

УДК 621.785.532.

И. Г. Довгялло, доцент;
Б. А. Каледин, доцент;
С. Е. Бельский, доцент;
А. И. Сурус, ст. препод.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ АЗОТОМ СТАЛЕЙ 45, 65Г И 40Х

Influence of temperature and time parameters of low-temperature nitriding on the characteristics of hardened layer of steels is examined.

Эксплуатация ряда быстроизнашивающихся деталей лесозаготовительных машин характеризуется значительным трением и интенсивным износом рабочих поверхностей, что вызывает необходимость их частой замены. Одним из наиболее простых способов повышения ресурса таких деталей является их поверхностное упрочнение. Процесс низкотемпературного азотирования, проводимый в расплаве азотсодержащих солей, обладает невысокой стоимостью, трудо- и энергозатратами, не требует финишной механической обработки, однако не всегда обеспечивает достаточную твердость и глубину поверхностного слоя. Для повышения этих характеристик в настоящей работе методом математического планирования эксперимента оптимизированы температурно-временные параметры процесса диффузионного насыщения азотом ряда конструкционных сталей.

Для анализа влияния параметров обработки на поверхностную твердость был выбран трехфакторный план 2-го порядка $2 \times 3 \times 3$ [1] с двумя уровнями по марке стали (45 и 65Г), тремя по продолжительности (0,5; 2,5 и 4,5 часов) и тремя по температуре обработки (530, 550 и 570°C).

Таблица 1

Матрица плана 2х3х3

№ п/п	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₂ ²	X ₃ ²	Y ₇	Y _P
1	-	-	-	+	+	+	+	+	307.7	303.3
2	-	-	0	+	0	0	+	0	346.2	346.5
3	-	-	+	+	-	-	+	+	390.5	389.7
4	-	0	-	0	+	0	0	+	380.9	382.9
5	-	0	0	0	0	0	0	0	423.2	426.1
6	-	0	+	0	-	0	0	+	473.3	469.3
7	-	+	-	-	+	-	+	+	330.8	337.7
8	-	+	0	-	0	0	+	0	384.7	380.9
9	-	+	+	-	-	+	+	+	419.4	424.1
10	+	-	-	-	-	+	+	+	405.8	404.9
11	+	-	0	-	0	0	+	0	450.0	448.1
12	+	-	+	-	+	-	+	+	486.9	491.3
13	+	0	-	0	-	0	0	+	480.9	484.5
14	+	0	0	0	0	0	0	0	523.2	527.7
15	+	0	+	0	+	0	0	+	577.1	570.9
16	+	+	-	+	-	-	+	+	442.4	439.3
17	+	+	0	+	0	0	+	0	484.7	482.5
18	+	+	+	+	+	+	+	+	525.1	525.7
Σ	913.4	206	517.8	25	-9.8	13.4	4968.2	5214.8	7826.8	
	1Y	2Y	3Y	12Y	13	23Y	22Y	33Y	OY	

Матрица плана 2х3х3 и результаты измерений твердости приведены в табл.1, где Y - параметр оптимизации (твердость, определенная по методу Виккерса, HV, кгс/мм²), а X₁, X₂, и X₃ – кодированные уровни исследуемых факторов, которые определялись по формуле

$$X_1 = \frac{\tilde{X}_1 - 0.5(\tilde{X}_{1\max} + \tilde{X}_{1\min})}{0.5(\tilde{X}_{1\max} - \tilde{X}_{1\min})}, \quad (1)$$

где \tilde{X}_i , $\tilde{X}_{i\max}$, $\tilde{X}_{i\min}$ – текущее, максимальное и минимальное значения уровней i – го фактора в натуральных единицах. Для качественных факторов кодированные уровни можно устанавливать произвольно.

В нашем случае принимаем $X_1 = -1$ для стали 45 и $X_1 = +1$ для стали 65Г (в табл. 1 единицы опущены для простоты записи). Воспроизводимость опытов (ошибка эксперимента) составляла $S_7 = 3.5$, что меньше 1% от среднего значения $Y_s = 434.8\text{HV}$. Статистическая обработка результатов, проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии и его адекватности проводились по методике работы [2]. В результате получено адекватное уравнение:

$$Y_p = 476.9 + 50.8X_1 + 17.2X_2 + 43.2X_3 - 62.4X_2^2, \quad (2)$$

где Y_p – расчетное значение твердости, получаемое подстановкой соответствующих кодированных уровней факторов в уравнение (2). Значения этих параметров приведены в последней колонке табл. 2.

Из уравнения (2) видно, что наибольшее влияние на твердость оказывает марка стали (X_1), поскольку для стали 65Г этот параметр существенно больше. Следующими по степени влияния будут время (X_2) и температура (X_3). Максимальное значение твердости ($Y_p = 571\text{HV}$) будет у стали 65Г ($X_1 = +1$) при времени обработки 2.5 ч ($X_2 = 0$) и температуре 570°C. Для стали 45 ($X_1 = -1$) при температуре 570°C ($X_3 = +1$) из выражения (2) получим уравнение параболы

$$Y_1 = 469.3 + 17.2X_2 - 62.4X_2^2 \quad (2a)$$

с точкой перегиба $X_{2e} = \frac{17.2}{2 \cdot 62.4} = 0.14$ ($\tau = 2.84\text{ч}$), в которой $Y_s = 472.8\text{HV}$.

Таким образом, оптимальными условиями для стали 45 будут время обработки $\tau = 2,28$ ч ($X_2 = +0.14$) и температура 570°C ($X_3 = +1$), но, учитывая ошибку опыта $S_7 = 3,5\text{HV}$, можно утверждать, что этот результат практически одинаков с результатами опыта №6, где $X_2 = 0$ ($\tau = 2.5$ ч) и $X_3 = +1$ (570°C), а $Y_7 = 473.3\text{HV}$. Для стали 65Г ($X_1 = +1$) зависимость твердости от времени обработки (при $X_3 = +1$) будет также выражена параболой

$$Y_2 = 570.9 + 17.2X_2 - 62.4X_2^2 \quad (26)$$

с той же точкой перегиба $X_{2e} = 0.14$, в которой $Y_s = 572.1\text{HV}$, что также практически не отличается от результатов опыта №15 при $X_2 = 0$ и $X_3 = +1$.

Таким образом, для обеих сталей оптимальными условиями бу-

дуг: $X_2 = 0$, $\tau = 2.5$ ч и $X_3 = +1$.

Следует отметить, что при более низких температурах процессы в расплаве, и особенно диффузия в стали, замедляются, что снижает скорость образования упрочненного слоя. Кроме того, при температуре обработки ниже 550°C в поверхностном слое возможно появление γ -фазы, вызывающей охрупчивание материала [3]. Повышение температуры до 590°C процессов, однако, разупрочняет сердцевину, вследствие чего твердость снижается. В этом случае также возрастают пористость поверхностного слоя и деформация изделий [3].

Для оценки влияния времени обработки и температуры на толщину диффузионного слоя стали 40Х был проведен эксперимент по плану 3×3 [1] с тремя уровнями времени (1,3 и 5 ч) и тремя уровнями температуры (530°C , 560°C и 590°C). В качестве параметра оптимизации Y была выбрана толщина слоя h , мкм, а в качестве факторов – время обработки (X_1) и температура (X_2). Матрица плана 3×3 и результаты измерения глубины слоя приведены в таблице 2.

Таблица 2

Матрица плана 3×3

№п/п	X_1	X_2	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	Y_7	Y_p
1	-	-	+	+	+	83,3	72
2	-	0	0	+	0	133,3	136,8
3	-	+	-	+	+	150,0	158,0
4	0	-	0	0	+	183,3	184,1
5	0	0	0	0	0	250,0	249,1
6	0	+	0	0	+	270,0	270,3
7	+	-	-	+	+	225,0	235,8
8	+	0	0	+	0	303,3	300,8
9	+	+	+	+	+	320,0	322,0
Σ	491,7	258,4	38,3	1224,9	1241,6	1928,2	
	1Y	2Y	12Y	11Y	22Y	0Y	

Ошибка воспроизводимости опытов не превышала 2,5 % от среднего значения и составляла $S_7 = 5$ мкм. После обработки результатов эксперимента получено адекватное уравнение

$$Y_3 = h = 249,1 + 82X_1 + 43,1X_2 - 30,3X_1^2 - 21,9X_2^2, \quad (3)$$

из которого видно, что в этом случае время обработки (X_1) оказывает большее влияние на глубину диффузионного слоя, чем температура (X_2), но их влияние не однозначно из-за больших значений коэффициентов со знаком "минус" у квадратичных членов. Максимальная глубина слоя $h = 330$ мкм будет получена при времени обработки 5 ч ($X_1 = +1$) и температуре 590°C ($X_2 = +1$).

Таким образом, применение методов математического планирования эксперимента позволило получить адекватные модели процессов диффузионного насыщения конструкционных сталей и оптимизировать условия получения максимальной твердости и глубины упроченного слоя в этих материалах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981.
2. Каледин Б.А. Планирование экспериментов в порошковой металлургии. Ч. II. Планы второго порядка. Мн., 1982.
3. Finnmern V. Anderungen der eigenschaten der bauteiloberfloche durch badnitrieren. Bd, 24: S.3-6.

УДК 621.785.532.

И. Г. Довгялло, доцент;
Б. А. Каледин, доцент;
А. И Сурус, ст. препод.;
С. Е. Бельский, доцент

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА КАЧЕСТВО ДИФФУЗИОННОГО СЛОЯ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КАРБОНИТРАЦИИ

Data about the influence of mechanical vibrations were introduced in the melt of sodium cyanate in the process of chemical and thermal treatment on the characteristics of hardened layer of steels are presented.

Одним из наиболее простых и доступных способов повышения ресурса быстроизнашивающихся деталей машин и механизмов лесной и деревообрабатывающей промышленности, инструмента и техноло-