

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 669.771

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-4-76-84

ФРАКТАЛЬНОСТЬ СТРУКТУР КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

Рубин Г.Ш.¹, Голубчик Э.М.¹, Лукьянова К.С.¹, Дья Х.², Стеблянко В.Л.¹¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия² Ченстоховский технологический университет, Ченстохов, Польша

Аннотация

Постановка задачи (актуальность работы): в статье представлено исследование процесса формирования параметра «шероховатость поверхности» в технологической системе и адекватное представление параметров микротопографии поверхности с возможностью прогнозирования его изменчивости. Так как при производстве такой ленты как товарной продукции исключаются операции холодной прокатки, термообработки и последующей финишной обработки в виде дрессировки, то процессы контроля и управления формированием требуемой микротопографии поверхности значительно усложняются, поэтому исследование является весьма актуальной проблемой. **Цель работы:** разработать и апробировать инструмент управления показателем качества «шероховатость поверхности» металлопродукции на основе горячекатаной травленной ленты с применением фрактальной структуры. **Используемые методы:** для решения поставленной задачи проводили исследования на примере горячекатаной травленной ленты из стали марок СтЗ и 08пс производства Магнитогорского металлургического комбината, рассмотрена модель разложения параметра микротопографии поверхности на самоподобные структуры. В основе математического аппарата в модели предложено использовать преобразование Фурье. Учеными Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова предложен новый подход к описанию параметра шероховатости поверхности Ra на основе фрактальной структуры. **Новизна:** к элементам новизны относится применение фрактальной структуры при формировании параметра «шероховатость поверхности» горячекатаной травленной ленты. Результат: показан разработанный и апробированный в виде алгоритма фрактализации параметра «шероховатость поверхности» инструмент управления показателем качества металлопродукции. Доказано, что предложенный подход обеспечивает высокую сходимость расчетных и фактических значений исследуемых параметров. **Практическая значимость:** разработанный подход позволит управлять процессом формирования требуемой микротопографии поверхности металлопродукции.

Ключевые слова: шероховатость поверхности, показатели качества, фрактал, фрактальная структура, преобразование Фурье, травленная стальная лента.

Научная работа проведена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства с участием высшего образовательного учреждения (Договор № 02.G25.31.0178 от 01.12.2015 г.), а также была профинансирована из средств Национального центра исследований и развития Республики Польша в 2013–2016 гг. в рамках проекта прикладных исследований № PBS2/A5/32/2013

Введение

В современной системе отношений «потребитель-производитель» вопросы повышения качества товара являются основополагающими для успешного позиционирования производителя в условиях

быстроменяющегося рынка металлопродукции. При этом в настоящее время достаточно актуальной остается проблема разработки новых подходов к управлению качеством металлопродукции с применением современных систем мониторинга и оценки параметров изделий, а также возможности математического моделирования реальных технологических процессов [1–18].

Достаточно новым видом товарной металло-

© Рубин Г.Ш., Голубчик Э.М., Лукьянова К.С., Дья Х., Стеблянко В.Л., 2016

продукции можно считать стальную горячекатаную травленную ленту с заданным уровнем шероховатости поверхности, применяемую, например, отечественными и зарубежными автопроизводителями для штамповки дисков колес. На сегодняшний день одним из российских лидеров по производству стальной ленты является ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»), который представлен широким спектром размерно-марочного сортамента производимой горячекатаной травленной и холоднокатаной ленты, включая упаковочную, а также ленту из высокоуглеродистых и легированных марок стали. Наибольший интерес представляет стальная горячекатаная травленная лента с переносом на нее части свойств холоднокатаной ленты [19–21].

Для данного вида металлопродукции отдельным, достаточно значимым для потребителя, показателем качества выступает состояние поверхности металлопроката, которое определяет его эксплуатационные и потребительские свойства. При этом с учетом технологических особенностей производства товарной горячекатаной травленной ленты в ОАО «ММК», исключая операции холодной прокатки и дрессировки, параметр «шероховатость поверхности» R_a фактически формируется при горячей прокатке подката и при последующем его травлении в линии непрерывно-травильного агрегата (НТА). Таким образом, вопросы формирования нормированного уровня шероховатости поверхности стальной травленной ленты (R_a) в технологической системе ее производства являются весьма актуальными и на сегодняшний день малоизученными.

Шероховатость поверхности можно отнести к параметру, имеющему периодическую повторяемость. В настоящее время существует ряд подходов к научно-практическому анализу данного показателя качества в различных технологических процессах, среди которых наибольшее распространение получили методы сканирующей зондовой микроскопии [22–24]. В то же время известные традиционные подходы к описанию параметров микро топографии поверхности базируются, как правило, на статистических методах в условиях действующего металлургического производства, предполагающих неполноту априорной информации. А так же они адекватно описывают реальный технологический процесс.

В последние годы появились и достаточно активно проводятся исследования поверхности на основе методов фрактальной геометрии, а также механизмов коррозии, которые могут быть эффективно использованы при моделировании инженерных поверхностей [25–33].

Учеными ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» предложен новый научный подход, основанный на представлении показателя качества «шероховатость поверхности» R_a в виде фрактала [34].

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

В соответствии с ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» шероховатость поверхности изображают в виде изломанной линии (рис. 1), имеющей среднее квадратичное отклонение профиля до базовой линии минимальным, и соответственно оценивают данный показатель представленными на рис. 1 параметрами. При этом, согласно указанному ГОСТу, высоту неровностей профиля определяют по абсолютным значениям высот наибольших выступов и глубин наибольших впадин профиля в пределах базовой длины.

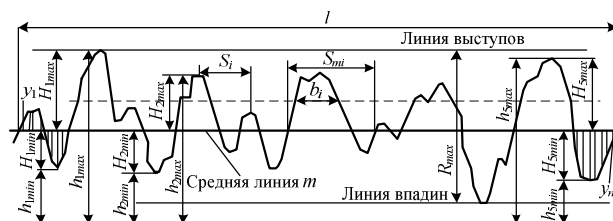


Рис. 1. Профиль шероховатости и его параметры (по ГОСТ 2789-73)

Для разработки инструмента управления таким показателем качества, как «шероховатость поверхности» необходимо данный показатель фрактализовать, т.е. разложить на фракталы. Следует напомнить, что термин «фрактал» обозначает математическое множество, обладающее свойством самоподобия, который был введен Бенуа Мандельбротом. Таким образом, «фрактализовать» означает представить имеющуюся структуру в виде суммы ей подобных путем разложения, где количество фракталов зависит от задаваемой точности.

Если принять во внимание возможность формирования шероховатости не только по номинальному профилю, но и вдоль каждой из образованных впадин и глубин, формирующих шероховатость, то можно получить изображение, представленное на рис. 2.

В соответствии с этим подходом для разложения на фракталы было предложено использовать дискретное преобразование Фурье. Это преобразование используется в анализе линейных систем и применяется к временным рядам для выявления периодических (спектральных) составляющих таких рядов.

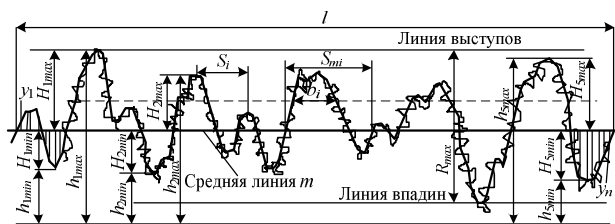


Рис. 2. Профиль шероховатости с фрактальной структурой

Если имеются дискретные наблюдения y_1, y_2, \dots, y_n , то прямое дискретное преобразование Фурье выполняется в соответствии с формулой

$$Y_k = \sum_j^n y_j e^{-i \frac{2\pi}{n} jk}, \quad (1)$$

где $k=0, 1, \dots, n-1$.

Результаты преобразования Y_k являются комплексными числами, модуль которых равен амплитуде k -й спектральной составляющей, а аргумент комплексного числа Y_k равен фазе этой гармоники. Аналогично определяется обратное дискретное преобразование Фурье которое преобразует спектральное представление временно-го ряда в действительное.

$$y_j = \sum_k^{n-1} Y_k e^{i \frac{2\pi}{n} jk}. \quad (2)$$

Для исследований были отобраны образцы производимой в ОАО «ММК» горячекатаной травленной ленты стали марок 08пс и Ст3. При этом образцы отбирались до и после травления в линии НТА с одного и того же рулона полосы. С полученных образцов были сняты фактические значения параметров шероховатости. Замер шероховатости поверхности производился на стационарном приборе «Профилограф-профилометр HOMMEL-TESTER T8000», а также на переносном приборе Surtronic 25.

Если предположить, что шероховатость поверхности имеет структуру фрактала, то профилограмма поверхности – это графическая сумма всех фракталов. Для того чтобы выделить отдельный элемент фрактала, реальная профилограмма поверхности (рис. 3, 4) была разложена на гармоники при помощи дискретного преобразования Фурье.

В условиях научно-исследовательского центра «Микротопография» ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» с представленных образцов горячекатаной ленты марки Ст3 и 08пс были сняты данные по шероховатости поверхности в

3D и 2D формате (рис. 5, 6) [34–37]. Далее числовые значения были занесены в Microsoft Office Excel. При помощи встроенного пакета «анализ Фурье» были рассчитаны необходимые коэффициенты для дальнейших преобразований. Для расчетов было взято 256 значений, что обусловлено встроенными ограничениями программы анализа: количество обрабатываемых значений должно быть равно 2^n . Пакет «анализ Фурье» выполняет прямое дискретное преобразование согласно формуле (1) и записывает получаемое значение в виде комплексного числа имеющей следующий вид: $Y_k=a+bi$, где a – действительная часть комплексного числа, b – мнимая часть.

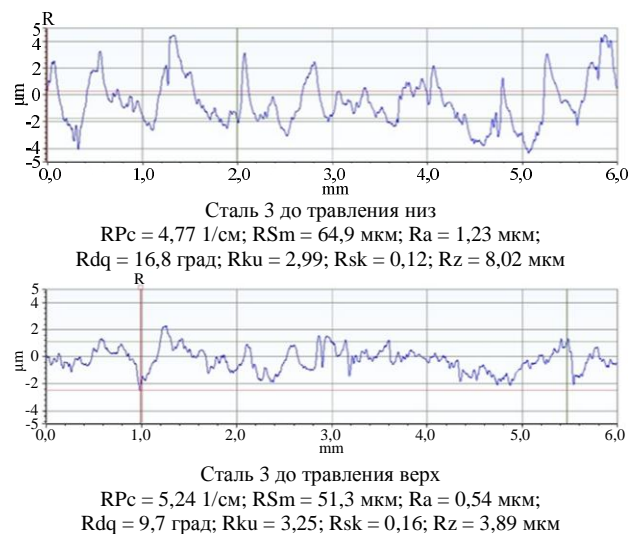


Рис. 3. Профилограммы поверхности исследуемых образцов горячекатаной травленной ленты (сталь марки Ст3)

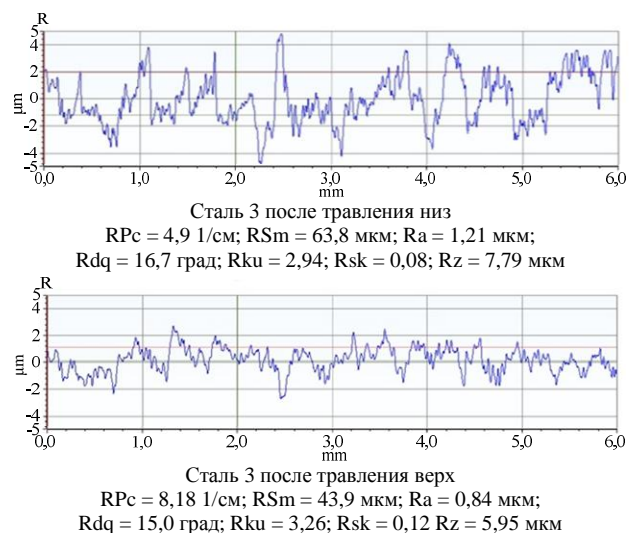


Рис. 4. Профилограммы поверхности исследуемых образцов горячекатаной травленной ленты (сталь марки Ст3)

Для дальнейшего разложения необходимо, используя полученные значения, произвести обратное преобразование Фурье согласно формуле (2), где параметр j будет определять шаг разложения и тем самым характеризовать точность представления показателя шероховатости поверхности.

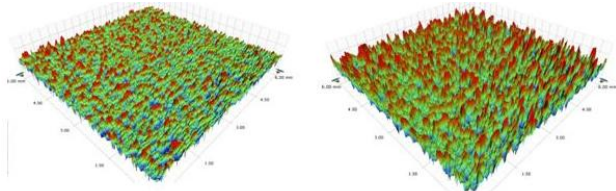


Рис. 5. Карта поверхности горячекатаной ленты марки Ст3

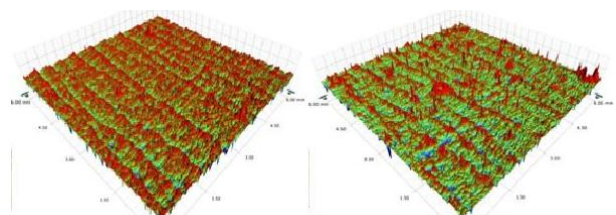


Рис. 6. Карта поверхности горячекатаной ленты марки 08пс

Результаты исследования и их обсуждение

При моделировании и в расчётах было взято 256 входных значений с шагом, равным 1. Прямое дискретное преобразование Фурье позволило выделить действительную и мнимую часть комплексного числа, а обратное дискретное преобразование Фурье с меняющимся порядковым значением гармоники позволило выделять из профилограммы каждую гармонику отдельно (рис. 7, 8).

После преобразования, получив необходимые коэффициенты, для представления гармоник с задаваемой точностью необходимо варьировать шаг (параметр j формулы (2)). Для наглядного представления результата разложения шаг не был изменен (на рис. 7–9 шаг отражен в виде номера представляемой гармоники). На рис. 9 представлена исходная профилограмма шероховатости поверхности с соответствующими номерами гармоник образцов Ст3 и 08пс соответственно. На рисунке отражена самоподобная структура, при каждом последовательном увеличении задаваемой точности, где точность задается варьируемым шагом j (формула (2)). Как видно из рис. 9, исходные значения и сумма гармоник совпадают, что доказывает адекватность предложенной методики на основании преобразования Фурье.

В результате данный подход позволил представить исходную профилограмму в виде самоподобной структуры, что позволяет охарактеризовать показатель шероховатости как фрактальную структуру. Таким образом, показатель качества «шероховатости поверхности» может быть выражен через определенные гармоники, каждая из которых имеет свою амплитуду и частоту, что существенно упрощает, с одной стороны, процесс описания и представления данного параметра, а с другой стороны, появляется возможность прогнозирования и управления показателем в процессе технологического воздействия на поверхность ленты.

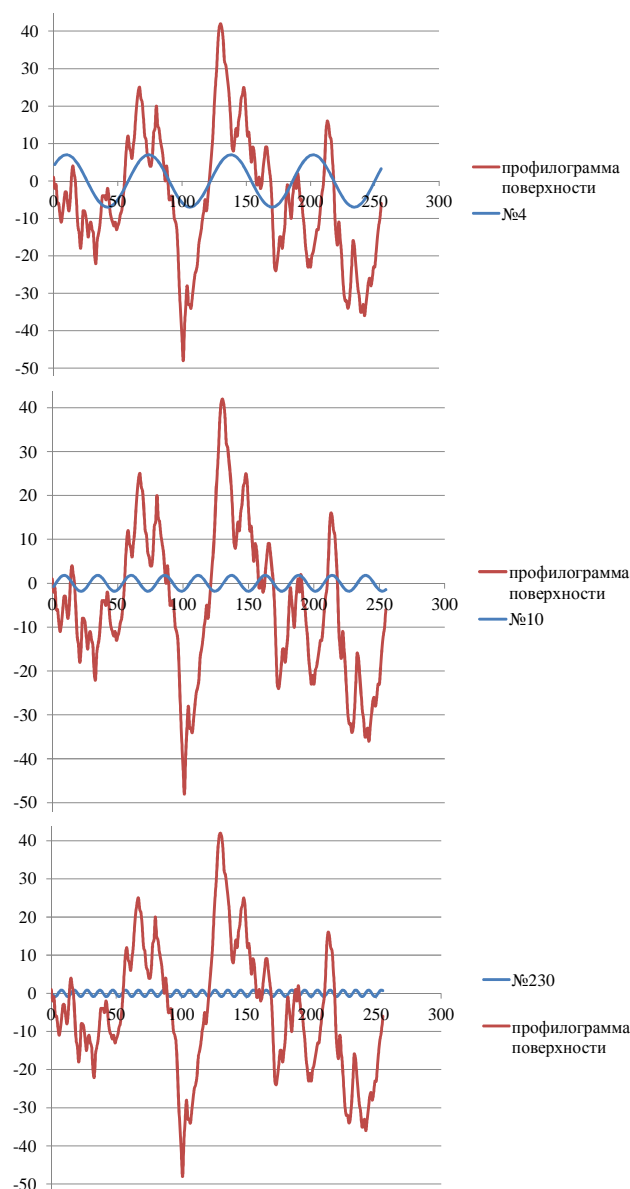


Рис. 7. График шероховатости поверхности с представлением отдельных гармоник на примере горячекатаной травленной ленты из стали марки Ст3

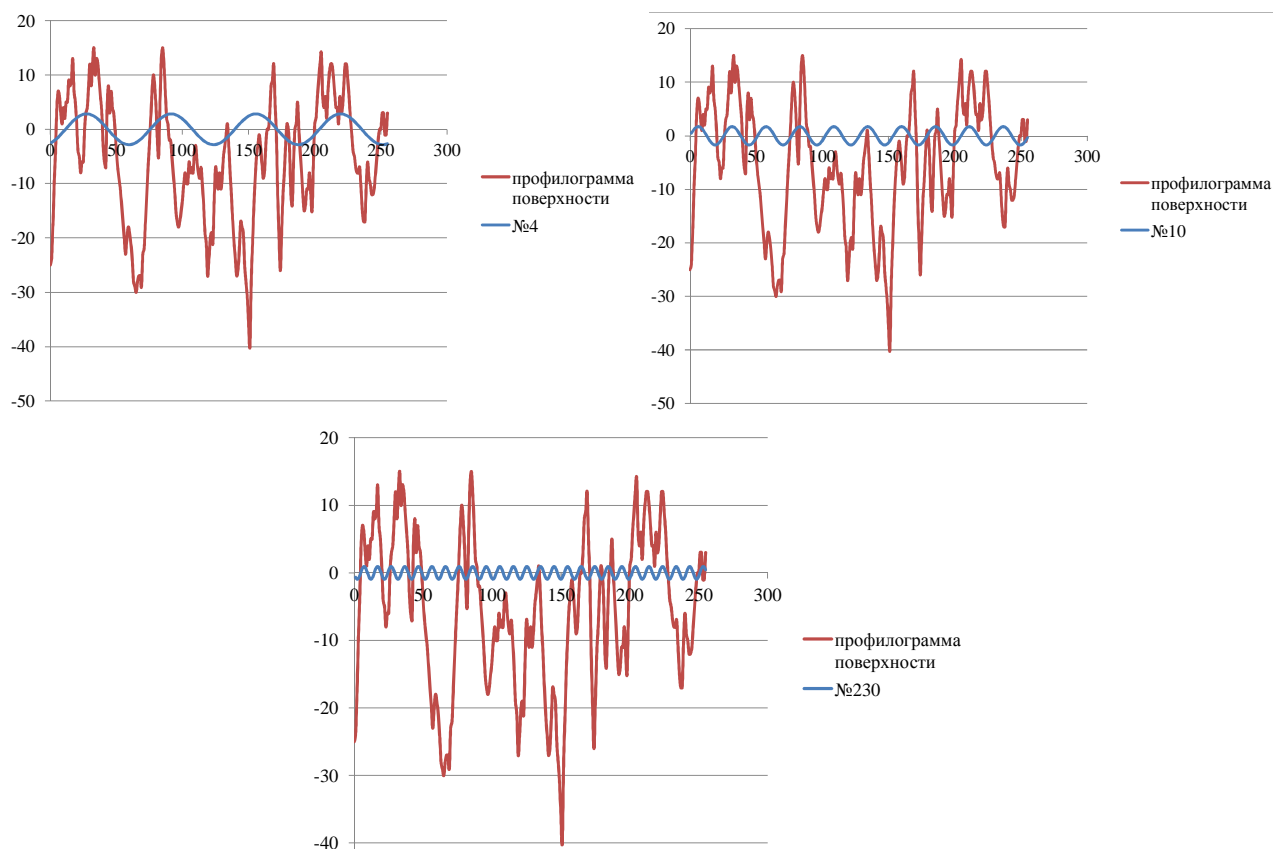


Рис. 8. График шероховатости поверхности с представлением отдельных гармоник на примере горячекатаной травленной ленты из стали марки 08пс



Рис. 9. График шероховатости поверхности с представлением суммы всех гармоник на примере горячекатаной травленной ленты из стали марок Ст3 и 08пс

Заключение

Предлагаемый подход к рассмотрению и описанию параметра «шероховатость поверхности» в виде самоподобных структур на примере стальной горячекатаной травленной ленты открывает новые возможности представления, анализа и управления показателями качества в реальных производственных условиях с возможностью прогнозирования изменчивости данного показателя в процессах технологического воздействия

Список литературы

1. Генезис научных исследований в области качества металлопродукции / Гун Г.С., Мезин И.Ю., Рубин Г.Ш., Минаев А.А., Назайбеков А.Е., Дья Х. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1. С. 92–96.
2. Исследование физико-механических свойств и структуры высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения / Чукин М.В., Голубчик Э.М., Гун Г.С., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Чукин Д.М., Матушкин А.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2014. №1. С. 43–47.

3. Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Дьяч Х. Применение методики адаптивного управления качеством в процессе объёмной холодной штамповки крепежных изделий из стали с ультрамелкозернистой структурой // *Обработка сплошных и слоистых материалов*. 2014. № 2. С. 32–41.
4. Разработка теории квалиметрии метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, Г.С. Гун, Д.М. Закиров, И.Г. Гун // *Черные металлы*. 2012, июль. С. 15–21.
5. Производство высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения / Чукин М.В., Корчунов А.Г., Бакшинов В.А., Барышников М.П., Гун Г.С., Долгий Д.К., Ефимова Ю.Ю., Колокольцев В.М., Копцева Н.В., Куранов К.Ю., Лебедев В.Н., Мезин И.Ю., Полякова М.А., Чукин В.В.; под общ. ред. М.В. Чукина. Москва, 2014.
6. Актуальные проблемы квалиметрии метизного производства в период зарождения шестого технологического уклада / Гун Г.С., Чукин М.В., Рубин Г.Ш., Мезин И.Ю., Корчунов А.Г. // *Металлург*. 2014. № 4. С. 92–95.
7. Научно-педагогическая школа магнитогорского государственного технического университета по управлению качеством продукции и производственных процессов / Гун Г.С., Мезин И.Ю., Корчунов А.Г., Чукин М.В., Гун И.Г., Рубин Г.Ш. // *Качество в обработке материалов*. 2014. № 1. С. 5–9.
8. Гун Г.С., Чукин М.В., Рубин Г.Ш. // *Управление качеством в метизном производстве* / *Металлургические процессы и оборудование*. 2013. № 4 (34). С. 106–111.
9. Управление качеством продукции в технологиях метизного производства / Корчунов А.Г., Чукин М.В., Гун Г.С., Полякова М.А. Москва, 2012.
10. Разработка теории квалиметрии метизного производства / Рубин Г.Ш., Чукин М.В., Гун Г.С., Закиров Д.М., Гун И.Г. // *Черные металлы*. 2012. № 7. С. 15–20.
11. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры из высокоуглеродистых марок стали / Чукин М.В., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. // *Черные металлы*. 2012. № 12. С. 8–16.
12. Высокопрочная арматура для железобетонных шпал нового поколения / Ушаков С.Н., Чукин М.В., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. // *Путь и путевое хозяйство*. 2012. № 11. С. 25–27.
13. Стальная проволока / Белалов Х.Н., Клековкин А.А., Клековкина Н.А., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. Магнитогорск, 2011.
14. Особенности реологических свойств конструкционных наносталей / Чукин М.В., Гун Г.С., Барышников М.П., Вагизов Р.З., Рааб Г.И. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2008. № 1. С. 24–27.
15. Гун Г.С., Чукин М.В. Оптимизация процессов технологического и эксплуатационного деформирования изделий с покрытиями. Магнитогорск, 2006.
16. Производство стальной проволоки / Клековкина Н.А., Клековкин А.А., Никифоров Б.А., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Зюзин В.И., Кулеша В.А., Савельев Е.В. Белалов Х.Н. Магнитогорск, 2005.
17. Создание и развитие теории квалиметрии металлургии / Гун Г.С., Рубин Г.Ш., Чукин М.В., Гун И.Г., Мезин И.Ю., Корчунов А.Г. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2003. №5. С. 67.
18. Гун Г.С., Пудов Е.А., Иванова Л.Б. Оптимизация процессов обработки металлов давлением по комплексному критерию качества // *Изв. вузов. Черная металлургия*. 1982. №8. С. 62.
19. Голубчик Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2014. №1. С. 63–68.
20. Особенности производства горячекатаной травленой ленты с управляемой шероховатостью поверхности / В.Л. Корнилов, В.Е. Телегин, П.Н. Смирнов, Голубчик Э.М. // *Сталь*. 2012. №2. С. 51–52.
21. Исследование возможности создания технологии производства горячекатаной травленой ленты с управляемой шероховатостью поверхности / Голубчик Э.М., Хамутских К.С., Телегин В.Е., Шебаршова И.М., Севастьянов А.Г. // *Производство проката*. 2014. № 11. С. 11–15.
22. Бавыкин О.Б., Вячеславова О.Ф. Комплексная оценка качества поверхности и эксплуатационных свойств изделий из наноматериалов // *Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: материалы междунар. науч.-техн. конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ), посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ»*. Москва: Изд-во МГТУ «МАМИ», 2010. Кн. 8. С. 1–5.
23. Мазур И.П. Проблемы контроля качества поверхности при производстве листового проката // *Сталь*. 2011. № 4. С. 31–36.
24. Особенности использования 3D топографических характеристик поверхности в инженерном деле / Белов В.К., Беглецов Д.О., Губарев Е.В., Денисов С.В., Дьячкова М.В., Смирнов К.В. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2014. №1. С. 73–80.
25. Потапов А.А., Вячеславова О.Ф., Бавыкин О.Б. Особенности разработки технологического процесса изготовления деталей с применением фрактального анализа поверхностного слоя // *Механические свойства современных конструкционных материалов: сб. материалов*. М.: ИМЕТ РАН, 2012. С. 202–204.
26. Potapov A.A. Application of the Fractal Theory and Scaling Effects During Processing of Low-Contrast Images and Super Weak Signals in the Presence of Intensive Noise // *Тр. 11-й междунар. конф. «Забабахинские научные чтения – 2012», посв. 95-летию со дня рождения академика Е.И. Забабахина*. Снежинск: РФЯЦ - ВНИИТФ, 2012. С. 311–312.
27. Генералова А.А. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей машин на основе оценки его характеристик с применением теории фракталов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2012. 20 с.
28. Золотаревский С. Ю. Обеспечение единства измерений геометрических параметров шероховатости поверхностей в нанометровом диапазоне методами интерферометрии высокого разрешения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2015. 33 с.
29. Тихомиров В.П., Горленко О.А., Измеров М.А. Инженерия фрактальных поверхностей: монография. М.: Машиностроение, 2011. 184 с.
30. T. Blachowicz, K. Cwikiel, M. Binkowski, H. Zghidi. Analysis of the three-dimensional TGS crystal spatial inhomogeneity of the fractal structure // *Chaos, Solitons & Fractals*. Volume 75. June 2015. P. 185–190.
31. Mohamad Ghassem Mahjani, Reza Moshrefi, Ahmad Sharifi-Viand, Ahad Taherzad, Majid Jafarian, Fatemeh Hasanlou, Maryam Hosseini. Surface investigation by electrochemical methods and application of chaos theory and fractal geometry // *Chaos, Solitons & Fractals*. 91. October 2016. P. 598–603.
32. Cho, Y., Shin, J.-H., Costa, A., Kim, T.A., Kunin, V., Li, J., Lee, S.-Y., Yang, S., Han, H.N., Choi, I.S., Srolowitz, D.J. Engineering the shape and structure of materials by fractal cut // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Volume 111. Issue 49. December 2014. P. 17390–17395.
33. Arman, A., Țălu, Ș., Luna, C., Ahmadpourian, A., Naseri, M., Molamohammadi, M. Micromorphology characterization of copper thin films by AFM and fractal analysis // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. Volume 26. Issue 12. December 2015. P. 9630–9639.
34. Лукьянова К.С., Голубчик Э.М., Рубин Г.Ш., Исследование процесса управления качеством горячекатаной травленой ленты на основе фрактальности структуры // *Science Time*. 2015. №3(15). С. 359–362.
35. Исследование изменений 3D-параметров микропогра-

фии поверхности горячекатаной ленты в процессе травления / Белов В.К., Губарев Е.В., Лукьянова К.С., Голубчик Э.М., Рубин Г.Ш. // Заготовительные производства в машиностроении. 2016. № 3. С. 44–47.

36. Lukyanova K.S, Chukin M.V., Golubchik E.M, Rubin G.Sh. The development of the analysis model for quality indicators of metalware having fractal structure // European Science and

Technology [Text]: materials of the XIII international research and practice conference, Munich, April 20th – 21st, 2016 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany, 2016. P. 100–104.

37. Инновационные металлические материалы: монография / под общ. ред. В.М. Колокольцева. Магнитогorsk: Изд-во Магнитогorsk. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. 371 с.

Материал поступил в редакцию 10.10.16.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-4-76-84

FRACTAL STRUCTURES AS A STEEL PRODUCT QUALITY MANAGEMENT TOOL

Gennadij Sh. Rubin – Ph.D. (Eng.), Associate Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: rubin@mgn.ru

Eduard M. Golubchik – D.Sc. (Eng.), Associate Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: golub66@mail.ru

Kseniya S. Lukianova – Postgraduate Student

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: lukks@list.ru

Henrik Dyja – D.Sc. (Eng.), Professor, Director of the Institute of Metal Forming and Engineering Security

Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland. E-mail: dyja@wip.pcz.pl

Valery L. Steblyanko – D.Sc. (Eng.), Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: v.steblyanko@mail.ru

Abstract

Problem Statement (Relevance): This article presents a study into how the parameter of surface roughness is formed in a technological system and provides an adequate representation of surface microtopography while enabling the prediction of possible changes. As the processes of cold rolling, heat treatment or skin passing are not allowed in strip production, it makes it a much greater challenge to monitor and control the surface microtopography, which presents a very important problem. **Objectives:** The objective is to develop and test a surface roughness management tool based on fractal structure and using hot-rolled pickled strip as a test material. **Methods Applied:** For the purpose of this study, samples of hot-rolled pickled strip of grades St3 and 08ps produced at Magnitogorsk Iron and Steel Works were examined, and the model of surface microtopography decomposed into fractal structures to be studied. It was proposed to apply Fourier transform as part of the the model basis. Scientists from Nosov Magnitogorsk State Technical University offered a new approach to the description of the parameter of surface roughness (Ra) which is based on the fractal structure. **Originality:** One of the original features of this research includes the application of the fractal structure when forming the "surface roughness" parameter for a hot-rolled pickled strip. **Findings:** The authors describe a new quality management tool, which basically is an algorithm for building the fractal structure of the surface roughness parameter. It was

proved that the proposed approach provides a high convergence between calculated and actual values of the studied parameters. **Practical Relevance:** The new approach will enable to obtain the required surface microtopography in steel products.

Keywords: Surface roughness, quality indicators, fractal, fractal structure, Fourier transform, pickled steel strip.

This research was conducted as part of the major project aimed at creating a hi-tech production technology and to be implemented in cooperation with a higher education institution (Contract No. 02.G25.31.0178 dated 01/12/2015) with support from the Russian Ministry of Education and Science. In the period from 2013 to 2016 the project was also funded by the National Centre for Research and Development of the Republic of Poland as part of Applied Research Project No. PBS2/A5/32/2013.

References

1. Gun G.S., Mezin I.Yu., Rubin G.Sh., Minaev A.A., Nazajbekov A.E., Dyja H. The genesis of scientific research in the area of steel product quality. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2014, vol. 1, pp. 92–96. (In Russ.)
2. Chukin M.V., Golubchik E.M., Gun G.S., Kopceva N.V., Efimova Yu.Yu., Chukin D.M., Matushkin A.N. A study of the physical and mechanical properties and the structure of new generation multifunctional high-strength invar alloys. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2014, vol. 1, pp. 43-47. (In Russ.)

3. Golubchik E.M., Kuznecova A.S., Dyya H. The application of adaptive quality management techniques in die forging for the production of ultrafine grained steel hardware. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov* [The processing of solid materials and composites], 2014, no. 2, pp. 32–41. (In Russ.)
4. Rubin G.Sh., Chukin M.V., Gun G.S., Zakirov D.M., Gun I.G. The development of the qualimetry theory for hardware production. *Chernye metally* [Ferrous metals], July, 2012, pp. 15–21. (In Russ.)
5. Chukin M.V., Korchunov A.G., Bakshinov V.A., Baryshnikov M.P., Gun G.S., Dolgyi D.K., Efimova Yu.Yu., Kolokoltsev V.M., Kopceva N.V., Kuranov K.Yu., Lebedev V.N., Mezin I.Yu., Polyakova M.A., Chukin V.V. *Proizvodstvo vysokoprochnoy stalnoy armatury dlya zhelezobetonnykh shpal novogo pokoleniya* [The production of high-strength steel rebars for new generation steel reinforced concrete ties]. Ed. by M.V. Chukin. Moscow, 2014. (In Russ.)
6. Gun G.S., Chukin M.V., Rubin G.Sh., Mezin I.Yu., Korchunov A.G. Some important problems of qualimetry in metalware production at the onset of the sixth technological era. *Metallurg* [Metallurgist], 2014, no. 4, pp. 92–95. (In Russ.)
7. Gun G.S., Mezin I.Yu., Korchunov A.G., Chukin M.V., Gun I.G., Rubin G.Sh. The scientific school of Nosov Magnitogorsk State Technical University in product quality and production process management. *Kachestvo v obrabotke materialov* [Material processing quality], 2014, no. 1, pp. 5–9. (In Russ.)
8. Gun G.S., Chukin M.V., Rubin G.Sh. Quality management in metalware production. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment], 2013, no. 4 (34), pp. 106–111. (In Russ.)
9. Korchunov A.G., Chukin M.V., Gun G.S., Polyakova M.A. *Upravlenie kachestvom produktsii v tekhnologiyakh metiznogo proizvodstva* [Product quality management in metalware production]. Moscow, 2012. (In Russ.)
10. Rubin G.Sh., Chukin M.V., Gun G.S., Zakirov D.M., Gun I.G. The development of the theory of qualimetry for metalware production. *Chernye metally* [Ferrous metals], 2012, no. 7, pp. 15–20. (In Russ.)
11. Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. The potential production of high-strength steel rebars made of high-carbon steel grades. *Chernye metally* [Ferrous metals], 2012, no. 12, pp. 8–16. (In Russ.)
12. Ushakov S.N., Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. High-strength rebars designed for new generation steel reinforced concrete ties. *Put' i putevye khozyaystvo* [Railway track and railway equipment], 2012, no. 11, pp. 25–27. (In Russ.)
13. Belalov Kh.N., Klekovkin A.A., Klekovkina N.A., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. *Stalnaya provoloka* [Steel wire]. Magnitogorsk, 2011. (In Russ.)
14. Chukin M.V., Gun G.S., Baryshnikov M.P., Valiev R.Z., Raab G.I. Peculiar rheological properties of structural nanosteels. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2008, no. 1, pp. 24–27. (In Russ.)
15. Gun G.S., Chukin M.V. Optimising the deformation processes taking place in coated steel products during production and operation. G.S. Gun, M.V. Chukin; The Ministry of Education of the Russian Federation, the Federal Agency for Education, State Educational Institution of Higher Professional Education Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, 2006. (In Russ.)
16. Klekovkina N.A., Klekovkin A.A., Nikiforov B.A., Gun G.S., Korchunov A.G., Zyuzin V.I., Kulesha V.A., Saveliev E.V., Belalov Kh.N. Steel wire production. The Ministry of Education of the Russian Federation, the Federal Agency for Education, State Educational Institution of Higher Professional Education Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, 2005. (In Russ.)
17. Gun G.S., Rubin G.Sh., Chukin M.V., Gun I.G., Mezin I.Yu., Korchunov A.G. Creating and developing the qualimetry theory of metallurgy. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I.Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2003, no. 5, p. 67. (In Russ.)
18. Gun G.S., Pudov E.A., Ivanova L.B. Optimising metal forming processes based on the overall quality criterion. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya* [Proceedings of Russian Universities. Ferrous metals], 1982, no. 8, p. 62. (In Russ.)
19. Golubchik E.M. Adaptive management of steel product quality. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2014, vol. 1, pp.63–68. (In Russ.)
20. Kornilov V.L., Telegin V.E., Smirnov P.N., Golubchik E.M. The production of hot-rolled pickled strip with controlled surface roughness. *Stal'* [Steel], 2012, no. 2, pp. 51–52. (In Russ.)
21. Golubchik E.M., Khamutskikh K.S., Telegin V.E., Shebarshova I.M., Sevastyanov A.G. Studying the opportunity of developing a process to produce hot-rolled pickled strip with surface roughness control. *Proizvodstvo prokata* [Rolling], 2014, no. 11, pp. 11–15. (In Russ.)
22. Bavykin O.B., Vyacheslavova O.F. A comprehensive assessment of the surface quality and performance of products made from nanomaterials. *Avtomobile - i traktorostroenie v rossii: priorityty razvitiya i podgotovka kadrov. Materialy mezhdunarodnoy nauch.-tehn. konferentsii Assotsiatsii avtomobilnykh inzhenerov (AAI), posvyaschennoy 145-letiyu MG TU "MAMI"* [The Russian car and tractor industries: Priority development areas and personnel training: Proceedings of the International Scientific Conference organised by the Society of Automotive Engineers to mark the 145th anniversary of the Moscow Polytechnic University]. Moscow: Publishing House of Moscow Polytechnic University, 2010, vol. 8, pp. 1–5. (In Russ.)
23. Mazur I.P. The problems of surface quality control in flat rolling. *Stal'* [Steel], 2011, no. 4, pp. 31–36. (In Russ.)
24. Belov V.K., Begletsov D.O., Gubarev E.V., Denisov S.V., Dyakova M.V., Smirnov K.V. The application of 3D surface topography characteristics in engineering. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2014, vol. 1, pp. 73–80. (In Russ.)
25. Potapov A.A., Vyacheslavova O.F., Bavykin O.B. The development of a part manufacturing process involving the surface layer fractal analysis. *Mechanicheskie svoystva sovremennykh konstruktsionnykh materialov. Sbornik materialov* [The mechanical properties of advanced structural materials: A collection of papers]. M: IMET RAN, 2012, pp. 202–204. (In Russ.)
26. Potapov A.A. Application of the Fractal Theory and Scaling Effects During Processing of Low-Contrast Images and Super Weak Signals in the Presence of Intensive Noise *Tr. 11-y mezhdunar. konf. Zababahinskie nauchnyie chteniya posv. 95-letiyu so dnya rozhdeniya akademika E. I.Zababahin* [Proceedings of the 11th International Conference "Zababakhin Scientific Readings – 2012" marking the 95th birthday of Academician E.I. Zababakhin]. Snezhinsk: RFYaTs - VNIITF, 2012, pp. 311–312. (In Russ.)
27. Generalova A.A. *Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva poverhnostnogo sloya detaley mashin na osnove otsenki ego*

- характеристик с применением теории фракталов: автореф. diss. канд. техн. наук [Processes ensuring the surface quality of machine parts analysed based on the fractal theory: Extended abstract of Ph.D. dissertation]. Penza, 2012, 20 p. (In Russ.)
28. Zolotarevskiy S.Yu. *Obespechenie edinstva izmereniy geometricheskikh parametrov sherohovatosti poverhnostey v nanometrovom diapazone metodami interferometrii vyisokogo razresheniya: avtoref. diss. d-r. tehn. Nauk* [Ensuring the consistency of surface roughness nanomeasurements by high-resolution interferometry: Extended abstract of Doctoral dissertation]. Moscow, 2015, 33 p. (In Russ.)
 29. Tikhomirov V.P., Gorlenko O.A., Izmerov M.A. *Inzheneriya fraktal'nykh poverhnostey: monografiya* [Fractal surface engineering: Monograph]. Moscow, Mashinostroenie, 2011, 184 p. (In Russ.)
 30. T. Blachowicz, K. Cwikiel, M. Binkowski, H. Zghidi. Analysis of the three-dimensional TGS crystal spatial inhomogeneity of the fractal structure. *Chaos, Solitons & Fractals*. Vol. 75, June 2015, pp. 185–190.
 31. Mohamad Ghassem Mahjani, Reza Moshrefi, Ahmad Sharifi-Viand, Ahad Taherzad, Majid Jafarian, Fatemeh Hasanlou, Maryam Hosseini. Surface investigation by electrochemical methods and application of chaos theory and fractal geometry. *Chaos, Solitons & Fractals*. 91, October 2016, pp. 598–603.
 32. Cho, Y., Shin, J.-H., Costa, A., Kim, T.A., Kunin, V., Li, J., Lee, S.Y., Yang, S., Han, H.N., Choi, I.S., Srolovitz, D.J. Engineering the shape and structure of materials by fractal cut. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 111, iss. 49, December 2014, pp. 17390–17395.
 33. Arman, A., Tǎlu, Ş., Luna, C., Ahmadpourian, A., Naseri, M., Molamohammadi, M. Micromorphology characterization of copper thin films by AFM and fractal analysis. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. Vol. 26, iss. 12, December 2015, pp. 9630–9639.
 34. Lukyanova K.S., Golubchik E.M., Rubin G.Sh. The study of the hot-rolled pickled strip quality management process based on the fractal structure. *Science Time*, 2015, no. 3(15), pp. 359–362. (In Russ.)
 35. Belov V.K., Gubarev E.V., Lukyanova K.S., Golubchik E.M., Rubin G.Sh. Studying the changing 3D surface microtopography parameters of hot-rolled strip during a pickling process. *Zagotovitelnyye proizvodstva v mashinostroenii* [Blank production in machine industry], 2016, no. 3, pp. 44–47. (In Russ.)
 36. Lukyanova K.S., Chukin M.V., Golubchik E.M., Rubin G.Sh. The development of the analysis model for quality indicators of metalware having fractal structure. *European Science and Technology [Text] : materials of the XIII international research and practice conference, Munich, April 20th – 21st, 2016 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany, 2016. pp. 100–104.*
 37. *Innovatsionnye metallicheskie materialy: monografiya* [Innovative metallic materials: Monograph]. Ed. by V.M. Kolokoltsev. Magnitogorsk: Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2016, 371 p. (In Russ.)

Received 10/10/16

Фрактальность структур как инструмент управления показателями качества металлопродукции /Рубин Г.Ш., Голубчик Э.М., Лукьянова К.С., Дья Х., Стеблянко В.Л. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №4. С. 76–84. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-4-76-84

Rubin G.Sh., Golubchik E.M., Lukyanova K.S., Dyja H., Steblyanko V.L. Fractal structures as a steel product quality management tool. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 4, pp. 76–84. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-4-76-84