

УДК 621.771.01

Федоринов В. А.
Обухов А. Н.
Кулик Н. А.
Картавенко А. С.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ ЗАГОТОВОК С НЕРАВНОМЕРНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПОЛЕМ

Процесс прокатки монометалла достаточно полно изучен с точки зрения определения интегральных и локальных характеристик в диапазоне холодного или горячего деформирования. Однако, даже при прокатке монометаллических листов возникает несимметричность механических свойств по толщине, связанная с неравномерностью нагрева сляба под прокатку, а так же вследствие охлаждения поверхности проката после гидросбива окалины, что может привести к забуриванию полосы. Отмеченное свидетельствует о целесообразности всестороннего анализа процессов прокатки листов с неравномерным температурным полем, как с точки зрения энергосиловых параметров, так и с точки зрения механизмов дефектообразования и методов их устранения.

В настоящее время область применения метода конечных элементов очень обширна и охватывает все физические задачи, которые могут быть описаны дифференциальными уравнениями. Наиболее важным преимуществом метода конечных элементов, благодаря которым он широко используется, являются то, что свойства материалов смежных элементов не должны быть обязательно одинаковыми [1]. Это позволяет применить метод к решению данной задачи.

Исходя из вышесказанного, в качестве метода математического моделирования был принят метод конечных элементов в его программной интерпретации в пакете «Abaqus» [2].

Постановка и решение задачи моделирования разбивались на два шага. Первым шагом в данном случае является зажатие листа рабочими валками прокатного стана. Следующий шаг заключается во вращении рабочих валков и реализации непосредственно процесса прокатки. При анализе рабочие валки моделировались как абсолютно жесткие аналитические поверхности, лист моделировался четырехузловыми твердотельными элементами с плоской деформацией и редуцированной схемой интегрирования. При решении задачи пренебрегали динамическими явлениями захвата металла валками, что существенно снизило время расчета. При анализе время каждого приращения (часть истории анализируемого процесса) ABAQUS / Standard автоматически выбирает параметры сходимости и приращения времени, требуемые для данного шага [2]. Такой подход является высокоэффективным для нелинейных задач, потому что отклик модели может значительно изменяться на каждом шаге. Автоматическое управление приращением времени шага позволяет решать нелинейные задачи, к каким следует отнести анализ процессов обработки металлов давлением, не имея исчерпывающей информации о поведении моделируемой конструкции.

Целью данной работы является изучение влияния неравномерного распределения температурного поля по толщине заготовки на ее результирующую кривизну.

В данной статье представлены расчеты для листа 30ХГСА ($h_0 = 40$) имеющей асимметричное распределение температур по высоте ($T_1 > T_2$), в условиях черновой клетки стана 2800 ($R_{раб} = 700$). Производили шесть расчетов. Первый расчет произвели для изотермического случая с постоянной температурой 900 °С. В последующих расчетах принимали перепады температур 910 – 890 °С, 920 – 880 °С, 930 – 870 °С, 940 – 860 °С и 950 – 850 °С для 2-го, 3-го, 4-го, 5-го и 6-го расчета соответственно, при этом средняя температура полосы в каждом случае оставалась $T_{cp} = 900$ °С (рис. 1).

Результатами математического моделирования являются распределение напряжений и деформаций материала листа, как по его длине, так и толщине, изменения силы и моментов прокатки. Также производили анализ результирующей геометрии листа.

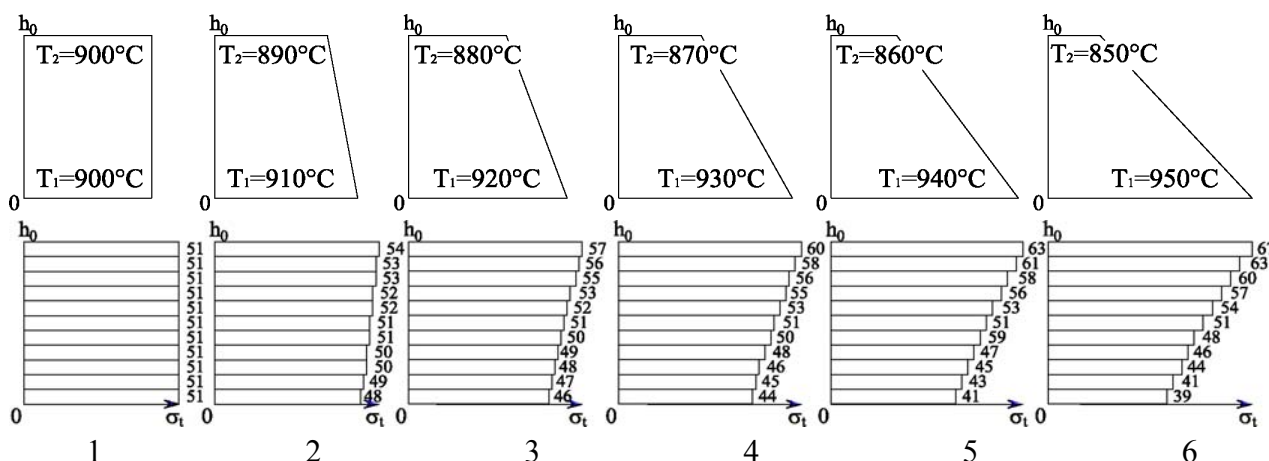


Рис. 1. Исходное распределение температур и механических свойств по толщине заготовки

Исследования показывают, что величина момента прокатки на валке, соприкасающегося с более нагретой поверхностью (более мягкой), имеет более высокое значение, чем на валке, соприкасающегося с менее нагретой. Эти данные совпадают с выводом А. И. Целикова [3] о том, что для вращения валка, соприкасающегося с более мягкой частью полосы, требуется несколько больший момент, чем для вращения другого валка, сделанный в предположении одинакового характера распределения контактных напряжений по дуге захвата у верхнего и нижнего валков (рис. 2, а). При этом равенство значений средних температур во всех расчетах обуславливает одинаковую силу прокатки (рис. 2, б).

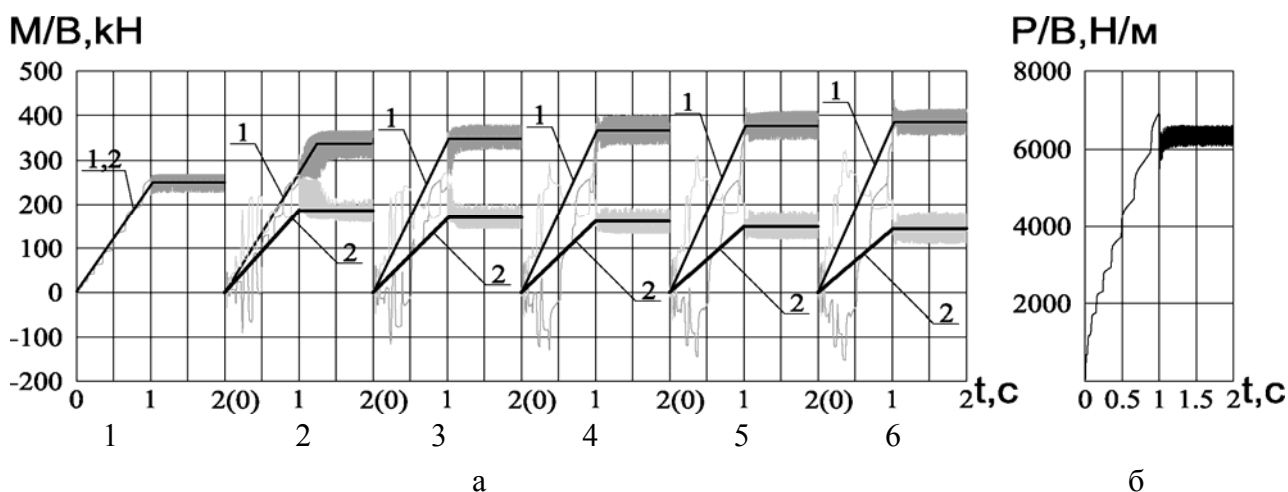


Рис. 2. Расчетные распределения, приведенные к единице ширины, моментов (а) и силы прокатки (б):

1 – $T = 900 \text{ }^\circ\text{C}$; 2 – перепад температур $910 - 890 \text{ }^\circ\text{C}$; 3 – перепад температур $920 - 880 \text{ }^\circ\text{C}$; 4 – перепад температур $930 - 870 \text{ }^\circ\text{C}$; 5 – перепад температур $940 - 860 \text{ }^\circ\text{C}$; 6 – перепад температур $950 - 850 \text{ }^\circ\text{C}$ (нумерация валков: 1 – нижний; 2 – верхний)

Наряду с распределением напряжений и деформаций представлена также информация о геометрии листа в результате прокатки. Именно возникающая продольная кривизна в рассматриваемом случае является одним из основных показателей качества получаемой металлопродукции, так как ее значение определяет возможность реализации дальнейшей обработки давлением полосы (рис. 3).

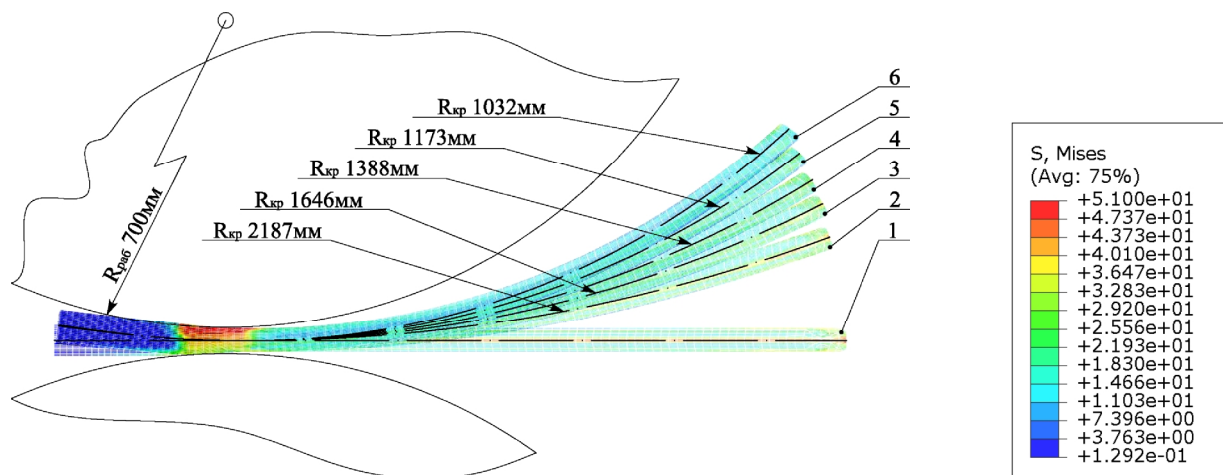


Рис. 3. Радиусы кривизны полосы на выходе и расчетные распределения эквивалентных напряжений по Мизесу:

1 – $T = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – перепад температур $910\text{--}890\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – перепад температур $920\text{--}880\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – перепад температур $930\text{--}870\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 – перепад температур $940\text{--}860\text{ }^{\circ}\text{C}$; 6 – перепад температур $950\text{--}850\text{ }^{\circ}\text{C}$

Как видно из рис. 3, радиус кривизна листа возрастает с увеличением перепада температур, что может вызвать аварийную ситуацию. Кроме того, в этом случае возникает значительная перегрузка одного из валков, что может вызвать поломку.

ВЫВОДЫ

Анализ представленных результатов свидетельствует о возможности прогнозирования не только основных показателей напряженно-деформированного состояния металла при его прокатки, а и такие показатели качества готовой металлопродукции, как результирующая продольная кривизна и остаточных напряжений. Таким образом, разработанная конечно-элементная модель может быть использована для оценки эффективности предложенной технологической настройки и режимов работы стана в каждом конкретном случае. Здесь следует отметить, что на практике проведение натуральных экспериментов или проведение какого-либо исследования занимает гораздо больше времени, чем расчет этого же процесса на обычном персональном компьютере, а количество информации, получаемое в результате расчета с использованием МКЭ, значительно превышает количество информации, полученное экспериментально. Вместе с тем невозможно и неправильно полностью отказываться от натуральных экспериментов, но возможно значительно уменьшить их количество.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теоретичні основи обробки металів тиском : монографія. У 2 т. Т. 2. / Б. М. Ілюкович, А. П. Огурцов, М. С. Нехаєв, С. В. Єршов. – Дніпропетровськ : РВА «Дніпро-ВАЛ», 2002. – 485 с.
2. Belytschko T. *Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures* / T. Belytschko, W. K. Lin, B. Moran, 2001. – 668 p.
3. Полухин П. И. *Технология обработки металлов давлением* / П. И. Полухин, А. Хензель. – М : Металлургия, 1988. – 204 с.

Федоринов В. А. – канд. техн. наук, проф. ДГМА;
 Обухов А. Н. – канд. техн. наук, доц. кафедры ВМ ДГМА;
 Кулик Н. А. – аспирант ДГМА;
 Картавенко А. С. – студент ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua