

УДК 621.771.01

Сатонин А. В.
Настоящая С. С.
Переходченко В. А.
Коренко М. Г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПРОКАТКЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ТОНКИХ ПОЛОС

Дальнейшее развитие технологий и оборудования по горячей прокатке относительно тонких лент и полос неразрывно связано с уточнением теоретических и экспериментальных результатов исследований не только интегральных, а и локальных характеристик напряженного состояния металла [1, 2]. При этом в качестве варьируемых факторов, учитывая тенденции по расширению сортамента и повышению качества готового металлопроката [3], следует рассматривать не только температурно-деформационные условия, а и показатели степени кинематической асимметрии исследуемого процесса.

Целью работы является экспериментальное исследование напряженного состояния металла при прокатке относительно тонких лент и полос, в том числе и при создании кинематической асимметрии, характеризуемой различными окружными скоростями вращения рабочих валков.

Экспериментальная оценка текущих по длине очага деформации значений нормальных контактных напряжений, имеющих место при реализации различных технологических, в том числе и асимметричных по кинематике условий реализации процесса прокатки относительно тонких лент и полос выполнена с использованием специального устройства для пластической деформации металла П 750 ДГМА [4], конструкция которого включает в себя рабочие сегменты 1 и 2, моделирующие фрагменты образующих поверхностей бочек рабочих валков листовых станов. При этом радиус деформирующих поверхностей указанных сегментов составил 750 мм, что позволило повысить точность измерений за счет существенного увеличения масштаба геометрических параметров очага деформации, соответствующего 2,5...10,0 и более. При проведении данного эксперимента абсолютные обжатия прокатываемых заготовок составила $\Delta h = 2...9$ мм, а общая протяженность очага деформации находилась в диапазоне $L = 38...82$ мм.

Привод рабочих сегментов 1 и 2 (см. рис. 1) осуществляли посредством сопряженных с ними шарнирно тяг 3 и 4, которые, в свою очередь сопряжены шарнирно с ползуном 5, совершающим возвратно-поступательные перемещения при помощи передачи винт – гайка 6. Вращение тянущего винта 7 осуществляется от электродвигателя 8 переменного тока мощностью 10 кВт через моторную муфту 9, двухступенчатый цилиндрический зубчатый редуктор 10 и зубчатую муфту 11. От перемещений в осевом направлении тянущий винт 7 был зафиксирован дополнительной опорой 12 с упорным подшипником качения, а от вращения ползун 5 фиксирован направляющими планками 13. В рамках физического моделирования процесса прокатки рабочие сегменты 1 и 2 перемещаются по направляющим подушек 14, зафиксированных от осевых перемещений планками 15 и сопряженных своими опорными поверхностями с нажимными винтами 16, обеспечивающими возможность установки предварительного межвалкового зазора на требуемую величину. Бронзовые гайки 17 нажимных винтов 16, в свою очередь, размещены в расточках станин 18, жестко сопряженных между собой траверсами 19. Устройство размещено на единой рамной конструкции 20. (см. рис. 1).

Для обеспечения условий реализации процессов асимметричной по кинематике прокатки тяги 3 отсоединяли от ползуна 5 и фиксировали шарнирно на дополнительном рычаге 21,

сопряженном своими свободными концами с ползуном 5 и с дополнительной опорой 22. Требуемое значение степени кинематической асимметрии процесса прокатки K_v , характеризующее соотношение скоростей перемещения ведущего 2 и ведомого 1 рабочих сегментов, обеспечивали в этом случае за счет соответствующего изменения плеча L_1 фиксации тяги 3 на дополнительном рычаге 21, а само значение степени кинематической асимметрии определяли как $K_v = L_0/L_1$ (см. рис. 1) [4].

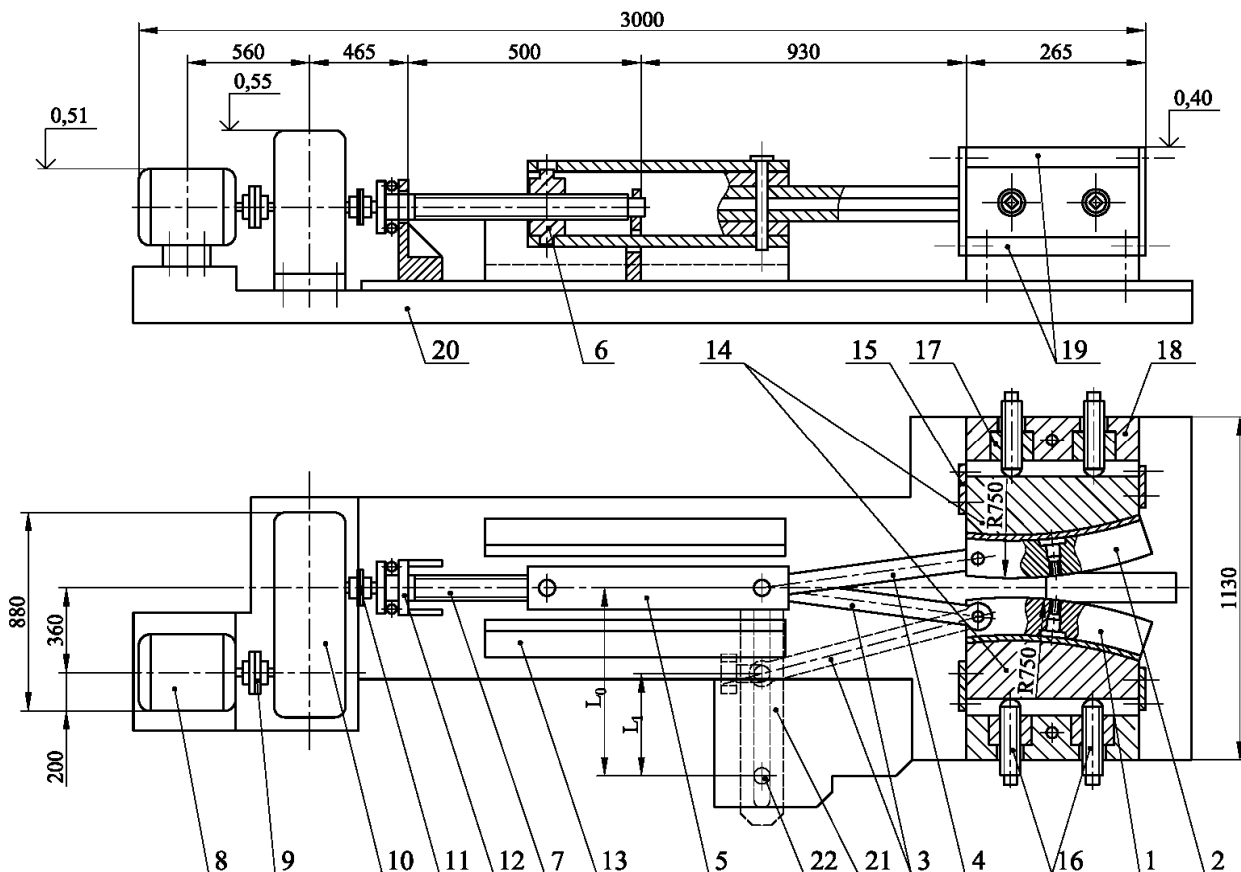


Рис. 1. Конструкция устройства для пластической деформации П 750 ДГМА [1], используемого при экспериментальном исследовании локальных характеристик напряженного состояния в очаге деформации процессов симметричной и асимметричной прокатки относительно тонких лент и полос

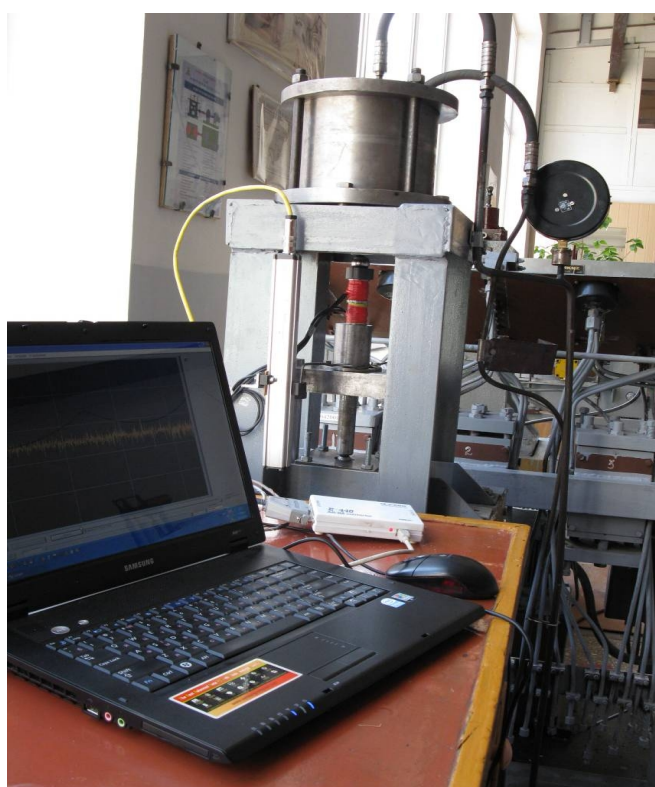
Измерение текущих по длине очага деформации значений нормальных контактных напряжений p_x производили, следуя методике работы [5], при помощи штифтовых мездоз 1, размещенных и зафиксированных в телах соответствующих рабочих сегментов 2 посредством промежуточных стаканов 3, крышек 4 и резьбовых соединений 5. С учетом диаметра измерительной головки штифтовой части точечной мездозы $d_{ин} = 2,0$ мм соотношение $L/d_{ин}$ соответствовало $L/d_{ин} = 19...41$, что является вполне достаточным для обеспечения требуемой степени точности получаемых экспериментальных распределений нормальных контактных напряжений p_x . Расшифровку полученных осциллограмм осуществляли в соответствии с методикой работы [6], позволяющей учесть цилиндрическую форму головки штифтовой мездозы и кинематику её перемещения по длине очага деформации.

Для моделирования процесса горячей прокатки тонких лент и полос в чистовых рабочих клетях соответствующих прокатных станов, следуя условию геометрического подобия, прокатке подвергали листовые заготовки с номинальными значениями исходной и конечной толщин $h_0 = 26$ мм, $h_1 = 18$ мм, а также $h_0 = 15$ мм, $h_1 = 10$ мм. Ширина прокатываемых

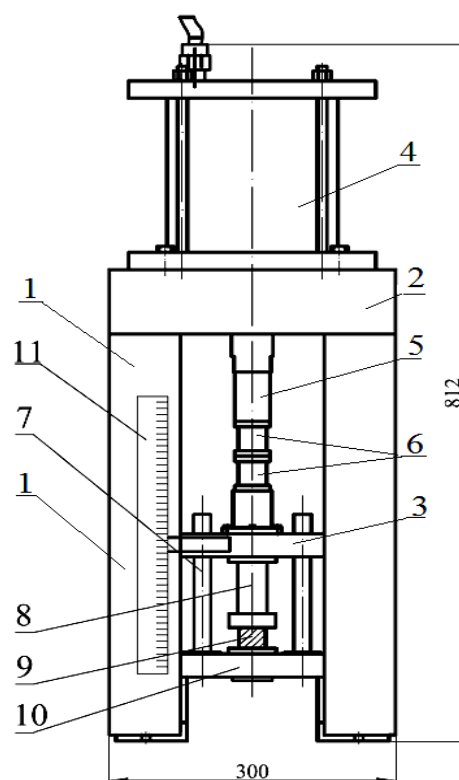
свинцовых образцов соответствовала $B = 50$ мм, а их длина – $L_0 = 100$ мм. Значения коэффициентов кинематической асимметрии процесса прокатки, определяемые соотношением плеч L_0 и L_1 фиксации тяги 3 ведомого сегмента 1 на дополнительном рычаге 21 (см. рис. 1) приняты равными $K_v = 1,0$ и $K_v = 1,25$.

В процессе пластической деформации заготовки при помощи дополнительных боковых направляющих строго позиционировали относительно измерительной головки штифтовой мессдозы, а саму прокатку осуществляли на скорости $\sim 3,33$ мм/с. Технологические смазки не использовали, а контактные поверхности деформируемых образцов и рабочих сегментов 1, 2 (см. рис. 1) перед каждым обжатием обезжиривали ацетоном.

В качестве материала деформируемых заготовок использовали свинец С1, при этом с целью уточнения его механических свойств на специализированной гидравлической прессовой установке ПУ-120 ДГМА был проведен ряд предварительных экспериментальных исследований по осадке цилиндрических образцов, изготовленных из свинца данного состава. Конструкция гидравлической прессовой установки ПУ-120 ДГМА, общий вид и принципиальная схема которой представлены на рис. 2, включала в себя узел станин 1, верхнюю неподвижную 2 и нижнюю подвижную 3 траверсы, гидроцилиндр поршневого типа 4, проставку 5, мессдозы 6, направляющие 7 и пуансон 8. Деформируемые образцы 9 устанавливали между пуансоном 8, сопряженным с подвижной траверсой 3 и нижней неподвижной траверсой 10 с размещенными на ней направляющими 7 и жестко сопряженной с узлом станин 1. Положение нижней подвижной траверсы 3 по вертикали фиксировали при помощи индуктивного датчика линейных перемещений 11.



а



б

Рис. 2. Общий вид (а) и принципиальная схема конструкции (б) лабораторной гидравлической прессовой установки ПУ-120 ДГМА, используемой при экспериментальном исследовании механических свойств свинцовых образцов

Деформируемые образцы из свинца С1 имели диаметр $D_{об} = 30$ мм и высоту $H_{об} = 30$ мм, что соответствовало соотношению $D_{об}/H_{об} \approx 1$, при котором с точки зрения

напряженно-деформированного состояния, следуя результатам целого ряда исследований [1, 2] влияние внешних зон и сил контактного трения является минимальным и, как следствие, величина напряжений текучести S_m может быть определена на основе зависимости:

$$S_m = 4P_{oc} / (pD_{об}^2) = rD_n^2 / D_{об}^2, \quad (1)$$

где P_{oc} – величина силы процесса осадки, измеряемая по показаниям манометра МП4-У, фиксирующего давление рабочей жидкости r в гидравлической системе;

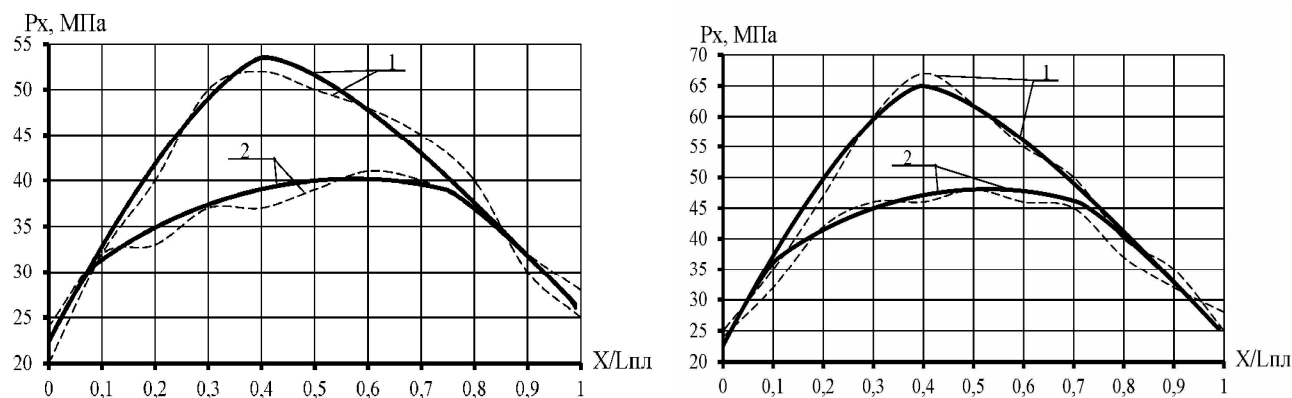
D_n – диаметр поршня силового гидроцилиндра 4.

Кроме того, величину силы P_{oc} контролировали мездозами 6 (см. рис. 2, б), при этом её количественная оценка находилась в диапазоне $P_{oc} = 13...15$ (кН), что согласно выражению (1) соответствует напряжениям текучести $\sigma_m = 18,4...21,2$ (МПа). Среднее значение данного диапазона $\sigma_m = 19,8$ (МПа) было принято в качестве исходных данных при численной реализации одномерных математических моделей [5], результаты которой p_{xp} сопоставляли с соответствующими эмпирическими распределениями $p_{xэ}$ нормальных контактных напряжений по длине очага деформации.

Обобщая результаты выполненных экспериментальных исследований, которые представлены на рис. 3 в виде расчетных p_{xp} и эмпирических $p_{xэ}$ распределений нормальных контактных напряжений по длине очага деформации, характеризуемой относительной величиной X/L , необходимо отметить следующее:

– с увеличением соотношения L/h_{cp} , являющегося геометрическим показателем формы очага деформации, уровни текущих значений нормальных контактных напряжений p_x возрастают и возрастают весьма существенно;

– создание и повышение степени кинематической асимметрии процесса прокатки обуславливает снижение текущих по длине очага деформации значений нормальных контактных напряжений p_x , при этом интенсивность указанного снижения с увеличением геометрического показателя L/h_{cp} возрастает.



а – $h_0 = 27$ мм, $h_1 = 18$ мм, $L/h_{cp} = 3,65$

б – $h_0 = 15$ мм, $h_1 = 10$ мм, $L/h_{cp} = 4,9$

Рис. 3. Эмпирические (---) и расчетные (—) распределения нормальных контактных напряжений p_x по длине очага деформации процесса прокатки относительно тонких свинцовых заготовок с различными значениями коэффициента кинематической асимметрии K_v :

1 – $K_v = 1,0$; 2 – $K_v = 1,25$

Сопоставительный анализ эмпирических $p_{xэ}$ и расчетных p_{xp} распределений нормальных контактных напряжений по длине очага деформации показал, что относительная погрешность в этом случае находится в диапазоне $dp_x = -5,3...8,1$ (%), среднее выборочное

значение соотношения равно $\overline{p_{xэ}} / p_{xp} = 1,038$, при этом нижняя и верхняя границы доверительного интервала при доверительной вероятности 0,95 соответствовали, $1,014 < (p_{xэi} / p_{xpi}) < 1,061$, что свидетельствует о достаточной степени достоверности соответствующих численных математических моделей [2, 7, 8].

ВЫВОДЫ

Разработана методика и выполнены экспериментальные исследования распределений нормальных контактных напряжений по длине очага деформации процессов симметричной и асимметричной прокатки относительно тонких лент и полос. Показана целесообразность использования кинематической асимметрии с точки зрения снижения энергосиловых параметров и повышения качества готового металлопроката. Установлено, что погрешность между расчетными и экспериментальными данными не превысила 15 %, что подтверждает возможность использования соответствующих математических моделей применительно к автоматизированному расчету и проектированию технологий и оборудования процессов горячей прокатки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазур В. Л. Теория и технология тонколистовой прокатки (Численный анализ и технические приложения) / В. Л. Мазур, А. В. Ноговицын. – Днепропетровск : РВА «Дніпро-VAL», 2010. – 500 с.
2. Федоринов В. А. Математическое моделирование напряжений, деформаций и основных показателей качества при прокатке относительно широких листов и полос : монография / В. А. Федоринов, А. В. Сатонин, Э. П. Грибков. – Краматорск : ДГМА, 2010. – 243 с.
3. Николаев В. А. Несимметричная тонколистовая прокатка / В. А. Николаев, В. Н. Скороходов, В. П. Полухин. – М. : Металлургия, 1993. – 192 с.
4. Развитие методов и оборудования по экспериментальному исследованию различных технологических схем процессов прокатки / В. Ф. Потапкин, В. А. Федоринов, А. В. Сатонин, Ю. К. Добронос // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – С. 45–50.
5. Чекмарев А. П. Методы исследования процессов прокатки / А. П. Чекмарев, С. А. Ольдиевский. – М. : Металлургия, 1969. – 274 с.
6. Повышение качества полос из цветных металлов и сплавов / П. И. Полухин, А. В. Зиновьев, В. И. Полухин [и др.]. – Алма-Ата : Наука, 1982. – 328 с.
7. Численное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла при горячей прокатке относительно тонких лент и полос / А. В. Сатонин, С. С. Настоящая, М. Г. Коренко, В. А. Переходченко // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 4(25). – С. 31–36.
8. Сатонин А. В. Численная одномерная математическая модель процесса прокатки относительно тонких композиционных листов и полос, основанная на энергетическом подходе / А. В. Сатонин // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 1998. – С. 36–41.

Сатонин А. В. – д-р техн. наук, проф. кафедры АММ ДГМА;

Настоящая С. С. – аспирант ДГМА;

Переходченко В. А. – нач. бюро ПАО «НКМЗ»;

Коренко М. Г. – аспирант ПГТУ.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

ПАО «НКМЗ» – ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод», г. Краматорск.

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

E-mail: amm@dgm.donetsk.ua