

3. Materiał do badań i metodyka

Podstawę do opracowania modeli umożliwiających obliczanie własności stali szybkoitnających wyłącznie na podstawie składu chemicznego i temperatury austenitizowania oraz temperatury odpuszczania, stanowią:

- wyniki badań przeprowadzonych na nowoopracowanych stalach szybkoitnających [62, 63, 114, 134, 216],
- dane zawarte w normie przedmiotowej [174],
- dane z katalogów producentów stali szybkoitnających [110],
- wyniki własnych badań uzupełniających wybranych gatunków stali szybkoitnających.

Zestawienie stężeń pierwiastków stopowych dla nowoopracowanych stali, zaczerpniętych z norm oraz z katalogów producentów stali podano odpowiednio w tabelach 1-3. Zakres temperatury austenitizowania, dla którego opracowano dane wynosi od 1120°C-1280°C, natomiast zakres temperatury odpuszczania wynosi 480°C-630°C. Dla opracowania modeli umożliwiających obliczenie twardości stali szybkoitnających wyłącznie na podstawie składu chemicznego i temperatury austenitizowania oraz temperatury odpuszczania zastosowano metodę statystyczną regresji wielokrotnej oraz sztuczne sieci neuronowe. Natomiast w przypadku modelu odporności na pękanie zastosowano sztuczne sieci neuronowe.

Badania uzupełniające, dla zweryfikowania opracowanych modeli przeprowadzono dla wybranych gatunków stali szybkoitnających o składach chemicznych zestawionych w tabeli 4. Parametry obróbki cieplnej ustalono indywidualnie dla każdego z gatunków i zestawiono w tabelach 5-7. Pręty ze stali szybkoitnających przed obróbką mechaniczną poddano wyżarzaniu zmiękcżającemu w atmosferze ochronnej argonu przez 1,5 h w temperaturze 10°C wyżej od $A_{cl\text{K}}$ i następnemu chłodzeniu z wytrzymaniem izotermicznym w temperaturze 740°C. Nagrzewanie do temperatury ($A_{cl\text{K}}+10^{\circ}\text{C}$) przeprowadzono z piecem, z przystankiem w 550°C, a chłodzenie prętów do 500°C z piecem, a następnie w powietrzu. Obróbkę cieplną próbek do badań przeprowadzono w baterii pieców solnych, podgrzewając je do temperatury austenitizowania dwustopniowo przez 10 min w temperaturze 550 i 850°C. Austenitizowanie próbek wykonano w kąpeli solnej przez 100-120 s. Próbkę hartowano stopniowo z wychłodzeniem prze 5 min w kąpeli solnej o temperaturze 550°C i następnie w powietrzu do temperatury ok. 80°C. Bezpośrednio po zahartowaniu próbki poddano dwukrotnemu odpuszczaniu przez 2 h.

Tabela 1

Skład chemiczny nowo opracowanych stali szybkotnących wykorzystanych do opracowania modeli twardości wtórnej [62, 63, 114, 134, 216]

Typ stali	Średnie stężenie masowe pierwiastka, %					
	C	Cr	W	Mo	V	Co
9-2-2+Si	0,94	4,5	9,0	1,72	1,8	0,0
9-2-2+Si+Ti	0,93	4,5	9,0	1,88	1,7	0,0
9-2-2+Si+Ti (1)	0,93	4,7	8,9	2,0	1,5	0,0
9-2-2+Si+Nb	0,94	4,5	9,0	1,85	1,67	0,0
9-2-2+Si+Nb (1)	0,92	4,5	9,1	1,87	1,3	0,0
9-2-2-5	0,94	4,4	8,8	2,4	1,6	5,2
11-0-2+Si	0,93	4,5	11,2	0,0	1,8	0,0
11-0-2+Si+Ti	0,98	4,6	10,8	0,0	1,6	0,0
11-0-2+Si+Ti (1)	0,93	4,4	10,6	0,0	1,4	0,0
11-0-2+Si+Nb	0,94	4,5	11,4	0,0	1,6	0,0
11-0-2+Si+Nb (1)	0,93	4,5	11,5	0,0	1,3	0,0
11-0-2-5	0,91	4,5	10,9	0,0	1,8	5,2
11-2-2+Si	1,1	4,4	11,3	1,88	1,8	0,0
11-2-2+Si+Ti	1,05	4,5	11,2	1,9	1,7	0,0
11-2-2+Si+Ti (1)	1,04	4,2	11,1	1,8	1,5	0,0
11-2-2+Si+Nb	1,0	4,4	11,2	1,95	1,7	0,0
11-2-2+Si+Nb (1)	1,02	4,5	11,3	1,82	1,4	0,0
11-2-2-5	1,03	4,5	11,3	1,94	1,8	4,9

Tabela 2

Skład chemiczny stali szybko tnących ujętych w normie przedmiotowej [174] wykorzystanych do opracowania modeli twardości wtórnej

Gatunek stali	Średnie stężenie masowe pierwiastka, %					
	C	Cr	W	Mo	V	Co
HS18-0-1	0,78	4,15	17,95	0,0	1,1	0,0
HS0-4-1	0,81	4,15	4,25	1,1	1	0,0
HS1-8-1	0,82	4,15	8,5	2,85	1,2	0,0
HS6-5-2	0,84	4,15	4,95	6,3	1,9	0,0
HS1-4-2	0,9	3,95	4,45	1,8	1,95	0,0
HS6-5-2C	0,9	4,15	4,95	6,3	1,9	0,0
HS6-5-2-5	0,91	4,15	4,95	6,3	1,9	4,75
HS3-3-2	0,99	4,15	2,7	6,3	2,35	0,0
HS2-9-2	1	4,15	8,7	1,7	1,95	0,0
HS6-6-2	1,05	4,15	6	6,3	2,45	0,0
HS2-9-1-8	1,1	4,15	9,5	1,55	1,1	8
HS6-5-3	1,2	4,15	4,95	6,3	2,95	0,0
HS10-4-3-10	1,275	4,15	3,55	9,5	3,25	10
HS6-5-3-8	1,28	4,15	5	6,3	2,95	8,4
HS6-5-3C	1,285	4,15	4,95	6,3	2,95	0,0
HS6-5-4	1,325	4,15	4,6	5,6	3,95	0,0

Tabela 3

Skład chemiczny stali szybkotnących ujętych w katalogach producenta Erasteel wykorzystanych w ramach projektu do opracowania modeli twardości wtórnej [110]

Typ stali	Średnie stężenie masowe pierwiastka, %					
	C	Cr	W	Mo	V	Co
1-5-1-8	0,72	4	5	1	1	8
18-0-1	0,75	4,1	18	0	1,1	0
2-9-1	0,83	3,8	8,5	1,8	1,2	0
0-4-1	0,84	4	4,2	0	1,1	0
1-5-2	0,89	4	4,5	1,2	1,9	0
6-5-2	0,9	4,2	5	6,4	1,8	0
2-5-1-2	0,91	3,7	5	1,8	1,2	2,5
6-5-2-5	0,93	4,2	5	6,4	1,8	4,8
3-3-2	0,99	4,1	2,7	2,8	2,4	0
2-9-2	1,02	3,8	8,6	1,8	1,9	0
5-6-2-8	1,05	4	6	5	1,6	7,8
6-6-2	1,05	4	6,3	6,3	2,5	0
2-9-1-8	1,08	3,8	9,4	1,5	1,2	8
4-8-3	1,2	4,2	8,5	3,5	3	0
6-5-3	1,2	4,1	5	6,3	3	0
10-4-3-10	1,27	4	3,6	9,5	3,2	10
12-1-4	1,28	4,2	0,8	12	3,8	0
6-5-4	1,3	4,2	4,5	5,6	4	0
9-4-3-11	1,41	4,2	3,6	8,8	3,4	11

Tabela 4

Skład chemiczny stali szybko tnących wykorzystanych w badaniach uzupełniających

Gatunek stali	Stężenie masowe pierwiastka, %					
	C	Cr	W	Mo	V	Co
HS 6-5-2	0,9	4,19	6,13	4,84	1,99	0,02
HS 18-0-1	0,85	4,08	17,57	0,56	1,3	0,07
HS 10-4-3-10	1,26	4,28	9,04	3,31	3,54	9,92

Tabela 5

Przyjęte temperatury austenitzowania i odpuszczania stali HS 6-5-2

Temperatura austenitzowania Ta, °C	Temperatura odpuszczania To, °C		
1150	500	550	580
1180	500	550	580
1225	500	550	580
Temperatura wyżarzania zmiękczającego 860°C			

Tabela 6

Przyjęte temperatury austenitzowania i odpuszczania stali HS 18-0-1

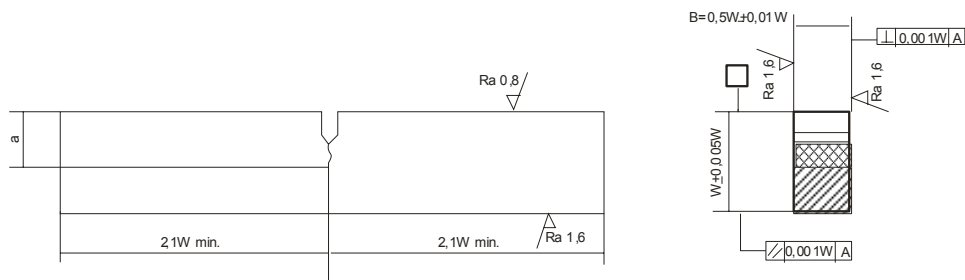
Temperatura austenitzowania Ta, °C	Temperatura odpuszczania To, °C		
1180	520	550	580
1220	520	550	580
1255	520	550	580
1280	520	550	580
Temperatura wyżarzania zmiękczającego 860°C			

Tabela 7
Przyjęte temperatury austenitzowania i odpuszczania stali HS 10-4-3-10

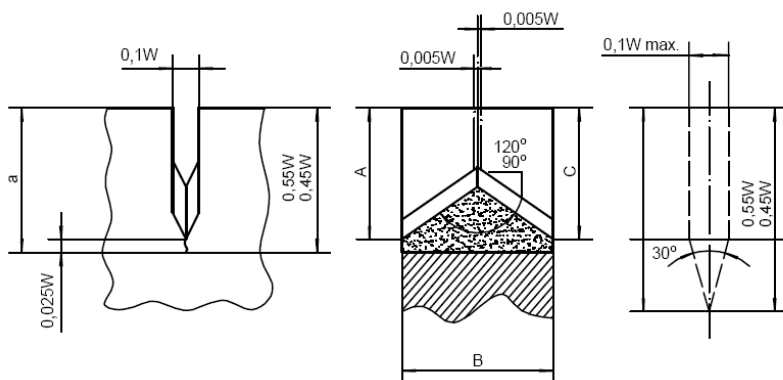
Temperatura austenitzowania T_a , °C	Temperatura odpuszczania T_o , °C		
1180	540	560	580
1200	540	560	580
1225	540	560	580
1240	540	560	580
Temperatura wyżarzania zmiękczającego 880°C			

Badania twardości metodą Rockwella w skali C przeprowadzono na automatycznym twardościomierzu ZHR firmy ZWICK. Każdorazowo wykonano po 15 do 25 pomiarów, a jako wynik przyjęto średnią arytmetyczną z pomiarów, po usunięciu ewentualnych wyników wątpliwych.

Odporność na pękanie w płaskim stanie odkształcenia, wyraża się wartością współczynnika K_{Ic} . Jest to miara odporności materiału na rozwój szczeliny w warunkach, w których w pobliżu jej wierzchołka przeważa płaski stan odkształcenia, przy czym odkształcenie plastyczne jest ograniczone. Odporność metali na pękanie w płaskim stanie odkształcenia K_{Ic} określono w wyniku obciążenia próbki z inicjującym pęknięciem zmęczeniowym wykonanym metodą obciążenia pulsacyjnego. Badanie wartości współczynnika intensywności naprężeń K_{Ic} przeprowadzono zgodnie z normą [173] na maszynie wytrzymałościowej MTS 810.22, firmy MTS SYSTEMS GmbH w próbie trójpunktowego zginania. Wymiary próbek do badań K_{Ic} przedstawiono na rysunku 8. Do badań ustalono szerokość $W=20$ mm, grubość $B=10$ mm, a długość szczeliny a zawiera się między 0,45 i 0,55 szerokości W . W przypadku badanych próbek zastosowano karb daszkowy kształt karbu (Chevron), gwarantujący liniowy kształt zainicjowanego karbu zmęczeniowego (rys. 9).



Rys. 8. Wymiary próbek do zginania [173]



Rys. 9. Karby inicjujące szczelinę zmęczeniową i maksymalne dopuszczalne wymiary karbów wraz ze szczeliną zmęczeniową [173]

Badania mikroskopowe udziału węglików oraz ich segregacji przeprowadzono metodami mikroskopii elektronowej skaningowej na urządzeniu SUPRA 25 ZEISS. Wyznaczenia udziału węglików i parametrów opisujących ich segregację, tj. średnią średnicę, kulistość oraz średnią odległość między węglkami dokonano w oparciu o analizę 15 pól pomiarowych. Obserwacje struktury stali przeprowadzono metodami mikroskopii świetlnej na urządzeniu LEICA MEF4A z systemem analizy obrazu.