

**к. т. н., проф. Луценко В.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)**
**к. т. н., ст. преп. Сатонин А.А.,
студент Кулик Н.А.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИСТОВ

Розроблено математичну модель напружено-деформованого стану, а також основних показників якості готової металопродукції при реалізації процесу прокатки двошарових біметалевих листів.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Дальнейшее повышение эффективности продукции металлургического и машиностроительного комплексов делает необходимым расширение сортамента выпускаемой металлопродукции, как по типоразмеру, так и по сочетаниям используемых в каждом конкретном случае материалов. В настоящее время все большее распространение получает продукция, изготовленная из материалов, обладающих неоднородными по толщине физико-механическими свойствами, чаще всего многослойных полиметаллических лент, листов и полос [1-3]. Использование данного вида металлопродукции позволяет значительно повысить эксплуатационные свойства готовой продукции при одновременной экономии остаточных дефицитных и дорогостоящих металлов и сплавов [1-3]. Однако, дальнейшее расширение сферы применения связано с широкомасштабным освоением процессов обработки давлением многослойных полиметаллических материалов, что, зачастую, является сложной задачей как с точки зрения технологических режимов, так и с точки зрения конструктивных параметров используемого оборудования. Следует отметить также, что использование традиционных подходов к формированию технологических процессов обработки давлением многослойных полиметаллических материалов приводит к снижению коэффициента выхода годного, а в ряде случаев к нецелесообразности реализации разработанной технологии на том или ином этапе. Таким образом, решение вопросов разработки требований к составу и компоновке заготовки, выбору технологических режимов, а также конструктивных параметров используемого оборудования должно быть осуществлено на основе научно

обоснованного подхода к формированию, как напряженно-деформированного состояния, так и основных показателей качества готовой металлопродукции в результате реализации всей технологической цепи процесса производства от получения композиции до непосредственно изделия.

Постановка задачи. Необходимо разработать математическую модель, позволяющую прогнозировать не только напряженно-деформированное состояние заготовки и энергосиловые параметры при реализации процесса прокатки, но и форму, а также дефекты готового металлопроката. В качестве метода математического моделирования был принят метод конечных элементов в его программной интерпретации в пакете Abaqus [4].

Изложение материала и его результаты. 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 твердотельными четырехузловыми элементами с плоской деформацией и редуцированной схемой интегрирования. 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 полученной биметаллической композиции, а также вероятность разрушения композиции непосредственно при реализации процесса прокатки. В некоторых случаях, при прокатке двухслойных биметаллических композиций, в состав которых входят материалы, очень сильно различающиеся по своим механическим свойствам, происходит изгиб заготовки, в результате которого становится невозможной последующая задача металла в рабочие валки прокатного стана, правка таких заготовок также затруднена. Отмеченное свидетельствует о целесообразности всестороннего анализа процессов прокатки многослойных полиметаллических композиций, как с точки зрения энергосиловых параметров, так и с точки зрения механизмов дефектообразования и методов их устранения.

На рисунке 1 представлены расчетные распределения напряжено-деформированного состояния и энергосиловых параметров при горячей прокатке композиции 08Х13–12ХМ, предел текучести материала твердой составляющей для первого прохода составляет $\sigma_{T1} = 150\text{МПа}$, мягкой $\sigma_{T2} = 57\text{МПа}$ (см. рис.1а). Для пятого прохода соответственно $\sigma_{T1} = 156\text{МПа}$ и $\sigma_{T2} = 60\text{МПа}$ (см. рис.1б).

В качестве локальных характеристик представлены распределение эквивалентных напряжений по Мизесу, а также информация о форме переднего конца. В качестве интегральных характеристик представлены распределения приведенных к единице ширины значений силы и момента прокатки.

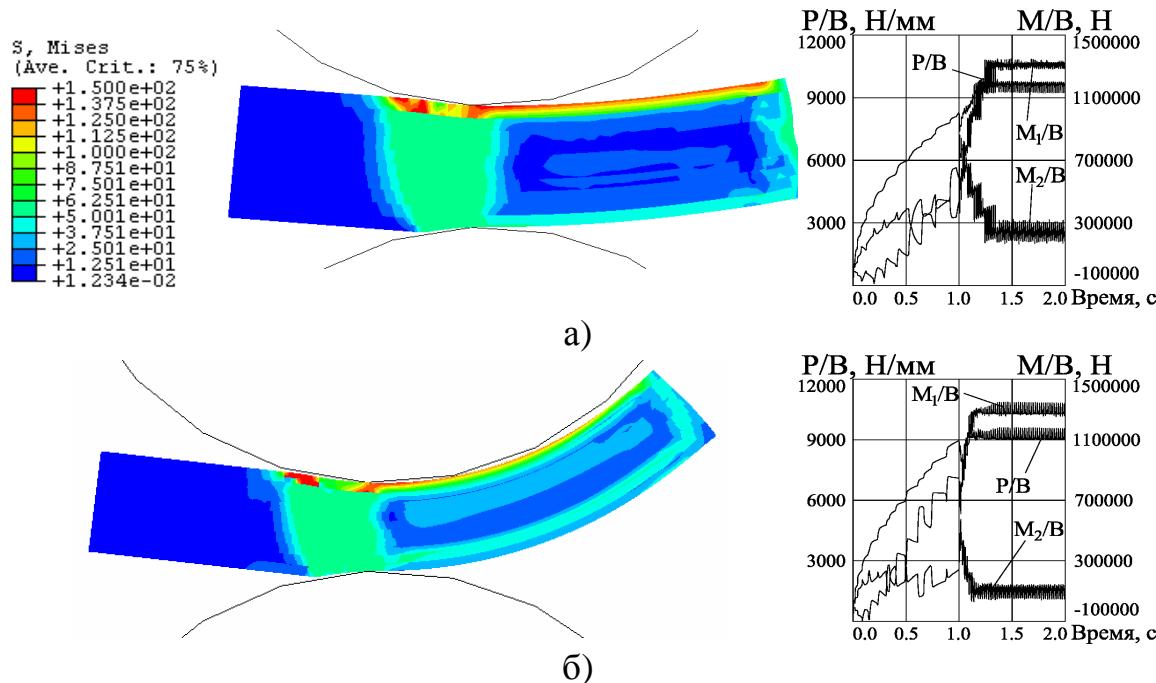


Рисунок 1- Расчетные распределение локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке биметаллических листов 08Х13 –12ХМ

Из анализа представленных распределений видно, что кривизна листа по проходам увеличивается и в определенный момент может достигнуть величины, при которой дальнейшая обработка невозможна. При этом можно отметить существенную разницу между моментом прокатки на верхнем и нижнем рабочих валках прокатного стана.

Отмеченные недостатки связаны с несимметричностью пакета, что может быть устранено за счет использования четырехслойных симметричных пакетов с последующим разделением готового проката.

На рисунке 2 представлены распределения напряженно-деформированного состояния и энергосиловых параметров при горячей прокатке композиции 08Х13–12ХМ, предел текучести материала наружной составляющей для первого прохода составляет $\sigma_{T1} = \sigma_{T3} = 57 \text{ МПа}$, внутренней $\sigma_{T2} = 150 \text{ МПа}$. Для пятого прохода соответственно $\sigma_{T1} = 60 \text{ МПа}$ и $\sigma_{T2} = 156 \text{ МПа}$ (см. рис.2б).

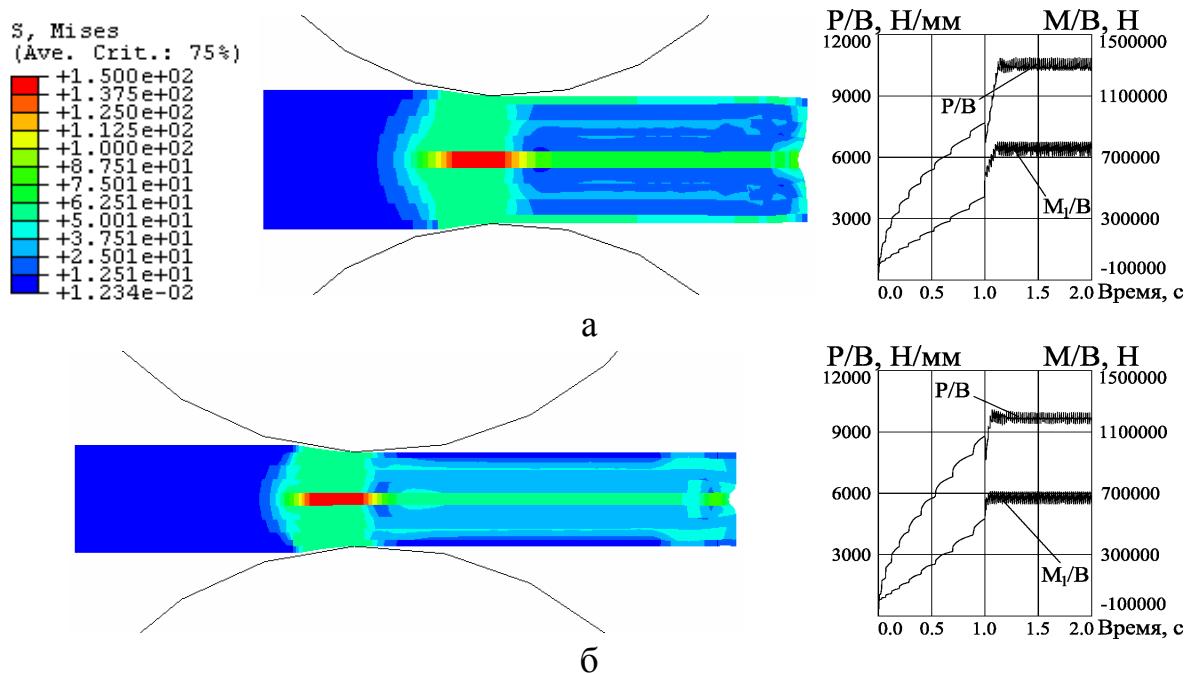


Рисунок 2 - Расчетные распределение локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке биметаллических листов 08Х13–12ХМ

Однако, даже при реализации процесса прокатки четырехслойных симметричных пакетов возникает несимметричность механических свойств по толщине пакета, связанная с неравномерностью нагрева.

Актуальной задачей является оценка напряженно-деформированного состояния и основных показателей качества готовой металлопродукции при реализации процесса прокатки четырехслойных симметричных биметаллических пакетов с учетом возможной несимметричности механических свойств.

На рисунке 3 представлены расчетные распределения напряжено-деформированного состояния и энергосиловых параметров при горячей прокатке композиции 08Х13–12ХМ, предел текучести материала наружной составляющей для первого прохода составляет $\sigma_{T1} = 62\text{МПа}$ и $\sigma_{T3} = 52\text{МПа}$, внутренней $\sigma_{T2} = 150\text{МПа}$. Для пятого прохода соответственно $\sigma_{T1} = 65\text{МПа}$, $\sigma_{T3} = 55\text{МПа}$ и $\sigma_{T2} = 156\text{МПа}$.

На рисунке 4 представлены расчетные распределения напряжено-деформированного состояния и энергосиловых параметров при горячей прокатке композиции 08Х13–12ХМ, предел текучести материала наружной составляющей для первого прохода составляет $\sigma_{T1} = 72\text{МПа}$ и $\sigma_{T3} = 42\text{МПа}$, внутренней $\sigma_{T2} = 150\text{МПа}$. Для пятого прохода соответственно $\sigma_{T1} = 75\text{МПа}$, $\sigma_{T3} = 45\text{МПа}$ и $\sigma_{T2} = 156\text{МПа}$.

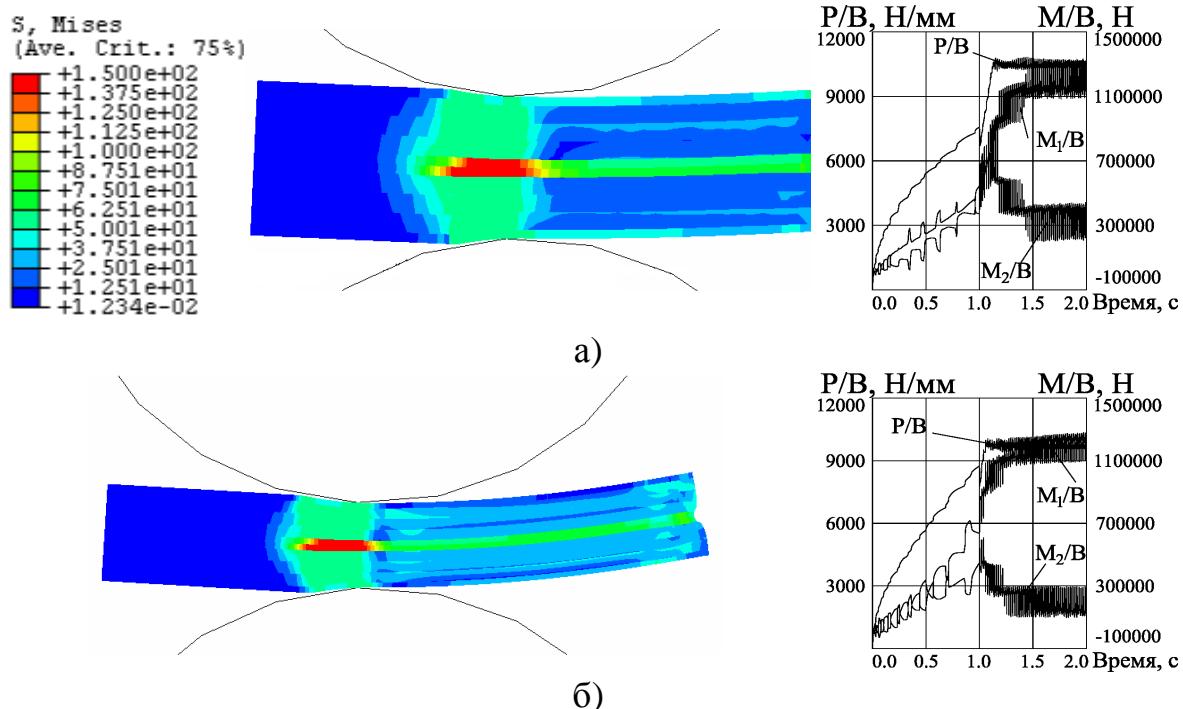


Рисунок 3 - Расчетные распределение локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке биметаллических листов 08Х13 –12ХМ

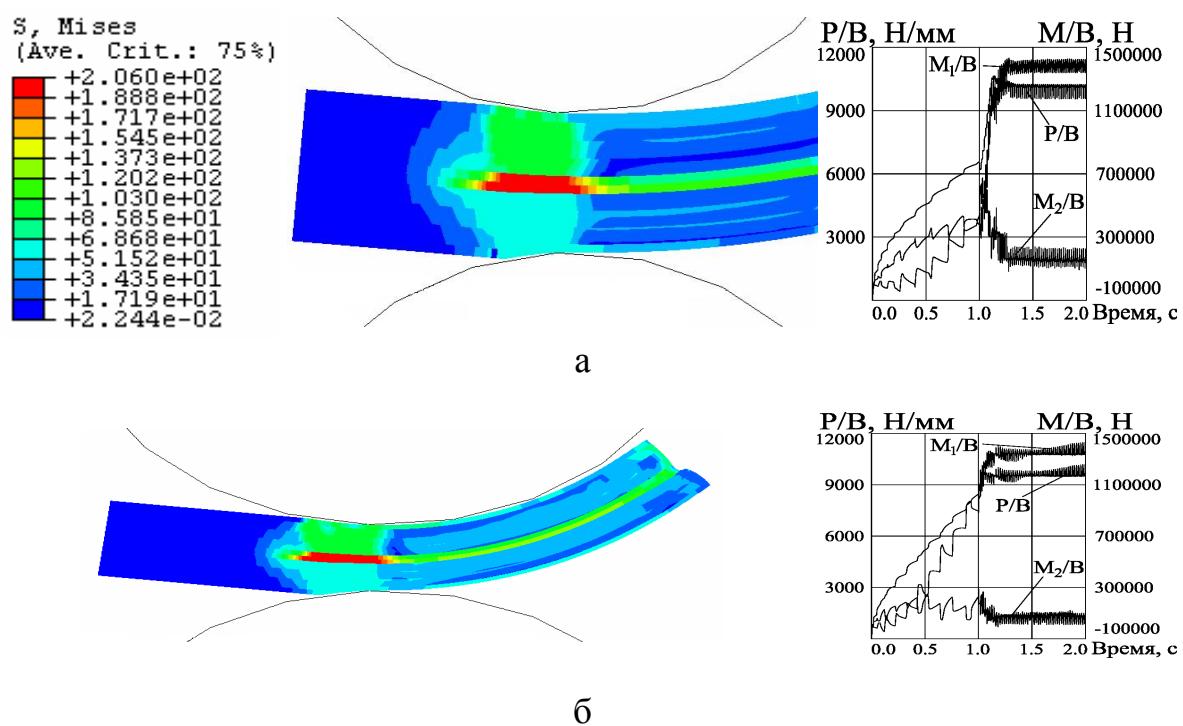


Рисунок 4 - Расчетные распределение локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке биметаллических листов 08Х13 –12ХМ

Выводы и направление дальнейших исследований. В рамках исследования процессов горячей прокатки многослойных полиметаллических листовых композиций была разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния металла и основных показателей качества выпускаемой металлопродукции, основанная на использовании метода конечных элементов в его программной интерпретации в пакете конечно-элементного анализа Abaqus [4]. Численная реализация полученной математической модели подтвердила возможность прогнозирования не только локальных и интегральных показателей напряженно-деформированного состояния, но и таких показателей качества, как продольная кривизна получаемой листовой композиции. Анализ полученных результатов свидетельствует о сложном неоднородном характере напряженно-деформированного состояния, что подтверждает необходимость проведение наиболее полного и корректного анализа всех факторов, определяющих особенности технологических режимов процессов обработки давлением многослойных полиметаллических композиционных материалов на стадии разработки требований к составу и соотношению толщин слоев составляющих.

Разработана конечно-элементная модель напряженно-деформированного состояния, а также основных показателей качества готовой металлопродукции при реализации процесса прокатки двухслойных биметаллических листов.

The finite element model of the stressed-strained state, and also basic characteristics of quality of prepared metal production during realization of process rolling of two-layer sheet is developed.

Библиографический список.

1. Голованенко С.А., Меандров Л.В. Производство биметаллов. – М.: Металлургия, 1966. – 304 с.
2. Кобелев А.Г., Потапов И.Н., Кузнецов Е.В. Технология слоистых материалов. – М.: Металлургия, 1991. – 248 с.
3. Кузнецов Е.В. Методология создания слоистых металлических композиций // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. - № 8-9. – С. 42-46.
4. Liu G.R., Quek S.S. *The Finite Element Method: A Practical Course* – 2003.- 348 с.

*Рекомендовано к печати
к. т. н., проф. Ульянищким В.Н.*