

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСКРЕТНОСТИ РАЗБИЕНИЯ ОБЪЕМА МАТЕРИАЛА НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА ПРИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ПРАВКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ

Грибков Э. П., Гаврильченко Е. Ю.

На основе реализации конечно-элементной трехмерной модели процесса правки волнистости листов проанализировано влияние дискретности разбиения объема деформируемого материала на точность и время расчета с целью снижения затрат машинного времени при решении задач оптимизационного плана для определения режимов правки. Расчетная схема представляла деформируемый лист, семь рабочих роликов с шагом 110 мм и диаметром 100 мм. Моделирование процесса правки было выполнено для листа толщиной 2,5 мм, шириной 150 мм и длиной 500 мм из стали 08кп. Для моделирования изгиба оси рабочих роликов бочка третьего ролика была выполнена выпуклой. Было установлено, что при моделировании рациональным количеством является 4500 конечных элементов при отношении диаметра рабочих роликов к толщине листа $D/h = 40$ или 15 элементов на 1 мм погонной длины листа, при этом время реализации модели составило порядка 1,3 часа при вариации сил правки на 3 % выше относительно более точного решения.

На основі Ано вплив дискретності розбиття об'єму деформованого матеріалу на точність і час розрахунку з метою зниження витрат машинного часу при вирішенні завдань оптимізаційного плану для визначення режимів правки. Розрахункова схема являла лист, що деформується, сім робочих роликів з кроком 110 мм і діаметром 100 мм. Моделювання процесу правки було виконано для листа товщиною 2,5 мм, шириною 150 мм і довжиною 500 мм зі сталі 08кп. Для моделювання вигину осі робочих роликів бочка третього ролика була виконана опуклою. Було встановлено, що при моделюванні раціональною кількістю є 4500 кінцевих елементів при відношенні діаметра робочих роликів до товщини листа $D/h = 40$ або 15 елементів на 1 мм погонної довжини листа, при цьому час реалізації моделі склав близько 1,3 години при варіації сил правки на 3 % вище щодо більш точного рішення.

On the basis of the implementation of the three-dimensional finite-element model of the straightening process of the corrugation of the sheets, the effect of the discreteness of the decomposition of the volume of deformable material on the accuracy and time of calculation which are meant to reduce the amount of computer time spent when solving the problems of the optimization plan to determine the straightening modes. The design scheme consisted of a deformable sheet, seven working rollers with a pitch of 110 mm and a diameter of 100 mm. Simulation of the straightening process was carried out for a sheet which was 2.5 mm thick, 150 mm wide and 500 mm long, made of 08kp steel. To simulate the bending of the working rollers axis of the rollers the third roller barrel was made convex. It was found out that when modeling the rational number is 4500 finite elements with a ratio of the diameter of the working rolls to the sheet thickness $D/h = 40$ or 15 elements per 1 mm of the running length of the sheet, while the realization time of the model was about 1.3 hours with the variation of the straightening forces which were 3% higher relative to a more accurate solution.

Грибков Э. П.

д-р техн. наук, доц. каф. АММ ДГМА
amm@dgma.donetsk.ua

Гаврильченко Е. Ю.

нач. бюро агрегатных линий ЧАО «НКМЗ»

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.
ЧАО «НКМЗ» – Частное акционерное общество «Новокраматорский машиностроительный завод», г. Краматорск.

УДК 004.942; 621.771.01

Грибков Э. П., Гаврильченко Е. Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСКРЕТНОСТИ РАЗБИЕНИЯ ОБЪЕМА МАТЕРИАЛА НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА ПРИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ПРАВКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ

При конечно-элементном моделировании немаловажным фактором является дискретность разбиения объема деформируемого материала, которая влияет на точность и время расчета. С увеличением дискретности точность расчета увеличивается, но при этом резко возрастает время на его выполнение. Для определения минимально достаточного количества конечных элементов при сохранении точности по аналогии с работой [1] были выполнены исследования процесса правки листов на многороликовой правильной машине с изгибом рабочего ролика.

Листоправильные машины предназначены для исправления продольной кривизны листов, полученной во время прокатки [2–5]. Одним из путей совершенствования данного оборудования является создание изгиба оси рабочих роликов, что делает возможным дополнительное исправление поперечной кривизны листов [6]. При использовании данного типа машин актуальной является проблема определения оптимальной настройки рабочих роликов не только в продольном направлении движения листа, но и в поперечном, то есть определение помимо величины перекрытия роликов величину их изгиба. Указанное возможно при использовании трёхмерных математических моделей процесса правки листов [7–9]. Однако решение оптимизационных задач по определению технологических настроек правильной машины на основе трёхмерных конечно-элементных моделей занимает значительное машинное время, что делает актуальным определение рациональной дискретизации объема деформируемого металла с точки зрения минимизации времени расчета с допустимой точностью расчета.

Целью данной работы является определение рационального количества конечных элементов при трехмерном моделировании процесса правки листов с дефектом волнистости по критерию минимума затрат машинного времени при одновременном обеспечении достаточной точности расчета.

В рамках анализа напряженно-деформированного состояния металла при правке продольной и поперечной кривизны листов был выполнен расчет с использованием метода конечных элементов в системе Abaqus CAE.

Рассматриваемая применительно к анализу процесса правки листов на правильных машинах расчетная схема, которая представляла собой деформируемый лист, семь рабочих и один направляющий ролик, представлена на рис. 1.

В соответствии с расчетной схемой (см. рис. 1) шаг машины t был принят 110 мм, диаметр рабочих роликов равным 100 мм. Непосредственно моделирование процесса правки было выполнено для листа толщиной 2,5 мм из стали 08кп. Для моделирования изгиба оси рабочих роликов бочка третьего ролика была выполнена выпуклой.

Исходная конечно-элементная модель имеет следующие граничные условия: ролики имеют одну вращательную степень свободы. В расчете использовалась модель классической пластичности металла, в качестве материала листа была принята сталь 08кп [10].

Контакт между листом и роликами задавался при помощи модели контакта «Поверхность к поверхности» путем задания коэффициента трения $\mu = 0,2$.

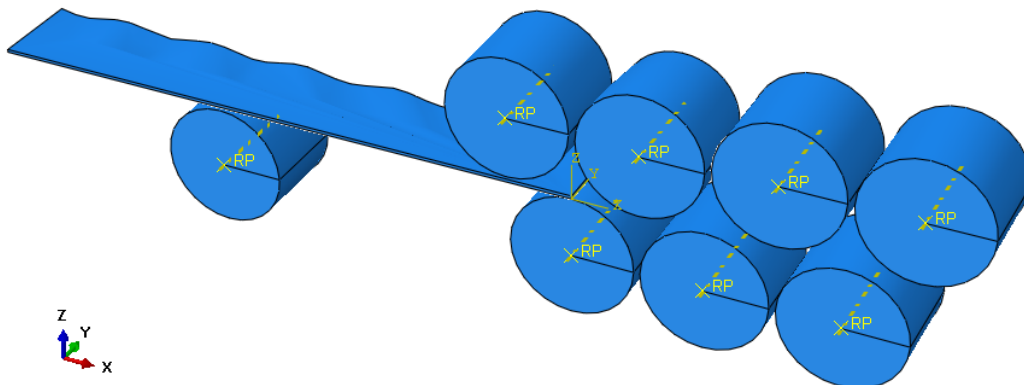


Рис. 1. Расчётная конечно-элементная в глобальной системе координат модель процесса правки листов на листоправильных машинах

Рабочие ролики приводились во вращение с угловой скоростью 0,95 рад/сек, что, с учетом их диаметра, соответствует примерной скорости движения листа вдоль оси «1» глобальной системы координат 0,1 м/с. Время шага было принято 6 сек.

Для оценки полученных результатов выходными в данном случае параметрами были выбраны проекции реакций в контрольных точках роликов в глобальной системе координат RF1, RF2, RF3, а также перемещения, деформации и напряжения в узлах конечных элементов листа.

Для исследования процесса правки краевой волнистости использовали импортированную модель листа, полученную в пакете SolidWorks (рис. 2). Сам же лист разбивали на различное количество ячеек, а именно: 300; 1224; 4545; 7191; 15014 (рис. 3).

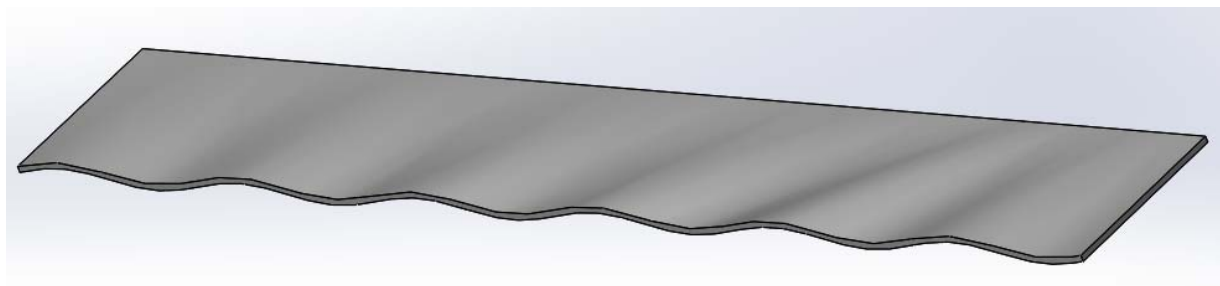


Рис. 2. Твёрдотельная модель листа

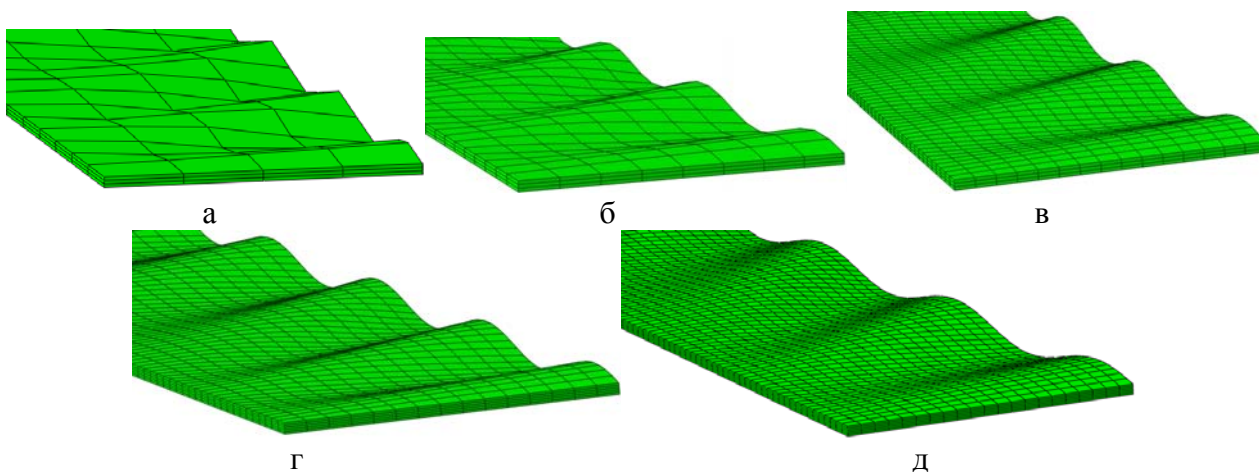


Рис. 3. Модели листов с различной дискретизацией объема: а – 300; б – 1224; в – 4545; г – 7191; д – 15014

Реализация модели была выполнена на ЭВМ с процессором Intel Core i3-4005U и объемом оперативной памяти 4 Гб. В процессе расчета фиксировалось время расчета (рис. 4) и сила правки на третьем ролике (рис. 5). Было установлено, что с увеличением дискретизации объема деформируемого материала, время расчета увеличивается практически линейно и при количестве ячеек 15120 составляет 4,2 часа (см. рис. 4). Полученные значения силы правки имеют значительный разброс, который уменьшается с увеличением количества элементов (см. рис. 5).

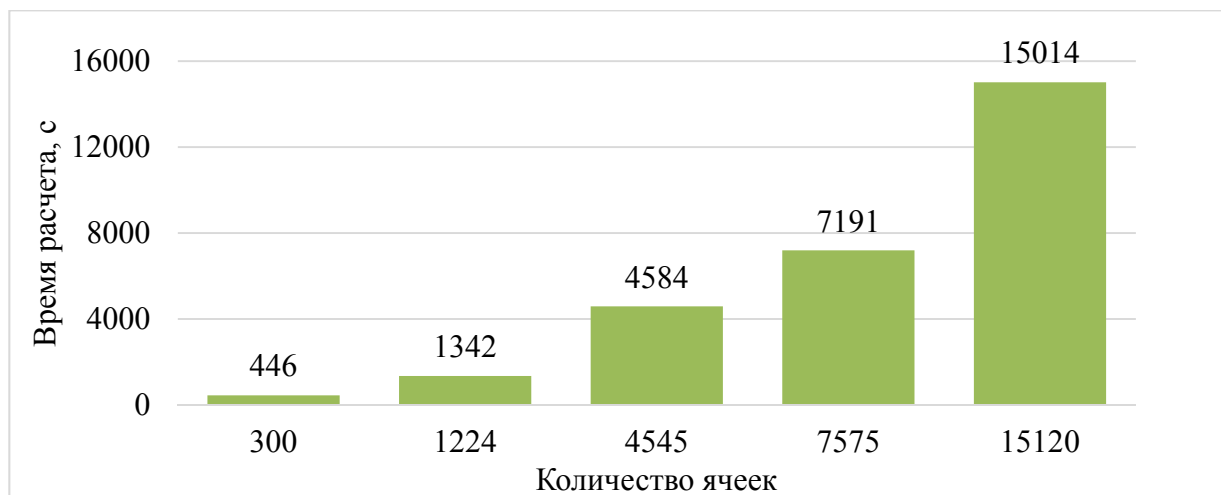


Рис. 4. Зависимость времени расчета от количества ячеек

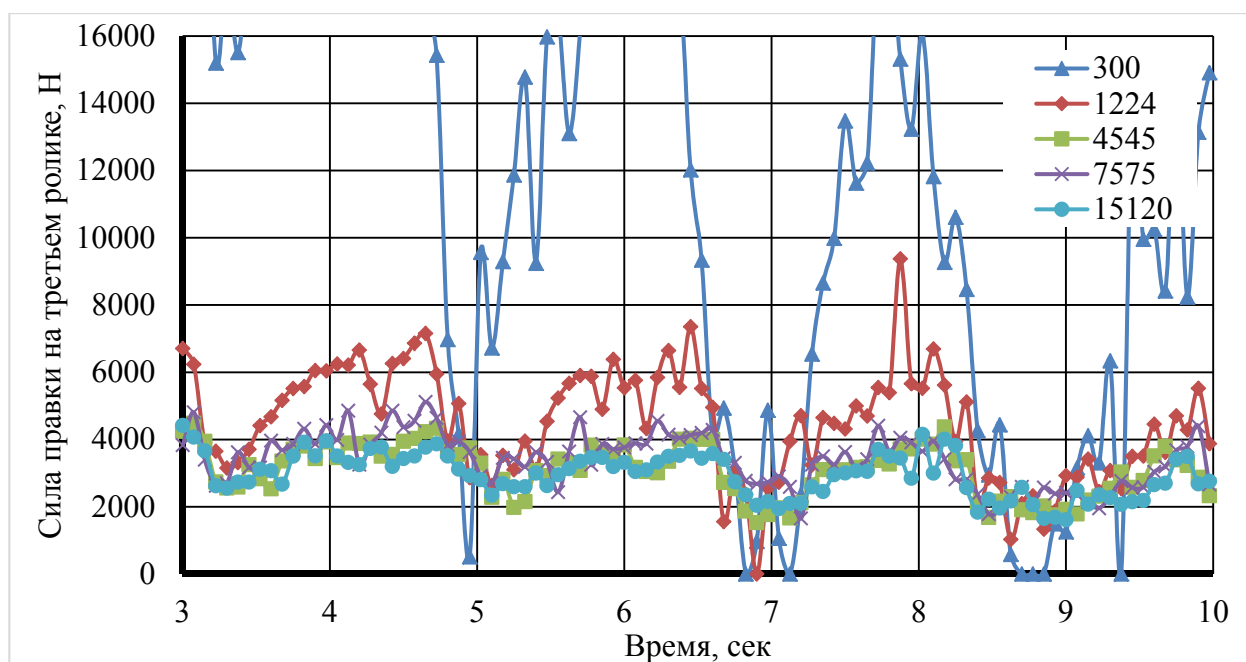


Рис. 5. Значения сил правки во время протекания процесса деформации в зависимости от количества ячеек

Используя полученный во время расчета ряд значений сил правки, был определен коэффициент вариации их разброса для каждого случая дискретизации объема, который составил более 65 % в случае использования сетки из 300 элементов и порядка 20...25 % при увеличении дискретизации более 4000 элементов (рис. 6), что позволяет сделать вывод о достаточности разбиения объема металла на уровне 4500 конечных элементов.

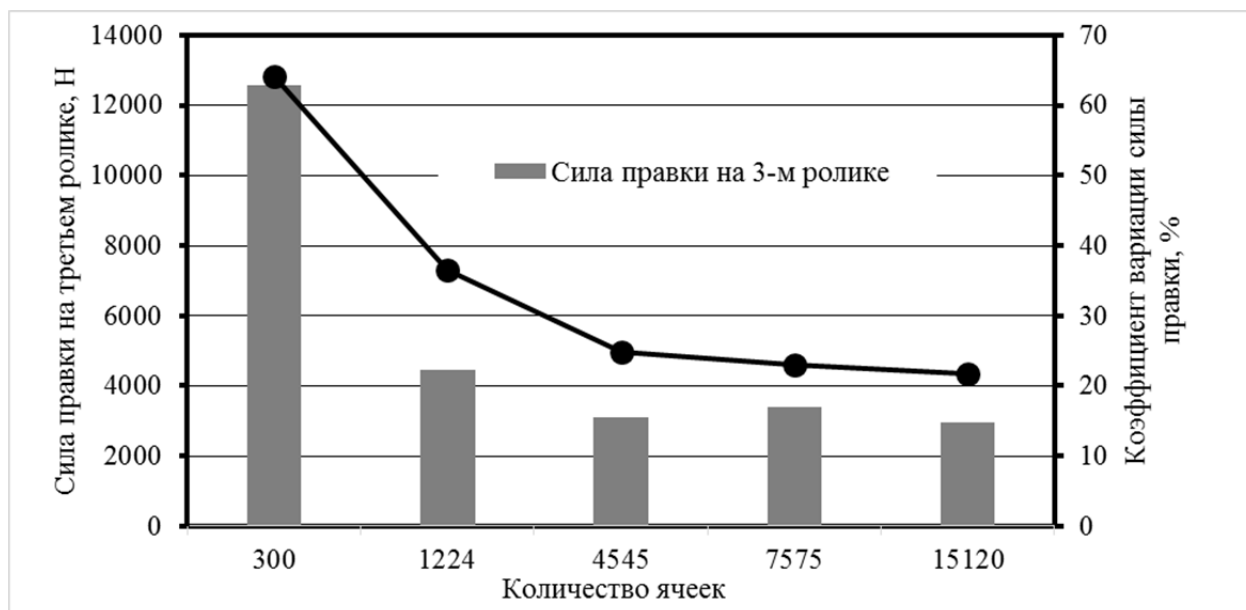


Рис. 6. Значения силы правки на третьем ролике и его коэффициента вариации в зависимости от количества ячеек

ВЫВОДЫ

В результате реализации трехмерной конечно-элементной модели процесса правки листов с дефектом волнистости было установлено, что при моделировании рациональным количеством является 4500 конечных элементов при отношении диаметра рабочих роликов к толщине листа $D/h = 40$ или 15 элементов на 1 мм погонной длины листа, при этом время реализации модели составило порядка 1,3 часа при вариации сил правки на 3 % выше относительно более точного решения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Flatness defects after bridle rolls: a numerical analysis of leveling / N. Mathieu, R. Dimitriou, A. Parrico, M. Potier-Ferry, H. Zahrouni // *International Journal of Material Forming*. – 2013. – Vol. 6. – Issue 2. – P. 255–266.
2. Слоним А. З. Правка листового и сортового проката / А. З. Слоним, А. Л. Сонин. – М.: Металлургия, 1981. – 232 с.
3. Недорезов И. В. Роликовые правильные машины АО «Уралмаш» и пути их совершенствования / И. В. Недорезов, Б. Я. Орлов, А. Х. Винокурский // *Труды первого Конгресса прокатчиков*. Магнитогорск, 23–27 октября, 1995. – М., 1996. – С. 38–42.
4. Королев А. А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов / А. А. Королев. – М.: Металлургия, 1987. – 480 с.
5. Луговской В. М. Теория расчета листопрямильных машин и автоматизация их проектирования / В. М. Луговской. – Труды ВНИИМЕТМАШ. – М.: Металлургия, 1970. – № 26 – С. 8–30.
6. Шинкин В. Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатиролковой листопрямильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate / В. Н. Шинкин // *Производство проката*. – 2014. – № 8. – С. 26–34.
7. Park K. Development of a Finite Element Analysis Program for Roller Leveling and Application for Removing Blanking Bow Defects of Thin Steel Sheet / K. Park, S. Hwang [Электронный ресурс] // *ISIJ International*. – Vol. 42 (2002), No. 9. – P. 990–999. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.42.990>.
8. Cui L. Analysis of Leveling Strategy for a plate Mill [Электронный ресурс] / L. Cui, X Hu, X. Liu // *Advanced Materials Research*. – Vol. 145 (2011). – P. 424–428. – Режим доступа: <http://doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.145.424>.
9. Cui L. Research on Mathematical Model of Leveling Process for Plate Mill [Электронный ресурс] / L. Cui, X. Hu, X. Liu // *Advanced Materials Research*. – Vols. 148–149 (2011). – P. 368–371. – Режим доступа: <http://doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.148-149.368>.
10. Кроха В. А. Кривые упрочнения металлов при холодной деформации / В. А. Кроха. – М.: Машиностроение, 1968. – 131 с.