

Краткие сообщения

УДК 620.179.14

МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ СТАЛЕЙ 20К И 09Г2

Э. В. Аронсон, Г. В. Бида, В. М. Камардин, М. Н. Михеев, Д. М. Понер

В данной работе описан неповреждающий метод контроля пластичности и прочности листового проката из сталей 20к (ГОСТ 5520—69) и 09Г2 (ГОСТ 5521—67, ГОСТ 5058—65) толщиной от 12 до 60 мм с помощью коэрцитиметров типа КИФМ-1 [1, 2].

Для сталей с феррито-перлитной структурой существует однозначная зависимость между прочностными и пластичными свойствами и коэрцитивной силой, если изменение упомянутых свойств вызвано изменением температуры конца прокатки или степени обжатия листа [3]. Однако этих сведений недостаточно для заключения о возможности определения механических характеристик стали по коэрцитивной силе, так как возможны и другие изменения технологии производства (например, легирование и раскисление стали, условия нагрева слабов, режим охлаждения листа и др.), которые также приводят к изменениям механических и магнитных свойств стали.

Поэтому в настоящей работе предварительно на лабораторных образцах из листов сталей 20к и 09Г2 разных плавок и разной толщины, несущих информацию о всех возможных вариациях технологии производства, определяли корреляционные зависимости типа $Y = AX^2 + BX + C$ и $Y = B'X + C'$ между пределом прочности σ_b (kG/mm^2), пределом текучести σ_t (kG/mm^2), относительным удлинением δ_5 (%), сужением Φ (%), ударной вязкостью a_H (kGm/cm^2) (механические характеристики в приведенных уравнениях — Y) и коэрцитивной силой H_c (A/cm) (в уравнениях — X). Корреляционное отношение $\eta_{Y/X}$, коэффициент корреляции r , среднее квадратичное отклонение значений механических характеристик от линий регрессии S_n и коэффициент вариации V_{mg} вычисляли общепринятым методом.

Результаты вычислений по 100 образцам (20 плавок) для каждой стали приведены в табл. 1. Здесь V_{mx} — коэффициент вариации, вычисленный для прямых методов определения механических характеристик путем установления корреляционной связи между значениями одной и той же характеристики двух вырезанных рядом образцов. Упомянутые характеристики определяли с помощью различных разрывных машин и маятниковых копров.

Из табл. 1 видно, что корреляционное отношение квадратичной зависимости и коэффициент корреляции линейной зависимости для одной и той же характеристики близки между собой, что свидетельствует в пользу линейной корреляции между механическими характеристиками и коэрцитивной силой. Связь механических характеристик с коэрцитивной силой надежна и значимы ($t_r = r\sqrt{N}/(1-r^2)$ — критерий значимости; t_α — коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы $\alpha = N - 1$; N — объем выборки). Коэффициент вариации V_{mg} магнитного метода не пре-
восходит коэффициент вариации прямого (механического) метода V_{mx} . Предельные значения механических характеристик \bar{Y} и \bar{Y} , вычисленные по уравнениям регрессий и соответствующие предельным значениям коэрцитивной силы $\bar{X} \pm 2\sigma_x$, не выходят за предельные значения этих же характеристик (кроме ударной вязкости), определенных по экспериментальным данным $\bar{Y} \pm 2\sigma_Y$ (σ_x, σ_Y — средние квадратичные отклонения от средних значений коэрцитивной силы \bar{X} и механических характеристик \bar{Y}).

Далее измеряли относительную величину коэрцитивной силы листов в местах вырезки проб коэрцитиметром специальной конструкции с переносным измерительным блоком и датчиком (размеры полюсов 20×40 мм, расстояние между полюсами 50 мм) [2]. Для листов исследуемых толщин получили значимую корреляционную связь между механическими характеристиками ($\sigma_b, \sigma_t, \delta_5, \Phi$) и показаниями коэрцитиметра i_p .

В табл. 2 и 3 приведены результаты статистической обработки данных цеховых испытаний соответственно для сталей 20к и 09Г2. Видно, что магнитный метод определения механических характеристик сталей не хуже прямого, поэтому коэрцитиметр можно успешно использовать для контроля механических свойств стального толстолистового проката.

Таблица 1

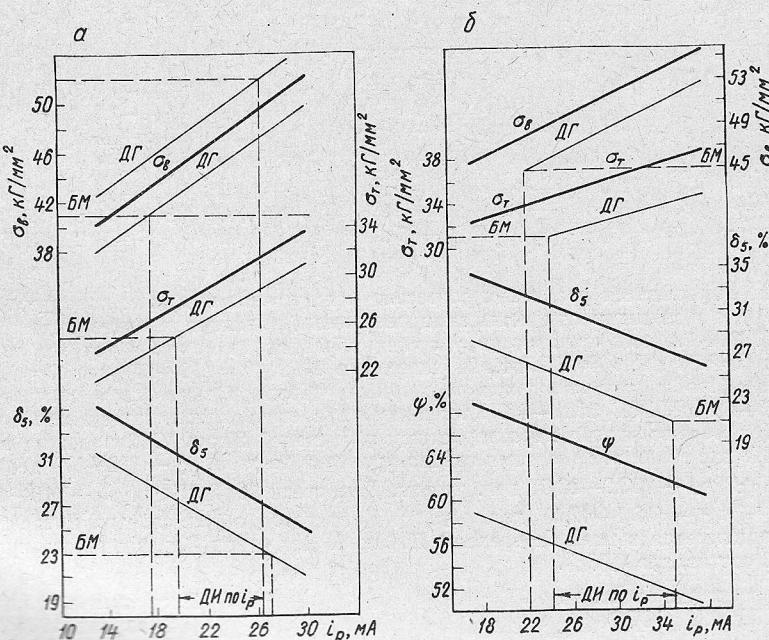
Сталь	Y	Уравнение регрессии	$\eta_{Y/X}, r$	t_r/t_α	S_n	$V_{\text{МГ}}$	$V_{\text{МХ}}$	\bar{V}	σ_Y	$\bar{Y} \pm 2\sigma_Y$	$(\bar{Y} - \hat{Y})_{\text{ср}}$	
20к	σ_B	$Y = -0,27X^2 + 4,96X + 33,2$ $Y = 1,98X + 38,8$	0,71 0,69	1,17 1,21	0,026 0,026	0,033	47,1	1,8	43,5—50,7	44,6—50,6		
	σ_T	$Y = -0,33X^2 + 5,86X + 11,5$ $Y = 2,35X + 19,1$	0,67 0,64	1,46 1,40	0,050 0,047	0,060	29,6	2,1	25,4—33,8	44,1—47,1		
δ_5		$Y = 0,23X^2 - 5,8X + 48,5$ $Y = -3,24X + 43,8$	0,70 -0,69	1,96 1,97	0,065 0,065	0,095	30,0	2,5	25,0—35,0	25,9—31,8		
	a_H	$Y = -3,4X + 24,5$	-0,24	-1,3	1,91	0,173	0,160	11,0	2,4	6,2—15,8	25,5—35,0	
09Г2	σ_B	$Y = -0,66X^2 + 8,5X + 29,4$ $Y = 2,64X + 39,4$	0,74 0,73	1,13 1,24	0,022 0,024	0,033	52,1	1,9	48,3—55,9	50,4—55,9		
	σ_T	$Y = -0,23X^2 + 4,4X + 20,0$ $Y = 2,6X + 23,9$	0,63 0,59	1,62 1,60	0,046 0,046	0,060	35,4	2,0	31,4—39,4	49,1—54,4		
δ_5		$Y = -0,18X^2 - 2,5X + 43,8$ $Y = -4,1X + 46,4$	0,63 -0,68	2,34 2,34	0,082 0,082	0,095	28,5	2,8	22,9—34,1	32,1—37,6		
	Ψ	$Y = 1,2X^2 - 15,7X + 95,3$ $Y = -4,6X + 76,6$	0,52 -0,57	3,21 3,35	0,055 0,058	—	58,2	5,1	48,0—68,4	32,6—38,7		
a_H		$Y = -3,0X + 22,1$	-0,23	-1,3	2,11	0,23	0,160	9,1	2,4	5,3—13,9	51,0—61,5	
											5,1—12,2	

На рисунке приведены линии регрессии между механическими характеристиками и показаниями коэрцитиметра для листа толщиной 20 мм из сталей 20к и 09Г2. Параллельно линиям регрессии проведены доверительные границы ДГ на расстоянии $2S_n$. Параллельно осям i_p пунктиром обозначены границы браковочного минимума либо максимума БМ для механических характеристик листов по соответствующим ГОСТам.

Таблица 2

$h, \text{мм}$	N	Y	Уравнение регрессии	r	S_n	$V_{\text{МГ}}$	$V_{\text{МХ}}$
20	1234	σ_b	$Y = 0,72X + 30,8$	0,85	1,08	0,023	0,033
		σ_t	$Y = 0,57X + 16,4$	0,75	1,24	0,043	0,060
		δ_5	$Y = -0,60X + 43,0$	-0,62	1,90	0,063	0,095
25	190	σ_b	$Y = 0,54X + 36,1$	0,73	1,05	0,026	0,033
		σ_t	$Y = 0,70X + 15,0$	0,75	1,60	0,052	0,060
		δ_5	$Y = -0,85X + 30,0$	-0,32	2,17	0,075	0,095
45	150	σ_b	$Y = 0,35X + 41,3$	0,60	1,05	0,021	0,033
		σ_t	$Y = 0,40X + 20,3$	0,68	0,97	0,033	0,060
		δ_5	$Y = -0,36X + 37,7$	-0,36	2,20	0,072	0,095

Доверительный интервал по размагничивающему току (ДИ по i_p) определяли по браковочным минимумам предела текучести σ_t и относительного удлинения δ_5 (для стали 20к — по браковочному максимуму σ_b). Значения i_p , соответствующие браковоч-



Уравнения регрессии между механическими характеристиками сталей и показаниями коэрцитиметра:
а — сталь 20к; б — сталь 09Г2.

ным минимумам по σ_b и ψ выходят за пределы упомянутого доверительного интервала. Браковочный минимум по ψ (рисунок, б) равен 45%, поэтому точка пересечения линий ДГ и БМ по ψ лежит дальше за пределами поля рисунка. Установленные таким образом доверительные границы по показаниям коэрцитиметра позволяют определять механические характеристики пограничными методами с надежностью 0,95. Пробы от листов, для которых показания коэрцитиметра выходят за пределы указанного доверительного интервала, подлежат испытанию на растяжение. При описываемом здесь эксперименте количество таких листов не превышало 5%.

Поскольку коэффициент корреляции для связи между ударной вязкостью и коэрцитивной силой исследованных сталей сравнительно низок, а $V_{mg} > V_{mx}$, остается необходимость вырезки и испытаний ударных образцов по ГОСТ 9564—73, нам представляется экономически более целесообразным пока производить измерения коэрцитивной силы с целью определения прочностных и пластичных свойств проката непосредственно на ударных образцах. Для этого удобно использовать коэрцитиметр с внутренней отрицательной обратной связью КИФМ-1а [4].

Таблица 3

h , мм	N	Y	Уравнение регрессии	r	S_n	V_{mg}	V_{mx}
15—16	1451	σ_b	$Y = 0,14X + 47,1$	0,44	1,52	0,031	0,033
		σ_t	$Y = 0,12X + 32,2$	0,42	2,03	0,055	0,060
		δ_5	$Y = -0,30X + 39,8$	-0,35	3,01	0,090	0,095
		ψ	$Y = -0,01X + 63,5$	-0,21	3,20	0,050	—
18—20	1514	σ_b	$Y = 0,47X + 37,7$	0,65	1,51	0,032	0,033
		σ_t	$Y = 0,30X + 27,2$	0,60	1,98	0,057	0,060
		δ_5	$Y = -0,42X + 41,8$	-0,45	2,99	0,095	0,095
		ψ	$Y = -0,40X + 75,5$	-0,25	4,90	0,091	—

Таблица 4

Y	Уравнение регрессии	r	t_r/t_α	S_n	V_{mg}	$\bar{Y} \pm 2\sigma_Y$	$(\bar{Y} - \hat{Y})_{mg}$
σ_b	$Y = 0,069X + 43,0$	0,68	15,7	1,2	0,025	44,1—51,7	45,7—49,8
σ_t	$Y = 0,055X + 26,7$	0,53	9,2	1,6	0,052	26,4—35,2	28,9—32,1
δ_5	$Y = -0,092X + 35,0$	-0,52	-9,1	2,1	0,075	23,2—32,8	24,2—30,7
σ_b	$Y = 0,1X + 47,2$	0,68	22,1	1,6	0,032	47,2—53,6	48,4—51,4
σ_t	$Y = 0,092X + 32,2$	0,57	15,6	1,2	0,035	31,2—38,8	33,3—36,1
δ_5	$Y = -0,25X + 36,5$	-0,46	-10,3	2,0	0,069	25,2—34,0	26,0—33,4
ψ	$Y = -0,22X + 70,8$	-0,60	-17,2	3,9	0,066	49,7—69,7	61,6—68,1

В табл. 4 приводятся уравнения регрессии между механическими характеристиками σ_b , σ_t , δ_5 , ψ , найденными при испытании разрывных образцов и показаниями коэрцитиметра КИФМ-1а, полученными на ударных образцах из одних и тех же листов из сталей 20к ($h=20$ мм, $N=600$ шт., 24 плавки) и 09Г2 ($h=(18—20)$ мм, $N=1608$ шт., 122 плавки). Пробы для разрывных и ударных образцов вырезали в соответствии с ГОСТ 5520—69 и ГОСТ 5521—67. Корреляционная связь между показаниями коэрцитиметра X и механическими характеристиками Y сталей 20к и 09Г2 надежна и значима. ДИ по X для стали 20к (верхняя группа уравнений в табл. 4) — (28—87) дел. шкалы прибора; $\bar{X} \pm 2\sigma_X$ — (53,9—83,5) дел. шкалы. Для стали 09Г2 ДИ по X — (10—42) дел. шкалы; $\bar{X} \pm 2\sigma_X$ — (12,1—42,1) дел. шкалы. Количество образцов, для которых показания коэрцитиметра вышли за предельы ДИ по X для стали 20к, равнялось нулю, для стали 09Г2 составляло 0,63%.

Институт физики металлов
УНЦ АН СССР

Поступило в редакцию
2 апреля 1976 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев М. Н., Неизвестнов Б. М., Морозова В. М., Сурин Г. В. Дефектоскопия, 1969, № 2, 131.
2. Бида Г. В., Михеев М. Н. Дефектоскопия, 1976, № 5, 121.
3. Аронсон Э. В., Бида Г. В., Камардин В. М., Михеев М. Н., Понер Д. М. Сб. Магнитные методы контроля и структурного анализа, Свердловское областное управление НТО Приборпром, Свердловский Дом техники, ИФМ УНЦ АН СССР, 1976, стр. 10.
4. Бида Г. В., Михеев М. Н., Неизвестнов Б. М. Дефектоскопия, 1974, № 6, 103.