

*Н.Н. Макарова, А.А. Комков**ООО «Крейд Плюс»,**А.И. Тартаковский**ООО «Твердосплав»,**С.Г. Горный, К.В. Юдин**Лазерный Центр,**Ю.М. Журавлева**Череповецкий государственный университет*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО ТЕКСТУРИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКСПЛУАТАЦИИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ ПХП

В статье дается краткий обзор проблематики повышения качества текстурированной поверхности валков в ходе прокатки автолистовой стали. На сегодняшний день производством автомобильного листа занимается Магнитогорский металлургический комбинат, Липецкий металлургический комбинат и Череповецкий металлургический комбинат, и все используют электроэрозионный способ текстурирования валков. Лазерное текстурирование позволит увеличить качество обрабатываемой поверхности листа, а также уменьшить себестоимость процесса. Аналогов данной разработки не существует как на территории Российской Федерации, так и в мировой металлургии в целом, что и определяет научную новизну разработки. Решающее влияние идеи на современную технику и технологии состоит в значительном росте конкурентоспособности отечественных металлургических предприятий по сравнению с зарубежными, что положительным образом скажется как на деятельности самих предприятий, так и на экономике нашей страны в целом.

С одной стороны, существует потребность в получении определенной текстуры стали, с другой – недостаточность исследований по выбору режимов лазерного текстурирования как процесса обработки поверхности.

Лазерное текстурирование, повышение качества, прокатное производство, валки, шероховатость, плотность пиков.

The article provides a brief overview of the issues of quality improvement of textured roll surface during automotive sheet rolling. At present automotive sheet is produced at the Magnitogorsk Metallurgical Combine, Lipetsk Metallurgical Plant and the Cherepovets Steel Mill, and all of them use the EDM texturing rolls. Laser texturing will increase the quality of the machined surface of the sheet, as well as reduce the cost of the process. Analogue of this method does not exist in Russian Federation and in the global steel making industry, which determines its scientific novelty. The main influence of the method provided in the article on modern technology is a significant increase in the competitiveness of domestic steel enterprises in comparison to foreign ones that may have a positive effect both on the performance of the enterprises, and on the economy of our country as a whole.

On the one hand, there is a need to obtain a certain texture of steel, on the other hand – there is some lack in studies on modes of laser texturing, as the surface treatment process.

Laser texturing, quality improvement, rolling production, rolls, roughness, peak density.

Введение

Повышение качества автомобильного листа – важнейшая проблема прокатного производства в настоящее время. Один из основных параметров качества автолиста – профиль поверхности, который определяется двумя параметрами: шероховатостью и плотностью пиков.

От них зависит глубина вытяжки при штамповке листа и адгезия защитных покрытий [1]. Шероховатость поверхности листа создается предварительно текстурированными рабочими валками. Качество текстуры автолиста напрямую зависит от качества текстуры вала.

Существует ряд способов текстурирования поверхности прокатных валков. Основные: дробеструйный, электроэрозионный. На данный момент используется метод электроэрозионного текстурирования. Он заключается в создании импульсных электрических разрядов между валком и электродами в масляной среде, сопровождающихся массопереносом частиц от анода вала, оседающих в масле. Использование лазерной технологии обработки материалов обеспечивает высокую производительность и точность, экономит энергию и материалы, позволяет

реализовать принципиально новые технологические решения и использовать труднообрабатываемые материалы, повышает экологическую безопасность предприятия. Лазерное текстурирование прокатных валков позволит улучшить качество обрабатываемой поверхности листа, а также уменьшить себестоимость процесса. Аналогов данной разработки не существует как на территории Российской Федерации, так и в мировой металлургии в целом, что и определяет научную новизну разработки.

Цель работы: получение максимального количества высокопрочных пиков на рабочей поверхности валков с помощью лазерного текстурирования.

В нашем исследовании мы использовали количественный контроль параметров шероховатости, который осуществляется бесконтактными методами (с помощью приборов светового свечения, микроинтерферометров, растровых измерительных микроскопов и др.) и контактными методами (с помощью щуповых приборов: профилометров и профилографов).

Основная часть

Лазерное текстурирование, в отличие от других известных методов, обладает бесспорными преимущ-

ществами, заключающимися в высокой скорости текстурирования, высокой стойкости наносимого рельефа, отсутствии механических воздействий на обрабатываемое изделие и возможности автоматизации процесса. Благодаря этому лазерное текстурирование можно рекомендовать для обработки деталей различных размеров и форм, хрупких изделий, а также для нанесения текстуры на обрабатываемые изделия, находящиеся непосредственно на технологическом конвейере.

Поверхность образцов обрабатывалась при помощи импульсного 50-ваттного оптоволоконного лазера. Изменяемыми параметрами были: мощность импульса, частота следования импульсов, скорость сканирования, перекрытие.

Было проведено 17 режимов лазерного текстурирования, к образцам предъявлялись следующие требования:

1. Отсутствие цветов побежалости.
2. Характер текстуры – изотропный.
3. Количество пиков – не менее 140.
4. Ra (шероховатость) 4,5.

Проанализировав результаты режимов лазерного текстурирования, был сделан вывод о том, что требованиям производства соответствует образец №15 с количеством пиков 160. При этом у образцов отсутствовали цвета побежалости, а структура оставалась изотропной. Таким образом, мы определили наиболее оптимальный режим лазерного текстурирования (рис. 1).

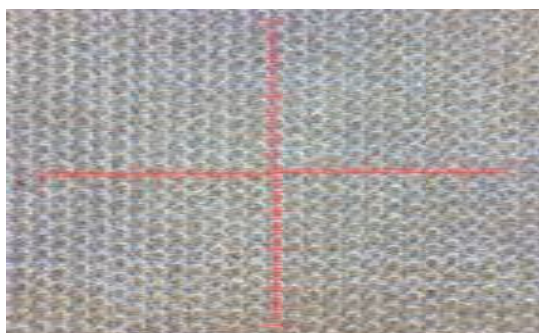


Рис. 1. Микроснимок поверхности прокатного валка, после лазерного текстурирования (100х)
 $Ra = 4,5$ и $Rc = 160$ 1/см

Для моделирования технологии лазерного текстурирования необходимо подготовить два образца рабочего валка для одноклетьевого стана.

Для этого мы:

- с учетом необходимых требований (перечислены в первом этапе исследования) изготовили два образца валка;
- используя оптимальные режимы лазерного текстурирования, подготовили рабочую поверхность образцов валка.

Технологическая схема нашего исследования представлена на рис. 2. Математическая модель теплообмена в образце валка в подвижной системе координат в безразмерном виде записывается в виде системы уравнений:

Уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \theta}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2} - Pd \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} = 0, \\ (\rho_1 < \rho < 1, 0 \leq \varphi < 2\pi);$$

граничные условия:

на наружной поверхности

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial \rho} \right|_{\rho=1} = \frac{R_2}{\lambda} q(\varphi);$$

на внутренней поверхности

$$\theta|_{\rho=\rho_1} = 0,$$

где $\theta = t - t_1$ – избыточная температура валка; t_1 – температура на внутренней поверхности валка; $\rho = r / R_2$ – относительный радиус валка; $\rho_1 = R_1 / R_2$ – относительный внутренний радиус валка; $Pd = \omega l^2 / \alpha$ – критерий Предводителя; ω – угловая частота; l – диаметр валка; α – коэффициент теплоотдачи.

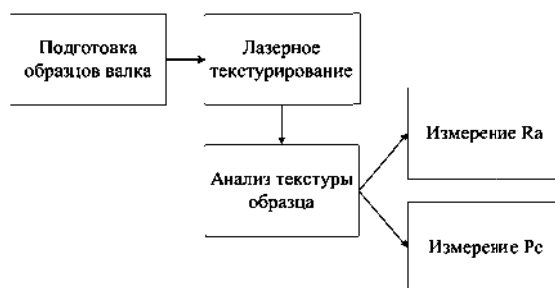


Рис. 2. Технологическая схема эксперимента

На рис. 3 приведены типичные кривые, характеризующие зависимость безразмерной температуры от угловой координаты для случая локального теплового воздействия.

Можно видеть, что на поверхности ролика максимум температуры имеет место вблизи задней кромки источника теплового воздействия (т.е. при $\varphi = \varphi_0$), а минимум температуры наблюдается вблизи передней кромки, т.е. при $\varphi = -\varphi_0$. Для слоя, расположенного на некоторой глубине от поверхности, максимум температуры сдвигается от источника теплового воздействия в направлении вращения ролика (против часовой стрелки). На глубине, соответствующей $\rho = 0,8$, колебаний температуры практически не наблюдается. С увеличением φ_0 максимальное значение температуры увеличивается, а минимальное – уменьшается. Наиболее интенсивный рост максимальной температуры наблюдается для $\varphi_0 = 0 \dots 0,02$, а далее замедляется. С увеличением числа Pd отклонение максимального и минимального значения температуры от среднего значения уменьшаются, т.е. с увеличением угловой скорости вращения происходит выравнивание температуры по угловой координате. Наиболее интенсивное выравнивание температуры имеет место для $Pd =$

100...1000. В качестве частных случаев получены аналитические выражения, описывающие температурные поля во вращающихся полых и сплошных роликах.

Для проведения исследования мы использовали следующее оборудование:

1. Круглошлифовальный станок. Данный станок используем для шлифовки поверхности модели прокатного вала.

2. Система прецизионной лазерной маркировки СПЛМ «МиниМАРКЕР 2™ - М10/20». С помощью данной лазерной установки проводим текстурирование модели прокатного вала.

Для подготовки образцов вала для одноклетьевого стана мы использовали Ст45. Деталь прошла предварительно термическую обработку: закалка 860° , отпуск 400° , ТВЧ (токи высокой частоты)

$h/2$ мм. Твердость образцов 50–55 HRC. Для моделирования технологии лазерного текстурирования мы подготовили образцы автолистовой стали: 60 мм – ширина, 1200 мм – длина, 1,8 мм – толщина.

Из лазеров с полупроводниковой накачкой, в свою очередь, наиболее популярными становятся оптоволоконные лазеры (Fiber Laser или Faser). На рис. 4 представлена схема работы волоконного лазера с полупроводниковой накачкой и в общем виде весь оптический тракт вплоть до обрабатываемого материала [4]. Данная система гарантирует высокие «отчетные характеристики» и делает такие лазеры совершенными, практически идеальными преобразователями светового излучения [5]. Благодаря оптоволоконному лазеру, у которого рабочее пятно излучения 30 мкм, позволяет получить более 200 пиков на 10 мм.

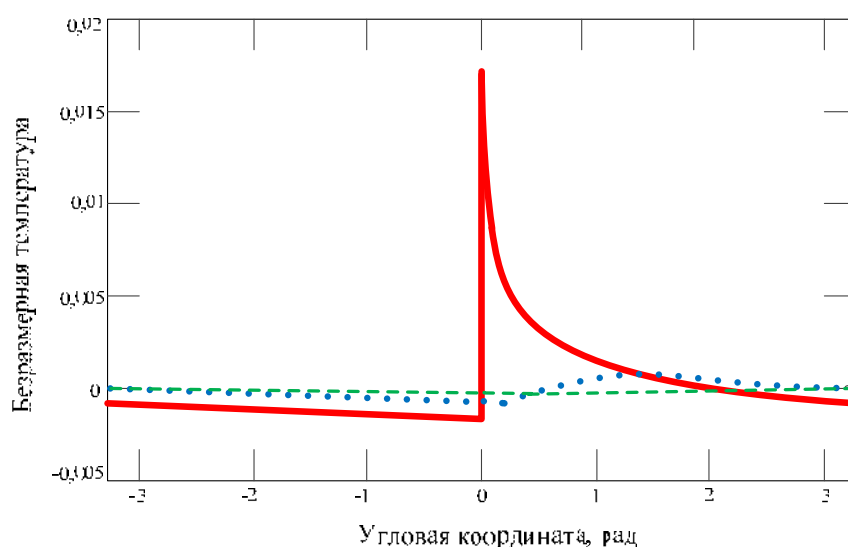


Рис. 3. Зависимость безразмерной температуры от угловой координаты и относительного радиуса; — $\rho = 1$; $0,9$; ---- $0,8$; $\phi_0 = 0,044$

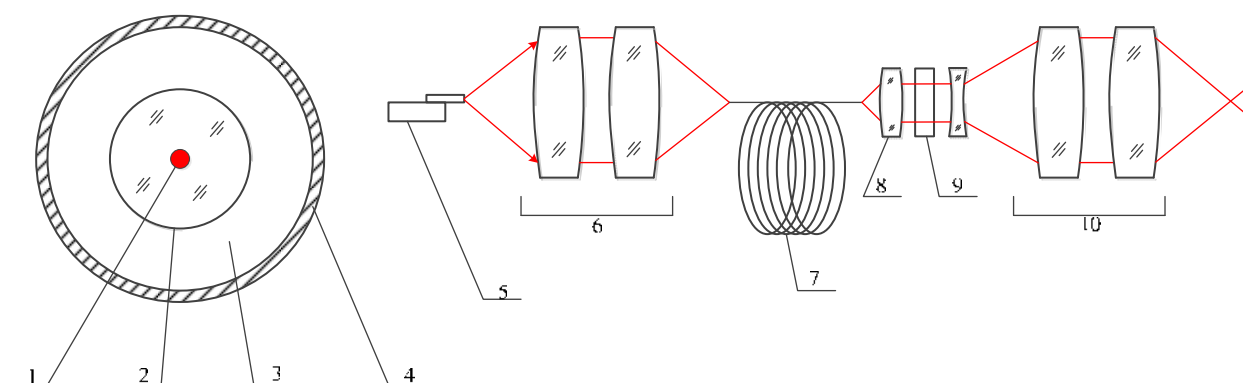


Рис. 4. Оптическая система с волоконным лазером:

1 – сердцевина, легированная металлом, диаметр 6–8 мкм; 2 – кварцевое волокно, диаметр 400–600 мкм; 3 – полимерная оболочка; 4 – внешнее защитное покрытие; 5 – лазерные диоды оптической накачки; 6 – оптическая система накачки; 7 – волокно (до 40 м); 8 – коллиматор; 9 – модулятор света; 10 – фокусирующая оптическая система

Выводы

В результате работы был определен оптимальный режим лазерного текстурирования: количество пиков – 160, $Ra = 4,5$, при этом у образца отсутствовали цвета побежалости, а структура оставалась изотропной. Рассмотренные характеристики лазерного текстурирования позволяют нам четко сказать, что это самый универсальный способ текстурирования рабочих валков. Именно лазерное текстурирование дает возможность управлять геометрией пиков и создавать их с высокой прочностью. Количество пиков задается программой развертки пучка и частотой следовая импульсов.

Литература

1. Адамек К.Х. Технология электроэрозионного текстурирования поверхности валков для холодной прокатки // Сталь. 2001. № 8. С. 45–46
2. Беликов А.В., Пушкарева А.В., Скрипник А.В., Струнина Т.В., Шатилова К.В. Лазерное текстурирование поверхностей материалов // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 4. С. 52–56.
3. Богодухова С.И., Бондаренко В.А. Технологические процессы машиностроительного производства. Оренбург: ОГУ, 1996.
4. Виноградов Б.А., Гавриленко В.Н., Либенсон М.Н. Теоретические основы воздействия лазерного излучения на материалы. Благовещенск: Благовещенский политехнический институт, 1993.
5. Дойчер О. Различные способы получения заданной шероховатости холоднокатанной полосы // Черные металлы. 1995. № 12. С. 33–39.
6. Елисеев П.Г. Полупроводниковый лазер. Физическая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1988. Т. 4.
7. Жадан В.Т., Полухин П.И. Материаловедение и технология материалов. М.: Металлургия, 1994
8. Коваленко В.С. Лазерная технология. Киев: Высшая школа. Головное издательство, 1989.
9. Коваленко В.С., Верхотуров А.Д., Головкин Л.Ф., Подчерняева И.А. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов. М.: Наука, 1986.
10. Faist Jerome, Federico Capasso, Deborah L. Sivco, Carlo Sirtori, Albert L. Hutchinson, and Alfred Y. Cho (April

1994). «Quantum Cascade Laser» (abstract). Science 264 (5158): 553–556. DOI:10.1126/science.264.5158.553. PMID 17732739. Проверено 2007-02-18. (англ.)

References

1. Adamek K.Kh. Tekhnologiya elektroerozionnogo teksturovaniia poverkhnosti valkov dlia kholodnoi prokatki [Technology of EDM texturing of rolls for cold steel rolling surface]. *Stal'* [Steel], 2001, no. 8, pp. 45–46.
2. Belikov A.V., Pushkareva A.V., Skripnik A.V., Strunina T.V., Shatilova K.V. Lazernoe teksturovanie poverkhnostei materialov [Laser texturing of materials' surfaces]. *Izv. vuzov. Priborostroenie* [Math. universities. Instrumentation], 2010, T. 53, no. 4, pp. 52–56.
3. Bogodukhova S.I., Bondarenko V.A. *Tekhnologicheskie protsessy mashinostroitel'nogo proizvodstva* [Technological processes of machine-building production]. Orenburg: OGU, 1996.
4. Vinogradov B.A., Gavrilenco V.N., Libenson M.N. *Teoreticheskie osnovy vozdeistviia lazernogo izlucheniia na materialy* [Theoretical basis of laser irradiation on materials]. Blagoveshchensk: Blagoveshchenskii politekhnicheskii institut, 1993.
5. Doicher O. Razlichnye sposoby polucheniia zadannoi sherokhatosti kholodnokatannoi polosy [Different ways to obtain the desired roughness of cold rolled strip]. *Chernye metally* [Ferrous metals], 1995, no. 12, pp. 33–39.
6. Eliseev P. G. Poluprovodnikovyi lazer [Semiconductor laser]. *Fizicheskaiia entsiklopediia* [Physical encyclopedia]. Moscow: Sovetskaia entsiklopediia, 1988. T. 4.
7. Zhadan V.T., Polukhin P.I. *Materialovedenie i tekhnologiya materialov* [Materials science and technology of materials]. Moscow: Metallurgii, 1994.
8. Kovalenko B.C. *Lazernaia tekhnologiya* [Laser technology]. Kiev: Vysshaia shkola. Golovnoe izdatel'stvo, 1989.
9. Kovalenko B.C., Verkhotur A.D., Golovko L.F., Podcherniaeva I.A. *Lazernoe i elektroerozionnoe uprochnenie materialov* [Laser and EDM hardening materials]. Moscow: Nauka, 1986.
10. Faist Jerome, Federico Capasso, Deborah L. Sivco, Carlo Sirtori, Albert L. Hutchinson, and Alfred Y. Cho (April 1994). «Quantum Cascade Laser» (abstract). Science 264 (5158): 553–556. DOI:10.1126/science.264.5158.553. PMID 17732739. Проверено 2007-02-18. (англ.)

УДК 623.62

Р.Л. Михайлов
Череповецкое высшее военное инженерное училище радиоэлектроники,
А.В. Ларичев
ООО «Технолидер»,
А.Л. Смылова, П.Г. Леонов
Череповецкий государственный университет

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В ИНФОРМАЦИОННОМ КОНФЛИКТЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье на основе анализа различных классов взаимодействия сложных систем, а также особенностей функционирования систем радиомониторинга и радиоэлектронного подавления в информационном конфликте предложено рассмотреть взаимодействие этих систем как конфликт за возможность воздействия на радиоэлектронные средства противостоящей стороны в целях достижения своих локальных целей. Предложена модель распределения РЭС противостоящей стороны, представленных в виде общего ресурса, между соответствующими организационно-техническими системами в интересах достижения информационного превосходства. Подобный подход к описанию организации взаимодействия в ходе информационного конфликта в известных автору работах не встречался.