

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ „КПІ”

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ



**НОВІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ**

МАТЕРІАЛИ

VIII Міжнародної науково-технічної конференції

Україна, Київ

2016

Ямшинський М.М., Самарай В.П., Алексеєнко Ю.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТАЛІ ЗА ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

E-mail: samaraj@ukr.net

Жаростійкі сталі, які використовують для виготовлення литих деталей, що працюють в агресивних середовищах при температурах до 1300 °С, повинні мати не тільки високі експлуатаційні характеристики (окалиностійкість, термостійкість і жаростійкість), але і задовільні технологічні властивості.

Відсутність у літературі чітких рекомендацій щодо оптимального хімічного складу, температурних режимів виплавлення та розливання хромоалюмінієвих сталей є значним гальмом на шляху до впровадження їх у виробництво, незважаючи на високі експлуатаційні характеристики цих сплавів.

У роботі зроблена спроба на підставі вивчення ливарних властивостей жаростійких сталей визначити їх оптимальний хімічний склад, який максимально відповідав би вимогам щодо механічних і експлуатаційних характеристик, а технологічні властивості сприяли б виготовленню високоякісних виливків особливо відповідального призначення.

Саме з метою проведення теоретичних розрахунків, обчислювальних експериментів, отримання, накопичення експериментальних даних власних досліджень, їх аналізу та синтезу на їх основі оптимальних складів сталей розроблено концепцію побудови, а також методичне, алгоритмічне й програмне забезпечення програмного комплексу як багатофункціональної інтегрованої системи (ІС) для **рішення зворотної задачі моделювання**, тобто для визначення (діагностики) хімічного складу сталі за її заданими властивостями методом оптимізації (табл. 1).

За основу взята оптимізаційна модель теорії моделювання і системного аналізу. Модель складається з двох частин – критерію оптимізації та системи обмежень.

Для реалізації моделі і програми визначення необхідного хімічного складу сталі методом оптимізації її властивостей попередньо було створено банк даних, для якого використано дані понад 50 плавок сплавів з високим вмістом хрому, алюмінію, титану тощо.

Нижче представлена таблична форма математичної моделі і системи діагностики. Як основа оптимізаційної моделі попередньо створено низку регресійних моделей залежності властивостей сталі від її хімічного складу для рішення прямої задачі моделювання – для прогнозування: рідкотекучість, лінійна усадка, площа тріщини, повна об'ємна усадка, об'єм порожот, об'єм раковин, тимчасовий опір розриванню, ударна в'язкість, твердість. Наявність дев'яти регресійних моделей дозволяє створити цілий комплекс (систему) з дев'яти оптимізаційних (діагностичних) моделей для визначення хімічного складу сталі і користуватися кожною з них, попередньо визначаючи, яка з регресійних моделей виконуватиме роль критерію оптимізації. При цьому всі інші регресійні моделі виконуватимуть роль системи обмежень оптимізаційної моделі. Наявність цілого комплексу (системи) з дев'яти оптимізаційних (діагностичних) моделей для визначення хімічного складу сталі надає наступні можливості і переваги:

а) визначення рейтингу відповідності ливарним властивостям, а відповідно і рейтингу відповідності хімічного складу сталі її основним властивостям;

б) можливість дослідження і визначення необхідного хімічного складу сталі з різних точок зору, тобто в залежності від зміни основної регресійної моделі в ролі критерію оптимізації, що надає можливість визначення хімічного складу для забезпечення в першу чергу вимог ливарної властивості, яка перебуває в моделі як критерій оптимізації;

в) можливість усереднювати результати обчислювальних експериментів за даними всіх дев'яти оптимізаційних моделей з різними ливарними властивостями в ролі критерію оптимізації;

- г) можливість реалізації стратегії обчислювальних експериментів у вигляді багато-варіантного аналізу;
 - д) можливість реалізації різних методів математичної оптимізації;
 - е) можливість реалізації оптимізаційних моделей у лінійній і нелінійній постановках;
 - ж) можливість реалізації у детермінованій або стохастичній постановці.
- Модель реалізована в електронних таблицях програмного пакету MS EXCEL (рис. 1, 2). Для реалізації оптимізаційної моделі задіяна стандартна функція «Пошук рішення». Математична оптимізаційна модель і система розрахунку показала повну працездатність.

Критерій оптимізації	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
ударна в'язкість	0,4733	-0,0032	-0,0105	0,0096	-0,0143	0,02519	-0,05392	1,78514	3,724	-0,00047	0,00025	0,17						
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10							
		13,00	0,01	0,81	0,00	0,22	0,29	0,025	0,021	1628,4	1553,6	0,17	MAX					
ОБМЕЖЕННЯ	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	Ліва частина	У	ОБМЕЖ	Права частина	Ліва частина	ОБМЕЖ	Права частина
Рідкотекучість, мм	-594,247	7,285	10,373	-149,27	-66,397	-83,65	-65,854	1789,74	6585,813	0,23293	0,28438	344	<=	670		344	>=	290
Лінійна усадка	-3,85	-0,0458	0,0365	-0,2562	-0,034	-0,14668	0,06714	-3,1013	0,9614	0,00447	7,9E-10	2,56	<=	2,95		2,55623	>=	1,66
площа тріщини	-8,55	-0,1014	0,1506	-0,8359	-0,1024	-0,5298	0,656582	-14,6269	-20,64597	0,00673	0,00154	2,08	<=	3,71		2,0758	>=	0,12
повна об'ємна усадка	48,03	0,257	0,29	4,7333	0,808	-1,023	0,9547	-81,5816	-107,5436	-0,01397	-0,0123	9,14	<=	15,2		9,1351	>=	7,14
об'єм пустот	-27,46	0,0855	0,1219	4,2429	0,6057	-0,38351	-0,26769	7,731979	-19,5304	0,0213	-0,0028	7,08	<=	9,05		7,08429	>=	4,85
об'єм раковин	-35,47	0,07785	0,1093	-2,55	-0,85	-0,77	0,069	-18,923	26,374	0,0228	-0,0003	0,07	<=	4,05		0,06551	>=	0,05
Тимчасовий опір розриванню	3548,47	-7,633	-26,009	23,542	37,519	48,478	-126,34	-119,442	6973,55	-2,345	0,46348	485,00	<=	485		485	>=	117
ударна в'язкість	0,4733	-0,0032	-0,0105	0,0096	-0,0143	0,02519	-0,05392	1,78514	3,724	-0,00047	0,00025	0,17	<=	0,17		0,17	>=	0,02
Твердість	-555,756	0,3246	3,977	70,48	28,56	-74,844	44,72	2104,44	800,677	0,0805	0,3544	253	<=	365		253	>=	176
		13	0,01	0,08	0	0,22	0,29	0,019	0,018	1600	1530							
		37	7,4	0,81	1,52	0,79	0,75	0,025	0,021	1640	1580							

Рис. 1. Приклад оптимізаційної моделі розрахунку хімічного складу сталі та температур розігріву та заливання в залежності від основної регресійної моделі «Ударна в'язкість» в ролі критерію оптимізації

Критерій оптимізації	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Рідкотекучість, мм	-594,247	7,285	10,373	-149,27	-66,397	-83,65	-65,854	1789,74	6585,813	0,23293	0,28438	670	MAX					
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10							
		37,00	6,54	0,33	0,00	0,22	0,29	0,025	0,021	1636,1	1580	670	MAX					
ОБМЕЖЕННЯ	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	Ліва частина	У	ОБМЕЖ	Права частина	Ліва частина	ОБМЕЖ	Права частина
Рідкотекучість, мм	-594,247	7,285	10,373	-149,27	-66,397	-83,65	-65,854	1789,74	6585,813	0,23293	0,28438	670	<=	670		670	>=	290
Лінійна усадка	-3,85	-0,0458	0,0365	-0,2562	-0,034	-0,14668	0,06714	-3,1013	0,9614	0,00447	7,9E-10	1,85	<=	2,95		1,85361	>=	1,66
площа тріщини	-8,55	-0,1014	0,1506	-0,8359	-0,1024	-0,5298	0,656582	-14,6269	-20,64597	0,00673	0,00154	1,11	<=	3,71		1,11221	>=	0,12
повна об'ємна усадка	48,03	0,257	0,29	4,7333	0,808	-1,023	0,9547	-81,5816	-107,5436	-0,01397	-0,0123	14,45	<=	15,2		14,4539	>=	7,14
об'єм пустот	-27,46	0,0855	0,1219	4,2429	0,6057	-0,38351	-0,26769	7,731979	-19,5304	0,0213	-0,0028	7,97	<=	9,05		7,97449	>=	4,85
об'єм раковин	-35,47	0,07785	0,1093	-2,55	-0,85	-0,77	0,069	-18,923	26,374	0,0228	-0,0003	4,05	<=	4,05		4,05	>=	0,05
Тимчасовий опір розриванню	3548,47	-7,633	-26,009	23,542	37,519	48,478	-126,34	-119,442	6973,55	-2,345	0,46348	117,00	<=	485		117	>=	117
ударна в'язкість	0,4733	-0,0032	-0,0105	0,0096	-0,0143	0,02519	-0,05392	1,78514	3,724	-0,00047	0,00025	0,02	<=	0,17		0,02453	>=	0,02
Твердість	-555,756	0,3246	3,977	70,48	28,56	-74,844	44,72	2104,44	800,677	0,0805	0,3544	262,99	<=	365		262,992	>=	176
		13	0,01	0,08	0	0,22	0,29	0,019	0,018	1600	1530							
		37	7,4	0,81	1,52	0,79	0,75	0,025	0,021	1640	1580							

Рис. 2. Приклад оптимізаційної моделі розрахунку хімічного складу сталі та температур розігріву та заливання і параметри критерію оптимізації і системи обмежень в залежності від основної регресійної моделі «Рідкотекучість» в ролі критерію оптимізації