

УДК 621.771.01

Кулик Т. А.
Кулик Н. А.**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА И ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЛИСТОВ**

В последнее время все более широко используются изделия из биметаллических листовых заготовок, что позволяет обеспечить высокие уровни потребительских свойств изделия, экономя при этом остродефицитные и дорогостоящие материалы. Вот почему дальнейшее развитие металлургии, машиностроения и целого ряда других отраслей неразрывно связано с увеличением объемов выпуска и номенклатуры данного направления.

Среди технологий, используемых для получения биметаллических заготовок, наиболее широкое распространение получили процессы плакирования прокаткой, вторичной прокатки и последующей листовой штамповки [1–3]. Специфика этих технологических процессов, наряду с необходимостью увеличения объемов производства, обуславливает необходимость проведения всесторонних комплексных исследований, направленных на повышение степени научной обоснованности принимаемых решений. Кроме того, широкая номенклатура изделий и многообразие реализуемых при их производстве процессов обработки давлением делают необходимым дальнейшее развитие методов по автоматизированному расчету и проектированию соответствующих технологий и оборудования.

С использованием разработанных математических моделей возможным является разработка практических рекомендаций, а также постановка и решение задач оптимизационного плана с последующим выходом на создание соответствующих систем автоматизированного проектирования. Возможность же проведения всестороннего и последовательного анализа на теоретическом уровне всей технологической цепи производства изделий из многослойных полиметаллических листовых композиций будет способствовать снижению стоимостных показателей и экономии материальных ресурсов с точки зрения удельных капитальных затрат и эксплуатационных расходов.

Целью работы является разработка математической модели, позволяющей 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].

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 рис. 1 представлены расчетные распределения напряженно-деформированного состояния и энергосиловых параметров при горячей прокатке композиции 08X13–12XM, предел текучести материала твердой составляющей для первого прохода составляет $\sigma_{T1} = 150$ МПа, мягкой $\sigma_{T2} = 57$ МПа (см. рис. 1, а). Для пятого прохода соответственно $\sigma_{T1} = 156$ МПа и $\sigma_{T2} = 60$ МПа (см. рис. 1, б).

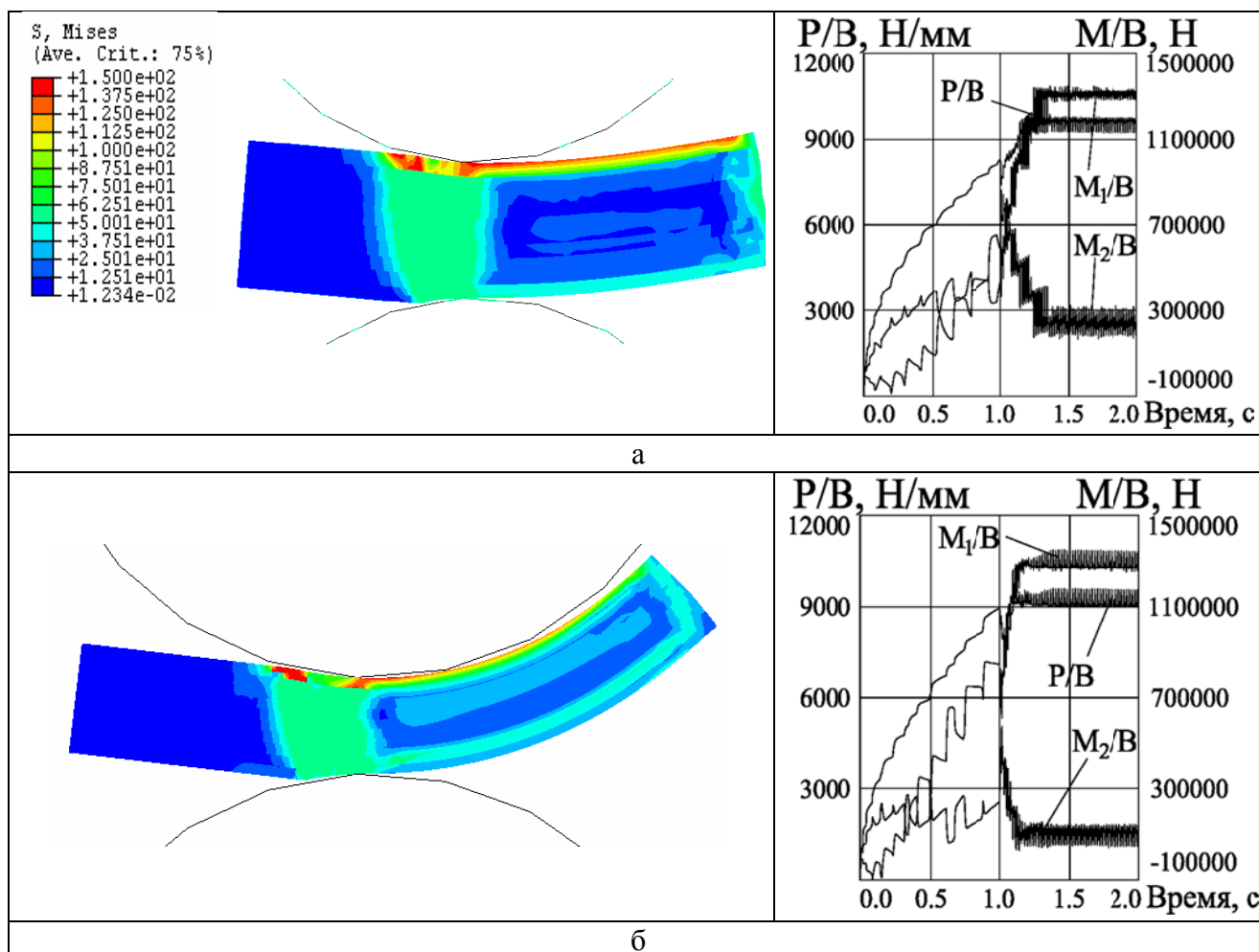


Рис. 1. Расчетные распределение локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке биметаллических листов 08X13 –12XM:

а – первый проход; б – пятый проход

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.

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 рис. 2 представлены распределения напряженно-деформированного состояния и энергосиловых параметров при горячей прокатке композиции 08X13–12XM, предел текучести материала наружной составляющей для первого прохода составляет $\sigma_{T1} = \sigma_{T3} = 57$ МПа, внутренней $\sigma_{T2} = 150$ МПа (см. рис. 2, а). Для пятого прохода соответственно $\sigma_{T1} = 60$ МПа и $\sigma_{T2} = 156$ МПа (см. рис. 2, б).

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.

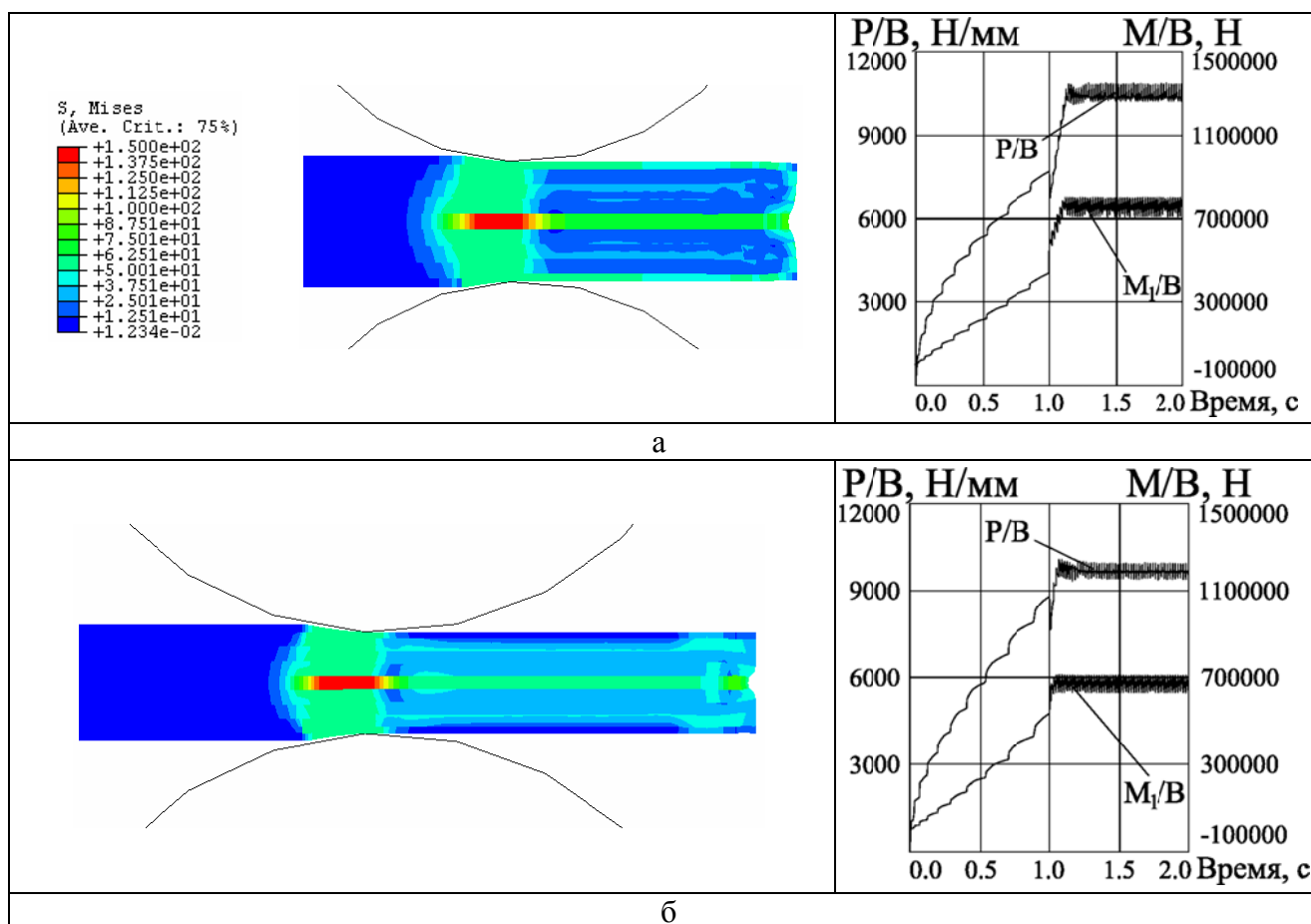


Рис. 2. Расчетные распределение локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке биметаллических листов 08X13–12XM:

а – первый проход; б – пятый проход

На рис. 3 представлены расчетные распределения напряженно-деформированного состояния при горячей прокатке композиции 08X13–12XM, предел текучести материала наружной составляющей для первого прохода составляет $\sigma_{T1} = 62$ МПа и $\sigma_{T3} = 52$ МПа, внутренней $\sigma_{T2} = 150$ МПа. Для пятого прохода соответственно $\sigma_{T1} = 65$ МПа, $\sigma_{T3} = 55$ МПа и $\sigma_{T2} = 156$ МПа.

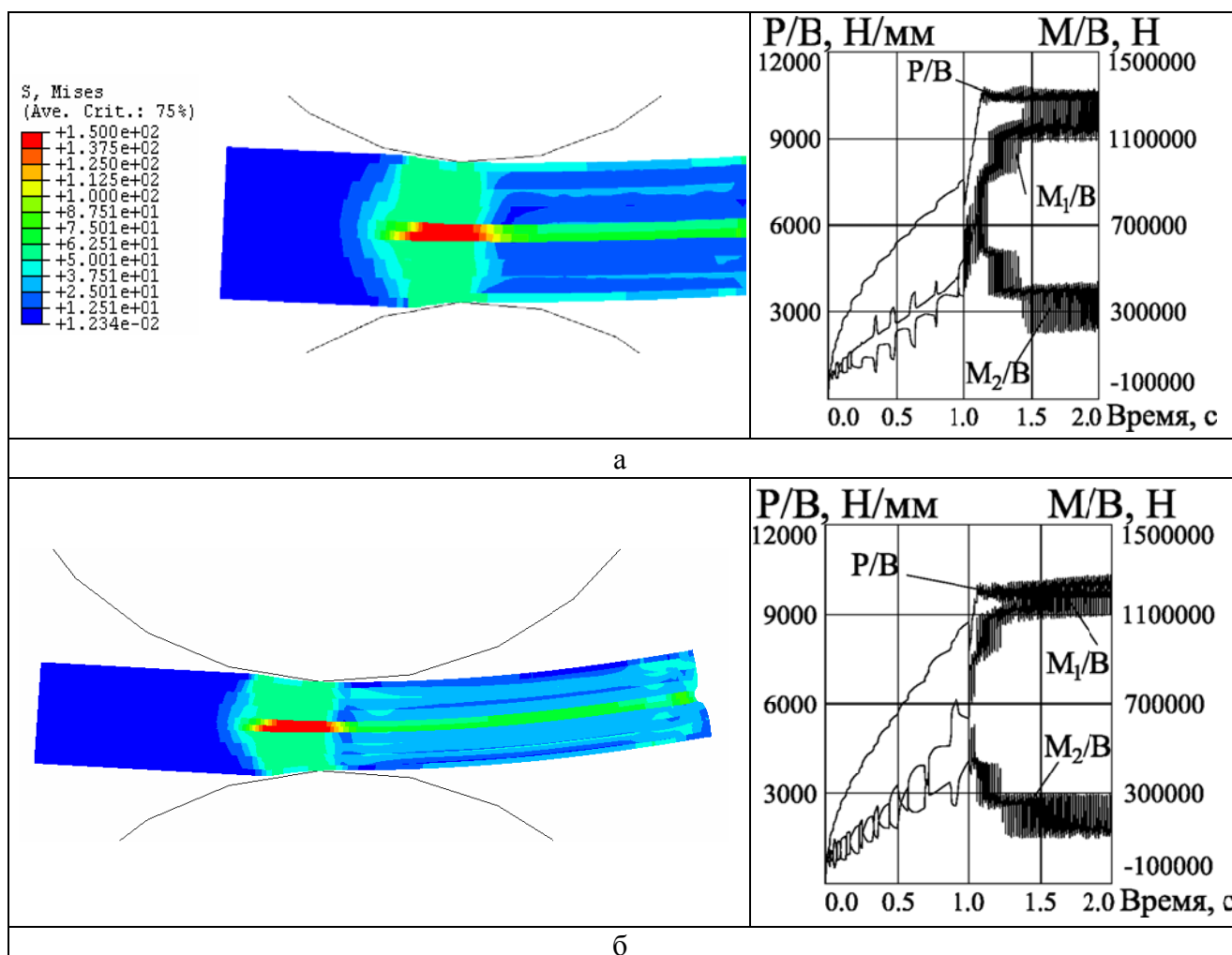


Рис. 3. Расчетные распределение локальных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке биметаллических листов 08X13 –12XM: а – первый проход; б – пятый проход

На рис. 4 представлены расчетные распределения напряженно-деформированного состояния и энергосиловых параметров при горячей прокатке композиции 08X13–12XM, предел текучести материала наружной составляющей для первого прохода составляет $\sigma_{T1} = 72$ МПа и $\sigma_{T3} = 42$ МПа, внутренней $\sigma_{T2} = 150$ МПа. Для пятого прохода соответственно $\sigma_{T1} = 75$ МПа, $\sigma_{T3} = 45$ МПа и $\sigma_{T2} = 156$ МПа.

ВЫВОДЫ

В рамках исследования процессов холодной прокатки биметаллических 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 проведения наиболее полного и корректного анализа всех факторов, определяющих особенности технологических режимов процессов обработки давлением биметаллических листовых материалов на стадии разработки требований к составу и соотношению толщин слоев составляющих.

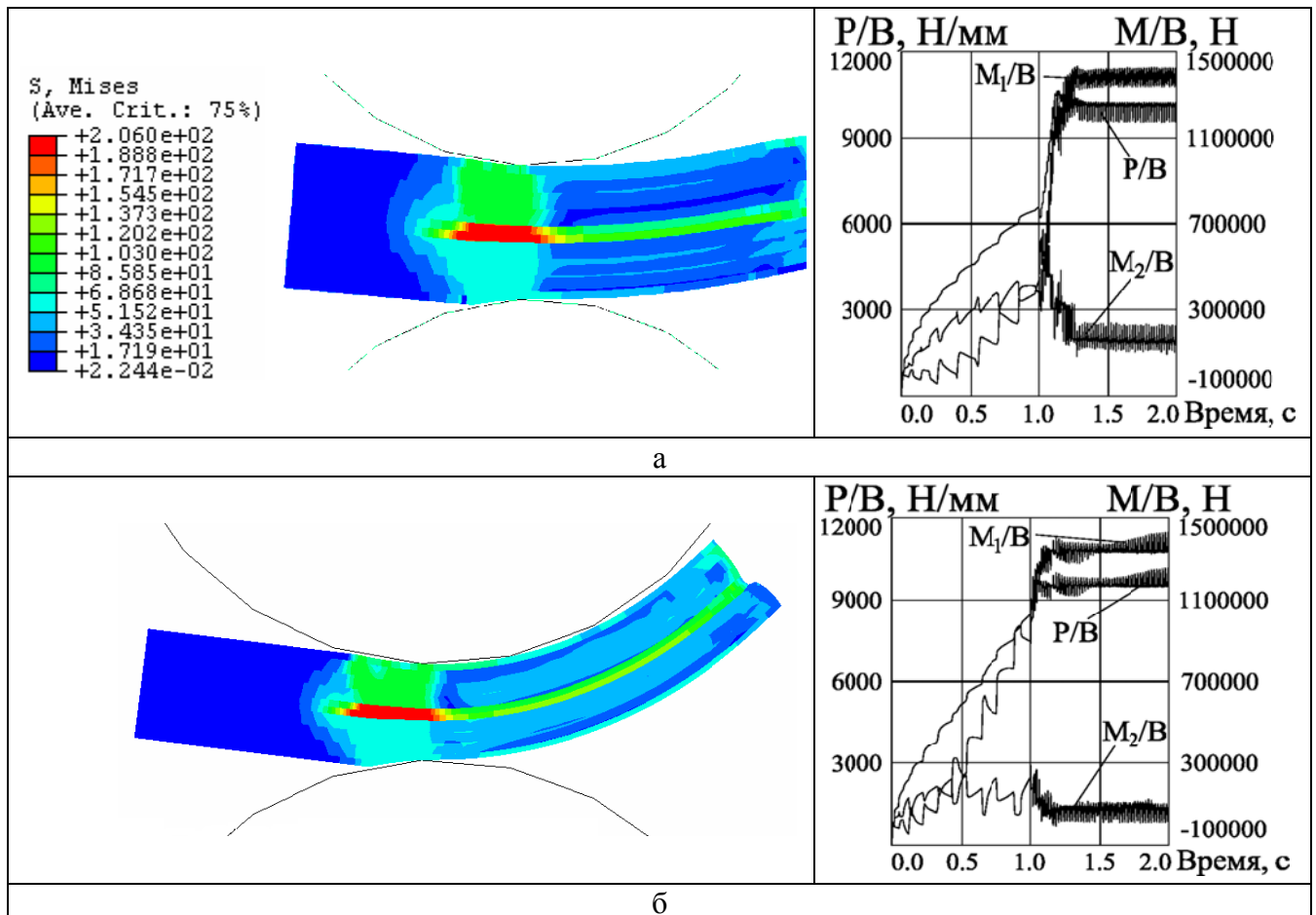


Рис. 4. Расчетные распределение локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке биметаллических листов 08X13 – 12XM:

а – первый проход; б – пятый проход

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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

REFERENCES

1. Golovanenko S. A. *Proizvodstvo bimetallor* / S. A. Golovanenko, L. V. Meandrov – M. : Metallurgija, 1966. – 304 s.
2. Kobelev A. G. *Tehnologija sloistyh materialov* / A. G. Kobelev, I. N. Potanov, E. V. Kuznecov – M. : Metallurgija, 1991. – 248 s.
3. Kuznecov E. V. *Metodologija sozdanija sloistyh metallicheskih kompozicij* / E. V. Kuznecov // *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*. – 2002. – № 8–9. – S. 42–46.
4. Liu G. R. *The Finite Element Method*. / G. R. Liu, S. S. Quek. – A Practical Course – 2003. – 348 s.

Кулик Т. А. – канд. техн. наук, ст. преп. каф. ОПМ, ДГМА

Кулик Н. А. – ассистент каф. МПФ, ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: opm@dgma.donetsk.ua; mto@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 13.03.2015 г.