

SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych oznaczeń	13
Wprowadzenie	17
1. Zagadnienia badawcze i ich realizacja	19
1.1. Problematyka badań własnych	19
1.2. Stan zaawansowania tematyki badawczej	22
1.2.1. Podstawy procesów obróbkowych	22
1.2.2. Badania metod obróbkowych	27
1.2.3. Rozwój technologii hydrostrumieniowych	32
1.2.4. Doskonalenie niekonwencjonalnych zastosowań	37
1.2.5. Działalność utylitarna	43
1.3. Używane ważniejsze urządzenia i aparatura	44
1.3.1. Hydrostrumieniowe obrabiarki i urządzenia kształtujące	44
1.3.2. Hydromonitory i pompy wysokociśnieniowe	45
1.3.3. Urządzenia technologiczne i osprzęt wysokociśnieniowy	46
1.3.4. Aparatura badawcza i urządzenia pomiarowo-rejestrujące	48
2. Teoretyczne podstawy obróbki wielofazową strugą wodną	51
2.1. Kinematyczne podstawy obróbki wysokociśnieniową strugą wodną	51
2.1.1. Teoretyczny model obróbki powierzchni	51

2.1.2. Oddziaływanie warunków obróbki na wydajność liniową procesu	53
2.2. Zależności kinematyczne wirującej strugi wodnej	55
2.2.1. Trajektorie poobróbkowych śladów wirującej strugi wodnej	55
2.2.2. Wpływ warunków obróbki na prędkość obrotową głowic	58
2.3. Zastosowanie obrotowych głowic roboczych	59
2.3.1. Charakterystyka głowic obrotowych	59
2.3.2. Model obróbki wirującą strugą wodną	60
2.3.3. Efektywność obróbki wirującą strugą wodną	62
2.4. Wpływ parametrów kinematycznych głowicy na efektywność obróbki wirującą strugą wodną	63
2.4.1. Oddziaływanie szerokości śladu strugi	63
2.4.2. Oddziaływanie prędkości obrotowej głowicy	65
2.4.3. Oddziaływanie prędkości posuwowej	65
2.5. Prędkość cząstek materiałów ziarnistych	66
2.5.1. Podstawy teoretyczne	66
2.5.2. Prędkość ziaren ściernych	68
2.5.3. Prędkość cząstek lodu	70
2.6. Energia kinetyczna cząstek ziarnistych w strefie erozji	71
2.6.1. Energia kinetyczna ziaren ściernych	71
2.6.2. Energia kinetyczna cząstek lodu	72
2.7. Termodynamika wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej	73
2.7.1. Termodynamiczna analiza wysokociśnieniowej strugi wodno-lodowej	73
2.7.2. Wyniki analizy termodynamicznej	76

3. Właściwości wielofazowej strugi wodnej do obróbki powierzchni	81
3.1. Dynamika naporu wielofazowej strugi wodnej	81
3.1.1. Siły naporu strugi wodnej	81
3.1.2. Siły naporu strugi wodno-ściernej	83
3.1.3. Siły naporu strugi wodno-lodowej	85
3.1.4. Siły naporu strugi hybrydowej	86
3.2. Rozkład jednostkowych nacisków wielofazowej strugi wodnej	88
3.2.1. Rozkład jednostkowych nacisków strugi wodnej	89
3.2.2. Rozkład jednostkowych nacisków strugi wodno-ściernej	92
3.2.3. Rozkład jednostkowych nacisków strugi wodno-lodowej	93
3.2.4. Rozkład jednostkowych nacisków strugi hybrydowej	94
3.3. Zawartość składników wielofazowej strugi wodnej	95
3.3.1. Zagadnienia udziału powietrza w wielofazowej strudze wodnej	95
3.3.2. Zawartość powietrza w strudze wodnej	97
3.3.3. Zawartość składników strugi wodno-ściernej	98
3.3.4. Zawartość składników strugi wodno-lodowej	101
3.3.5. Zawartość składników strugi hybrydowej	103
3.4. Rozkład gęstości względnej wielofazowej strugi wodnej	104
3.4.1. Rozkład gęstości względnej strugi wodnej	104
3.4.2. Rozkład gęstości względnej strugi wodno-ściernej	108
3.4.3. Rozkład gęstości względnej strugi wodno-lodowej	109
3.4.4. Rozkład gęstości względnej strugi hybrydowej	110
3.5. Struktura rozmieszczenia cząstek ziarnistych w wielofazowej strudze wodnej	112

3.5.1. Metodyka określania rozkładu cząstek ziarnistych w wielofazowej strudze wodnej	113
3.5.2. Rozkład ziaren ściernych w poprzecznym przekroju strugi wodno-ściernej	116
3.5.3. Rozkład cząstek lodu w poprzecznym przekroju strugi wodno-lodowej	119
3.5.4. Rozkład cząstek ściernych i lodowych w poprzecznym przekroju strugi hybrydowej	123
4. Badania procesów obróbki	125
4.1. Monitoring obróbki hydrostrumieniowej ultrazszybką kamerą cyfrową	125
4.1.1. Warunki stosowania ultrazszybkiej kamery cyfrowej	125
4.1.2. Proces cięcia wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną	127
4.1.3. Specyficzne zjawiska w mikroobróbce strugą wodno-ścierną	128
4.1.4. Wyplukiwanie materiałów wybuchowych z pocisków artyleryjskich	129
4.1.5. Specyfika udaru pojedynczą kroplą strugi wodnej	131
4.2. Mechanizm kształtowania powierzchni strugą wodno-ścierną	133
4.2.1. Zagadnienia kształtowania powierzchni	133
4.2.2. Charakterystyka uszkodzeń powierzchni materiału	136
4.2.3. Podstawy erodowania materiału	138
4.2.4. Powstawanie złuszczeń materiału	139
4.2.5. Mechanizm kształtowania wiórów	140
4.3. Kształt wiórów powstających podczas cięcia stopów tytanu wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną	142
4.3.1. Warunki realizacji badań	142
4.3.2. Badania strefy erozji	144

4.3.3. Analiza kształtu wiórów	146
4.3.4. Kształt wiórów powstających w procesie frezowania ze wspomaganie strugą cieczy	149
4.4. Analiza rozkruszania ziaren ściernych w procesie cięcia i możliwości ich ponownego wykorzystania	151
4.4.1. Zagadnienia rozkruszania i odzyskiwania ścierniwa	151
4.4.2. Rozkruszanie ziaren w fazie formowania strugi	152
4.4.3. Rozkruszanie ziaren ściernych w procesie przecinania	153
4.4.4. Możliwości odzyskiwania ziaren ściernych z używanego ścierniwa	156
4.5. Stan termiczny wysokociśnieniowej strugi wodnej	159
4.5.1. Pomiary termograficzne w technologiach hydrostrumieniowych	159
4.5.2. Stan termodynamiczny strugi	162
4.5.3. Rozkład temperatur w obróbce powierzchni	163
4.5.4. Stan termiczny strefy cięcia	165
4.6. Natężenie hałasu w obróbce hydrostrumieniowej	167
4.6.1. Natężenie hałasu w technologiach hydrostrumieniowych	167
4.6.2. Oddziaływanie ciśnienia i wydatku wody	169
4.6.3. Wpływ kąta natrysku i komponentów strugi	170
4.6.4. Oddziaływanie rodzaju i ilości ścierniwa w strudze	172
4.6.5. Wpływ głębokości zanurzenia w cięciu podwodnym	173
5. Jakość cięcia strugą wodno-ścierną	175
5.1. Zagadnienia jakości precyzyjnego przecinania krzywoliniowego	175
5.1.1. Oddziaływanie strugi wodno-ścierniej na materiał	175

5.1.2. Wpływ głównych parametrów obróbki na jakość powierzchni przecięcia	178
5.1.3. Oddziaływanie krzywizny wycinanego kształtu na jakość krawędzi przecięcia	182
5.1.4. Model oprogramowania uwzględniający ściśle oczekiwaną jakość cięcia	186
5.2. Precyzyjne przecinanie biomateriałów stosowanych na endoprotezy	190
5.2.1. Zagadnienia eksploatacyjne sztucznych stawów biodrowych	190
5.2.2. Precyzyjne przecinanie elementów endoprotez	191
5.2.3. Zagadnienia kształtowego zużycia elementów sztucznych stawów biodrowych	192
5.2.4. Intensywność powierzchniowego zużycia elementów sztucznych stawów biodrowych	194
5.3. Kształtowanie materiałów kompozytowych o rozwiniętej strukturze przestrzennej	195
5.3.1. Charakterystyka przestrzennych struktur materiałowych typu plaster miodu	195
5.3.2. Cięcie kształtujące struktur typu plaster miodu	199
5.3.3. Przecinanie spienionego aluminium	200
5.3.4. Jakość obrobionych powierzchni	202
5.3.5. Ocena przydatności obróbki strugą wodno-ścierną	205
5.4. Kształtowanie spiekanych węglików wolframu	209
5.4.1. Warunki kształtowania węglików spiekanych strugą wodno-ścierną	209
5.4.2. Zagadnienia przecinania płytek z węglików spiekanych	210
5.4.3. Sposób kształtowania rowków wiórowych	213
5.4.4. Dokładność kształtowania rowków wiórowych	214
5.5. Specyfika powierzchni przecięcia materiałów ceramicznych	218

5.5.1. Problematyka obróbki materiałów ceramicznych wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną	218
5.5.2. Kształtowanie narzędzi ściernych	221
5.5.3. Obróbka materiałów ceramicznych	224
5.6. Przecinanie zawieszinową strugą wodno-ścierną	228
5.6.1. Specyfika i warunki przecinania zawieszinową strugą wodno-ścierną	228
5.6.2. Kryterium minimalizacji kosztów zużycia ścierniwa	230
5.6.3. Kryterium minimalizacji sumarycznych kosztów obróbki	232
5.6.4. Ocena przydatności technologii cięcia systemem BorJet	235
6. Zastosowania strugi wodnej	237
6.1. Podstawy czyszczenia rurociągów	237
6.1.1. Problematyka eksploatacji i czyszczenia rurociągów	237
6.1.2. Teoretyczne podstawy procesu usuwania skamieniałych osadów	239
6.1.3. Eksperymentalne podstawy hydrodynamicznego czyszczenia rurociągów	244
6.1.4. Zarys technologii hydrostrumieniowego czyszczenia rurociągów	249
6.2. Podstawy renowacji studni głębinowych	251
6.2.1. Zagadnienia renowacji studni głębinowych	251
6.2.2. Warunki hydrostrumieniowego czyszczenia studni	253
6.2.3. Kinematyczne warunki skutecznego czyszczenia filtrów	255
6.2.4. Zarys technologii renowacji studni głębinowych	258
6.3. Podstawy wyplukiwania materiałów wybuchowych z pocisków artyleryjskich	260

6.3.1. Problematyka usuwania materiałów wybuchowych z pocisków artyleryjskich	260
6.3.2. Warunki techniczne i zakres badań	262
6.3.3. Uwarunkowania bezpieczeństwa przy wyplukiwaniu materiału wybuchowego	264
6.3.4. Efektywność procesu wyplukiwania materiałów wybuchowych	267
6.3.5. Rozkłady granulometryczne wyplukanych cząstek MW	270
6.3.6. Morfologia wyplukanych cząstek	272
6.4. Podstawy hydrostrumieniowego kształtowania betonu	274
6.4.1. Istota i warunki hydrostrumieniowej dezintegracji niepełnosprawnego betonu	274
6.4.2. Wpływ wydatku i rodzaju ścierniwa na głębokość cięcia betonu	276
6.4.3. Oddziaływanie prędkości posuwowej na jakość powierzchni przecięcia	277
6.4.4. Model cięcia betonu wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną	279
6.4.5. Zastosowania technologii hydrostrumieniowych do renowacji konstrukcji betonowych	281
6.5. Zastosowanie wysokociśnieniowej strugi wodnej do utylizacji odpadów komunalnych	283
6.5.1. Problematyka utylizacji odpadów komunalnych	283
6.5.2. Warunki techniczne i metodyka badań	285
6.5.3. Optymalizacja parametrów strugi wodnej	288
6.5.4. Dezintegracja składników odpadów komunalnych	289
6.5.5. Zagęszczanie mieszaniny odpadów komunalnych	293
6.5.6. Proces hydro-utylizacji stałych odpadów komunalnych	294

7. Zarys perspektywicznych technologii hydrostrumieniowych	299
7.1. Quasi-przestrzenne kształtowanie obiektu wysokociśnieniową strugą wodno-ścierną na podstawie luminancji jego wirtualnego obrazu	299
7.1.1. Istota przestrzennego kształtowania materiału	299
7.1.2. Fotometryczne podstawy odtwarzania obrazu	302
7.1.3. Model przestrzennego kształtowania materiału	303
7.1.4. Budowa stanowiska badawczego i warunki przebiegu procesu rzeźbienia	306
7.1.5. Specjalistyczne oprogramowanie sterujące procesem rzeźbienia	308
7.1.6. Charakterystyki erodowania różnych materiałów strugą wodno-ścierną	312
7.1.7. Przykłady zastosowań praktycznych	315
7.1.8. Zagadnienia jakości kształtowanych powierzchni	319
7.2. Mikroprzecinanie zawiesinową strugą wodno-ścierną, krokiem w kierunku nanotechnologii	329
7.2.1. Istota i techniczne warunki stosowania mikroobróbki hydrostrumieniowej	329
7.2.2. Budowa systemu mikroobrabiarki	331
7.2.3. Przygotowanie zawiesinowego złoża ściernego i jego rozmywanie strugą	337
7.2.4. Oprogramowanie i realizacja procesu mikroprzecinania	339
7.2.5. Badania procesu mikroprzecinania	340
7.2.6. Badania mikroskopowe SEM powierzchni przecięcia	344
7.2.7. Badania profilografometryczne SGP przecięcia	346
7.3. Hydrostrumieniowa mikronizacja materiałów kruchych, w tym węgla przetwarzanego na paliwa nowej generacji	349

7.3.1. Zagadnienia wytwarzania materiałów proszkowych techniką hydrostrumieniową	349
7.3.2. Hydrostrumieniowa metoda i warunki rozdrabniania materiałów	350
7.3.3. Rozkład wielkości cząstek rozdrabnianych materiałów	351
7.3.4. Kształt i morfologia rozdrobnionych cząstek różnych materiałów	355
7.3.5. Skuteczność mikronizacji węgla	356
7.3.6. Morfologia zmikronizowanych cząstek węgla	359
7.3.7. Problematyka przetwarzania węgla na nowe rodzaje paliw	360
7.3.8. Wytwarzanie zawiesiny zmikronizowanego węgla kamiennego	361
7.3.9. Potencjalne możliwości biochemicznej konwersji węgla brunatnego	363
7.4. Przydatność wysokoenergetycznej strugi cieczy do cięcia tkanki kostnej	365
7.4.1. Perspektywa stosowania strugi cieczy w chirurgii ortopedycznej	365
7.4.2. Warunki i sprzęt badawczy	367
7.4.3. Badania cięcia tkanki kostnej	370
7.4.4. Ocena operacyjnej przydatności techniki hydrostrumieniowej	373
Literatura	375
Podstawy wysokociśnieniowych technologii hydrostrumieniowych (streszczenie)	405
Basis of high-pressure hydrojetting technologies	407