

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ГОРЯЧЕКАТАНОГО ПРОКАТА В ЛПЦ-10

*Морозов С.А., Яценко Н.Л., Капцан Ф.В.,
Лисичкина К.А., Белякова В.И.*

С 2001 г. в ЛПЦ-10 ОАО "ММК" ведутся работы по внедрению неразрушающего контроля механических свойств горячекатаных полос методами математической статистики. В /1/ описаны основные принципы функционирования разрабатываемой автоматизированной системы, обеспечивающей прогнозный расчет механических свойств горячекатаных полос по уравнениям статистической модели учитывающей температуру конца прокатки, смотки, химического состава стали и толщины полосы.

Система прогнозного расчета механических свойств горячекатаных полос строится на базе системы контроля качества стана 2000 и является ее составной частью /2/. На подготовительном этапе внедрения системы:

- сформированы массивы исходных данных и определены корреляционные зависимости механических характеристик горячекатаных полос от технологических параметров их прокатки для различных сортаментных групп;
- модернизирована система сопровождения нормативно-справочной информации стана 2000;
- в систему сопровождения нормативно-справочной информации стана 2000 внесены уравнения для расчета уровня механических свойств горячекатаного листа;
- внесены соответствующие изменения и дополнения в системы формирования технологической карты на партию горячекатаных рулонов, технологического протоколирования, контроля качества готовой продукции;
- разработаны формы выходных документов системы (паспорта качества) и технологии их автоматизированного формирования;
- проработаны организационные мероприятия, связанные с внедрением неразрушающего метода контроля механических свойств в ЛПЦ-10 ОАО "ММК".

На настоящий момент завершены исследовательские проработки и построены регрессионные модели для определения механических свойств проката следующих сортаментов:

- SAE 1006, SAE 1008...SAE 1020 (СТО ММК 352-99);
- 17Г1С, 17Г1СА, 17Г1СА-У, 17Г1С-У (ТУ 14-1-5407-00);

- SPHT – 1, 1(M), 2, 2(M) (СТО ММК 365-99);
- SS 400-1, 2 (СТО ММК 350-99);
- St 37-1, 2 (СТО ММК 344-99);
- Зсп, Зпс (ГОСТ 16523-97, ГОСТ 14637-89).

Все уравнения имеют множественный коэффициент корреляции больше 0,4 и значимы по критерию Фишера F с уровнем значимости 0,05, что позволяет их использовать для статистического неразрушающего контроля /3/. В качестве примера в табл. 1 приведены коэффициенты уравнений регрессии для проката из стали марки Зсп по ГОСТ 14637-89. Статистические характеристики регрессионных моделей приведены в табл. 2.

Таблица 1

Коэффициенты уравнений регрессии для стали марки Зсп по ГОСТ14637-89

Характеристика	Во	ао	С	Mn	S	Al	Тк.пр.
Предел текучести	419,20	-4,13	0	150,3	-443,42	0	-0,167
Временное сопротивление разрыву	387,21	-1,99	307,42	81,08	-313,88	0	0
Относительное удлинение	36,39	-0,47	0	0	0	0	0
Ударная вязкость КСV ⁺²⁰	127,60	2,69	0	0	0	0	0
Механическое старение КСА	104,1	0	-121,87	0	-836,10	0	0
Ударная вязкость КСУ ⁻²⁰	106,5	-1,251	0	0	-798,3	-111,9	0

Таблица 2

Статистические характеристики регрессионных моделей механических свойств стали марки Зсп ГОСТ 14637-89

Характеристика	Коэффициент корреляции	Критерий Фишера	Стандартное отклонение
Предел текучести	0,52	37,722	12,93
Временное сопротивление разрыву	0,50	32,80	10,04
Относительное удлинение	0,42	87,31	1,57
Ударная вязкость КСV ⁺²⁰	0,42	37,28	8,56
Механическое старение КСА	0,49	31,82	9,87
Ударная вязкость КСУ ⁻²⁰	0,56	27,58	9,12

Оценка соответствия результатов определения показателей качества статистическими и разрушающими методами проводилась с помощью контрольных карт, представляющих собой бланки, в левой части которых фиксируются: номер партии-плавки, дата испытания, размер профиля, химический состав стали, результаты контроля показателей качества и их расчетные значения. В правой части контрольной карты располагаются поля с величиной отклонения результатов прямых испытаний от расчетных значений соответствующих показателей:

$$\Delta = [X_{\text{факт.}} - X_{\text{расч.}}]$$

В качестве предельно допустимой величины отклонения каждой из рассчитываемых характеристик принимается удвоенное значение остаточного среднеквадратичного отклонения. Количество отклонений, выходящих за контрольные границы, не должно превышать 5 % за период времени, включающий испытания не менее 50 партий-плавков. В качестве примера в табл. 3 приведен фрагмент контрольной карты стали марки Зсп по ГОСТ 14637-89.

Представление коэффициентов уравнений регрессии и приемочных чисел в электронном виде требует их отнесения к определенному сортаменту продукции. При этом следует учитывать, что описание сортамента с точки зрения неразрушающего контроля не обязательно совпадает с описанием сортамента с точки зрения регламентации технологических режимов. В частности, может потребоваться группировка различных марок стали или нестандартная разбивка по толщине листа. Признано рациональным для хранения и сопровождения констант статистического метода контроля механических свойств продукции использовать существующую систему нормативно - справочного обеспечения стана, позволяющую хранить информацию в древовидной иерархической структуре /4/. С этой целью создан специальный раздел в базе данных технологических нормативов и установлено автоматизированное рабочее место в лаборатории механических испытаний ЛПЦ-10, с помощью которого осуществляется ввод в систему нормативно-справочного обеспечения стана необходимой информации.

Модернизация систем формирования технологической карты на партию горячекатаных рулонов, технологического протоколирования и контроля качества продукции свелось к учету вновь появившегося информационного блока.

Формируемая при посадке партии слябов в нагревательную печь стана технологическая карта пополнена блоком констант для расчета и оценки механических свойств полос:

- определяемый ГОСТом список рассчитываемых на данном сорimente механических характеристик;
- коэффициенты регрессионных уравнений для каждой определяемой характеристики;

приемочные числа для оценки годности полосы по каждой из рассчитываемых характеристик.

Таблица 3

Фрагмент контрольной карты. Сталь марки 3 сп ГОСТ 14637-89

№ парт.	Дата	C	Mn	S	Ткп	Измеренные			Расчетные			Отклонение		
						σ_T	σ_B	δ_5	σ_T	σ_B	δ_5	σ_T	σ_B	δ_5
Предельно допустимая величина отклонения											-25.8	-20.0	-3.2	
1155482	11/09/01	0.16	0.46	0.006	876	330	465	34.5	323.0	463.8	34.6	7.0	1.2	-0.1
2156274	11/09/01	0.19	0.48	0.015	877	330	465	34.5	321.7	471.9	34.6	8.3	-6.9	-0.1
1155484	11/09/01	0.16	0.46	0.006	886	320	475	35.5	318.7	461.9	34.1	1.3	13.1	1.4
2156275	11/09/01	0.19	0.48	0.015	885	330	465	34.5	320.4	471.9	34.6	9.6	-6.9	-0.1
1155483	11/09/01	0.16	0.46	0.006	899	320	480	33.0	319.8	462.9	34.3	0.2	17.1	-1.3
2155921	11/09/01	0.16	0.51	0.014	884	315	470	34.0	323.8	464.4	34.3	-8.8	5.6	-0.3
1155951	11/09/01	0.16	0.5	0.019	884	330	465	34.5	322.8	463.0	34.6	7.2	2.0	-0.1
1155772	11/09/01	0.18	0.52	0.016	877	320	460	35.5	327.6	471.7	34.6	-7.6	-11.7	0.9
2156362	13/09/01	0.19	0.45	0.016	879	320	460	35.5	316.4	469.1	34.6	3.6	-9.1	0.9
2156361	13/09/01	0.19	0.45	0.016	902	320	480	37.5	310.8	467.1	34.1	9.2	12.9	3.4
1156401	13/09/01	0.17	0.49	0.017	868	310	450	36.0	322.2	465.9	34.6	-12.2	-15.9	1.4
2160601	17/09/01	0.15	0.49	0.025	879	290	455	33.5	315.5	455.3	34.1	-25.5	-0.3	-0.6
1162531	21/09/01	0.17	0.5	0.02	890	310	450	36.0	319.5	465.8	34.6	-9.5	-15.8	1.4
1162533	21/09/01	0.17	0.5	0.02	880	310	450	36.0	322.5	465.8	34.6	-12.5	-15.8	1.4

В качестве примера на рис. 1 приведен видео-кадр технологической карты на партию полос марки SAE 1006 по СТО ММК 352-99.

К моменту завершения смотки полосы в рулон на мониторе рабочего места контролера ПУ-21 высвечивается паспорт качества прокатанного рулона, включающий:

- оценку уровня исполнения температурных режимов прокатки;
- оценку геометрических размеров полосы;
- расчетные значения характеристик механических свойств полосы и оценку их соответствия приемочным диапазонам.

Температура				Min	Max	Норма	%	Статус
После 6 клетки		-20	20	1080	92	Замечание		
Конца прокатки (1 гр.)		-15	15	870	96	Брак		
Конца прокатки (2 гр.)		-15	15	900				
Смотки		-15	15	650	90	Брак		

Геометрия				Min	Max	Норма	%	Статус
Допуск по ширине		0	26	1010	92	Брак		
Допуск по толщине		-0.15	0.15	2	92	Брак		

Концы рулона				Min	Max	Норма	dT	Статус
Голова		0	10	5	0	Не задан		
Хвост		0	10	5	0	Не задан		

Кoeffициенты уравнения						
Параметр	Св.член	Толщ.	C	Si	Mn	S
Gt	636.221		929.865	690.881	0	0
Gb	459.668		836.503	573.145	-105.477	-387.091
d50	39.561		-55.122	-79.039	0	0

X Выход

Рис. 1. Технологическая карта на партию полос марки SAE 1006 по СТО ММК 352-99

На рис. 2. приведен пример окна оценки качества рулона марки SAE 1006 по СТО ММК 352-99.

Традиционные испытания на разрыв обычно ограничиваются испытанием образца от головной и хвостовой частей одного рулона из партии. В результате изменения условий процесса прокатки, в особенности скоростей охлаждения, механические свойства, измеренные на концах полосы, не обязательно характеризуют всю ее длину, тем более партию полос в целом. В табл. 3 приведены данные по анизотропии свойств рулонов из стали марки St 37-2 в рамках одной партии. Принципиальное преимущество внедряемой системы по сравнению со стандартными испытаниями заключается в том, что прогнозируемые результаты становятся известными непосредственно после прокатки, охваты-

вают 100 % продукции и более точны, чем единичное испытание пробы в конце полосы (табл. 3).

	Факт				Норматив					
	Средняя	% в доп.	% выше	% ниже	Min	Норма	Max	%	Статус	Закл.
Т б кл.	1084	100.00	0.00	0.00	-20	1080	20	92	Замечание	OK
Т кл	882	100	0	0	-15	870	15	96	Брак	OK
Т см	660	94.46	5.54	0	-15	650	15	90	Брак	OK
Толщ.	2.01	99.73	0.27	0	-0.15	2	0.15	92	Брак	OK
Ширина	1027	100	0	0	0	1010	26	92	Брак	OK

Годеп

Параметр	Значение	Заключение
d50	36.893686	Ok
Gb	367.971607	Ok
Gt	288.172083	Ok

Рис. 2. Оценка качества рулона марки SAE 1006 по СТО ММК 352-99

Таблица 3

Анизотропия свойств рулонов из стали марки St 37-2

N рулона	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
G_{T_2} Н/мм ²	297	283	292	286	292	285	295	283	288	290	288	281	289
G_{B_2} Н/мм ²	424	424	425	427	426	424	427	425	425	427	425	423	425
$\delta_5, \%$	34	35	34	35	34	35	34	35	34	34	34	35	34

При отклонении от ограниченных приемочными числами пределов хотя бы одной контролируемой (механической) характеристики в электронном паспорте партии появляется предупреждение. От помеченных таким образом рулонов должны быть отобраны пробы для прямых испытаний в лаборатории.

Партия считается удовлетворяющей требованиям НТД и аттестуется по результатам статистического контроля, если все расчетные значения контролируемых характеристик потребительских свойств проката не выходят за пределы, ограниченные приемочными числами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яценко Н.Л., Капцан Ф.В., Вознесенский А.А., Надеина И.Ю., Корнилов В.Л. Изучение возможности аттестации механических

свойств готовой продукции ЛПЦ-10 статистическим методом контроля, сборник трудов ЦЛК т.5, 2001 г. С.255-258.

2. Морозов А.А., Урцев В.Н., Капцан Ф.В., Муриков С.А. Принципы построения информационной системы управления качеством продукции на стане 2000 г.п., сборник трудов ЦЛК т.4, 2000 г. С.365-368.
3. ОСТ 14-1-34-90 Статистический приемочный контроль качества металлопродукции по корреляционной связи между параметрами. Раздел 2.
4. Вознесенский А.А., Капцан Ф.В., Урцев В.Н. и др. Система коллективного ведения нормативно-справочной базы технологических режимов, сборник трудов ЦЛК т.4, 2000 г. С.369-377.