

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ 10ХСНД И 18Х2Н4ВА

Голубцова Е.С., Сагарда Е.В.,
Каледина Н.Б.

Белорусский национальный технический университет
Белорусский государственный технологический университет

Проводили исследования по влиянию термомеханической обработки (ТМО) на механические свойства низкоуглеродистой стали 10ХСНД (0,09% С) и стали 18Х2Н4ВА (0,17% С). Образцы из стали 10ХСНД после закалки деформировали прокаткой со степенью обжатия до 20% ($\varepsilon=0, 10, 20\%$). Закалку поковок из этой стали с квадратным сечением (сторона 20 мм) проводили от 900 °С. Перед деформацией их зачищали с двух противоположных сторон от окалины в соленой воде. После прокатки проводили старение при 200 °С в течение 2 час. Образцы из стали 18Х2Н4ВА деформировали также прокаткой при тех же степенях деформации ($\varepsilon=0, 10, 20\%$). Закалку проводили до прокатки при температуре 850 °С в воде. Старение осуществляли при температуре 200 °С в течение 2 час. Для проведения эксперимента был использован план 2²3, где 2 – два уровня обработки ($x_1=-1$, сталь 10ХСНД, закалка 900 °С, старение 200 °С в течение 2 час; $x_1 = +1$, сталь 18Х2Н4ВА, закалка 850 °С, старение 200 °С в течение 2 час.), а 3 – три уровня степени деформации ε ($x_2 = -1, \varepsilon=0 \%$; $x_2 = 0, \varepsilon=10\%$; $x_2 = +1, \varepsilon=20 \%$). В качестве параметров оптимизации были выбраны характеристики механических свойств: предел текучести ($y_1 = \sigma_{0,2}$, МПа); временное сопротивление разрыву ($y_2 = \sigma_B$, МПа), относительное удлинение ($y_3 = \delta, \%$) и относительное сужение ($y_4 = \psi, \%$). Матрица плана и результаты эксперимента приведены в таблице. В этой таблице x_1 и x_2 – кодированные уровни способов обработки сталей и степени деформации. $\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \Sigma_4$ – алгебраические суммы произведений столбцов y_i на столбцы x_i для $\sigma_{0,2}, \sigma_B, \delta, \psi$ № – номер опыта. Ошибки опытов не превышали 5%-ной величины от средних значений $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3$ и \bar{y}_4 и были соответственно равны: $S_1=45$ МПа; $S_2=65$ МПа; $S_3=0,63\%$ и $S_4=3\%$.

Коэффициенты уравнения регрессии $y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2$ рассчитывали по формулам:
 $b_0 = A_0(0Y) - A_0(11Y) - A_{02}(22Y);$ $b_1 = A_1(1Y);$ $b_2 = A_2(2Y);$
 $b_{12} = A_{12}(12Y);$ $b_{11} = A_{11}(11Y) - A_{01}(0Y);$ $b_{22} = A_{22}(22Y) - A_{02}(0Y).$

В результате расчетов коэффициентов уравнений по формулам получены следующие уравнения для исследуемых характеристик механических свойств: $y_1 = \sigma_{0,2} = 1270 + 433,3x_1 + 240x_2 - 120x_2^2;$ $y_2 = \sigma_B = 1325 + 415x_1 + 178x_2;$
 $y_3 = \delta = 12,5 - 3,12x_1 - 3,53x_2 + 1,38x_1x_2;$ $y_4 = \psi = 58,5.$

Таблица - Матрица плана и результаты испытаний сталей 10ХСНД и 18Х2Н4ВА после закалки и деформации

№	x_1	x_2	$x_1 x_2$	x_1^2	x_2^2	$y_1 = \sigma_{0,2}$	$y_2 = \sigma_B$	$y_3 = \delta$	$y_4 = \psi$
1	-	-	+	+	+	520	720	20	66
2	-	0	0	+	0	780	900	14	60
3	-	+	-	+	+	970	1030	10	57
4	+	-	-	+	+	1300	1460	13	61
5	+	0	0	+	0	1760	1820	9,8	57
6	+	+	+	+	+	1810	1860	8,7	56
\sum_1	2600	960	60	7140	4600	7140	-	-	-
\sum_2	2490	710	90	7790	5070	-	7790	-	-
\sum_3	-23,8	-14,3	5,7	75,5	51,7	-	-	75,5	-
\sum_4	-9	-14	4	357	240	-	-	-	357
Код	(1Y)	(2Y)	(12Y)	(11Y)	(22Y)	(0Y) ₁	(0Y) ₂	(0Y) ₃	(0Y) ₄

Анализ результатов таблицы и полученных уравнений регрессии показывает, что между исследуемыми характеристиками механических свойств этих сталей существует корреляционная связь. Оба фактора x_1 и x_2 оказывают существенное влияние на $y_1 = \sigma_{0,2}$, $y_3 = \delta$, $y_2 = \sigma_B$ и δ ; на относительное сужение ($y_4 = \psi$) влияние этих факторов (марки сталей и степени деформации) несущественно. Деформационное старение обеспечивает значительное упрочнение стали 10ХСНД после обжата на 20%: предел текучести возрос на 40% (до 1810 МПа). Хорошее сочетание прочности и пластичности получено для стали 18Х2Н4ВА (0,17% С). При степени деформации 20% ($x_2 = +1$) временное сопротивление разрушению достигает 1860 МПа, а предел текучести 1810 МПа при вполне допусаемом снижении пластичности ($\delta = 8,7\%$ и $\psi = 56\%$). Следовательно, значение показателей прочности стали 18Х2Н4ВА путем деформации в закаленном состоянии можно поднять до уровней показателей прочности стали с более высоким содержанием углерода, например, стали 30ХГСНА, имеющей после обычной закалки $\sigma_B = 1860$ МПа и $\sigma_{0,2} = 1750$ МПа.. При этом показатели пластичности (δ и ψ) углеродистой низколегированной стали, деформированной в мартенситном состоянии, даже несколько лучше ($\delta = 9\%$, $\psi = 56\%$), чем обычно закаленной стали 30ХГСНА ($\delta = 10\%$, $\psi = 46\%$).