weryfikacja funkcji obiektu badań                                                                                                                           | 69  |
| 9.1. Weryfikacja istotności całego równania regresji – test F Snedecora                                                                                                     | 69  |
| 9.2. Weryfikacja adekwatności funkcji obiektu badań                                                                                                                         | 71  |
| 9.2.1. Błędy aproksymacji                                                                                                                                                   | 71  |
| 9.2.2. Statystyczna weryfikacja adekwatności funkcji – test F Snedecora                                                                                                     | 73  |
| 9.3. Weryfikacja istotności współczynników funkcji obiektu badań – test t-Studenta                                                                                          | 76  |
| 10. Wyznaczenie ekstremum funkcji obiektu badań                                                                                                                             | 78  |
| 11. Optymalizacja wielokryterialna                                                                                                                                          | 81  |
| 11.1. Tradycyjne metody optymalizacji wielokryterialnej                                                                                                                     | 83  |
| 11.2. Metody optymalizacji wielokryterialnej oparte na obliczeniach ewolucyjnych                                                                                            | 85  |
| 11.3. Wyznaczanie zbioru rozwiązań w sensie Pareto                                                                                                                          | 94  |
| 11.4. Wybór rozwiązania najlepszego ze zbioru rozwiązań optymalnych w sensie Pareto                                                                                         | 97  |
| 12. Charakterystyka programów komputerowych                                                                                                                                 | 99  |
| 13. Przykłady weryfikacji istotności wpływu wielkości wejściowych na wielkość wyjściową                                                                                     | 104 |
| 13.1. Ocena istotności wpływu cieczy chłodząco-smarującej na chropowatość powierzchni z zastosowaniem planu statycznego randomizowanego kompletnie PS/RK                    | 104 |
| 13.2. Ocena istotności wpływu 3 czynników na chropowatość powierzchni z zastosowaniem kwadratu łacińskiego PS/RQ-L: $3 \times 3$                                            | 109 |
| 13.3. Ocena istotności wpływu 4 czynników na mezotwardość w warstwie wierzchniej z zastosowaniem kwadratu grecko-łacińskiego PS/RQ-GL: $4 \times 4$                         | 116 |
| 13.4. Ocena istotności wpływu 4 czynników na chropowatość powierzchni z zastosowaniem kwadratu grecko-łacińskiego PS/RQ-GL: $5 \times 5$                                    | 123 |
| 14. Przykłady optymalizacji parametrycznej bez wyznaczania funkcji obiektu badań                                                                                            | 129 |
| 14.1. Dobór optymalnych parametrów nagniatania okładziny wrzeciona ze stopu AlCu4Mg1 z zastosowaniem planu dynamicznego optymalizacyjnego sekwencyjnego pojedynczego PD/OSp | 129 |
| 14.2. Dobór optymalnych parametrów nagniatania otworu w stali S235JR z zastosowaniem dynamicznego planu gradientowego PD/OG (metodą największego spadku)                    | 136 |

|                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 15. Przykłady optymalizacji parametrycznej z wyznaczaniem funkcji obiektu badań                                                                                                                                                                               | 143 |
| 15.1. Wpływ metody regresji na postać modelu matematycznego operacji elektromechanicznego nagniatania tocznego                                                                                                                                                | 143 |
| 15.2. Optymalizacja operacji nagniatania otworu w korpusach cylindrów hamulcowych samochodu                                                                                                                                                                   | 155 |
| 15.2.1. Dobór optymalnych parametrów nagniatania otworu w żeliwnych korpusach ze względu na chropowatość powierzchni określoną średnią arytmetyczną rzędnych profilu Ra                                                                                       | 157 |
| 15.2.2. Dobór optymalnych parametrów nagniatania ze względu na zmianę (zwiększenie) średnicy $\Delta D$ otworu w żeliwnych korpusach cylindrów hamulcowych                                                                                                    | 169 |
| 15.3. Optymalizacja operacji nagniatania piasty koła pasowego napędu alternatora silnika samochodu                                                                                                                                                            | 172 |
| 15.3.1. Dobór optymalnych parametrów nagniatania średnicy zewnętrznej piasty koła pasowego z żeliwa ze względu na chropowatość powierzchni określoną średnią arytmetyczną rzędnych profilu Ra                                                                 | 174 |
| 15.3.2. Dobór optymalnych parametrów nagniatania średnicy zewnętrznej piasty koła pasowego z żeliwa ze względu na chropowatość powierzchni określoną głębokością najniższego wgłębienia profilu Rv                                                            | 179 |
| 15.3.3. Dobór optymalnych parametrów nagniatania średnicy zewnętrznej piasty koła pasowego z żeliwa ze względu na chropowatość powierzchni określoną średnim odstępem miejscowych wzniesień profilu RS oraz średnim kwadratowym wzniosem profilu R $\Delta q$ | 182 |
| 15.4. Optymalizacja operacji nagniatania kół zębatych walcowych ze względu na chropowatość powierzchni i dokładność uzębienia                                                                                                                                 | 184 |
| 15.4.1. Dobór optymalnych parametrów nagniatania uzębienia kół zębatych walcowych o zębach śrubowych ze względu na chropowatość powierzchni określoną średnią arytmetyczną rzędnych profilu Ra                                                                | 187 |
| 15.4.2. Dobór optymalnych parametrów nagniatania uzębienia kół zębatych walcowych o zębach śrubowych ze względu na całkowitą odchyłkę zarysu zęba $F\alpha$                                                                                                   | 191 |
| 15.4.3. Dobór optymalnych parametrów nagniatania uzębienia kół zębatych walcowych o zębach śrubowych ze względu na całkowitą odchyłkę linii zęba $F\beta$                                                                                                     | 195 |
| 15.5. Dwuetapowa optymalizacja operacji kulkowania oscylacyjnego ze względu na stopień pokrycia mikrorowkami i czas nagniatania                                                                                                                               | 197 |
| 15.5.1. Optymalizacja parametrów nagniatania oscylacyjnego ze względu na powierzchnię pokrycia mikrorowkami Sr                                                                                                                                                | 198 |
| 15.5.2. Dobór parametrów nagniatania oscylacyjnego dla Sr opt ze względu na czas wygniatania mikrorowków twm                                                                                                                                                  | 204 |

|                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 15.6. Optymalizacja operacji toczenia wykończeniowego miedzi na chropowatość powierzchni określoną parametrami Ra i RzISO     | 208 |
| 16. Przykłady wielokryterialnej optymalizacji parametrycznej                                                                  | 218 |
| 16.1. Optymalizacja operacji nagniatania stopu AlCu4Mg1 ze względu na 2 funkcje celu                                          | 218 |
| 16.2. Optymalizacja parametrów nagniatania średnicy zewnętrznej piasty koła pasowego silnika ze względu na 2 i 3 funkcje celu | 228 |
| 16.3. Optymalizacja parametrów toczenia wykończeniowego stali 20CrMnTi w stanie zahartowanym ze względu na 2 i 3 funkcje celu | 244 |
| Podsumowanie                                                                                                                  | 257 |
| Literatura                                                                                                                    | 259 |
| Skorowidz                                                                                                                     | 275 |