

На правах рукописи

ГОРБУНОВ АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА  
ХОЛОДНОКАТАНОЙ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ С ТРЕБУЕМЫМИ  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МИКРОТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ  
АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Специальность 05.16.05 – Обработка металлов давлением

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Магнитогорск – 2011

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук,  
профессор  
Белов Валерий Константинович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Огарков Николай Николаевич;

кандидат технических наук  
Пудов Евгений Андреевич.

Ведущая организация - ОАО «АВТОВАЗ», г. Тольятти.

Защита состоится 26 апреля 2011г. в 15.00 на заседании диссертационного совета Д 212.111.01 при ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, г.Магнитогорск, пр. Ленина, 38, МГТУ, малый актовй зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Автореферат разослан «\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2011г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

В.Н. Селиванов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Производство современных автомобилей остается важнейшим показателем экономики страны и является одним из важнейших стимуляторов развития черной металлургии всего мира. Кузов современного автомобиля — предмет особого внимания автомобилестроителей. Качество поверхности первостепенно для внешних видовых деталей кузова (капот, двери, крылья, багажник, крыша), которые являются «лицом» автомобиля. В настоящее время, требования зарубежных и отечественных предприятий автомобилестроения к микротопографии поверхности автолиста ужесточились. Тщательное исследование этих требований показывает, что их ужесточение выражается в следующем:

1. Замена фильтра для выделения профиля шероховатости. Фильтр 2RC только с длинноволновой границей пропускания  $\lambda_c = 0,8$  мм заменен на полосовой фильтр Гаусса с длинноволновой границей пропускания  $\lambda_c = 2,5$  мм и с коротковолновой границей  $\lambda_s = 0,008$  мм.

2. Для топологии шероховатой поверхности, когда профиль представляется как случайный процесс, выполняется следующее соотношение параметров  $R_a$  и  $P_c$ :

$$R_a = A \cdot (1 / P_c)^n,$$

где  $A$  и  $n$  — коэффициенты, зависящие от вида обработки поверхности,  $R_a$  — среднеарифметическое отклонение профиля,  $P_c$  — число пиков на 1 см профиля. Обычно  $n$  близко к 1. Поэтому требования одновременно увеличения параметров  $R_a$  и  $P_c$  являются трудновыполнимыми.

Выполнение этих требований делает необходимым пересмотр прежних технологий и разработку новых инженерных решений.

**Цель и задачи работы.** Целью данной работы является разработка взаимосвязанных технологических режимов подготовки рабочих валков методом ЭРТ, и непосредственно дрессировки холоднокатаной листовой стали (ХЛС), обеспечивающих выполнение современных требований автопроизводителей к амплитудным и частотным параметрам профиля поверхности ХЛС.

**Научная новизна.** В исследованиях, проведенных для ХЛС, используемой в автомобилестроении, были впервые получены следующие результаты:

1. Выявлены наиболее эффективные оценки микротопографии поверхности ( $ADF(z)$  — функция распределения ординат;  $ACF(\tau)$  — автокорреляционная функция;  $FP(z, \Delta)$  — фазовые портреты; фрактальные характеристики; точечные оценки этих функций:  $Rq$  (или  $Ra$ ),  $Rsk$ ,  $\tau$ ,  $P_{c_{max}}$  (или  $HSC_{max}$ ),  $D$ ,  $SRC$ ) и оценена точность их определения.

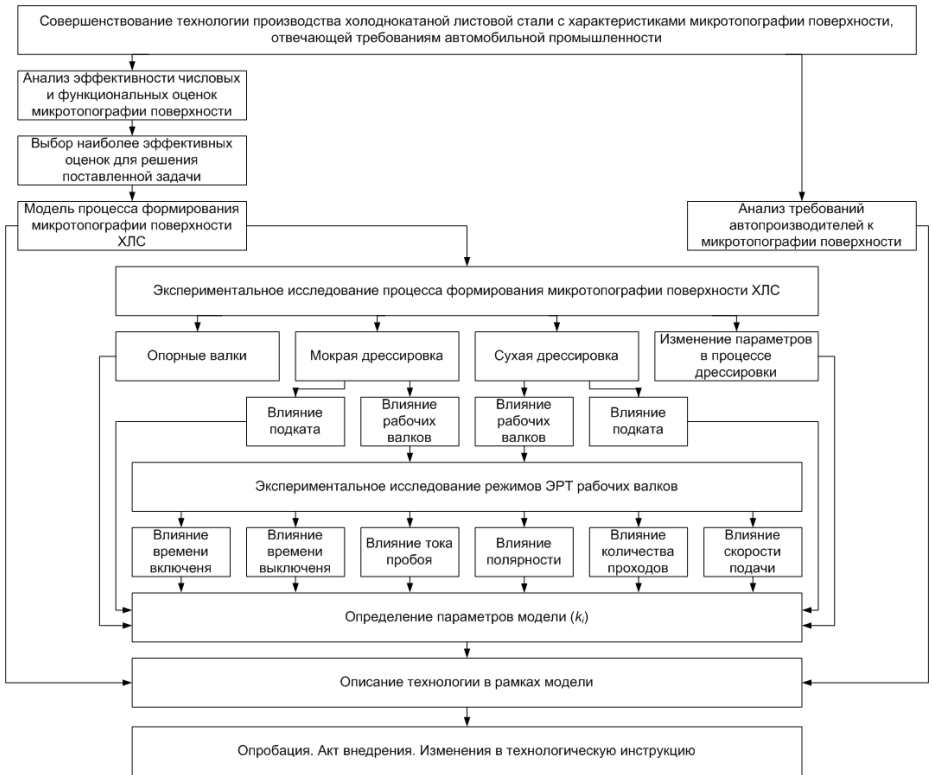


Рисунок 1. Структура диссертационной работы

2. Экспериментально установлено влияние параметров режимов электроэрозионного текстурирования (ЭРТ) (времени электрического импульса  $\tau$ ; времени цикла пробоя  $\tau_2$ ; соотношения между  $\tau$  и  $\tau_2$ ; величины максимального тока пробоя  $I$ ; полярности электродов; количества проходов  $N$ ; скорости подачи валка в зону обработки  $V$ ) на характеристики микротопографии поверхности рабочих валков. Определены режимы ЭРТ, обеспечивающие требуемую микротопографию поверхности рабочих валков.

3. Экспериментально выявлены особенности преобразований микротопографии поверхности: 1) рабочих валков в процессе подготовки (шлифование, ЭРТ, хромирование, обкатка); 2) опорных валков в процессе обкатки и дрессировки; 3) рабочих валков и поверхности ХЛС в процессе дрессировки, а также влияние микротопографии поверхности подката на микротопографию ХЛС.

4. На основе экспериментально обнаруженных закономерностей ЭРТ и найденных коэффициентов отпечатываемости по амплитудным и частотным параметрам микротопографии поверхности ( $K_{Ra, Rq}$  и  $K_{Pc, HSC}$ ) при дрессировке с подачей дрессировочной жидкости и без подачи, разработаны взаимосвязанные технологические режимы подготовки рабочих валков методом ЭРТ и дрессировки ХЛС, обеспечивающие ХЛС с требуемыми характеристиками микротопографии поверхности для автомобильной промышленности.

5. Предложена модель обеспечения требований по микротопографии поверхности ХЛС.

**Практическая значимость.** Результаты данной работы позволяют повысить результативность технологии производства ХЛС с регламентированной микротопографией поверхности, отвечающей современным требованиям автомобильной промышленности. Разработанные взаимосвязанные технологические режимы ЭРТ рабочих валков и дрессировки ХЛС были апробированы, внедрены и используются в ЛПЦ-5 ОАО «ММК» при изготовлении акцептационных образцов ХЛС для инженерного одобрения у компаний «Renault», «Volkswagen», «GM», «Hyundai-KIA Motor Company», а так же в серийном производстве ХЛС для ОАО «АВТОВАЗ».

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- VI Конгресс прокатчиков (18-21 октября 2005г., г. Липецк)
- VII Конгресс прокатчиков (15-18 октября 2007г., г. Москва)
- VIII Конгресс прокатчиков (11-15 октября 2010г., г. Магнитогорск)
- Международная научно-техническая конференция «Теория и практика производства листового проката» (29-30 мая 2008г., г. Липецк)
- III Международная практическая конференция «Материалы в автомобилестроении» (19-20 июня 2008г., г. Тольятти)
- 66 Научно-техническая конференция МГТУ (2008г., г. Магнитогорск)
- VI Международная научно-техническая конференция «Современная металлургия начала нового тысячелетия» (16-19 ноября 2009г., г. Липецк)
- Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии и оборудование для производства проката, труб и метизов» в рамках третьего международного промышленного форума «Реконструкция промышленных предприятий — прорывные технологии в металлургии и машиностроении». (23-26 марта 2010г., г. Челябинск)
- 68 Межрегиональная научно-техническая конференция МГТУ (2010г., г. Магнитогорск)

- 8 Научно-практическая конференция «Новые перспективные материалы, оборудование и технологии для их получения» в рамках Недели металлов в Москве (10-13 ноября 2009г., г. Москва)

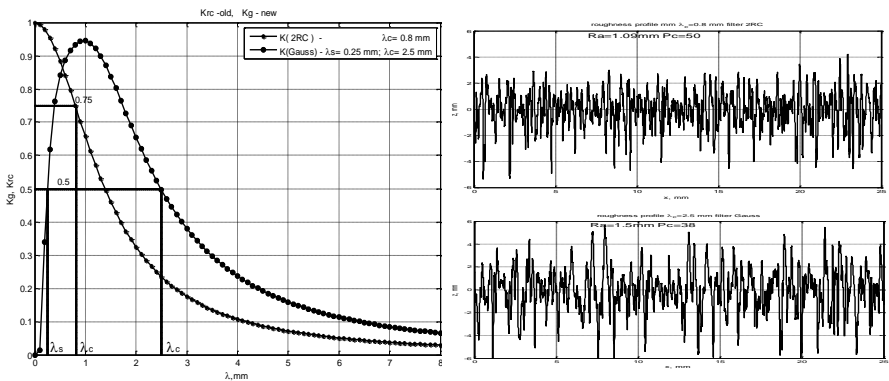
**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 26 печатных работ, из них 8 публикаций в журналах ВАК и 8 патентов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 227 страницах машинописного текста. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и содержит 127 рисунков, 18 таблиц, библиографический список из 155 наименований и 9 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** показана актуальность проблемы обеспечения современных требований автомобильной промышленности к микротопографии поверхности ХЛС.

**В первой главе** проведен анализ требований ведущих российских и зарубежных автопроизводителей к микротопографии поверхности ХЛС. Для изготовления автокузовных деталей необходима ХЛС с матовой поверхностью, которая регламентируется амплитудным параметром  $Ra$  и частотным параметром  $Pc$  (табл.1). Причём эти параметры определяются для профиля шероховатости, полученного после нового вида фильтрации фильтрами Гаусса. Сравнение данного вида фильтрации и фильтрации с использованием 2RC-фильтров приведено на рис.2.



а

б

Рисунок 2. а - коэффициент пропускания фильтра 2RC и фильтра Гаусса, б – профили шероховатости, получаемые после фильтрации исходного профиля этими фильтрами (верхний рисунок — фильтр 2RC, нижний рисунок — фильтр Гаусса)

Проанализированы литературные данные об особенностях технологии производства ХЛС (влияние горячекатаного подката, особенностей подготовки валков, режимов отжига и дрессировки), которые могут оказывать влияние на формирование конечной микро топографии поверхности ХЛС.

Таблица 1  
Требования автомобильных компаний по регламентации микро топографии поверхности ХЛС

Компания	Детали	Регламентирующий документ	Базовая длина, мм	$Ra$ ( $\pm 2\sigma^*$ ), мкм	$Pc$ ( $\pm 2\sigma^*$ ), см <sup>-1</sup>	Стандарт на определение
«Mercedes Benz», «BMW», «Audi», «Volkswagen», «Adam Opel»	Внутренние (ОЗ)	PW-Forum 1998	2,5	1,1–1,7	> 50	SEP 1940, EN 10049
	Наружные (О5)			1,1–1,6	> 60	
«Ford Motor», «Volvo», «Land-Rover», «Jaguar»	Нелицевые	ES-6H52-00001-AA	2,5	1,0–1,7	—	SEP 1940
			0,8	0,8–1,5		
	Лицевые		2,5	1,0–1,6	≥ 50	
			0,8	0,8–1,4		
«Hyundai-KIA Motor Company»	Нелицевые	Global Material Guide 2008.05 (GG5-2008-1)	—	0,6–1,5	—	—
	Лицевые			0,6–1,2	—	—
«PSA Peugeot Citroen»	Лицевые и нелицевые	B 53 3059	2,5	0,9–1,5	—	ISO 4287
«Renault»	Нелицевые (X)	11-04-013/ ---	2,5	1,2–1,8	—	D35 1754
	Лицевые (Z)			0,9–1,4	≥ 90	
«АВТОВАЗ», «ГАЗ», «КАМАЗ»	Лицевые и нелицевые	ГОСТ 9045-93	0,8	0,6–1,6	—	ГОСТ 2789-73

\* $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение.

По литературным данным проведен сравнительный анализ существующих способов обработки поверхности рабочих валков (дробеметная обработка (ДМО), ЭРТ, лазерное текстурирование, электронно-лучевое текстурирование, технология «ТОРОСРОМ») для производства ХЛС с регламентируемой микро топографией поверхности и выявлены их достоинства и недостатки. Рассмотрены особенности формирования

микротопографии, как свободной поверхности, так и поверхности в очаге деформации. Наиболее значительными исследованиями этого направления являются работы авторов Оянэ М., Мазура В.Л., Гарбера Э.А., Салганика В.М., Трайно А.И., Огаркова Н.Н., Белова В.К., Румянцева М.И., Беньяковского М.А., Девятченко Л.Д., Чекмарёва А.П. и др.

С учетом проведенного анализа была сформулирована цель работы и определены задачи.

Главная проблема получения автолиста с более высокими значениями параметров  $Ra$  и  $Pc$  может быть решена при обработке поверхности валка методом ЭРТ. Метод ЭРТ, пришедший на смену ДМО, позволяет, хотя и с трудом, разрешить эту проблему, однако поверхность валков после этой обработки обладает высокой адгезионной способностью. При дрессировке загрязнения с поверхности полосы переносятся на рабочие валки, и возрастает вероятность образования дефекта «отпечаток от грязи» (рис. 3). Поэтому первоначальная цель исследования была расширена, как разработка технологии производства ХЛС при использовании ЭРТ рабочих валков при дрессировке без наличия дефекта «отпечатки от грязи».

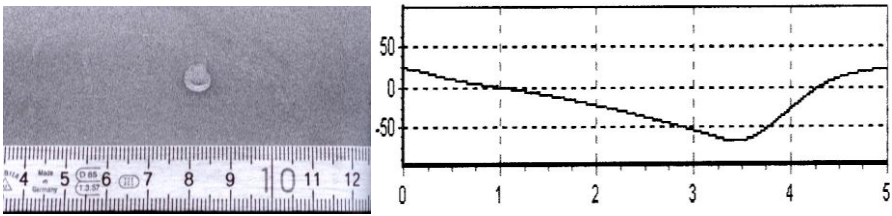
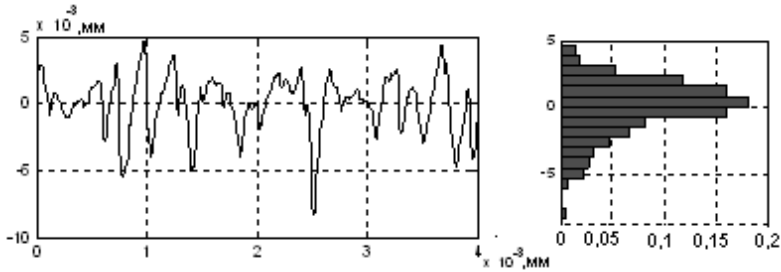


Рисунок 3. Вид дефекта «отпечаток от грязи» и его профилограмма

**Во второй главе** проведен анализ эффективности и точности определения числовых и функциональных оценок микротопографии поверхности. На примере сравнительного анализа микротопографии поверхности автолиста, полученного по различным технологиям на различных отечественных и зарубежных предприятиях, показана применимость рассматриваемых функциональных характеристик и их точечных оценок для анализа топографии поверхности. Было показано, что наиболее эффективными функциональными и точечными оценками профиля шероховатости являются:  $ADF(z)$  — функция распределения ординат;  $ACF(\tau)$  — автокорреляционная функция;  $FP(z, \Delta)$  — фазовые портреты; фрактальные характеристики; точечные оценки этих функций:

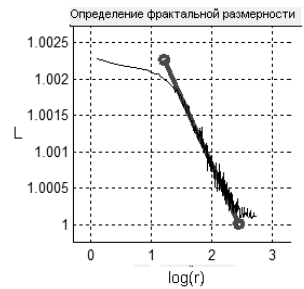
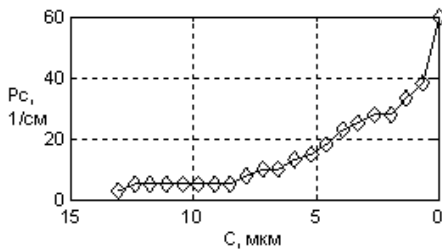


**ВЫСОТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОФИЛЯ :**

- 01. Ср. значение Ra: 1.590 мкм
- 02. Ср. квадр. отклонение Rq: 2.104 мкм
- 03. Асимметрия Rsk: -0.874
- 04. Эксцесс Rku: 4.141
- 05. Макс. высота пика Rp: 4.694 мкм
- 06. Макс. глубина впадины Rv: -8.365 мкм
- 07. Размах Rt: 13.059 мкм
- 08. Размах по 5 точкам Rz: 6.511 мкм

**СМЕШАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОФИЛЯ :**

- 01. Ср. квадр. угол Dq: 0.067 град
- 02. Относительная длина L: 1.00249
- 03. Ср. угол наклона Da: 0.048 град
- 04. Длина профиля L0: 4.002 мм
- 05. Ср. радиус кривизны R: 0.046 мм



D = 1.0018; L<sub>sf</sub> = 1.8237; SRC = 285 мкм

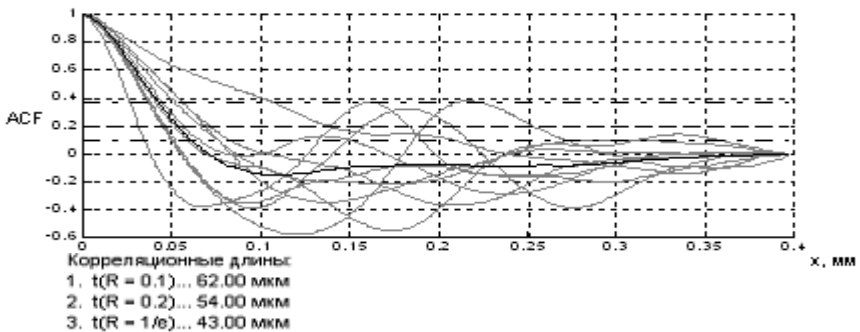


Рисунок 4. Пример протокола оценки профиля шероховатости поверхности ХЛС

$Rq$  — среднее квадратическое отклонение профиля (или  $Ra$ ),  $Rsk$  — коэффициент асимметрии профиля,  $\tau$  — корреляционная длина профиля,  $Pc$  (или  $HSC$ ),  $D$  — фрактальная размерность профиля,  $SRC$  — верхняя пространственная граница наличия фрактальной структуры. Пример такой оценки приведён на рис. 4.

Проведен также сравнительный анализ топографии ХЛС, реализуемой при различных способах обработки поверхности рабочих валков. В ходе сравнительного анализа выявлено, что способ ДМО при производстве ХЛС с регламентированной топографией поверхности для лицевых деталей автомобилей неприемлем. Способы «ТОРОСРОМ» и ЭРТ обеспечивают необходимое сочетание амплитудных и частотных параметров микро топографии поверхности при малой их дисперсии по поверхности обрабатываемого валка. Производство ХЛС на валках, обработанных методом ЭРТ, возможно только при ведении процесса дрессировки с подачей жидкости для очистки валков с целью предотвращения образования «отпечатков от грязи».

**В третьей главе** проведено исследование и разработка режимов работы установки ЭРТ поверхности рабочих валков для обеспечения регламентируемой микро топографии поверхности и снижения склонности поверхности рабочих валков к образованию дефекта «отпечатки от грязи» при дрессировке ХЛС. Исследования проводились на установке ЭРТ «Sarclad-Herkules», установленной в ЛПЦ-5 ОАО «ММК». Проанализировано влияние параметров настройки установки ЭРТ на формирование микро топографии поверхности: времени электрического импульса ( $\tau$ ); времени цикла пробоя ( $\tau_2$ ); соотношения между  $\tau$  и  $\tau_2$ ; величины максимального тока пробоя ( $I$ ); полярности электродов; количества проходов ( $M$ ); скорости подачи валка в зону обработки ( $V$ ). Получены экспериментальные зависимости, позволяющие регулировать процесс получения требуемой микро топографии. В результате данного исследования установлено:

- Параметры микро топографии поверхности существенно зависят от  $\tau$ ,  $I$  и  $V$ . Увеличение этих параметров приводит к увеличению амплитудных параметров и уменьшению частотных параметров.
- Получены эмпирические зависимости, обеспечивающее заданное значение  $Ra$  и  $Pc$ :

$$\begin{array}{lll} Ra \sim 0,026 \cdot \tau; & Ra \sim 0,845 \cdot \ln(I); & Ra \sim 0,057 \cdot V; \\ Pc \sim -0,72 \cdot \tau; & Pc \sim -20,4 \cdot \ln(I); & Pc \sim -0,97 \cdot V. \end{array}$$

- При положительной полярности электродов получается большее значение амплитудных и частотных параметров, чем при отрицательной.
- При увеличении числа проходов параметры микрогеометрии поверхности не меняются, однако значительно меняется топология поверхности (вершины профиля становятся острее). Оптимальным является режим с двумя проходами.
- С уменьшением скорости подачи происходит снижение амплитудных параметров при росте частотных.
- Из экспериментальных наблюдений было установлено, что при дрессировке ХЛС с использованием валков, обработанных способом ДМО, склонность к образованию дефекта «отпечатки от грязи» минимальна. На основании данного наблюдения было сделано предположение о том, что для снижения склонности к образованию дефекта «отпечатки от грязи», микро топография поверхности рабочего валка, обработанного способом ЭРТ, должна быть топографически близкой к микро топографии поверхности полученной способом ДМО (рис. 5).

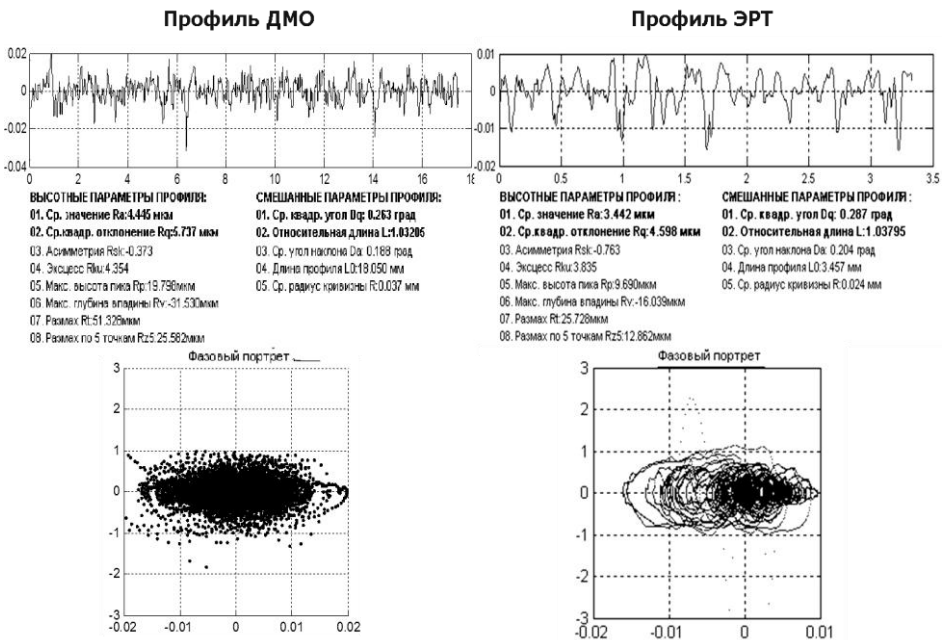


Рисунок 5. Сопоставление профилей поверхности рабочих валков при ДМО и ЭРТ, их точечных оценок и фазовых портретов

На основе проведенных исследований, разработанный «базовый» режим ЭРТ рабочих валков дрессировочного стана 2500 (ЛПЦ-5 ОАО «ММК») на установке «Sarclad-Herkules» позволяет получать ХЛС с параметрами  $Ra_{2,5}$  в пределах 0,8–1,2 мкм,  $Pc > 50 \text{ см}^{-1}$ . Профиль имеет  $Rsk = -0,7$ , не содержит гармонической составляющей, устойчив к износу.

**В четвертой главе** проведена разработка технологии дрессировки ХЛС с характеристиками микротопографии поверхности, отвечающей требованиям автомобильной промышленности.

Экспериментально выявлены особенности преобразований микротопографии поверхности: 1) рабочих валков в процессе подготовки (шлифование, ЭРТ, хромирование, обкатка); 2) опорных валков в процессе обкатки и дрессировки; 3) ЭРТ рабочих валков и поверхности ХЛС в процессе дрессировки, а также влияние микротопографии поверхности подката на микротопографию ХЛС. Выявлены следующие особенности:

- ЭРТ формирует симметричный профиль поверхности. Обкатка преобразует такой профиль в несимметричный по амплитудным характеристикам (с преобладанием впадин над выступами) и симметричный по характеристикам углов наклона элементов профиля, что сохраняется в течение всей кампании рабочих валков в процессе дрессировки ХЛС.
- Хромирование поверхности ЭРТ рабочих валков практически не изменяет микротопографию их поверхности, как по амплитудным, так и по частотным параметрам.
- Изменения параметров шероховатости после обкатки описываются соотношениями:

$$\begin{aligned} Ra_{\text{валка после обкатки}} &\approx 0,75 \cdot Ra_{\text{валка до обкатки}}; & K_{Ra \text{ обкатки}} &\approx 0,75; \\ Pc, HSC_{\text{валка после обкатки}} &\approx Pc, HSC_{\text{валка до обкатки}}; & K_{Pc, HSC \text{ обкатки}} &\approx 1. \end{aligned}$$

- Изменения как амплитудных, так и частотных параметров можно считать одинаковыми для верхнего и нижнего рабочего валка.
- По результатам исследования изменения микротопографии поверхности опорных валков в процессе обкатки и дрессировки ХЛС, было установлено, что после завалки отшлифованных опорных валков, при обкатке и дрессировке первых рулонов происходит значительный перенос шероховатости ЭРТ рабочих валков на поверхность опорных валков.
- Ввиду того, что дрессировка может проводиться как с подачей дрессировочной жидкости на рабочие валки, так и без неё, исследования изменения микротопографии поверхности ЭРТ рабочих валков и поверхности ХЛС в процессе дрессировки проводились с учётом данных технологической особенностей (рис. 6).

- После обкатки рабочих валков, обработанных на установке ЭРТ, при дрессировке первых трех – пяти рулонов ХЛС происходит приработка поверхности рабочих валков, во время которой амплитудные параметры поверхности рабочих валков и поверхности ХЛС резко снижаются. В дальнейшем амплитудные параметры поверхности ХЛС имеют медленную тенденцию снижения, а частотные параметры остаются практически неизменными (рис. 6).

- Были определены коэффициенты отпечатываемости, равные отношению параметра микрофотографии поверхности дрессированной ХЛС к параметру валка:

- при дрессировке с применением дрессировочной жидкости:

по амплитудным параметрам:  $K_{Ra, Rq} \approx 0,40$ ;

по частотным параметрам:  $K_{Pc, HSC} \approx 1,00$ ;

- при дрессировке без применения дрессировочной жидкости:

по амплитудным параметрам:  $K_{Ra, Rq} \approx 0,33$ ;

по частотным параметрам:  $K_{Pc, HSC} \approx 0,90$ .

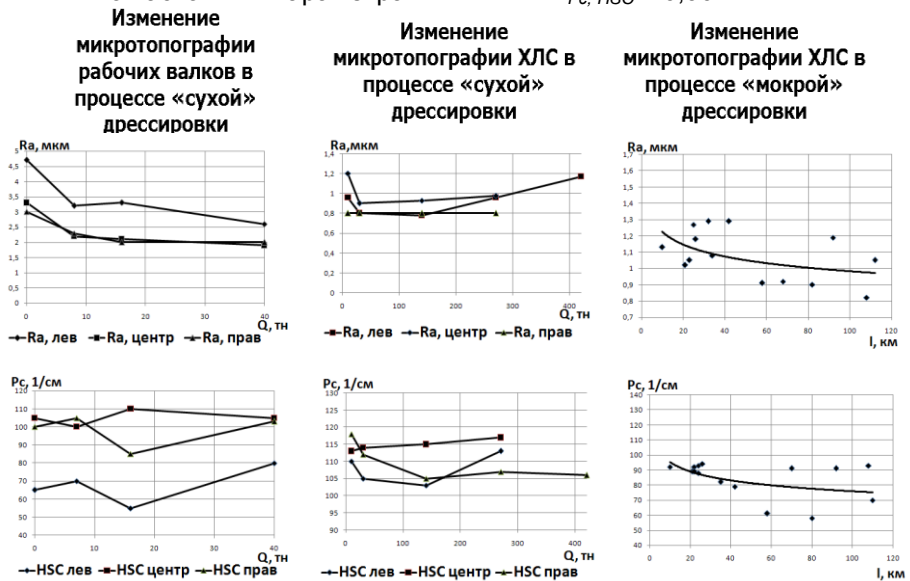


Рисунок 6. Изменение микрофотографии поверхности рабочих валков и полосы в процессе дрессировки

- Наличие дрессировочной жидкости в очаге деформации повышает отпечатываемость шероховатости рабочего валка на поверхности ХЛС.

- Проведенные исследования при дрессировке как с подачей дрессировочной жидкости, так и без неё показали, что микротопография подката по амплитудным и частотным параметрам оказывает малое влияние на микротопографию поверхности дрессированной ХЛС.

На основе проведенных исследований была предложена модель обеспечения требований по микротопографии поверхности ХЛС (рис. 7).

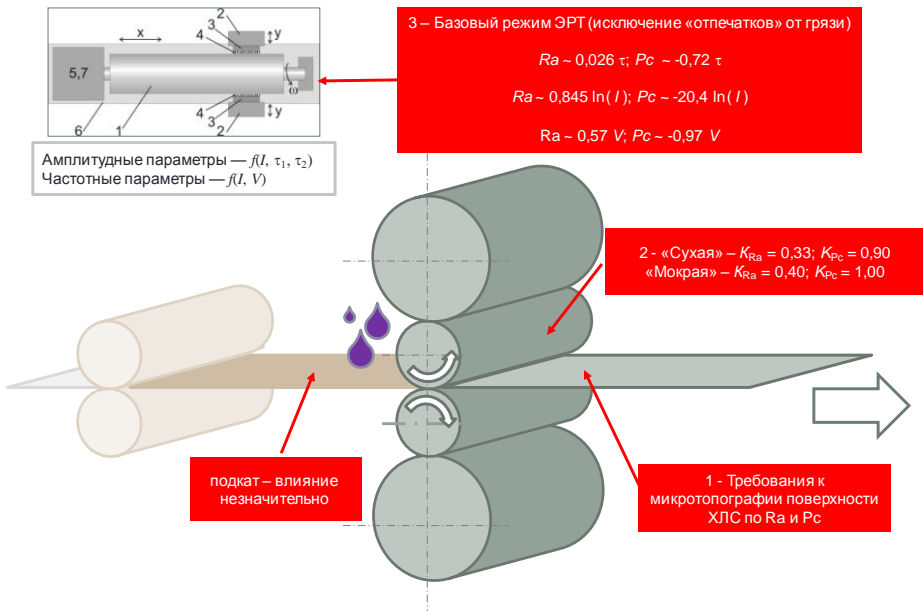


Рисунок 7. Модель обеспечения требований по микротопографии поверхности ХЛС

Исходя из требований к микротопографии поверхности ХЛС, предъявляемых потребителями (табл.1), модель позволяет определять параметры «базового» режима ЭРТ (силы тока пробоя ( $I$ ), времени включения ( $\tau$ ), скорости подачи ( $V$ )).

Схема определения и контроля микротопографии поверхности рабочих валков дрессировочного стана 2500 (ЛПЦ-5 ОАО «ММК») и ХЛС, приведённая в виде табл. 2, показывает, как можно получить поверхность ХЛС с регламентированными параметрами  $Ra$  и  $Pc$  при рекомендованном «базовом» режиме ЭРТ.

Таблица 2

Схема определения и контроля микротопографии поверхности рабочих валков дроссировочного стана 2500 (ЛПЦ-5 ОАО «ММК») и ХЛС

Контролируемые параметры взаимосвязанных технологических операций	$R_a$ , мкм	$P_c$ , 1/см	Контролируемые параметры взаимосвязанных технологических операций	$R_a$ , мкм	$P_c$ , 1/см
Микротопография поверхности рабочего валка после ЭРТ	2,7–3,6	65–70	Микротопография поверхности рабочего валка после ЭРТ	2,2–3,0	55–60
$\langle K_{R_a \text{ отпечатываемости}} \rangle \approx 0,33;$ $\langle K_{P_c \text{ отпечатываемости}} \rangle \approx 0,90$			$\langle K_{R_a \text{ отпечатываемости}} \rangle \approx 0,40;$ $\langle K_{P_c \text{ отпечатываемости}} \rangle \approx 1,00$		
Микротопография поверхности ХЛС после дроссировки в начале компании рабочих валков	0,9–1,2	55–60	Микротопография поверхности ХЛС после дроссировки в начале компании рабочих валков	0,9–1,2	55–60
Микротопография поверхности ХЛС после дроссировки около 200 тонн	0,8–1,1	50–55	Микротопография поверхности ХЛС после дроссировки около 200 тонн	0,8–1,1	50–55

В **заклЮчении** сформулированы основные выводы по работе.

В исследованиях, направленных на совершенствование технологии производства холоднокатаной листовой стали с требуемыми характеристиками микротопографии поверхности для автомобильной промышленности, были впервые получены следующие результаты:

1. Для регламентации микротопографии поверхности были выявлены наиболее эффективные оценки микротопографии поверхности ( $ADF(z)$  — функция распределения ординат;  $ACF(\tau)$  — автокорреляционная функция;  $FP(z, \Delta)$  — фазовые портреты; фрактальные характеристики; точечные оценки этих функций:  $Rq$  (или  $Ra$ ),  $Rsk$ ,  $\tau$ ,  $P_{c_{\max}}$  (или  $HSC_{\max}$ ),  $D$ ,  $SRC$ ) и оценена точность их определения.
2. Экспериментально установлены закономерности влияния параметров ЭРТ: времени электрического импульса  $t$ ; времени цикла пробоя  $t_2$ ; соотношения между  $t$  и  $t_2$ ; величины максимального тока пробоя  $I$ ; полярности электродов; количества проходов  $N$ ; скорости подачи валка в зону обработки  $V$  на характеристики микротопографии поверхности рабочих валков. Это позволило определить режимы ЭРТ, обеспечивающие требуемую микротопографию поверхности рабочих валков.
3. Экспериментально выявлены особенности преобразования микротопографии поверхности: 1) рабочих валков в процессе подготовки (шлифование, ЭРТ, хромирование, обкатка); 2) опорных валков в процессе

обкатки и дрессировки; 3) рабочих валков и поверхности ХЛС при дрессировке, а также влияние микро топографии поверхности подката.

4. На основе экспериментально обнаруженных закономерностей ЭРТ и найденных коэффициентов отпечатываемости микро топографии поверхности при дрессировке, разработаны взаимосвязанные технологические режимы подготовки рабочих валков методом ЭРТ и дрессировки, обеспечивающие ХЛС с характеристиками микро топографии поверхности, отвечающей современным требованиям автомобилестроителей.

5. Предложена модель обеспечения требований по микро топографии поверхности ХЛС.

**Основные положения диссертации** опубликованы в работах:

1. Исследование микрогеометрии поверхности горячеоцинкованного металлопроката / Куницын Г.А., Горбунов А.В., Жарков Е.В. и др. // Материалы 66-й научно-технической конференции: Сб. докладов. Т.1.- Магнитогорск: ГОУ ВПО "МГТУ", 2008.- с.13-15.

2. Современные технологии обработки поверхности рабочих валков для производства листового проката для автомобильной промышленности с повышенными требованиями к микро топографии поверхности / Горбунов А.В., Жарков Е.В., Ищенко А.В. и др. // Доклады Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и оборудование для производства проката, труб и метизов», 23-26 марта 2010г., г.Челябинск, с.115-117.

3. Сравнительный анализ микро топографии поверхности оцинкованного проката для лицевых деталей автомобиля / В.Ф. Дьяченко, А.В. Горбунов, Е.В. Жарков и др. // Производство проката. №10, 2008. с. 12 - 17.

4. Горбунов А.В., Белов В.К., Беглецов Д.О. Сравнительный анализ способов обработки поверхности валков для производства автолиста // Сталь.-2009.-8.-с.50-53.

5. Влияние разных способов обработки валков на топографию поверхности холоднокатаных листов / Горбунов А.В., Белов В.К., Беглецов Д.О., Сотников А.С. // Сталь.-2010.-1.-с.68-72.

6. Формирование микро топографии свободной поверхности проката при дрессировке / Горбунов А.В., Белов В.К., Кривко О.В., Беглецов Д.О. // Сталь. №1, 2008. с. 40 - 44.

7. Электроэрозионная подготовка рабочих валков для дрессировки автолиста / Бодяев Ю.А., Горбунов А.В., Радионов А.Ф. и др. // Сталь.- 2007.-3.- с.52-56.

8. Исследование микро- и макро- топографии поверхности горячеоцинкованного металла, применяемого при производстве лицевых деталей автомобилей / Горбунов А.В., Жарков Е.В., Брусьянина А.И. и др. // Тео-



рия и практика производства листового проката: Сб. научн. Тр. Часть 1. – Липецк: ЛГТУ, 2008. с. 45-47.

9. Получение автолиста с регламентированной микротопографией поверхности / Бодяев Ю.А., Горбунов А.В., Радионов А.Ф. и др. // Труды 6 Конгресса прокатчиков. Липецк. 18-21 окт. 2005. т. 2. М.:2005. с. 167-171.

10. Влияние электроэрозионно-обработанных рабочих валков дрессировочного стана на микротопографию поверхности проката / Бодяев Ю.А., Горбунов А.В., Радионов А.Ф. и др. // Сталь.-2006.-5.-с.90-94.

11. Исследование причин образования дефекта "шагрень" при штамповке холоднокатаного стального листа / Горбунов А.В., Злов В.Е., Афанасьев Е.В. и др. // Производство проката.-2006. № 4. с. 35 - 36.

12. Получение автолиста с регламентированной микротопографией поверхности / Горбунов А.В., Радионов А.Ф., Белов В.К. и др. // Производство проката.-2007. № 4. с. 15 - 17.

13. Учет формирования микротопографии свободной поверхности в процессе дрессировки холоднокатаного металлопроката / Горбунов А.В., Белов В.К., Кривко О.В., Беглецов Д.О. // Труды Седьмого конгресса прокатчиков (г. Москва, 15-18 октября 2007 г.).-Т.2.-М., 2007. с.609 - 615.

14. Сравнительный анализ топографии оцинкованного проката для лицевых деталей автомобиля отечественных и зарубежных поставщиков ОАО «АВТОВАЗ» / В.Ф. Дьяченко, А.В. Горбунов, Д.Г. Рузаев и др. // Материалы в автомобилестроении. Ч.1 Металлические материалы. Сборник докладов III Международной научно-практической конференции 19-20 июня 2008г. – Тольятти, ОАО «АВТОВАЗ», 2008. с. 83 - 94.

15. Получение заданной микротопографии поверхности на горячеоцинкованном металлопрокате, применяемом в автомобильной промышленности / Горбунов А.В., Жарков Е.В., Ищенко А.В., Белов В.К. // Современная металлургия начала нового тысячелетия: Сб. научн. тр. IV международной научно-технической конференции 16-19 ноября 2009г. Часть 2. – Липецк: ЛГТУ, 2009. с. 54-60.

16. Определение коэффициентов изменения микротопографии поверхности при производстве холоднокатаного автолиста / Белов В.К., Беглецов Д.О., Ласьков С.А., Горбунов А.В. и др. // Материалы 68-й межрегиональной научно-технической конференции: Сб. докладов. Т.2.-Магнитогорск: ГОУ ВПО "МГТУ", 2010.- с.206- 209.

17. Обеспечение регламентированной микротопографии поверхности горячеоцинкованного проката применяемого при производстве деталей автомобилей / Горбунов А.В., Папшев А.В., Жарков Е.В., Белов В.К. и др.// Неделя металлов в Москве. 10-13 ноября 2009г.: Сб. науч. Тр. Конференций. М.:2010. с.589-595.

18. Разработка технологии получения автолиста с регламентированной микротопографией поверхности по требованиям отечественных и зару-

бежных производителей / Ласьков С.А., Горбунов А.В., Белов В.К. и др. // Труды 8 Конгресса прокатчиков. Магнитогорск. 11-15 окт. 2010. т. 1. М.:2010. с. 155-163.

19. Способ подготовки поверхности валков стана холодной прокатки. Патент RU 2356665 С1 от 09.01.2008.

20. Способ оценки состояния поверхности рабочих валков. Патент RU 2360752 С2 от 20.08.2007.

21. Способ подготовки поверхности валков стана холодной прокатки. Патент RU 2356666 С1 от 27.05.2009.

22. Способ производства холоднокатаного оцинкованного автолиста. Патент RU 2354466 С1 от 12.12.2007.

23. Способ холодной прокатки тонколистовой стали. Патент RU 2334569 С2 от 25.07.2006.

24. Способ производства рулонной холоднокатаной стали. Патент RU 2315118 С1 от 17.05.2006.

25. Способ подготовки валков дрессировочного стана. Патент RU 2393944 С2 от 10.07.2010.

26. Способ оценки качества поверхности холоднокатаной листовой стали. Патент RU 2377528 С2 от 27.12.2009.