



*The new technology of double protective galvanic coat was developed on the basis of investigations of protective coats of muffs and crystallizers plates for sorted and bloom MNLZ and applying of this coat on muffs and crystallizers plates in conditions of RUP "BMZ" was assimilated.*

А. В. ДЕМИН, С. М. БОРЩОВ, В. А. НИКОЛАЕВ, И. В. ГОРЕВОЙ, РУП «БМЗ»

УДК 669.

## ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ ГИЛЬЗ И ПЛИТ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ

Кристаллизатор является основным технологическим узлом машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Качество непрерывнолитых заготовок и производительность МНЛЗ напрямую зависят от конструкции кристаллизатора, а также от параметров защитного покрытия его рабочей поверхности.

В производстве используют различные виды защитных покрытий: одно- и многослойные. Покрытия могут наноситься на рабочие поверхности деталей электрохимическим путем, напылением, накаткой. К защитным покрытиям предъявляются ряд определенных требований: высокая износостойкость, твердость, низкая смачиваемость жидкой сталью, высокая адгезия покрытия с медной основой кристаллизатора, а также достаточная теплопроводность покрытия, позволяющая обеспечить отвод тепла, небольшая разница в коэффициентах теплового расширения покрытия и основы.

Искомым результатом проведения работы по внедрению новых видов покрытий является получение таких видов покрытий, которые позволят увеличить износостойкость и долговечность кристаллизаторов, а также снизить издержки на их производство и эксплуатацию.

Основными патентодержателями в сфере технологий нанесения защитных гальванических покрытий кристаллизаторов являются японские специалисты. В соответствии с изобретениями защитные покрытия могут состоять из нескольких слоев: от одного до трех. Существует ряд вариантов покрытий:

- 1) один рабочий слой хрома;
- 2) промежуточный слой из никеля (кобальта) и рабочий слой хрома;
- 3) два промежуточных слоя: никель, сплав никель (кобальт)–фосфор с массовым содержанием фосфора от 3 до 20% или сплав никель (кобальт)–бор с массовым содержанием бора от 2 до 15%, рабочий слой хрома.

Недостатком перечисленных покрытий являются большие издержки производства, в том числе затраты на дорогостоящие реактивы, лабораторный контроль состояния электролитов, проведение дополнительных операций по подготовке деталей к нанесению покрытий.

Также следует отметить, что защитные покрытия из никель (кобальт)–фосфора и хрома или никель (кобальт)–бора и хрома имеют низкие теплопроводность, коэффициент теплового расширения и узкий спектр рабочих температур. Защитные однослойное покрытие из никеля (кобальта) и двухслойное покрытие из никеля (кобальта), никель (кобальт)–бора с массовым содержанием бора от 0,05 до 1,5 % имеют не высокую долговечность и износостойкость.

Для повышения износостойкости покрытий применяются технологии конусообразного и ступенчатого нанесения покрытий различной конфигурации. Толщина покрытий, наносимых данным способом, изменяется от 50–200 мкм в верхней части до 200–1000 мкм в нижней части кристаллизатора, что усложняет технологический процесс и приводит к дополнительным затратам. Одним из недостатков данной технологии является влияние толщины покрытия на уменьшение его теплопроводности, что может привести к термической деформации кристаллизаторов, снижению их стойкости, образованию поверхностных дефектов при разливке заготовок. Для компенсации последствий снижения теплопроводности покрытия применяются медные сплавы, содержащие серебро и имеющие более высокую температуру рекристаллизации.

На РУП «Белорусский металлургический завод» с 1987 г. проводили нанесение защитного покрытия на рабочую поверхность гильз и плит кристаллизаторов по японской технологии: однослойного хромового покрытия (заявка №52-56016 заявлена 05.11.76, №50-132154) и трехслойного покрытия никель-полианит (никель-фосфор)–

—хром («Кавасаки сэйтену тихо». 1987. Т.19. №1. С. 52–57). Данные технологии были предоставлены на РУП «БМЗ» итальянской фирмой «Даниели».

Недостатком используемого на БМЗ однослойного хромового покрытия являлась его низкая износостойкость вследствие небольшой толщины (80 мкм). Увеличение толщины покрытия до 150 мкм значительно повышает его износостойкость, но при этом уменьшается теплопроводность покрытия, что приводит к термической деформации кристаллизаторов, оказывающей влияние на качество поверхности разливаемых заготовок.

На основании изложенного выше на РУП «БМЗ» была поставлена задача создать защитное гальваническое покрытие, обладающее требуемыми эксплуатационными характеристиками: высокими износостойкостью и твердостью, низкой смачиваемостью жидкой сталью, высокой адгезией покрытия с медной основой, достаточной теплопроводностью, позволяющей обеспечить отвод тепла, небольшой разницей в коэффициентах теплового расширения покрытия и основы. Для решения этой задачи, а также для увеличения ресурса работоспособности кристаллизаторов, повышения качества литой заготовки, снижения потерь ручьев ввиду выхода из строя кристаллизаторов была проведена исследовательская работа по нанесению на гальваническом участке РМЦ различных видов защитных покрытий на рабочие поверхности гильз и плит кристаллизаторов и последующему испытанию кристаллизаторов с опытным покрытием на МНЛЗ.

В соответствии с разработанной методикой проведения работ использовали два варианта защитных покрытий:

- 1) промежуточный слой никеля и рабочий слой хрома, нанесенный в стандартном электролите хромирования;
- 2) промежуточный слой никеля и рабочий слой хрома, нанесенный в стандартном электролите с добавкой «СК».

Нанесение гальванического покрытия (вариант 1) проводили на гальванической линии РМЦ без использования дополнительного оборудования. В технологическом процессе не было задействовано оборудование для подготовки и электрохимического осаждения слоя никель–фосфор.

Для нанесения гальванического покрытия (вариант 2) в РМЦ была изготовлена дополнительная ванна для хромирования вместимостью 400 дм<sup>3</sup>. Экспериментальная ванна, наполненная электролитом хромирования с добавкой «СК», была погружена внутрь основной ванны хромирования для обеспечения требуемого нагрева опытного электролита хромирования. Электрохимические параметры процессов нанесения гальванических покрытий (варианты 1 и 2) соответствовали друг другу (за исключением использования дополнительной ванны хромирования).

Испытание кристаллизаторов с опытным гальваническим покрытием проводили на МНЛЗ-1, 2 параллельно с промышленным испытанием и эксплуатацией гильз кристаллизаторов конструкции «ВМ-sin», произведенных на АХК «ВНИИ-МЕТМАШ».

Для проведения испытаний при разливке стали на МНЛЗ-1, 2 использовали 114 гильз «ВМ-sin», из них 56 гильз покрывали измененным составом двухслойного покрытия на гальваническом участке РМЦ РУП «БМЗ», сравнительные 40 гильз с защитным покрытием АХК «ВНИИМЕТМАШ» и 18 гильз, покрытых однослойным покрытием (хромом), на гальваническом участке РМЦ РУП «БМЗ».

По результатам испытаний максимальная стойкость 40 гильз с защитным покрытием АХК «ВНИИМЕТМАШ» составила 607 плавов, минимальная – 37 плавов, средняя – 264 плавки, 18 гильз с однослойным покрытием на гальваническом участке РМЦ, где максимальная стойкость 408, минимальная – 100 и средняя – 259 плавов.

В то же время стойкость гильз с измененным составом защитного двухслойного покрытия, разработанного на РУП «БМЗ», составила: максимальная – 1335 плавов, минимальная – 377, средняя – 578 плавов. При этом стойкость четырех гильз превысила 1000 плавов.

В качестве примера на рис. 1, а, б приведены диаграммы замеров геометрии гильзы до установки в кристаллизатор и по окончании использования гильзы № БМЗ-34 с однослойным покрытием АХК «ВНИИМЕТМАШ», стойкость которой составила 555 плавов, на рис. 2, а, б – диаграммы гильзы № БМЗ-49 с однослойным покрытием, выполненном на гальваническом участке РМЦ, со стойкостью 374 плавки, на рис. 3, а, б – диаграммы замеров гильзы № БМЗ-88 с измененным составом защитного двухслойного покрытия, стойкость которой составила 1305 плавов.

Из рисунков очень хорошо просматривается зависимость защитного покрытия на изменение геометрических размеров по износу в процессе эксплуатации гильз.

Гильза с двухслойным защитным покрытием после прохождения по стойкости 1335 плавов имеет качество внутренней поверхности выше, чем аналогичная гильза с однослойным покрытием и стойкостью в пределах 300 плавов (рис. 4).

В процессе проведения исследовательской работы на гальваническом участке РМЦ на плиты кристаллизаторов наносили защитное покрытие следующего состава: вариант 1а, 2а – слой никеля толщиной 865 мкм, слой хрома толщиной 40 мкм; вариант 1б, 2б – слой никеля толщиной 845 мкм, слой хрома толщиной 60 мкм; вариант 1в, 2в – слой никеля толщиной 885 мкм, слой хрома толщиной 20 мкм.

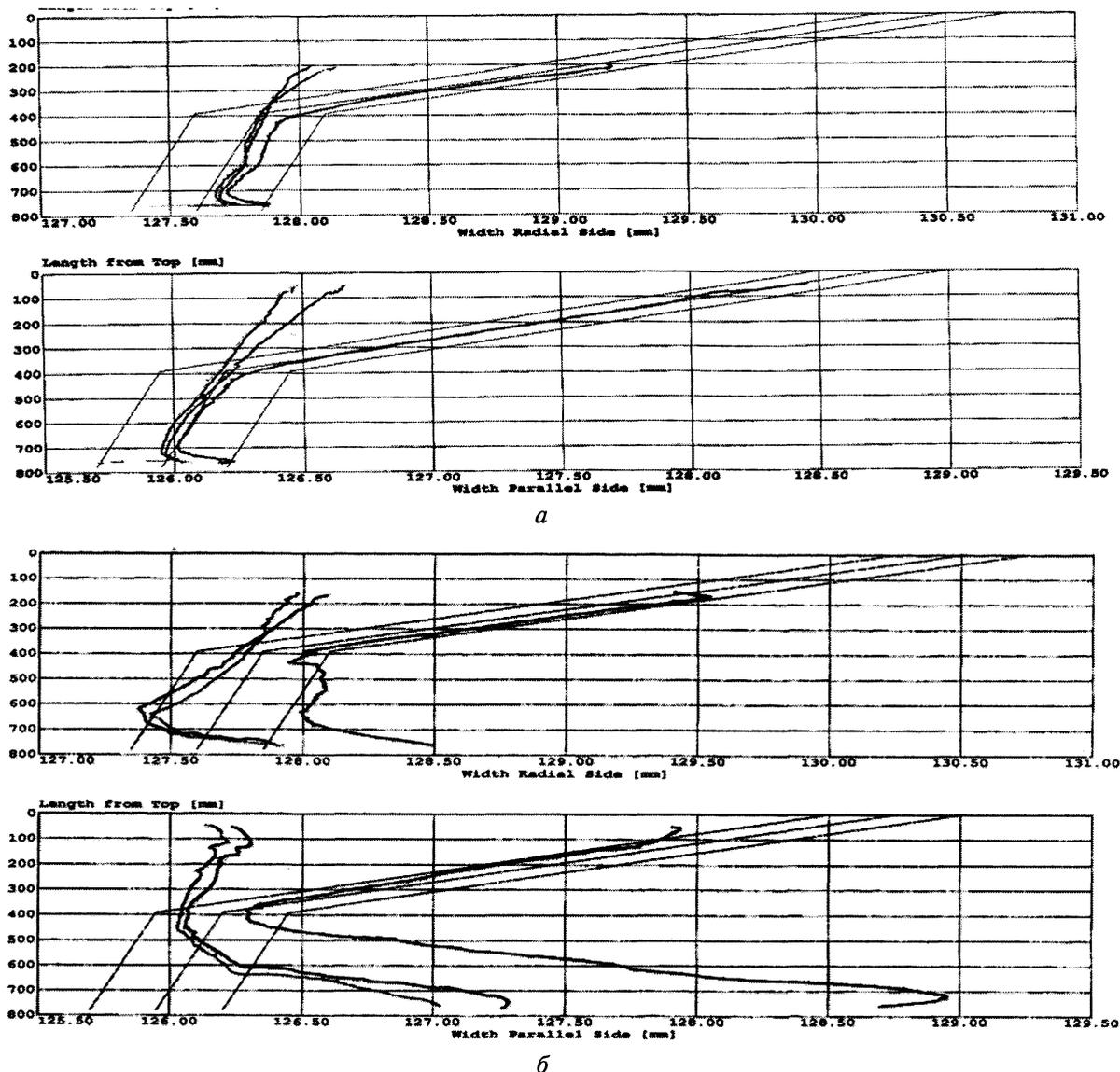


Рис. 1. Диаграмма замера гильзы № БМЗ- 34 с однослойным покрытием перед установкой (а) и после прохождения 555 плавков (б)

Проведение испытаний кристаллизаторов с опытным защитным покрытием на МНЛЗ-3 показало, что средняя стойкость шести комплектов плит с защитным покрытием (вариант 1а) и трех комплектов плит с защитным покрытием (вариант 2а) составила 363 плавки, что ниже средней стойкости комплектов плит с трехслойным защитным покрытием, наносимым по японской технологии, которая составляет 460 плавков; средняя стойкость 18 комплектов плит с защитным покрытием (вариант 1б) и трех комплектов плит с защитным покрытием (вариант 2б) составила 571, что на 111 плавков превышает среднюю стойкость трехслойного покрытия на момент проведения испытания; максимальная стойкость трех комплектов плит с защитным покрытием (вариант 1в) составила 28 плавков. Толщина рабочего слоя хрома 20 мкм не позволяет получить требуемых эксплуатационных характеристик защитного покрытия.

На основании результатов проведенной исследовательской работы сделан вывод о том, что наиболее приемлемым для нанесения на рабочие поверхности плит кристаллизаторов МНЛЗ-3 является гальваническое покрытие, состоящее из промежуточного слоя никеля толщиной 845 мкм и рабочего слоя хрома толщиной 60 мкм.

В процессе проведения испытаний плит с опытным защитным покрытием отслоения покрытий не наблюдалось.

На основании проведенной исследовательской работы, положительных результатов испытаний гильз и плит кристаллизаторов с опытным защитным покрытием на МНЛЗ на РУП «БМЗ» разработана новая технология нанесения двухслойного защитного покрытия.

Технологический процесс нанесения защитного покрытия включает в себя следующие операции.

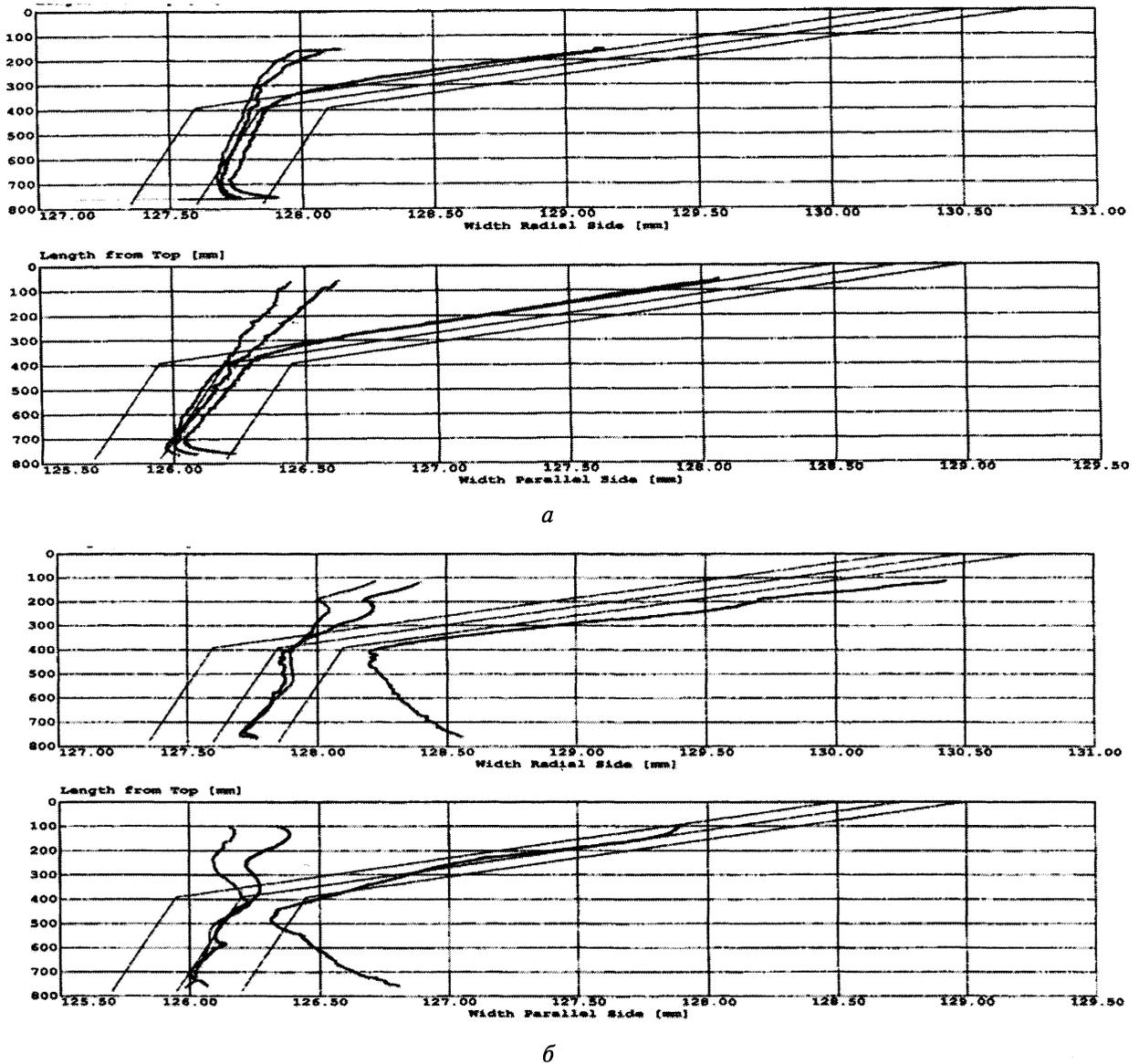


Рис. 2. Диаграмма замера гильзы № БМЗ- 49 с однослойным покрытием перед установкой (а) и после прохождения 374 плавков (б)

1. Электрохимическое обезжиривание деталей в щелочном электролите с массовой концентрацией гидроксида натрия от 170 до 230 г/дм<sup>3</sup>, при температуре окружающей среды и плотности тока 10 А/дм<sup>2</sup>.

2. Промывка и протирание рабочей поверхности детали с использованием моющего средства, пемзы и растворителя.

3. Промывка рабочей поверхности детали 10%-ным раствором соляной кислоты и 4%-ным раствором сульфаминовой кислоты.

4. Электрохимическое никелирование в сульфатном электролите с массовыми концентрациями компонентов: сульфат никеля – от 370 до 470 г/дм<sup>3</sup>, бромид никеля – от 2 до 4, борная кислота – от 20 до 30, примеси железа – не более 0,1 г/дм<sup>3</sup> при температуре электролита от 50 до 58 °С, рН от 2,8 до 3,2, плотностях тока от 0,5 до 2 А/дм<sup>2</sup> в течение 2,5–2,8 ч (никелирова-

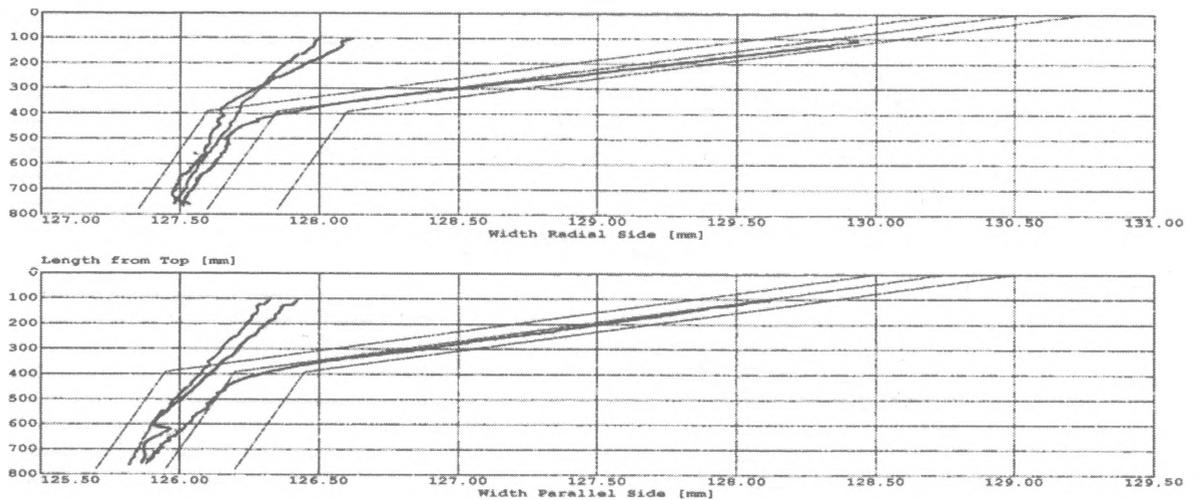
ние гильзы) или 85,0–85,7 ч (никелирование плиты).

5. Механическая обработка промежуточного слоя никеля на рабочей поверхности.

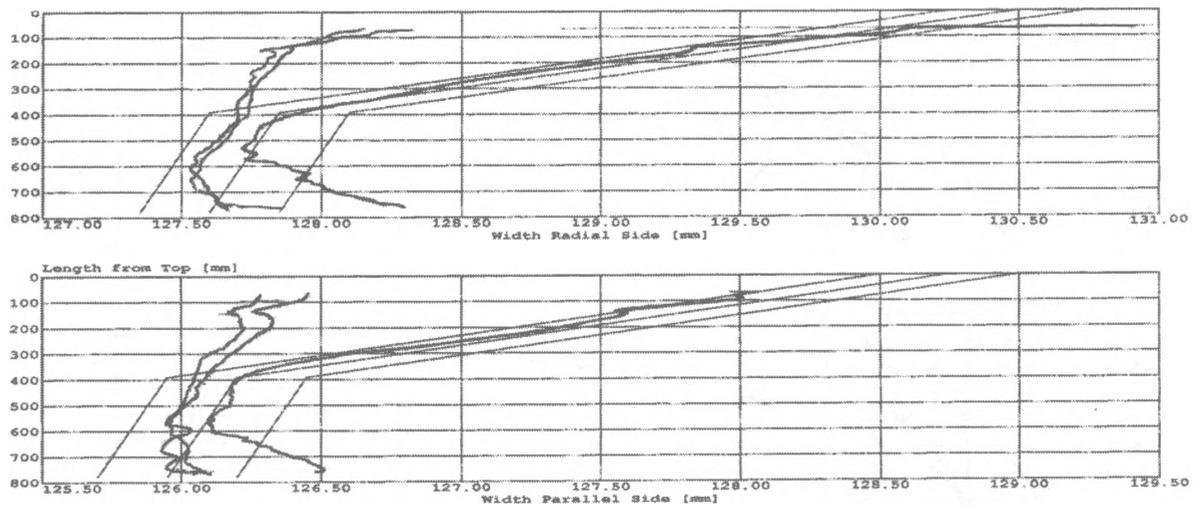
6. Промывка и протирание слоя никеля с использованием моющего средства, пемзы, кальцинированной соды и растворителя.

7. Электрохимическое хромирование в стандартном электролите хромирования с массовыми концентрациями компонентов электролитов: хромовый ангидрид – от 230 до 270 г/дм<sup>3</sup>, серная кислота – от 2,3 до 2,7, трехвалентный хром – не более 7, хлориды – не более 5, сульфаты – не более 2,7, примеси железа – не более 18 г/дм<sup>3</sup> при температуре от 50 до 60 °С, плотностях тока от 20 до 50 А/дм<sup>2</sup> в течение 5,0–5,1 ч (хромирование гильзы) или 6,0–6,1 ч (хромирование плиты).

8. Промывка и протирание детали с использованием растворителя.



a



b

Рис. 3. Диаграмма замера гильзы № БМЗ- 88 с двухслойным покрытием перед установкой (a) и после прохождения 1305 плавков (б)

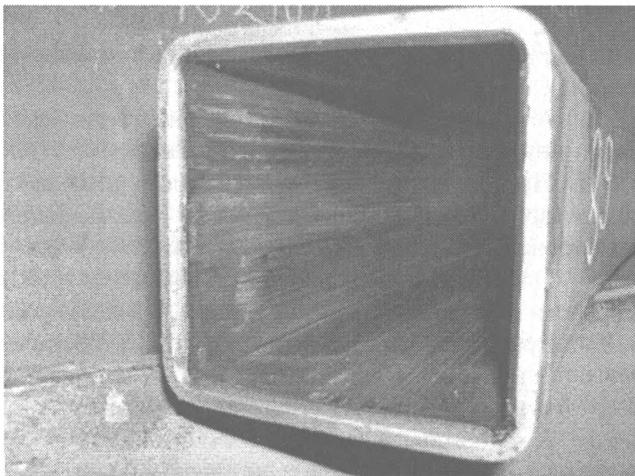


Рис. 4. Вид гильзы № БМЗ- 89 с двухслойным покрытием после прохождения 1335 плавков

Решение поставленной задачи обеспечивается за счет высокой износостойкости рабочего слоя хромового покрытия, его хороших свойств трения. Толщина наносимого слоя хрома лежит в диапазоне, обеспечивающем наиболее эффективное соотношение износостойкости и теплопроводности. Недостаток сцепляемости хромового покрытия с медной основой устранен за счет нанесения на медную рабочую поверхность промежуточного слоя никеля, имеющего хорошую теплопроводность, и который увеличивает износостойкость всего покрытия. Основное требование при нанесении покрытия – равномерные толщины никелевой подложки на медной основе кристаллизаторов и рабочего слоя хрома, которые должны составлять:

- на плитах: слой никеля – не менее 850 мкм, слой хрома – 100–110 мкм;
- на гильзах: слой никеля – 35–40 мкм, слой хрома – 60–70 мкм.

При этом для покрытия толщиной 95–110 мкм отклонение толщины покрытия составляло в среднем 15–20 мкм (при нанесении одно- и трехслойного покрытий на гальваническом участке РМЦ отклонения толщины покрытия достигали 30 мкм).

#### Выводы

Внедрение на РУП «БМЗ» технологического процесса электрохимического нанесения двухслойного защитного покрытия позволило:

1) увеличить износостойкость кристаллизаторов в процессе их эксплуатации, получить необходимую теплопроводность стенки кристаллизатора, уменьшить термическую деформацию плит и

гильз кристаллизаторов, тем самым снизить количество поверхностных дефектов и улучшить макроструктуру литой заготовки, повысить ее качество;

2) увеличить стойкость гильз кристаллизаторов в среднем с 250 до 465 плавов (в два раза) при скорости разливки до 3,2 м/мин, стойкость плит кристаллизаторов сохранить на уровне 700 плавов, но при этом исключить использование дорогостоящего сплава меди с серебром;

3) сократить потребность в гильзах и плитах кристаллизаторов и снизить издержки на их производство.