7. Bol'shakov V. I. Iskusstvennyj intellekt i tri zakona robototehniki / V. I. Bol'shakov, Ju. I. Dubrov // Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie : Sb. nauch. trudov PGASA; pod obshh. red. V. I. Bol'shakova. – D., 2010. – Vyp. 54. – S. 88 – 100.

8. Bol'shakov V. I. Opredelenie psihicheskogo sostojanija cheloveka na osnove primenenija jekspertnyh sistem / V. I. Bol'shakov, Ju. I. Dubrov, A. N. Tkachenko, Ju. N. Zavalko, A. V. Shelamov. // Visnik Pridnipr. derzh. akad. budivnic. ta arhitekturi: Zb. nauk. pr. – D. : PDABA, 2009. – № 2. – S. 4 – 7.

9. Bol'shakov V. I. Jekspertnaja sistema «PSIHIATRIJa» i algoritm ee primenenija / V. I. Bol'shakov, Ju. I. Dubrov, A. N. Tkachenko, Ju. N. Zavalko, A. V. Shelamov // Visnik Pridnipr. derzh. akad. budivnic. ta arhitekturi: Zb. nauk. pr. – D. : PDABA, 2009. – № 7. – S. 4 – 8.

10. Raushenbah B. V. Nekotorye psihologicheskie aspekty kosmonavtiki i jestetiki / B. V. Raushenbah // Psihologicheskij zhurnal. – AN SSSR. – 1986. – T. 7. – № 1.

11. Bol'shakov V. I. Chi mozhe intelekt buti shtuchnim? / V. I. Bol'shakov, Ju. I. Dubrov // Visnik NANU. – 2009. – № 8. – S. 20 – 26.

12. Dubrov Ju. I. Ljudina v suchasnomu virobnictvi: Problemi psihichnoї stijkosti ta intelektual'noї mobil'nosti / Ju. I. Dubrov // Dop. NANU. – 1998. – № 11 – 12. – S. 81 – 91.

13. Bol'shakov V. I. Reshenie mnogokriterial'noj zadachi metallovedenija s kachestvenno neodnorodnymi kriterijami / V. I. Bol'shakov, Ju. I. Dubrov // Dop. NANU. – 2004. – № 11. – S. 95 – 103.

14. Bol'shakov V. I. Odin iz vozmozhnyh putej reshenija mnogokriterial'noj zadachi materialovedenija na primere optimizacii tehnologii plazmenno–dugovogo napylenija / V. I. Bol'shakov, A. B. Zagorodnij, Ju. I. Dubrov // Dop. NANU. – 2008. – № 1. – S. 87 – 95.

15. A. s. 1313465 SSSR, MKI4 A63 G 3/00, A 61 V 5/16. Igra Dubrova / Ju. I. Dubrov (SSSR). – 4 s.

Відомості про авторів:

Большаков Володимир Іванович, д. т. н., професор, ректор Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, e-mail: postmaster@pgasa.dp.ua.

Дубров Юрій Ісайович, д. т. н., професор кафедри матеріалознаавства та обробки матеріалів ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», e-mail: postmaster@pgasa.dp.ua.

УДК 519.21

ПРОГНОЗУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ЯКІСНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ

В. І. Большаков, д. т. н., проф., В. М. Волчук, к. т. н., доц.,
Ю. І. Дубров, д. т. н., проф.

Ключові слова: *прокатні валки, критерії якості, активний експеримент, пасивний експеримент, математична модель*

Існують відокремлено різні методи пасивного та активного експериментів, перший з яких заснований на формуванні моделі прогнозу, що базується на аналізі передісторії роботи досліджуваної технології в її робочій області, а другий – на дослідженні математичної моделі, заснованої на аналізі взаємодії змінних процесу, що кількісно можуть переважати верхні та нижні рівні робочої області. Наприклад, за допомогою методу пасивного експерименту досліджувався процес полімеризації в заводських умовах [1]. Спираючись на статистичні дані останніх років, отримали рівняння регресії, де як функція мети виступала в'язкість продукту, а як аргументи виступали: ступінь конверсії, кількість контрольованого реагенту та час реакції. Вся ця інформація, що дає пасивний експеримент, важлива для контролю і керування якістю готової продукції, але вона явно недостатня для управління процесом на тому рівні, коли змінні процесу перебувають за межами робочої області.

Найбільш близький до запропонованого метод активного експерименту, в якому застосовували матрицю планування для виявлення факторів, що мають домінантний вплив на швидкість хлорування титанових шлаків у розплаві [2]. В цій технології, виходячи з теоретичних міркувань, було оцінено вплив п'ятнадцяти факторів на функцію мети. Вміле використання дробової репліки та методики крутого сходження по поверхні відгуку, де застосовувався послідовний «покроковий» аналіз пошуку стаціонарної області, дозволило

досягти високої концентрації дослідів у тій частині поверхні відгуку, що цікавила дослідників. Досягнуті результати дозволили збільшити швидкість хлорування в 3,5 раза порівняно з тим значенням, котре було відоме до постановки цих експериментів. Цього результату було досягнуто в дуже складній ситуації після постановки тільки 25 дослідів (усі досліди повторювалися з рандомізацією за часом).

Недоліками пасивного експерименту є формування моделі прогнозу, заснованої тільки на результатах аналізу передісторії використання конкретної технології, де змінними є тільки їх значення, що отримані в робочій області чи близькі до них. Недоліками активного експерименту, заснованого на методі планування, є вибір значень змінних та їх верхнього і нижнього рівнів, також близьких до робочої області, що виключає дослідження тих значень, котрі перебувають за її межами і раніше не використовувалися. Ці недоліки звужують область застосування даних методів для розв'язання задач прогнозування та керування якісними характеристиками чавунів, які прогнозуються тільки в робочій області.

В основу даної роботи поставлена мета удосконалення способу прогнозування та керування якісними характеристиками прокатних валків у технології їх виробництва, у якій в результаті застосування композиції пасивного та активного експериментів виникає можливість прогнозування їх механічних властивостей не тільки в межах робочої області, а й за її межами.

Означена задача розв'язується тим, що в запропонованому способі використовується композиція пасивного та активного експериментів, таким чином, що в пасивному експерименті використовуються значення змінних, узяті в їх робочій області, заснованій на передісторії дії даної технології, а в активному експерименті як основний рівень були визначені значення верхнього та нижнього рівнів змінних пасивного експерименту. Отримані результати можуть бути прогнозовані шляхом допустимих прямих іспитів та результатів експертного логіко-технологічного аналізу (див. табл.).

Запропонований спосіб прогнозування та керування якісними характеристиками прокатних валків у технології їх виробництва має переваги порівнянно зі способом, основаним окремо на пасивному та окремо на активному експериментах, а також з іншими відомими способами.

Структурна схема розробленого способу наведена на рисунку.

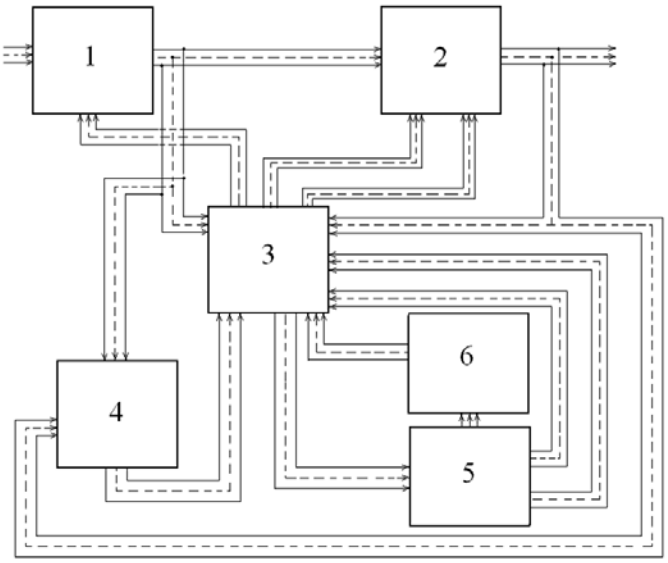

Рис. Спосіб прогнозування та керування якісними характеристиками прокатних валків у технології їх виробництва

Схема складається з: 1 – виконавчого органа, 2 – об'єкта управління, 3 – особи, що приймає рішення (ОПР), 4 – блока пасивного експерименту, 5 – блока активного експерименту та 6 – блока логічного аналізу впливу кожного зі змінних елементів на кінцевий результат (блока «підказки» результатів взаємодії між компонентами, що надходять на об'єкт дослідження, і технологічними режимами).

Запропонований спосіб реалізують таким чином. Через виконавчий орган (блок 1) на об'єкт управління (блок 2), а також на ОПР (блок 3) та блок пасивного експерименту (блок 4) подаються змінні X_1, …, X_n, що характеризують хімічний склад та технологічні режими. При

цьому з об'єкта управління (блок 2) залежні змінні Y_1, …, Y_m надходять до ОПР (блок 3) і до блока пасивного експерименту (4). З блока 4 на блок 3 подаються сигнали, що характеризують числові значення входів X_n, …, Y_m, що були отримані в результаті аналізу рівнянь пасивного експерименту. В результаті цього аналізу ОПР (блок 3) формує верхні та нижні значення рівнів усіх керованих змінних від $\overline{X}_1$ до $\overline{X}_n$, що виходять за межі робочого режиму, за якого були отримані рівняння пасивного експерименту. ОПР (блок 3) використовує ці значення для формування матриці активного експерименту, де значення виходів від Y_1 до Y_m вона отримує в результаті аналізу «підказки» (блок 6).

За результатами взаємодії верхніх та нижніх значень змінних (X_n) та отриманих при цьому залежних значень змінних (Y_k) формуються за відомими програмами [1] рівняння активного експерименту. Проводячи аналіз даних рівнянь, ОПР (блок 3) відсилає на виконавчий орган (блок 1) сигнали, що змінюють значення входів X_1, …, X_n для отримання субоптимальних значень виходів (Y_k).

Пасивний експеримент. Як приклад об'єкта дослідження були вибрані валкові чавуни виконання СПХН. Рівняння (1 – 4) пасивного експерименту [1] дозволяють у цих закономірностях прогнозувати обрані показники якості чавунів (границя міцності на розтяг – Y_1, границя міцності на згин – Y_2 та ударна в'язкість – Y_3) в робочій області. Робочою областю для цих чавунів є числові значення їх хімічного складу згідно з ТУ У 14-2-1188, кількісного складу елементів структури відповідно до ГОСТ 3443 та технологічні режими, що їх супроводжують.

$$Y_1 = 1362{,}7 - 392{,}9\cdot x_1 + 265{,}3\cdot x_2 - 761{,}1\cdot x_3 + 690{,}6\cdot x_4 - 1855{,}1\cdot x_5 + \\ + 1035{,}5\cdot x_6 - 272{,}4\cdot x_7 \qquad r = 0{,}82 \qquad (1)$$

$$Y_2 = 2581{,}8 - 441{,}5\cdot x_1 - 301{,}7\cdot x_2 - 1111{,}6\cdot x_3 + 1444{,}4\cdot x_4 - \\ - 6673{,}2\cdot x_5 + 307{,}9\cdot x_6 + 94{,}7\cdot x_7 \qquad r = 0{,}96 \qquad (2)$$

$$Y_3 = 55{,}5 + 1{,}8\cdot x_1 - 28{,}9\cdot x_2 + 45{,}5\cdot x_3 - 36{,}2\cdot x_4 + 6{,}9\cdot x_5 - 95{,}5\cdot x_6 + 25{,}4\cdot x_7 \qquad r = 0{,}89 \qquad (3)$$

$$Y_4 = 53{,}7 + 3{,}4\cdot x_1 - 4{,}6\cdot x_2 - 56{,}0\cdot x_3 + 4{,}5\cdot x_4 - 65{,}6\cdot x_5 + 35{,}2\cdot x_6 - 4{,}0\cdot x_7 \qquad r = 0{,}82 \qquad (4)$$

де $x_1 \div x_7$ – вміст C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni в % по масі відповідно.

Активний експеримент. Матриця планування активного експерименту, з урахуванням межі вибраних експертом значень верхнього (ВР) та нижнього (НР) рівнів змінних, наведена в таблиці, де основний рівень (ОР), верхні та нижні значення змінних вибираються ОПР на основі експертного та логіко-технологічного аналізу, котрий складається з урахування впливу кожного зі змінних елементів на числові значення функції мети. Згідно з аналізом передісторії роботи протягом тривалого часу ОПР були обрані рядки 1…16 матриці активного експерименту, де верхній та нижній рівні вибиралися з граничних значень пасивного експерименту. За даними рядками було проведено уявні досліди, ініційовані взаємовідношенням змінних та функцією мети.

Завдання одержання валків зі стабільними механічними характеристиками виконували з використанням експертної оцінки. На підставі аналізу РО параметрів технології була висунута гіпотеза, що в ній є такі ділянки (зони), у яких механічні властивості помітно підвищуються. З огляду на досить велику кількість можливих варіантів взаємодії обраних змінних – 2^{11}, які неможливо реалізувати з позицій технічного й економічного підходів, був здійснений модифікований варіант активного експерименту, який полягає в тому, що матриця планування була реалізована у вигляді дробної репліки 2^4=16 рядків і розбита на три основні області:

1. Область, де проведені прямі експерименти. Для валків виконання СПХН – це рядки матриці 6, 9, 12; валків СШХН – рядки матриці 13 – 16.
2. Область, у якій результати прямих експериментів заміняли експертними оцінками. Для валків виконання СПХН – це рядки матриці 2, 4, 7, 8, 10, 11, 14, 16; валків СШХН – рядки 5, 6, 8, 10.
3. Область, у якій значення механічних властивостей заміняли на підставі аналізу літературних джерел (робіт Т. С. Скобло, А. Е. Кривошеєва, Н. А. Будаг'янца), задана рядками матриці 1, 3, 5, 13, 15 – для валків виконання СПХН (табл. 2); рядками 1 – 4, 7, 9, 11, 12 – для СШХН.

Вірогідність прогнозу якісних характеристик по цих рівняннях підтверджується репрезентативною вибіркою, що характеризує роботу підприємств ДЗПВ і ЛЗПВ за останні 70

років: 120 плавок (загальна маса ~ 600 тонн) – для валків виконання СПХН і більш як 80 плавок (загальна маса ~ 400 тонн) – для валків виконання СШХН.

Таблиця

Матриця планування активного експерименту

ОУ		3,08	1,075	0,57	0,239	0,08	0,75	0,93	21,5	1,25	112,5	Межа міцності на розрив	Межа міцності на згин	Ударна в'язкість за 20°С	Твердість за Шором
ИВ		0,24	0,565	0,19	0,131	0,05	0,36	0,46	13,5	0,75	67,5				
НУ		2,84	0,51	0,38	0,108	0,03	0,39	0,47	8	0,5	45				
ВУ		3,32	1,64	0,76	0,37	0,13	1,11	1,39	35	2	180				
Позначення		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Карбіди	Графіт	Бал графіта	$\sigma_в$	$\sigma_{згин}$	KC	HSD
Розмірність		%	%	%	%	%	%	%	%	%	ПГд	МПа	МПа	кДж/м²	в умовних одиницях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Код	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	270	405	24	39
2	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	340	520	23	40
3	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	380	612	19	49
4	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	350	525	20	45
5	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	240	365	28	36
6	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	320	450	21	49
7	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	330	487	19	49
8	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	325	485	20	46
9	+	–	+	+	+	-	-	-	+	+	-	330	480	21	46
10	+	–	+	+	-	-	-	+	+	-	-	380	540	20	49
11	+	–	+	-	+	-	+	-	-	+	+	370	624	23	39
12	+	–	+	-	-	-	+	+	-	-	+	410	650	21	47
13	+	–	-	+	+	+	-	-	-	-	+	370	603	22	44
14	+	–	-	+	-	+	-	+	-	+	+	400	624	20	43
15	+	–	-	-	+	+	+	-	+	-	-	480	746	17	54
16	+	–	-	-	-	+	+	+	+	+	-	520	890	16	55

Під час обробки матриць активного експерименту отримано закономірності для валків виконання СПХН (5 – 8). З використанням методу руху по градієнту визначено поліпшені значення механічних властивостей.

$$Y_1 = 430{,}1 + 164{,}6\cdot x_1 - 89{,}2\cdot x_2 - 48{,}7\cdot x_3 - 221{,}6\cdot x_4 - 322{,}7\cdot x_5 + 47{,}1\cdot x_6 + 37{,}5\cdot x_7 - 1{,}6\cdot x_8 + 1{,}7\cdot x_9 - 1{,}5\cdot x_{10} \quad r = 0{,}94 \quad (5)$$

$$Y_2 = 989{,}2 + 312{,}2\cdot x_1 - 202{,}0\cdot x_2 - 1288{,}6\cdot x_3 - 697{,}5\cdot x_4 + 110{,}1\cdot x_5 + 192{,}7\cdot x_6 - -23{,}0\cdot x_7 - 7{,}5\cdot x_8 - 20{,}8\cdot x_9 - 2{,}7\cdot x_{10} \quad r = 0{,}93 \quad (6)$$

$$Y_3 = -1{,}3 + 4{,}3\cdot x_1 + 3{,}0\cdot x_2 + 6{,}8\cdot x_3 + 7{,}1\cdot x_4 - 34{,}9\cdot x_5 - -8{,}7\cdot x_6 + 3{,}7\cdot x_7 + 2{,}0\cdot 10^{15}\cdot x_8 + 3{,}0\cdot x_9 + 0{,}03\cdot x_{10} \quad r = 0{,}74 \quad (7)$$

$$Y_4 = 48{,}8 + 5{,}2\cdot x_1 - 6{,}0\cdot x_2 - 14{,}9\cdot x_3 - 11{,}1\cdot x_4 + 6{,}5\cdot x_5 + 6{,}2\cdot x_6 + 2{,}2\cdot x_7 + 0{,}1\cdot x_8 - 3{,}8\cdot x_9 - 0{,}1\cdot x_{10} \quad r = 0{,}80 \quad (8)$$

де $x_1 \div x_7$ – вміст C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni в % по масі відповідно; x_8, x_9 – площа карбідів і графіту в %; x_{10} – бал графіту, ПГд. Похибка рівнянь (5 – 8) становить: 5,6 %, 7,3 %, 7,8 % та 6,4 % відповідно.

Рівняння (4 – 8) активного експерименту дозволяють прогнозувати дані показники якості досліджуваних прокатних валків у робочій області.

Розроблений спосіб прогнозування та керування якісними характеристиками прокатних валків у технології їх виробництва шляхом використання композиції пасивного та активного експериментів відрізняється від існуючих методів прогнозування тим, що в пасивному експерименті формується модель на основі аналізу передісторії роботи досліджуваної технології, а в активному експерименті основний рівень змінних вибирається ОПР з урахуванням числових значень функції мети, сформованої на основі результатів допустимих прямих іспитів і результатів експертного логіко-технологічного аналізу, який продукується верхніми та нижніми значеннями змінних пасивного експерименту.

Таким чином, запропонований спосіб забезпечує:

– композицію пасивного та активного експериментів, яка забезпечує прогноз значень функцій мети з мінімальними витратами;

– можливість використання для основного рівня змінних в активному експерименті верхнього та нижнього значень керованих змінних, взятих із пасивного експерименту.

Підводячи підсумок усьому вищесказаному, можна вважати, що завдання прогнозування якісних характеристик матеріалу в робочій області означених технологій виконано. Запропонований спосіб може бути використаний за допомогою обчислювальної техніки та апаратної реалізації окремих блоків.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Налимов В. В., Чернова Н. А.** Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимова, Н. А. Чернова. – М. : Наука, 1965. – 340 с.
2. **Neuwirth S. J., Naphtali L. M.** New Statistical Method Rapidly Determines Optimum Process Conditions, Chemical Engineering. – 1957. – Vol. 64. – № 6. – 238 p.
3. **Кривошеев А. Е.** Литые валки / Теоретические и технологические основы производства. – М. : Металлургиздат, 1957. – 360 с.
4. **Будагьянц Н. А., Карсский В. Е.** Литые прокатные валки / Н. А. Будагьянц, В. Е. Карсский. – М. : Металлургия, 1983. – 175 с.
5. Чугун: Справ. изд. / Под ред. А. Д. Шермана и А. А. Жукова. – М. : Металлургия, 1991. – 576 с.

SUMMARY

There are various methods of isolation, passive and active experimentation. The first of which is based on the formation of prediction models based on ana League investigated the background of technology in her work area, and the second – to study the mathematical model, based on the analysis of the interaction process variables that can quantitatively dominate the upper and lower level workspace. For example, using the method of passive experiment investigated the polymerization process in the factory. Based on the statistics of recent years were obtained regression equation, where the objective function performed viscosity product as well as arguments were: degree of conversion, the number of controlled reagent and reaction time. All this information enables passive experiment is important to monitor and control the quality of the finished product, but it is clearly insufficient for process control at the level where the process variables are outside the workspace.

The closest to the proposed method is active experiment, which used a matrix planning to identify factors that have a dominant effect on the rate of chlorination of titanium slag melt.

The disadvantages of passive experiment is to create the forecast model, which is based only on an analysis of the background using a particular technology, where variables are only of value obtained in the work area or close to them. The disadvantages of the active experiment based on the method of planning, is the choice of variables and their upper and lower levels as close to the work area, excluding the study those values that are outside still not used. These shortcomings restrict the scope of applicability of these methods in solving problems of prediction and control of quality characteristics iron which projected only in the workspace.

The basis of this work is the task of improving the method of prediction and control of quality characteristics rolls in their production technology, which as a result of composition. passive and active experimentation becomes possible to predict their mechanical properties not only within the workspace, but also abroad.

REFERENCES

1. Nalimov V. V., Chernova N. A. Statisticheskie metody planirovanija jekstremal'nyh jeksperimentov / V. V. Nalimova, N. A. Chernova. – M. : Nauka, 1965. – 340 s.
2. Neuwirth S. J., Naphtali L. M. New Statistical Method Rapidly Determines Optimum Process Conditions, Chemical Engineering. – 1957. – Vol. 64. – № 6. – 238 p.
3. Krivosheev A. E. Litye valki / Teoreticheskie i tehnologicheskie osnovy proizvodstva. – M. : Metallurgizdat, 1957. – 360 s.
4. Budag'janc N. A., Karsskij V. E. Litye prokatnye valki / N. A. Budag'janc, V. E. Karsskij. – M. : Metallurgija, 1983. – 175 s.
5. Chugun: Sprav. izd. / Pod red. A. D. Shermana i A. A. Zhukova. – M. : Metallurgija, 1991. – 576 s.

Відомості про авторів:

Большаков Володимир Іванович, д. т. н., професор, ректор Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, e-mail: postmaster@pgasa.dp.ua.

Волчук Володимир Миколайович, к. т. н., доцент кафедри матеріалознаавства та обробки матеріалів ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», e-mail:

volchuky@yandex.ru.

Дубров Юрій Ісайович, д. т. н., професор кафедри матеріалознаавства та обробки матеріалів ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», e-mail: postmaster@pgasa.dp.ua.

УДК 621.7.0142:669.112

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ПОВЕДЕНИЕ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ ЛЕДЕБУРИТНОГО КЛАССА В ПРОЦЕССЕ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

Т. М. Миронова,
Национальная металлургическая академия Украины,
кафедра материаловедения им. академика Ю. Н. Тарана-Жовнира

Ключевые слова: *белые чугуны, эвтектика, пластичность, легирование, карбидное превращение, рекристаллизация, прокатка*

К материалам повышенной износостойкости можно отнести карбидосодержащие железоуглеродистые сплавы эвтектического типа – легированные стали ледебуритного класса и белые чугуны. Обработка давлением является не только методом формоизменения изделий из этих сплавов, но и позволяет существенно улучшить их механические свойства. В результате деформации их прочность увеличивается в 2 – 4 раза, и становится сопоставимой с прочностью высококачественной стали, ударная вязкость вырастает в 3 – 6 раз, усталостная прочность в 2 – 2,5 раза. При этом сохраняются высокие показатели твердости и износостойкости.

Низкая технологическая пластичность как заэвтектоидных сталей, в структуре которых при введении карбидообразующих элементов появляются эвтектические карбиды, так и белых чугунов препятствует широкому применению их в деформированном состоянии.

При легировании белого чугуна карбидообразующими элементами такими, как: V, Cr, W, Mo происходит их растворение в карбиде железа M_3C при этом увеличивается его метастабильность. В процессе отжига в цементите эвтектических колоний происходит выделение более стабильных карбидных фаз, а из-за дефицита углерода цементит частично перекристаллизуется в аустенит.

Целью настоящей работы является изучение закономерностей формирования структуры в белых чугунах с различным содержанием углерода 2,3…3,5, а также дополнительно легированных ванадием. Хром не более 1,0% вводили для предотвращения образования графита. Для оценки деформационного поведения и горячей пластичности сплавов были выбраны испытания на горячее кручение и свободная ковка.

В структура исследуемых сплавов состоит из дендритов аустенита (точнее продуктов его распада) и аустенитно-цементитной эвтектики, расположенной в междендритных участках. Эвтектическая составляющая, образованная на базе карбида Fe_3C, имеет преимущественно сотовое строение, однако встречаются и колонии пластинчатого ледебурита. В сплаве, содержащем 2,3 %С, эвтектика частично закристаллизовалась в виде тонкого конгломерата фаз, несмотря на невысокие скорости охлаждения (около 100 град/мин). Это можно объяснить низкой степенью эвтектичности сплава, а также наличием примесей, присутствующих в шихтовых материалах. С увеличением содержания углерода доля сотового ледебурита, как и общее количество эвтектики, увеличивается.

Кривые зависимости пластичности от температуры имеют куполообразную форму (рис. 1). Максимальный уровень пластичности наблюдается в интервале температур 1050 – 1080°С. С увеличением содержания углерода, а следовательно и степени эвтектичности, пластичность понижается. В процессе деформации зерна аустенита вытягиваются по направлению действия растягивающих напряжений. В пластиночном ледебурите происходит постепенное утонение и разрыв перемычек, соединяющих цементитные пластины (рис. 2, *а*). Теряя контакт между собой, пластины смещаются друг относительно друга, становясь более изолированными в аустенитной матрице. В сотовом ледебурите цементит разделяется на пластины таким образом, что колония приобретает строение, напоминающее пластиночный ледебурит (рис. 2, *б*). При более высоких температурах испытания 1000 – 1080°С параллельно актам пластической деформации в цементите успевает пройти динамическая рекристаллизация, в результате чего