

УДК 621.771.01: 621.771.26

Дворжак А. И.
Смолякова В. В.
Александрова З. А.
Стежкин П. М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОКАТКЕ НЕРАВНОБОКИХ УГЛОВЫХ ПРОФИЛЕЙ*

Повышение конкурентоспособности сортопрокатной продукции, в том числе и угловых профилей, неразрывно связано с расширением сортамента и повышением качества готового проката. Актуальным также является применения процессов производства экономичных видов проката, позволяющих снизить энерго- и материальные затраты.

Возможность достижения указанных требований определяется уровнем технологического процесса и оборудования, как основного, так и вспомогательного. При этом в условиях современной экономики особое внимание уделяется срокам освоения, требуемой трудоёмкости и эффективности мероприятий, направленных на совершенствование существующего и создание нового оборудования [1–2]. Указанные обстоятельства приводят к необходимости повышения степени научной обоснованности принимаемых в каждом конкретном случае проектно-конструкторских и проектно-технологических решений. Для этого необходимо совершенствование методов расчёта, математических моделей процесса деформации, которые позволят найти новые решения, расширить объём и повысить степень достоверности получаемых результатов.

Целью данной работы является исследование влияния технологических режимов на энергосиловые параметры и основные показатели качества при прокатке неравнобоких угловых профилей.

В работах [1, 2], посвящённых математическому моделированию напряжённо-деформированного состояния металла при горячей сортовой прокатке тонких угловых профилей сложной формы, была представлена математическая модель, разработанная на основе численно-рекуррентного решения конечно-разностной формы условия баланса энергетических затрат, рассматриваемого в рамках выделенных элементарных объёмов зоны пластического формоизменения.

Структурно математическое моделирование основывалось на разбиении всей зоны пластического формоизменения металла на конечное множество выделенных элементарных объёмов по двум взаимно перпендикулярным плоскостям (рис. 1): по оси Z (порядковые номера элементарных объёмов $j = 1 \dots m$), и по оси X ($I = 1 \dots n$).

С учётом принятых допущений было составлено уравнение баланса энергетических затрат, который рассматривался в рамках каждого ji -го элементарного объёма. Раскрыв составляющие уравнения и проведя необходимые математические преобразования, данное уравнение было решено относительно величины нормальных контактных напряжений p_{xji2} .

Исходя из условия пластичности ($\sigma_{xji2} = p_{xji2} - 2K_{xji2}$) отмечена возможность определения и соответствующей величины нормальных осевых напряжений σ_{xji2} , действующих в конечном граничном сечении выделенного ji -го элементарного объёма зоны пластического формоизменения. Далее производили определение действующих в рамках j -го элементарного объёма вертикальной составляющей силы P_{yj} и моментов M_{1j}, M_{2j} прокатки на нижнем и верхнем рабочих валках.

По мере определения всех локальных характеристик напряжённо-деформированного состояния металла, путём численного интегрирования производили расчёт таких интегральных показателей как, суммарное значение вертикальной составляющей силы прокатки

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Сатонина А. В.

P_y , суммарное значение горизонтальной составляющей силы прокатки P_z , моменты прокатки на нижнем M_1 и верхнем M_2 рабочих валках. Кроме того, представлены зависимости по определению степени использования запаса пластичности и изгибающих моментов в горизонтальной M_z и вертикальной M_y плоскостях, действующих от внутренних сил на передний конец прокатываемого уголка.

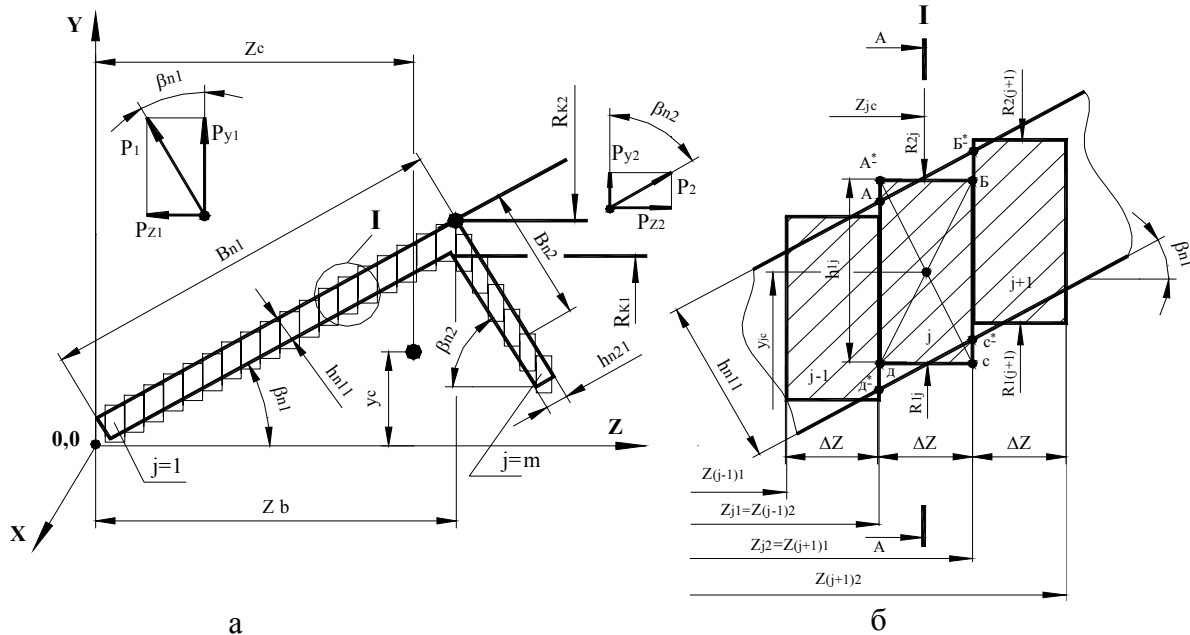


Рис. 1. Расчетные схемы разбиения поперечного сечения прокатываемого уголка на конечное множество элементарных объемов с порядковыми номерами $j = 1 \dots m$

Отличительными особенностями данной математической модели являются:

- учёт реального характера распределений геометрических параметров по длине и по ширине очага деформации, обуславливающих соответствующие изменения степени кинематической асимметрии процесса сортовой прокатки;
- учёт реального характера распределений механических свойств прокатываемого металла и условий внешнего контактного трения в объёме всей зоны пластического формоизменения;
- учёт динамической составляющей условия баланса энергетических затрат, наличие которой обусловлено ускорением металла прокатываемой заготовки при её пластической деформации;
- учёт упругого сплющивания рабочих валков и прокатываемой заготовки исходя из реального характера распределений нормальных контактных напряжений;
- учёт наличия зоны упругого восстановления металла в сечениях на выходе из очага деформации;
- учёт касательных напряжений в инженерном варианте условия пластичности, что позволяет уточнить получаемые результаты по интегральным показателям силы и моментов прокатки до 10 %;
- наличие дополнительной итерационной процедуры по определению относительных протяжённостей зон опережения, обеспечивающих равенство расчётных и заданных значений переднего натяжения прокатываемой заготовки.

В целом, зависимости, представленные в работах [1, 2], в своей совокупности и сочетании, составили полный алгоритм по автоматизированному расчёту локальных и интегральных показателей напряжённо-деформированного состояния металла, имеющего место при горячей прокатке относительно тонких угловых профилей различного типоразмера.

На основании численной реализации рассмотренных теоретических решений и соответствующих им программных средств получены значения энергосиловых параметров

процесса в зависимости от расположения чистовых калибров в валках (различных углов наклона большей полки уголка β_{n1} , (см. рис. 1)), а также в зависимости от соотношения базовых окружных скоростей рабочих валков $V_{\sigma\delta 1}/V_{\sigma\delta 2}$ для различных типоразмеров угловых профилей (ширина полок 50×50 , 60×40 , 70×30 , 80×20).

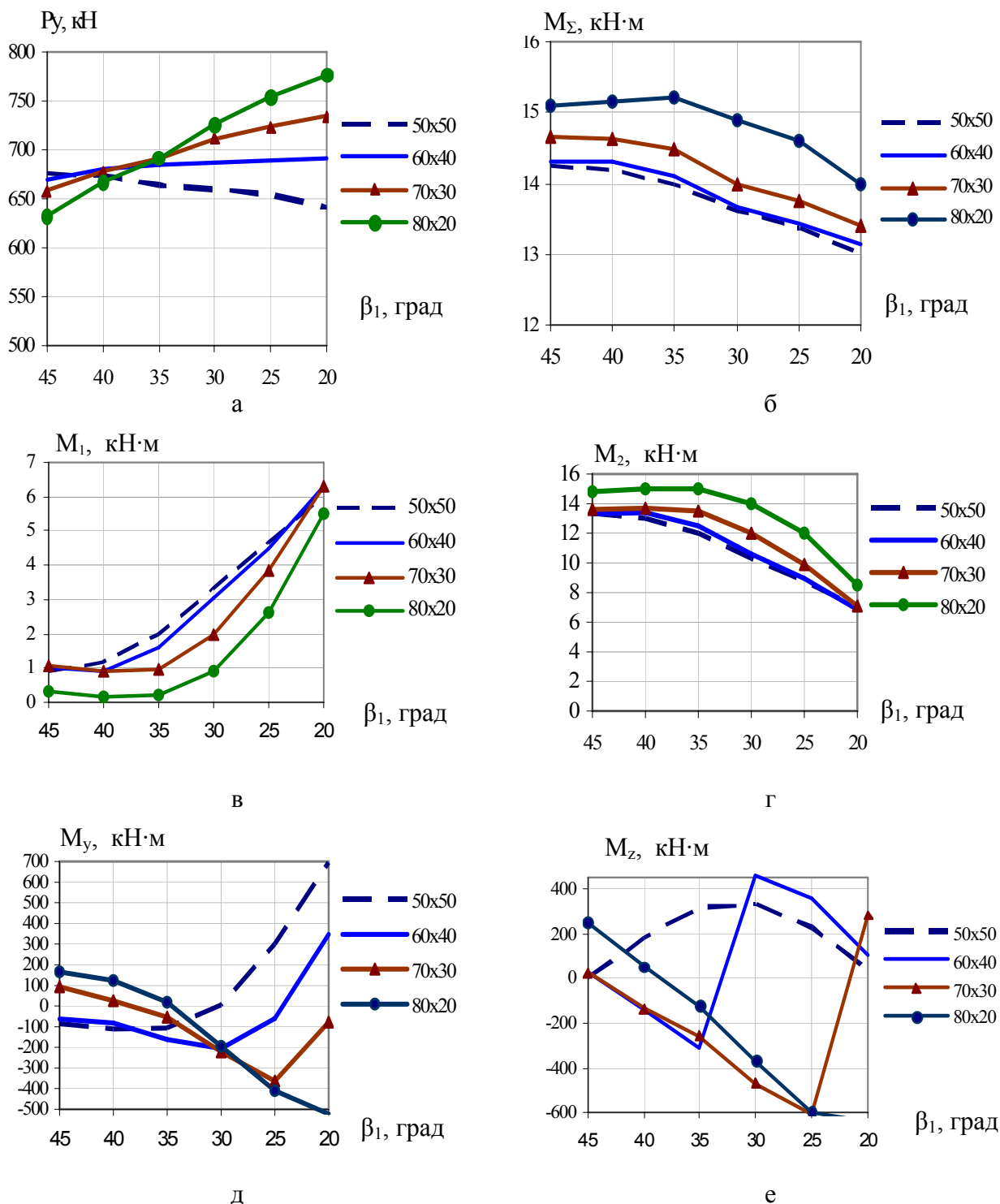


Рис. 2. Расчётные распределения силы P_y (а) и суммарного момента M_Σ (б), моментов на нижнем M_1 (в) и верхнем M_2 (г) рабочих валках, а также изгибающих моментов в сечении на выходе заготовки из очага деформации M_y (д), M_z (е), имеющие место при горячей сортовой прокатке асимметричных угловых профилей различного типоразмера и с различными углами наклона большей полки уголка β_{n1} (см. рис. 1) (среднесортной стан 330, $R_{\sigma\delta 1} = 174$ мм, $R_{\sigma\delta 2} = 150$ мм; сталь 10; температура начала прокатки 850 °С; начальная и конечная толщина полок прокатываемого уголка $h_0 = 6$ мм и $h_1 = 4$ мм)

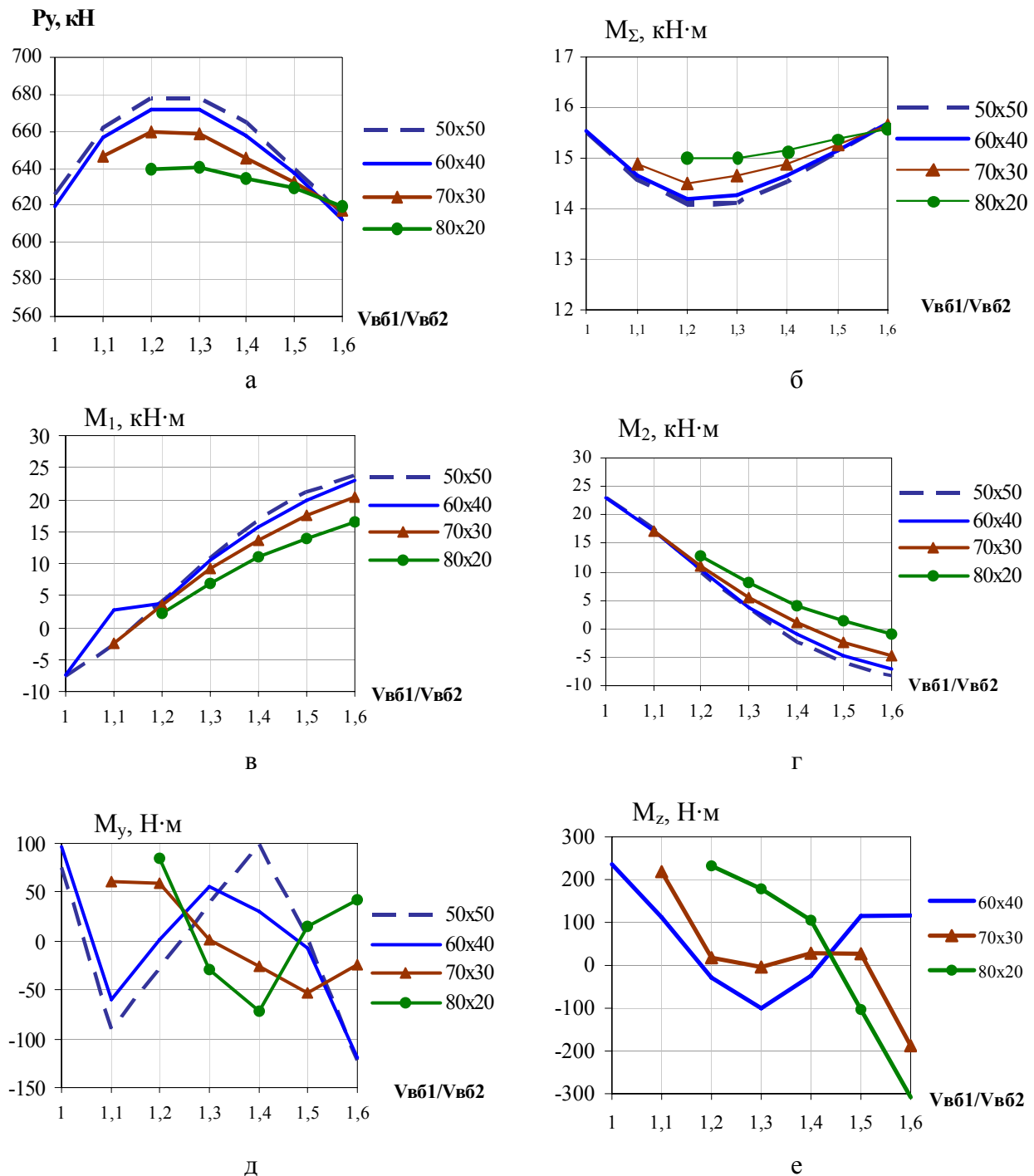


Рис. 3. Расчётные распределения силы P_y (а) и суммарного момента M_Σ (б), моментов на нижнем M_1 (в) и верхнем M_2 (г) рабочих валках, а также изгибающих моментов в сечении на выходе заготовки из очага деформации M_y (д), M_z (е), имеющие место при горячей сортовой прокатке асимметричных угловых профилей различного типоразмера и с различными соотношениями базовых окружных скоростей рабочих валков $V_{б61}/V_{б62}$ (среднесортной стан 330; $\beta_{н1} = 45^\circ$; сталь 10; температура начала прокатки 850°C ; начальная и конечная толщина полок прокатываемого уголка $h_0 = 6$ мм и $h_1 = 4$ мм)

По полученным результатам построены графики, приведенные на рис. 2–3. Отметим, что под отношением базовых окружных скоростей рабочих валков следует понимать:

$$V_{б61}/V_{б62} = \omega_1 R_{б61} / (\omega_2 R_{б62}),$$

где ω_1, ω_2 – угловые скорости вращения рабочих валков;

$R_{б61}, R_{б62}$ – базовые радиусы нижнего и верхнего рабочих валков (см. рис. 1, а).

Анализ и сравнение графиков, представленных на рис. 2 и 3, показывают следующее. Сила P_y и суммарный момент M_z прокатки в зависимости от соотношения $V_{\delta 61}/V_{\delta 62}$, также, как и от β_{n1} , изменяются весьма незначительно для различных типоразмеров, зависимости моментов прокатки на нижнем $M_1 = f(V_{\delta 61}/V_{\delta 62})$, $M_1 = f(\beta_{n1})$ и верхнем $M_2 = f(V_{\delta 61}/V_{\delta 62})$, $M_2 = f(\beta_{n1})$ рабочих валках носят, соответственно, монотонно возрастающий и монотонно убывающий характер. В тоже время, значения изгибающих моментов в сечении на выходе заготовки M_y и M_z изменяются весьма существенно и носят довольно сложный характер.

В последующем значения M_y и M_z используются для количественной и качественной оценки одного из важнейших показателей качества готового металлопроката – прямолинейности его формы по двум взаимно перпендикулярным плоскостям, поэтому, учитывая также рассмотренные графики, можно сделать вывод, что изгибающие моменты M_y и M_z являются решающими параметрами, исходя из которых происходит назначение эффективных технологических режимов прокатки для различных типоразмеров асимметричных угловых профилей. При этом для достижения высоких показателей качества готового металлопроката необходимо стремиться к тому, чтобы значения данных изгибающих моментов были равны нулю.

Таким образом, из результатов теоретических исследований следует, что, изменяя соотношения базовых окружных скоростей рабочих валков $V_{\delta 61}/V_{\delta 62}$ (путём изменения отношения угловых скоростей вращения валков ω_1/ω_2 либо отношения базовых радиусов нижнего и верхнего рабочих валков $R_{\delta 61}/R_{\delta 62}$), а также выбирая расположение чистовых калибров в валках (углы наклона большей полки уголка β_{n1}) возможно управление энергосиловыми параметрами процесса прокатки угловых профилей и показателями качества готового металлопроката.

ВЫВОДЫ

По разработанной математической модели и соответствующим ей программным средствам получены характеристики энергосиловых параметров процесса прокатки неравнобоких угловых профилей. На основании данных расчётных распределений с целью достижения необходимых показателей качества готового металлопроката возможен выбор эффективных технологических режимов и конструктивных параметров процесса прокатки для различных типоразмеров угловых профилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сатонин А. В. Математическое моделирование напряжённо-деформированного состояния металла при горячей сортовой прокатке тонких угловых профилей сложной формы / А. В. Сатонин, О. Л. Попович, З. А. Александрова, А. А. Сатонин, П. М. Стежкин, В. В. Смолякова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2005. – С. 21–25.

2. Сатонин А. В. Математическое моделирование напряжённо-деформированного состояния металла при горячей сортовой прокатке тонких угловых профилей сложной формы / А. В. Сатонин, З. А. Александрова, В. В. Смолякова // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ : ДДМА. – 2007. – С. 490–495.

Дворжак А. И. – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры АММ ДГМА;
Смолякова В. В. – аспирант ДГМА;
Александрова З. А. – инженер-конструктор I кат ЮМЗ, г. Юрга, Россия;
Стежкин П. М. – ст. инженер ГП «УкрНИИМеталлургмаш», г. Славянск.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;

ЮМЗ – Юргинский машиностроительный завод, г. Юрга, Россия;

ГП «УкрНИИМеталлургмаш» – Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт металлургического машиностроения», г. Славянск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua