

Эксплуатационные свойства прокатных валков из графитового хромистого чугуна

© Ж. Лекомт-Бекерс,
Л. Терзиев, Ж.-П. Брайер
Льежский университет (Бельгия),
Софийский университет (Болгария),
компания "Марешаль Кетен" (Бельгия)

Валки ICDP около 25 лет используют в чистовых клетях станов горячей прокатки полос. Позднее в первых клетях чистовой линии стана начали применять валки из высокочромистого (Ni-Cr) чугуна, которые используют в первых клетях чистовой линии стана. С помощью валков Ni-Cr пытались избежать прилипания к ним полосы в последней чистовой клети вследствие окисления поверхности валков. Аналогичные испытания были проведены для валков HSS, которые эксплуатируются в основном в Японии.

Для валков последней клети чистовой группы характерен быстрый износ, который отрицательно влияет на точность размеров и профиль полосы, а также сокращает период работы валков. Чугун Indefinite Chill, разработанный более 50 лет назад, удачно сочетает такие свойства, как сопротивление термическим напряжениям, возникающим на последних этапах прокатки, и износостойкость.

Современные компактные полосовые станы были разработаны специально для прокатки полосы толщиной менее 1 мм. Валки, использующиеся в последних чистовых клетях этих станов, имеют достаточно малый диаметр (500 – 600 мм). При прокатке особо тонкой полосы износ валков резко возрастает. На рис. 1 показано, что при прокатке полосы толщиной 1,2 мм скорость износа валков на 40 % больше, чем при прокатке полосы 1,5 мм; 0,9 мм — на 160 % больше [1]. Кроме того, степень искривления возрастает пропорционально толщине листа в зависимости от сортамента продукции. В связи с этим при разработке новой марки чугуна для валков чистового участка стана были выдвинуты следующие основные требования: хорошие термические характеристики и поведение при окислении; высокая износостойкость; высокая сопротивляемость различного рода инцидентам при прокатке.

В течение нескольких лет специалисты занимались усовершенствованием валков ICDP. Во время плавки или отливки в металл добавляли очень маленькие твердые частицы, которые диспергировали в корку заготовки после затвердевания, что усиливало износостойкость валка. Компания "Марешаль Кетен" использует дру-

гой метод улучшения характеристик валков последней чистовой клети. Ni-Cr чугун обладает хорошей износостойкостью благодаря присутствию в нем твердых карбидов хрома. Однако у него малые теплопроводность и стойкость к прилипанию полосы. Выделение графита позволяет увеличить теплопроводность, а графит может служить в качестве смазки, предотвращающей прилипание. Путем корректировки химического состава Ni-Cr чугуна можно получить кристаллизованный графит непосредственно после отливки.

Серый (графитовый) хромистый чугун обеспечивает хорошее сочетание термических характеристик, стойкость к окислению и износостойкость. Это сочетание свойств позволяет использовать рабочие валки из этого металла в последних чистовых клетях станов горячей листовой прокатки. В статье обобщены результаты исследований условий формирования графита в высокохромистом чугуне и влияния термической обработки для дестабилизации аустенита при графитизации. Количество и объем свободного графита в значительной степени определяются режимом термической обработки. Некоторые производственные проблемы связаны с остаточными напряжениями.

Сравнение разных типов валков, используемых в чистовых клетях станов горячей прокатки полосы

Термическая усталость валков в процессе горячей прокатки приводит к возникновению трещин на их поверхности. Чтобы уменьшить глубину этих трещин, механические свойства металла должны быть возможно высокими. Кроме того, хорошо диспергированные (рассеченные) карбиды в матрице уменьшают распространение трещин. Поверхность соприкосновения валка и полосы также имеет очень важное значение, поэтому необходимо предотвратить трение между ними, поскольку оно может привести к местному привариванию. Очень важно контролировать оксидный слой на поверхностях валка и полосы. Низкая температура прокатки в последних чистовых клетях означает, что процесс окисления валка должен быть согласован с условиями прокатки.

Валки первых чистовых клетей должны обладать хорошей стойкостью к горячему износу и разгару поверхности. Во многих ШСГП в первых клетях используют валки из высокочромистого чугуна, но содержание 16 – 18 % Cr является причиной малой кинетики процессов окисления, и поэтому такие валки нельзя использовать в последних чистовых клетях. Тем не менее ICDP валки по-прежнему широко используются. Низкое содержание хрома благоприятно влияет на кинетику окисления. Однако валки обладают малой износостойкостью из-за низкой твердости карбидов (Fe_3C).

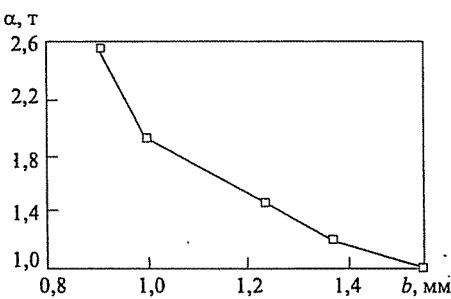


Рис. 1. Зависимость коэффициента износа валка (α) от толщины полосы (b)

Соединение Hi-Cr и ICDP чугунов представляет собой специальный высокохромистый чугун со свободным графитом. Эта новая марка содержит Hi-Cr чугун, карбиды M_7C_3 которого тверже, чем карбиды железа в ICDP чугуне. Свободный графит, препятствующий распространению трещин, является достоинством чугуна ICDP. Кроме того, графит улучшает теплопроводность и может служить в качестве смазки, предотвращающей термическое прилипание (наваривание).

В некоторых работах говорилось, что можно получить кристаллизованный графит сразу после отливки, если модифицировать химический состав Hi-Cr чугуна следующим образом: 2–3 C, 7–9 Cr, 3–5 Ni и 2–3 Si [2, 3].

Экспериментальный валок из серого чугуна имел следующий состав, %:

Сплав	C	Si	Ni	Cr	Mo
ICDP	3,2 – 3,5	0,9 – 1,1	4,2 – 4,5	1,6 – 1,9	0,3 – 0,4
Hi-Cr	2,7 – 2,8	0,4 – 0,6	1,2 – 1,4	17,0 – 18,0	1,2 – 1,4
Hi-Cr + графит	3,3 – 3,5	1,8 – 2,2	4,0 – 5,0	7,0 – 8,0	1,3 – 1,5

Основной целью было определение свойств такого чугуна. По сравнению с Hi-Cr чугуном более высокое содержание кремния и никеля в новом сплаве обеспечило выделение свободного графита и уменьшение содержания хрома. Даже при малом содержании хрома карбиды, присутствующие в структуре, относятся к типу M_7C_3 , а не к Fe_3C , как в ICDP чугунах. На рис. 2 показана микроструктура, которая состоит из сфероидального графита, карбидов малого размера и мартенситной матрицы.

Проанализировали ряд свойств графитового хромистого чугуна с точки зрения применения в валках последних клетей ШСГП. Сразу после литья матрица наружного ("отбеленного") слоя рабочего валка состоит из мартенсита и остаточного аустенита. В процессе термической обработки остаточный аустенит превращается в мартенсит. Термообработка осуществляется в температурном диапазоне, в котором низкое содержание аустенита связано с высокой твердостью. На рис. 3, а, б показано, что для ICDP и Hi-Cr чугунов твердость 74–81 HS может быть достигнута при низком содержании остаточного аустенита. У графитового (серого) хромистого чугуна твердость составила 78–83 HS при низком содержании остаточного аустенита (рис. 3, в).

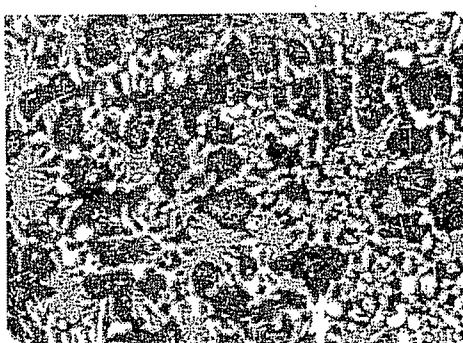


Рис. 2. Микроструктура графитового хромистого чугуна

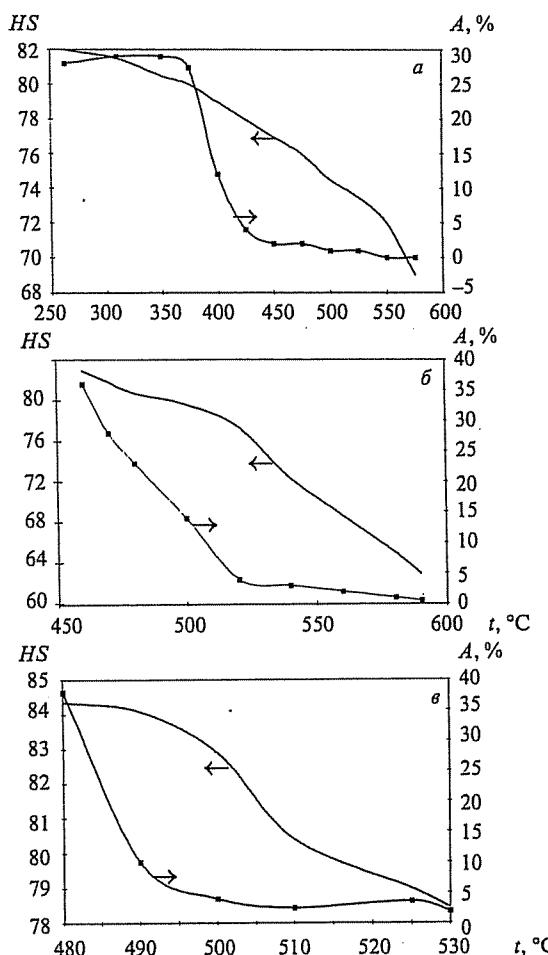


Рис. 3. Твердость (HS) и остаточное содержание аустенита (A) в чугуне после термической обработки: а — ICDP; б — Hi-Cr; в — графитовый хромистый чугун

Температура в очаге деформации, где происходит контакт полосы и валка, колеблется от 500 до 600 °C. Известно, что высокая твердость металла при этих рабочих температурах обеспечивает хорошую износостойкость.

Твердость разных сплавов в горячем состоянии приведена на рис. 4. Чугуны Hi-Cr и графитовый хромистый имеют большую твердость, чем ICDP чугун. Можно ожидать, что при эксплуатации валков из этого материала их износостойкость также будет выше, чем у ICDP валков.

Механические свойства чугунов при сжатии и растяжении при 20 °C были следующие:

Сплав	Временное сопротивление разрыву при сжатии, МПа	Удлинение при разрыву при сжатии, %	Временное сопротивление разрыву при растяжении, МПа	Твердость HV30
ICDP	1800 – 2500	1 – 3	350 – 450	650 – 700
Hi-Cr	2000 – 2800	5 – 10	700 – 800	600 – 650
Hi-Cr + + графит	2600 – 2800	2 – 3	550 – 600	690 – 710

Механические свойства графитового хромистого чугуна при сжатии (давлении) выше, чем у ICDP и Hi-Cr чугуна. Однако относительное удлинение достаточно невелико, что увеличивает риск возникновения

проблем во время прокатки. Большая температура при термической обработке позволяет увеличить давление. Временное сопротивление разрыву при растяжении у графитового хромистого чугуна выше, чем у ICDP. Модуль упругости при комнатной температуре составляет 200000 МПа.

Наваривание полосы на валок в последних клетях станов горячей прокатки часто связано с окислением. Кинетика окисления валка во влажной атмосфере была определена путем моделирования условий в очаге деформации. Образцы испытуемых материалов помещали в трубчатую печь при 575 °С на 24 ч. На рис. 5 показана лабораторная установка, которая применялась для экспериментов. В печь подавали влажный воздух, насыщенный влагой при 60 °С. Результаты опытов приведены на рис. 6.

ICDP чугун оказался наиболее чувствительным к окислению. Этот результат подтверждается и промышленным опытом. Чугун Hi-Cr имеет медленную кинетику окисления, а у графитового хромистого чугуна она намного быстрее. По мнению авторов, проблему прилипания полосы к валку можно решить с помощью нового сплава.

Графитовый хромистый чугун является прекрасной альтернативой производству валков для последних чистовых клетей. Валками из этого чугуна могут быть заменены ICDP валки. Отпуск при 500 – 600 °С обеспечивает твердость металла около 80 H_S и низкое содержание остаточного austenита. Твердость в горячем состоянии в этом диапазоне больше, чем у ICDP, что обеспечивает высокую износостойкость в горячем состоянии. Механические свойства также лучше, чем у ICDP валков; кинетика их окисления позволяет решить проблему прилипания полосы к валку.

Полученные результаты являются стимулом для оптимизации свойств графитового хромистого чугуна. Необходимо отметить, что наличие в чугуне графита, по мнению авторов, сдерживает развитие трещин и увеличивает теплопроводность. Кроме того, графит может служить смазкой, предотвращающей термическое прилипание.

Очень важными являются форма и количество графита. Поэтому были проведены лабораторные ис-

HRA

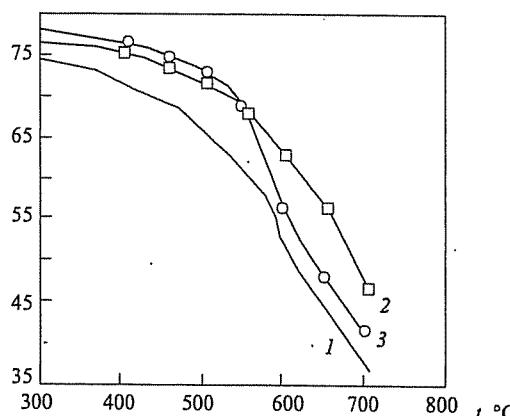


Рис. 4. Твердость чугунов ICDP (1), Hi-Cr (2) и графитового хромистого (3) в горячем состоянии

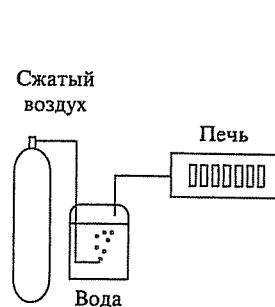


Рис. 5. Лабораторная установка для исследования процесса окисления

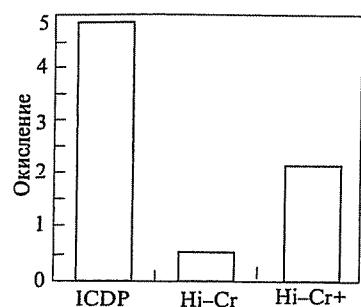


Рис. 6. Поведение ICDP, Hi-Cr и графитового хромистого чугунов при окислении

следования, чтобы улучшить выделение графита при затвердевании и термической обработке.

Изучение процесса выделения графита

Для изучения структурных преобразований и выделения графита использовали дифференциальный термический анализ (DTA). На рис. 7 показана схема эксперимента. Во время анализа образец нагревался (или охлаждался) в режиме, который обеспечивал эндо- или экзотермическое превращение. Разницу между температурой образца и заданной контролировали путем корректировки времени или температуры. Дифференциальный термический анализ позволяет определить любое, даже самое малое превращение (оплавление, затвердевание, распад и др.).

В начале процесса затвердевания графитового хромистого чугуна исследовали методом DTA. Температуру образца поддерживали на уровне 1500 °С (жидкое состояние), затем охлаждали до 400 °С с постоянной скоростью 2 °С/мин (рис. 8). В процессе затвердевания при высоких температурах наблюдались три максимума (t_h , t_{max} , t_k — температуры начала, максимальная и конца процесса):

Максимум	t_h , °С	t_{max} , °С	t_k , °С
1	1491,09	1435,32	1360,32
2	1360,32	1348,78	1331,47
3	963	950	921,86

Максимумы 1 и 2 относятся к формированию карбидов M_7C_3 и эвтектики $M_7C_3-\gamma$; максимум 3 — к формированию первичного графита. Максимальная температура графитового пика (950 °С) такая же, как и в максимуме 3.

Без присутствия никеля и кремния очень трудно получить графит. Количество графита определяется химическим составом сплава и скоростью затвердевания. Очень трудно добиться увеличения его содержания, если задан определенный химический состав, обеспечивающий требуемые свойства материала для изготовления прокатных валков, а скорость затвердевания определена применяемой технологией.

Опытный валок был получен способом вертикального центробежного литья. Единственный способ увеличения количества графита — обеспечить с помощью термической обработки выделение вторичного графи-

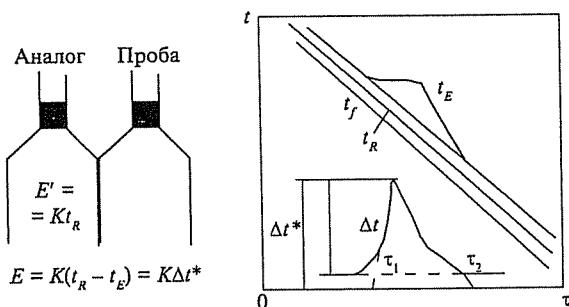


Рис. 7. Схема проведения дифференциального термического анализа

та. Процесс формирования вторичного графита во время высокотемпературной обработки исследовали методом дифференциального теплового (DTA) и рентгеноструктурного (RX или XR) анализа. Было установлено, что графит выделяется во время затвердевания при 950°C , поэтому при термической обработке температура была выше, чем при выделении графита, но ниже, чем при выделении карбидов. В этом случае термическая активация превращения более благоприятна, т.е. диффузия атомов углерода и их выделение в виде графита протекает намного легче.

Образцы нагревали до $1000 - 1050$ и 1200°C , выдерживали при этой температуре в течение 30 мин, затем охлаждали. Превращения при нагреве и охлаждении исследовали методом DTA. Во время специальной термической обработки матрица превращалась в austenit. Кроме того, было отмечено растворение карбидов хрома и первичного графита. В процессе охлаждения атомы углерода образовывали скопления, а при температуре выделения графита превращались в мелкие выделения.

Температура образования вторичного графита во время охлаждения увеличивается по мере роста температуры термической обработки, $^{\circ}\text{C}$: 960 при 1000 , 965 при 1050 , 985 при 1200 соответственно. В результате термической активации при более высокой температуре обработки движение атомов углерода и их концентрация происходит легче. Такая термообработка обеспечивает высокую степень выделения вторичного графита.

Для проверки и подтверждения этих результатов применяли методы дифференциальной калориметрии, дилатометрии и резистометрии. С помощью этих методов изучали изменение свойств (теплоемкости, теплового расширения, удельного сопротивления) в зави-

симости от структуры и температуры. Дифференциальная резистометрия считается очень чувствительным методом микроструктурных превращений. Его использовали для проверки результатов DTA. Этот метод подтвердил, что температура выделения вторичного графита возрастает вместе с температурой термообработки, а также скоростью охлаждения:

Температура термообработки, $^{\circ}\text{C}$	Скорость охлаждения, $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$	Максимальная температура образования графита, $^{\circ}\text{C}$
1000	5	963
1000	1,25	971
1100	5	965
1100	1,25	980

Полученные результаты были подтверждены в ходе калориметрического и дилатометрического анализов [4]. После термообработки, дифференциального термического и резистометрического анализа была исследована микроструктура образцов. Результаты исследований подтвердили гипотезу авторов о количестве графита. Образцы были исследованы с помощью растрового электронного микроскопа.

На рис. 9 показана микроструктура образца, термообработанного в ходе DTA. В образце определили присутствие карбидов и графитовых чешуек, однако количество графита было больше, чем в образце сразу после литья. Установили также, что количество графита увеличивалось при повышении температуры обработки. Для дестабилизации получили 3 % графита при термообработке при 950°C , 6 % — при 1100°C , 10 % — при 1200°C . Количество графита в необработанном образце составляло 1–2 %.

Эти результаты соответствуют результатам DTA и резистометрического анализа. Концентрация углерода больше после обработки при более высоких темпера-

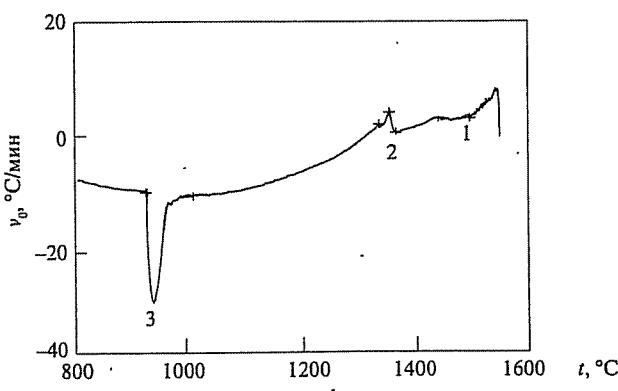


Рис. 8. Кривая затвердевания графитового хромистого чугуна

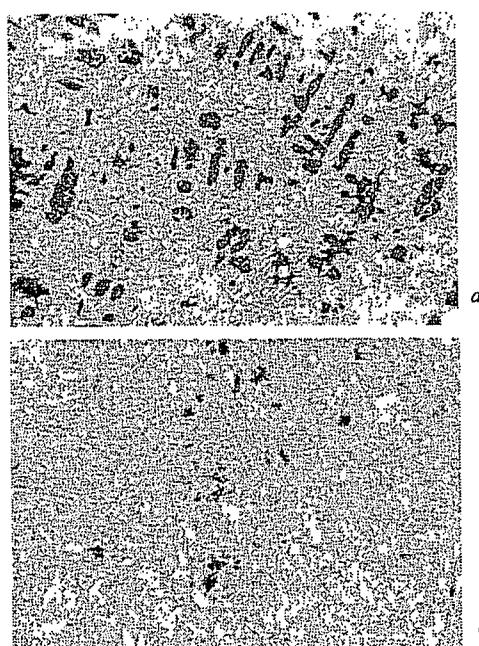


Рис. 9. Микроструктура образцов термически обработанных (а) и в литом состоянии (б)

ратурах, что обеспечивает формирование больших скоплений в процессе охлаждения. RX-исследования этих образцов дали те же результаты. Интенсивность максимума, соответствующего графиту, достаточно слаба в образце сразу после литья (рис. 10, а). Графит образуется в процессе термообработки (рис. 10, б). Интенсивность этого пика выше после обработки в ходе ДТА при 1100 °C (кривая 1), чем при 1000 °C (кривая 2). Очевидно, выделение графита происходит во время термообработки в основном путем растворения комплексных карбидов хрома [5].

Заключение

Графитовый (серый) хромистый чугун обладает хорошими свойствами, обеспечивая оптимальные сочетания термических характеристик, способности к окислению и износостойкости, что позволяет использовать этот сплав для изготовления рабочих валков для последних чистовых клетей станов горячей листовой прокатки. Результаты исследований показали, что выделение графита в хромистом чугуне с высоким содержанием Ni и Si сразу после литья происходит при 950 °C. Количество графита может быть увеличено до 10 % при выделении вторичного графита, что может быть достигнуто путем высокотемпературной дестабилизации аустенита. Форма и количество графита зависят от режима термической обработки. Количество вторичного графита увеличивается после термической обработки при более высоких температурах. Установили, что графит выделяется при растворении карбидов хрома M_7C_3 в процессе термической обработки.

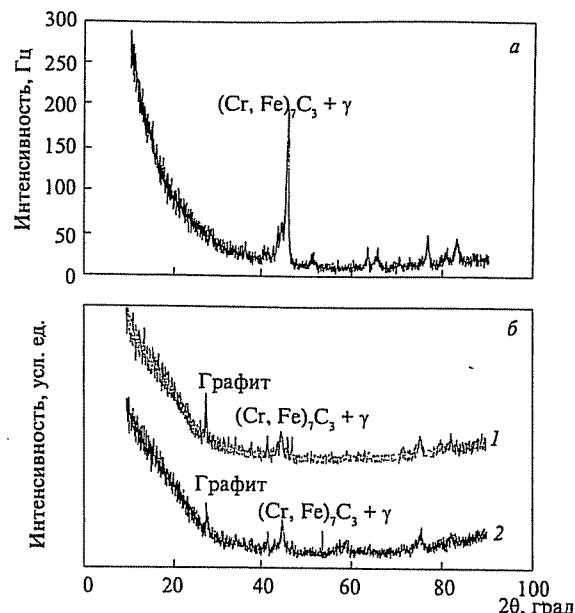


Рис. 10. Рентгеновский спектр (RX) образцов в литом состоянии (а) и полученных методом ДТА (б)

Библиографический список

1. Leduc Lesama L. A., Munozbaca J. M. Operation experience rolling ultra light hot strip // ISM. 1998. February. P. 25 – 31.
2. Chang K., Kim D. G., Choi J. W. // ISIJ International. 1992. V. 32. № 11. P. 1163 – 1169.
3. Ono Y., Shimizu R., Murai N., Ogi K. // Imonko JNL Japan Foundrymens Soc. 1991. V. 63. P. 340 – 346.
4. Terziev L., Lecomte-Beckers J., Gojnov V. // J. Chim. Phys. 1997. V. 94. P. 1107 – 1115.
5. Lecomte-Beckers J., Terziev L., Breyer J. P. // Graphitisation in chromium iron, 39-th Mechanical working and Steel processing Conference. ISS. V. XXXV. P. 423.

УДК 621.793

Уменьшение разнотолщины оловянного покрытия

Объемы производства жести с тонкими оловянными покрытиями на комбинате постоянно возрастают. В связи с необходимостью доведения качества продукции до уровня мировых стандартов особенно актуальной стала задача улучшения равномерности распределения олова на стальной основе. При оценке технического состояния узла лужения было установлено, что поперечная разнотолщина покрытия в основном зависит от состояния растворимых оловянных анодов (равномерности и степени выработки) и температуры электролита, определяющей его рассеивающую способность.

© Т. И. Белоусова, К. Ю. Сотников,
В. И. Чернова, И. А. Гагауз
АООТ "Испат Кармет"

Используемая схема размещения оловянных анодов (рис. 1, а) позволяет непрерывно заменять их по мере отработки без остановки агрегата. Анодные мосты расположены под углом к полосе и параллельно друг другу. Однаковые расстояния между полосой и анодами должны обеспечиваться за счет разной степени выработки анодов и их постепенного перемещения вдоль моста. Однако при использовании такой схемы получается значительная разнотолщина покрытия, так как не обеспечивается равномерная степень выработки и своевременная замена оловянных анодов.

Характеристика превышения массы II класса покрытия по данным толщинометра

Схема	Масса покрытия по ГОСТ 13345, %		Колебания превышения массы покрытия, г/м ²	Частотное распределение превышения (г/м ²) массы покрытия, %			
	норма	превышение		0,01 – 0,19	0,20 – 0,49	0,50 – 0,99	1,0 – 2,0
Существующая	22	78	0,01 – 2,13	21	30	31	18
			0,59				
Эквидистантная	33	67	0,01 – 1,71	30	43	23	4
			0,34				