

ОПРЕДЕЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ DEFORM-3D ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ РАБОЧЕГО ВАЛКА НА ФОРМИРОВАНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОЛОСЫ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ

Скрипаленко М.Н.¹, к.т.н., Скрипаленко М.М.^{1а}, к.т.н., Чан Ба Хюи¹, Ашихмин Д.А.², Сидоров А.А.³

¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва

² ООО "ЭйДжиСи Индастрис", Москва

³ ООО «ТЕСИС», Москва

Провели компьютерное моделирование процесса продольной холодной прокатки полосы с вибрацией рабочего вала с помощью вычислительной среды DEFORM-3D. Установили, что в результате моделирования прокатанная полоса имеет продольную и поперечную разнотолщинность, которая является следствием вибрации рабочего вала. Результаты компьютерного моделирования согласуются с данными исследований на промышленном оборудовании. Визуализация данных геометрических параметров полосы, полученных при моделировании, соответствует виду неоднородностей поверхности реально прокатанной полосы. Частоты периодических составляющих реализации толщины полосы, полученной при компьютерном моделировании, найденные на основе расчёта оценки функции спектральной плотности, согласуются с данными промышленных экспериментов.

Выявление факторов, приводящих к появлению разнотолщинности при продольной прокатке и поиск способов для устранения их негативного влияния является актуальной задачей.

Одним из таких факторов является вибрация валков при прокатке. Исследованию вибрации валков, причин её появления и её влияния на формирование толщины полосы посвящен ряд работ как в России [Skripalenko, 2011; Mazur, 2011; Garber, 2011], так и за рубежом [Yang Xu, Tong C.N., 2012; Yang Xu, 2012; Shengli Wu, 2014]

Представляет интерес определение влияния вибрации валков на формирование толщины полосы и листа с помощью компьютерного моделирования. Эффективность такого подхода показана в [Skripalenko, 2013 (March); Skripalenko, 2013 (November)], где моделировался процесс прокатки при котором рабочий валок совершал колебания в вертикальной плоскости, перпендикулярной оси прокатки.

Целью данной работы являлось смоделировать в DEFORM-3D продольную прокатку полосы. При прокатке накладывали вибрации на верхний валок. При этом колебания вала происходили в плоскости, параллельной направлению прокатки согласно данным, приведенным в [Garber, 2011]. По результатам моделирования необходимо было установить влияние данного характера вибрации вала на формирование толщины полосы.

Для того, чтобы определить возможность моделирования процесса продольной прокатки с вибрацией верхнего рабочего вала (рис. 1), провели пробное моделирование в DEFORM-3D.

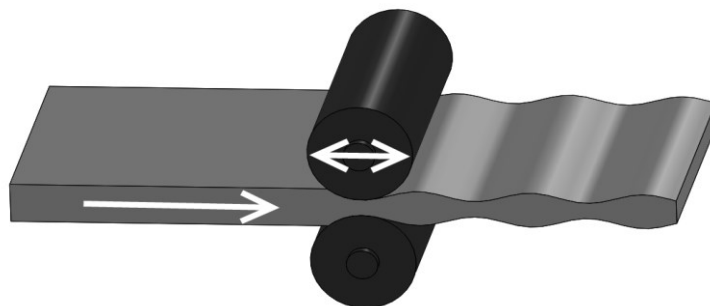


Рис. 1. К иллюстрации характера вибрации вала при пробном моделировании

Смоделировали процесс холодной прокатки без учёта теплообмена, при этом верхний валок колебался с частотой 25 Гц и амплитудой 0,4 мм. Полоса шириной 15 мм, длиной 300 мм и толщиной 5 мм прокатывалась в валках диаметром 150 мм и длиной бочки 300 мм. Зазор между валками – 4 мм, материал полосы – AL-3003 (ближайший отечественный аналог - АМцС), температура полосы была постоянной и равнялась 20°C. Коэффициент трения приняли равным 0.25 (по Зибелю). Угловая

скорость валков была задана равной 6 рад/с. По результатам моделирования установили, что полоса после прокатки имеет волнистую поверхность как показано (рис. 2), при этом период колебаний составил порядка 10 мм (рис. 3). Согласно современным представлениям о процессе продольной прокатки появление подобных полос объясняется именно вибрацией валков [Garber, 2011], подобной заданной при моделировании.

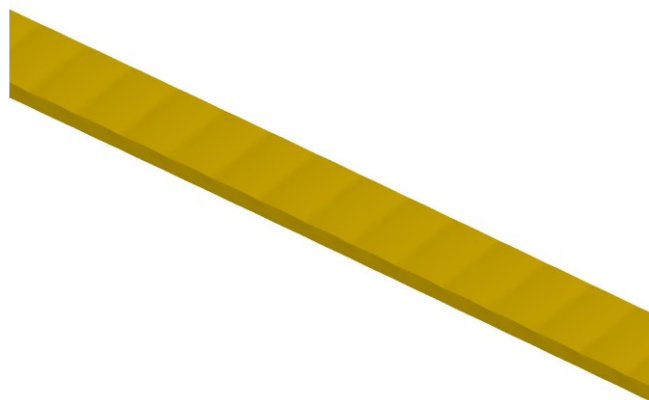


Рис. 2. Волнистость на поверхности полосы

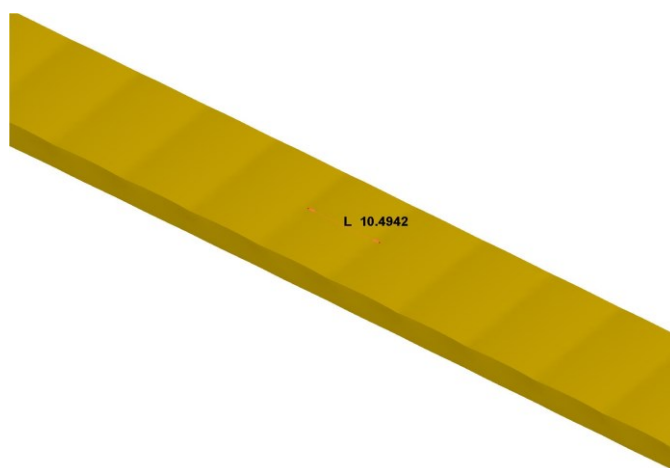


Рис. 3. Длина поперечных полос

После этого перешли к моделированию процесса холодной прокатки листа, описанному в [Garber, 2011].

Для создания моделей валков и полосы использовали SolidWorks. При создании моделей выбрали масштаб 20:1 вследствие того, что смоделировать прокатку реальных размеров, при которых полоса имеет толщину менее 1 мм, для вычислительны сред конечно-элементного анализа является затруднительным.

Полученные в SolidWorks модели спозиционировали в сборку, сохранили в формате .stl и загрузили в Pre-processor DEFORM-3D. Моделировали прокатку полосы толщиной 20 мм, зазор между валками - 8 мм, диаметр валков 12000 мм. Угловую скорость валков задали равной 45 рад/с. Коэффициент трения для пар «верхний валок-лист» и «нижний валок-лист» задали равным 0,3 (по Зиббелю). Для задания вибрации верхнего рабочего валка во вкладке «Движение» в Pre-processor DEFORM-3D выбрали опцию «Function of time». График колебаний задавали, исходя из того, что согласно данным [Garber, 2011] валок имел частоту колебаний 390 Гц и амплитуду 12 мм с учётом принятого масштаба. Для сокращения времени расчёта моделировали прокатку половины полосы. Плоскость симметрии при этом была горизонтальной и проходила через середину полосы по толщине. Моделировали прокатку без уширения. Для этого задали граничное условие - на боковых поверхностях заготовки скорость перемещения металла в направлении, перпендикулярном боковой поверхности равнялась нулю.

По завершении расчёта в DEFORM-3D для определения изменения толщины по длине прокатанной полосы воспользовались функцией «Point tracking» в Post-processor DEFORM-3D. На поверхность недеформированной заготовки (рис. 4) нанесли 50 точек с шагом равным 10 мм. После этого рассчитали координаты этих точек с помощью функции «Point tracking» по окончании процесса

прокатки. Определили значение толщины в поперечных сечениях полосы, проходящих через каждую из точек. Построили график, на котором по оси X указаны номера точек, а по оси Y значения толщины полосы в поперечных сечениях, проходящих через каждую из 50 точек (рис. 5).

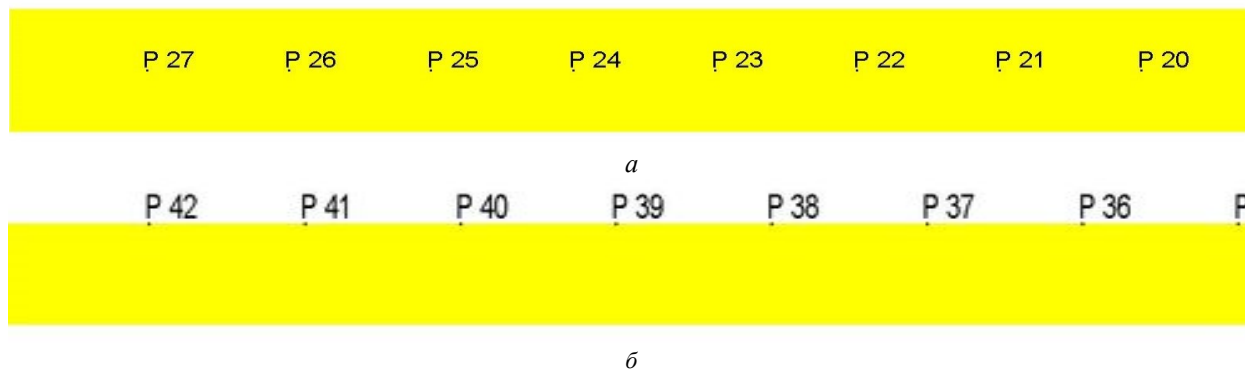


Рис. 4. Точки, нанесённые с помощью функции «Point tracking» на поверхность полосы: а - вид сверху, б – вид на полосу сбоку

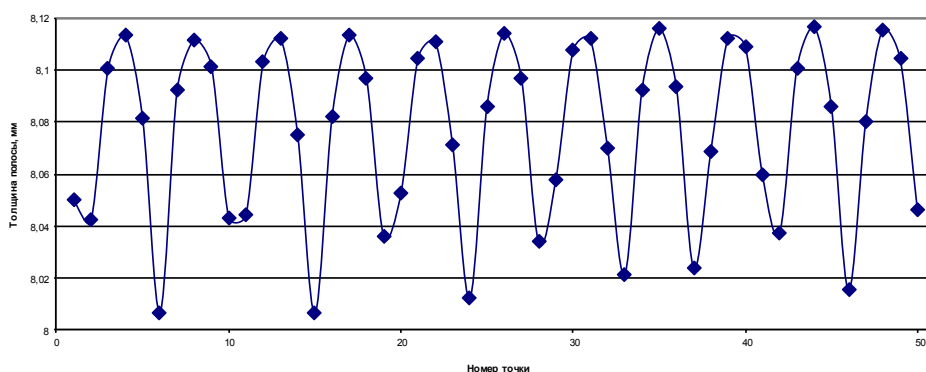


Рис. 5. Значения толщины полосы в выбранных точках

Из рис. 5 видно, что изменение толщины полосы по длине имеет явный периодический характер. Аналогично тестовой модели удалось визуально определить наличие волнистости, определить период этих полос, который оказался равным порядка 54 мм (с учётом масштаба).

С целью определить, повлияла ли вибрация верхнего валка на формировании толщины полосы, провели анализ значений толщины полосы, полученных для каждой из 50 точек, с помощью функции спектральной плотности аналогично методике, использованной в [Skripalenko, 2011]. Требовалось определить наличие всплесков на графике функции спектральной плотности, значения частот ω (Гц) соответствующих данным всплескам, а также определить совпадают ли какие-либо из выявленных частот с заданной в DEFORM-3D частотой колебаний валков, которая равнялась 390 Гц. Для повышения точности анализа исследовали диапазон частот 365-415 Гц. Получили график зависимости оценки функции спектральной плотности $S(\omega)$ от частоты ω (рис. 6).

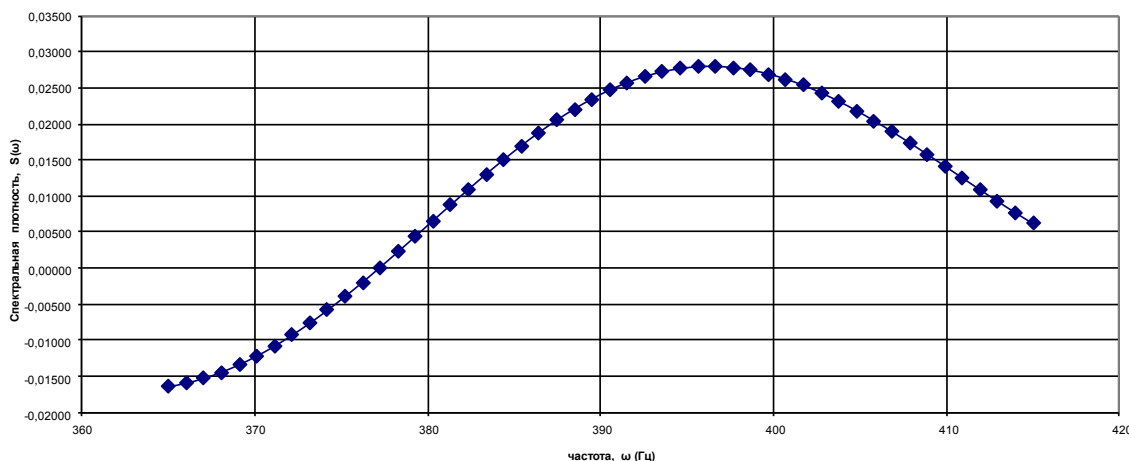


Рис. 6. График изменения оценки функции спектральной плотности в диапазоне частот 365-415 Гц.

График имеет ярко выраженный пик, которому соответствует частота 396 Гц. На валок при вводе данных в Pre-processor DEFORM-3D накладывали колебания с частотой в 390 Гц. Отклонение составляет 1,5%.

Таким образом, установили, что при моделировании процесса холодной прокатки полосы с вибрацией верхнего рабочего валка в DEFORM-3D прокатанная полоса имела волнистость поверхности определённого периода. Волнистость сравнительно легко можно наблюдать, варьируя «источниками света» с помощью соответствующей опции в Post-processor DEFORM-3D. Полученные по результатам моделирования данные соответствуют имеющимся теоретическим представлениям и экспериментальным данным, иллюстрирующим влияние вибрации рабочего валка по и против направления прокатки в горизонтальной плоскости. Анализ полученных по результатам компьютерного моделирования данных об изменении толщине прокатанной полосы по её длине был проведён с помощью функции спектральной плотности. С погрешностью 1,5 % частота, с которой воздействует на изменение толщины полосы возмущающий фактор в диапазоне 365-415 Гц, совпала с частотой колебаний валка в процессе прокатки, смоделированной в DEFORM-3D. Полученные данные позволяют сделать вывод об эффективности применения DEFORM-3D для исследований влияния вибраций валка различного характера на формирование толщины полосы при холодной прокатке. Проводя моделирование, можно однозначно отслеживать влияние вибрации на формирование толщины. При этом в отличие от реальной продольной прокатки получаемые данные об изменении толщины не будут подвержены влиянию различного рода случайных, непериодических возмущающих воздействий и помех, которые затрудняют анализ данных опытно-промышленных экспериментов и, следовательно, могут быть гораздо эффективнее проанализированы с помощью различного математического аппарата.

Список использованных источников

- Skripalenko M.N., Skripalenko M.M., Zhigulev G.P., Ashihmin D.A. Technical diagnosis and diagnostic modeling of mechanisms in the main line of a rolling mill. *Metallurgist*, Volume 54, Numbers 11-12, 2011, pp 744-752
- Mazur I.P. Monitoring the surface quality in sheet rolling. *Steel in translation*, Volume 41, #4, 2011, pp 326-331
- Garber E.A., Pavlov S.I., Kozhevnikova E.A., Timofeeva M.A. and Kuznetsov V.V. Eliminating surface defects in rolled sheet due to vibration of the working cells. *Steel in translation*, Vol. 41, #4, 2011, pp 332-337
- Yang Xu, Tong, C. N., Coupling Dynamic Model and Control of Chatter in Cold Rolling. *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Transactions of the ASME, 2012, 134(4): pp 1-8
- Yang Xu, Li, Q., Tong, C. N., et al. Vertical Vibration Model for Unsteady Lubrication in Rolls-Strip Interface of Cold Rolling Mills. *Advances in Mechanical Engineering*, 2012, Article ID 734510, 7 pages doi:10.1155/2012/734510
- Shengli Wu, Liming Wang, Yimin Shao, Yilin Yuan Vibration characteristic analysis of twenty-high rolling mill with local defect on roll surface based on the time-varying contact stiffness *Engineering Failure Analysis*. Volume 42, July 2014, Pages 297–310
- Skripalenko M.N., Skripalenko M.M., Ashikhmin D.A., Yang Xu. Use of the software deform 2D to model the process of rolling with vibration of the top work roll. *Metallurgist*, March 2013, Volume 56, Issue 11-12, pp 844-847
- Skripalenko M.N., Skripalenko M.M., Sidorov A.A., Yang Xu. Wavelet Analysis of Fluctuations in the Thickness of Cold-Rolled Strip *Metallurgist*, November 2013, Volume 57, Issue 7-8, pp 606-611