

УДК621.771

В.А.Николаев, зав. кафедрой, д.т.н., профессор

А.Г. Васильев, инженер

СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЗАДНЕГО КОНЦЕВОГО УЧАСТКА ПОЛОСЫ ПРИ ПРОКАТКЕ НА ШСГП

Запорожская государственная инженерная академия

Статтю присвячено пошуку способів вирішення досі актуального завдання для ШСГП з традиційною технологією прокатування – усунення стовщення задньої кінцевої ділянки штаби. Показано основну причину створення стовщення. Наведено можливі способи впливу на зазначену локальну ділянку. Встановлено найбільш ефективні способи та виконано їх аналіз. Рекомендовано найбільш реальні для практичного застосування способи зменшення товщини кінцевої ділянки штаби: використання технологічного мастила та додаткове нагрівання даної ділянки на 50...70 °С.

Ключові слова: ШСГП, прокатування, штаба, обтиснення, температура, коефіцієнт тертя, стовщення

Статья посвящена поиску способов решения до сих пор актуальной задачи для ШСГП с традиционной технологией прокатки – устранения утолщения заднего концевого участка полосы. Показана основная причина образования утолщения. Приведены возможные способы воздействия на указанный локальный участок. Установлены наиболее эффективные способы и выполнен их анализ. Рекомендованы наиболее реальные для практического применения способы уменьшения толщины концевого участка полосы: использование технологической смазки и дополнительный нагрев данного участка на 50...70 °С.

Ключевые слова: ШСГП, прокатка, полоса, обжатие, температура, коэффициент трения, утолщение

The article is devoted to the search of methods of decision until now of actual task for FHPBB with traditional technology of rolling are removals of bulge of back end-capping part of stripe. Principal reason of formation of bulge is shown. Possible methods over of affecting on the indicated local part are presented. The most effective methods are set and their analysis is executed. The most real methods of decrease of thickness for end-capping part are recommended for practical application: use of the technological lubrication and additional heating of this part on 50...70 °С.

Key words: FHPBB, rolling, stripe, cobbing, temperature, coefficient of friction, bulge

Особенностью прокатки полос на традиционных широкополосных станах горячей прокатки (ШСГП) является наличие утолщения $\delta h_f = 0,10...0,20$ мм на заднем концевого участке готовой полосы длиной 30...50 м. Появление утолщения обусловлено, главным образом, отсутствием воздействия на него заднего натяжения на всех межклетьевых участках чистовой группы ШСГП, что вызывает увеличение средних нормальных напряжений, силы прокатки, упругих деформаций клетки и межвалкового зазора.

Очевидно, что создать каким-либо образом дискретный процесс прокатки с наличием заднего натяжения конца полосы не представляется возможным. В связи с

этим устранение утолщения на локальном заднем участке полосы возможно только путем применения локального внешнего воздействия на данный участок. Известно несколько способов воздействия на утолщенный концевой участок полосы для компенсации отсутствия заднего натяжения [1-5], реализация которых возможна на промышленных станах:

- применение бесконечного (полубесконечного) процесса горячей прокатки полос на ШСГП;
- реализация дополнительного обжатия заднего концевого участка раската (полосы) в процессе его прокатки;
- уменьшение коэффициента трения при прокатке заднего конца полосы в последних клетях чистовой группы путем подачи на валки технологической смазки, например в клетях №№ 6-10;
- применение ускорения для вращения валков всех клеток чистовой группы ШСГП, начиная с момента, когда перед первой клетью данной группы остается 3...5 м длины промежуточного раската;
- увеличение температуры заднего локального участка промежуточного раската.

Кроме того, могут быть использованы и приведенные ниже технические решения [1]:

- отключение воды гидросбива окалины в чистовом окалиноломателе при прохождении заднего конца полосы длиной 3...4 м;
- прокатка заднего конца полосы при кратковременном уменьшении количества воды, подаваемой на валки клеток чистовой группы;
- уменьшение силы противоизгиба (дополнительного изгиба) рабочих валков в клетях чистовой группы при прокатке заднего конца полосы;
- использование рассогласования скоростей рабочих валков первых 2...3 клеток чистовой группы путем уменьшения скорости предыдущих клеток с целью увеличения напряжений межклетьевого натяжения.

Однако каждый из перечисленных четырех методов оказывает незначительное влияние на изменение толщины полосы и необходимо их комплексное использование.

Ниже выполнен анализ ряда наиболее эффективных способов воздействия на полосу для уменьшения приращения толщины ее концевого участка.

1. В Японии [6] на трех ШСГП с традиционной технологией прокатки в настоящее время *используют бесконечный процесс прокатки полос*, при котором в бесконечном режиме прокатывают 15...16 промежуточных раскатов общей длиной до 1000 м, сваренных встык на стыкосварочной машине перед чистовой группой, а затем несколько полос подвергают прокатке в периодическом (индивидуальном) режиме с целью создания пауз между полосами для интенсивного охлаждения рабочих валков. Этот способ специально разработан и осуществлен с целью ликвидации утолщенных концевых участков полос и обеспечения экономии металла.

Полубесконечный процесс прокатки применяют также и на ШСГП, работающих в составе литейно-прокатных агрегатов [6-8], на которых прокатывают промежуточные раскаты длиной 250...270 м. В этом процессе при постоянной температуре на входе раската в клетки ШСГП температура полосы и ее толщина на выходе из чистой клетки при скорости ≥ 20 м/с также будут одинаковыми на длине 3000...4000 м за исключением концевого участка длиной 30...40 м, прокатанного без заднего натяже-

ния. При этом возможные относительные потери металла в обрезь будут незначительными.

В работах [9,10] представлен иной способ сварки состыкованных полос в горячем состоянии на ШСП, который в процессе прокатки осуществляют непосредственно в очаге деформации. Идея способа основана на том, что при состыковке двух смежных полос перед входом в клеть и при прохождении стыка внутри очага деформации направление течения металла концевых участков полос имеет противоположный характер. В соответствии с законом наименьшего сопротивления течение металла заднего конца первой полосы осуществляется по пути наименьшего сопротивления к плоскости входа, а течение металла переднего конца второй полосы – к плоскости выхода. При их взаимном контакте в ограниченном объеме очага деформации и возникновении необходимых горизонтальных сил происходит процесс сваривания торцов полос подобно кузнечной (горячей) сварке.

Возможность выполнения сварки металла давлением показана исследованиями при холодной пластической деформации, даже при наличии окисленных поверхностей полос. При этом условия схватывания (сварки) определяются прочностью и твердостью оксидов по отношению к основному металлу, а также величиной пластической деформации, которая будет достаточной для максимального сближения чистых поверхностей. Поскольку твердость оксидов выше твердости основного металла при пластической деформации происходит разрушение оксида и выход чистого металла на поверхность. Разрушение оксида наступает тем раньше, чем больше отношение твердости оксида к твердости самого металла (ϕ). Так, для алюминия при $\phi = 4,5$ схватывание (сварка) происходит при пластической деформации с относительным обжатием $\varepsilon = 60\%$, а для меди с $\phi = 1,3$ сварке соответствует деформация с обжатием $\varepsilon = 86\%$ [11].

При сварке давлением на соединяемых поверхностях заготовок и в прилегающих объемах металла, как правило, протекают следующие процессы: пластическая деформация (в холодном или горячем состояниях), формирование и разрушение оксидных пленок, диффузия, упрочнение, рекристаллизация и др. Первоначально физический контакт обеспечивается пластической деформацией неровностей на соединяемых поверхностях. Сглаживанию поверхностей может способствовать поверхностная диффузия и другие процессы. Скорость химического взаимодействия (образования связей), в основном, зависит от скорости создания активных центров на сближаемых поверхностях и диффузионных процессов в зоне сварки. В случае, когда длительность, величина пластической деформации и температура процесса сварки в твердом состоянии являются достаточными для интенсивного развития диффузионных процессов, в зоне соединения образуются общие зерна или новые фазы. При сварке однородных элементов критерием окончания процесса может служить рекристаллизация, приводящая к образованию общих зерен в зоне контакта. В случае пластического деформирования состыкованных полос с оплавленными торцами процесс сварки существенно ускоряется.

Опробование способа стыковой сварки выполнено при прокатке полос толщиной 3,08 и 4,05 мм, шириной ~30 мм на стане с диаметром валков 200 мм. Образцы нагревали в силитовой печи до температуры ~1200 °С и предварительно состыкованными прокатывали в валках с обжатием ~30...40 %. Специальную подготовку торцов полос не выполняли. После прокатки образцы из стали марки ст. 3пс, соединенные в очаге деформации (рис. 1), исследовали в ЦЗЛ ОАО «Металлургический комбинат

«Запорожсталь».



1 - первая полоса; 2 - вторая полоса (нагрев до температуры ~1200 °С)

Рисунок 1 – Две полосы, сваренные встык в процессе совместной прокатки в валках (вид сверху):

Как видно из рис. 1, характер соединения образцов в очаге деформации свидетельствует о значительной пластической деформации металла и наличии значительной горизонтальной силы, которая при качественной подготовке торцовых поверхностей (или их оплавлении), может обеспечить надежную сварку смежных полос.

В условиях эксперимента, когда относительная площадь участков сварки полос составляла 10...12 %, а остальные участки были заняты окалиной, напряжение разрыва участка сварки достигает 250...280 Н/мм² (в холодном состоянии). На расстоянии 6...13 мм от шва обнаружена мелкозернистая структура (балл > 10), а далее от шва – видманштетовая структура полос (балл 3). Мелкозернистая структура в области участков сварки свидетельствует о значительных горизонтальных деформациях полос.

2. Применение *дополнительного обжатия* заднего концевго участка раската (полосы) в процессе его прокатки используют на различных станах [1,2,7]. Однако для получения в чистовой клетке ШСПП полосы без утолщения на концевом участке ($\delta h_n = 0$) необходимо во всех клетях стана применить фактическое суммарное дополнительное обжатие в пределах ~2,0 мм, что при наличии тихоходных электромеханических нажимных устройств (ЭМНУ) невозможно достигнуть. Поэтому кардинальным решением данной проблемы служит установка в чистовой группе стана клетей с гидравлическими нажимными устройствами (ГНУ), скорость воздействия которых на полосу составляет до 2,0 мм/с. Тогда иные способы воздействия на полосу сами по себе могут быть лишними. В противном случае необходимо дополнительно обжимать задний участок полосы, очевидно, несколькими способами.

3. Одним из параметров, определяющих величину силы прокатки, является *коэффициент трения*. Величина коэффициента трения f в первых клетях чистовой группы ШСПП составляет 0,39...0,27, а в последних трех клетях – 0,26...0,20, уменьшаясь по мере увеличения скорости прокатки при снижении относительного обжатия. Коэффициент трения оказывает влияние на напряженное состояние в очаге деформации через продольные подпирющие напряжения σ_ζ и входит в формулы для расчета среднего нормального контактного напряжения $\delta_{\bar{n}\delta}$ [1,13,14]:

$$\delta_{cp} = \sigma_\delta \cdot [n_\zeta \cdot (1 - \gamma/\alpha) + n_i \cdot (\gamma/\alpha)] + C_i \cdot f_n \cdot \frac{\ell_d}{h_{cp}}, \quad (1)$$

где σ_δ – сопротивление металла деформации ($\sigma_\delta = \lambda \cdot \sigma_\delta$); λ – коэффициент Лоде; σ_δ – напряжение течения металла; n_ζ , n_i – коэффициенты, учитывающие влияние соответственно заднего и переднего натяжения полосы, $n_\zeta = 1 - \sigma_\zeta/\sigma_\delta$; $n_i = 1 - \sigma_i/\sigma_\delta$; γ , α – углы критического сечения и контакта полосы с валками соответственно; σ_i , σ_ζ – переднее и заднее напряжение натяжения соответственно; \tilde{N}_i – коэффициент,

учитывающий интенсивность трения; f_i – показатель трения по Зибелю, при $f_i > 0,12$ $\tilde{N}_i = 0,48$, при $f_i < 0,12$ $\tilde{N}_i = 0,17(1+14,7f_i)$; $f_i = f \cdot (0,91+1,27\varepsilon)$; f – коэффициент трения по Амонтону; ε – относительное обжатие; ℓ_d – длина дуги контакта; h_{cp} – средняя толщина полосы в очаге деформации.

При $\sigma_i = \sigma_\xi = 0$ формула (1) преобразуется в выражение

$$n_\sigma = 1 + \tilde{N}_i \cdot f_i \cdot \frac{\ell_d}{h_{cp}}, \quad (2)$$

где n_σ – коэффициент напряженного состояния металла в очаге деформации.

Как следует из формулы (1), при снижении коэффициента трения в 1,5 раза величина $\delta_{\text{но}}$ уменьшается в 1,12 раза и является достаточной для заметного снижения приращения толщины на заднем концевом участке при наличии технологической смазки. Такое уменьшение коэффициента трения при горячей прокатке достигается путем использования в качестве смазки минерального масла.

Применение на ШСГП 1680 при горячей прокатке полос толщиной 2,0...3,0 мм минеральной эмульсии обеспечивает снижение силы прокатки на 4,3...12,2 % в каждой клетке [6]. Расчеты показывают [1,15], что этого вполне достаточно для устранения приращения толщины полосы, так как различие сил при прокатке заднего и переднего концов полосы после клеток № 6-8, как правило, не превышает 10...15 %.

Для реализации данного способа воздействия на участок заднего конца полосы все клетки (кроме первой клетки чистовой группы) необходимо оснастить специальными коллекторами, а технологическую смазку транспортировать по специальным трубопроводам из цеха холодной прокатки полос (промасливатель горячекатаной полосы из непрерывного травильного агрегата или эмульсию с прокатного стана, в том числе и отработанную), но не изготавливать ее специально в цехе горячей прокатки. Так как технологическую смазку следует подавать только на задний концевой участок со стороны входа полосы в валки, то расход минерального масла не будет большим, и само масло будет полностью сгорать при прокатке.

4. Применение ускорения валков клеток чистовой группы является общепризнанным способом уменьшения толщины полосы [7,8]. При ускорении валков при прокатке заднего конца полоса нагревается на 7...10 °С, уменьшаются напряжение течения металла и коэффициент трения, что и вызывает снижение среднего нормального контактного напряжения и силы прокатки. Так, по данным [7], при прокатке полос 1,5×1050 мм на стане 2000 с ускорением 0,05 м/с² на длине ~550 м толщина полосы уменьшается на ~0,15 мм. Длина утолщенного концевой участка полос на ШСГП значительно меньше и составляет всего 30...40 м, и при указанной реальной величине ускорения и длине участка уменьшение его толщины может быть всего лишь в пределах ~0,02 мм, что является явно недостаточным. Однако и этот способ целесообразно опробовать в условиях работающих ШСГП первых поколений в тех случаях, когда имеется резерв увеличения скорости прокатки в процессе обжатия данной полосы.

5. Повышение температуры заднего конца раската. При использовании в линии между черновой и чистовой группами клеток ШСГП с традиционной технологией промежуточного перемоточного устройства (ППУ) задний конец полосы формируется из более горячего переднего конца промежуточного раската. Однако, как показывают эксперименты, и при наличии ППУ на заднем концевом участке происходит

существенное приращение толщины полосы на $\delta h_f = 0,08...0,15$ мм вследствие отсутствия заднего натяжения полосы в клетях стана. В условиях такого технологического процесса на ШСГП устранение утолщения заднего конца полосы возможно путем локального дополнительного нагрева двух-трех внутренних витков промежуточного раската в рулоне, в результате чего уменьшаются сила прокатки полосы, упругие деформации клетки и толщина полосы. При внутреннем диаметре рулона 600...650 мм длина дополнительно нагретого участка раската составит $\sim 4...5$ м. Степень устранения утолщения концевой участка будет определяться температурой дополнительного нагрева рассматриваемого локального участка.

Ниже представлены результаты расчетов параметров прокатки заднего конца промежуточного раската (сталь марки 08пс) толщиной $\dot{I}_{i\delta} = 24$ мм на полосу толщиной 2,5 мм в шести клетях (клетки №№ 5-10) ШСГП 1700 с диаметром рабочих валков 600 мм во всех клетях и скоростью прокатки в клетке № 10 равной 9,0 м/с.

Задний конец полосы прокатывают без заднего натяжения. Принимаем, что величина температуры заднего конца промежуточного раската составляет 980 °С (базовая), а температура после дополнительного нагрева на конце промежуточного раската: 1000, 1020 и 1050 °С. Энергосиловые параметры прокатки и изменение толщины готовой полосы на заднем конце раската при указанных температурах прокатки определяют по известным зависимостям [1,17,18]. В установившемся процессе прокатки переднее и заднее натяжения составляют $\sigma_f = \sigma_c = 15$ Н/мм², а при прокатке заднего конца без натяжения $\sigma_c = 0$. Расчетные параметры прокатки для базового установившегося процесса (с фиксированной толщиной полосы на заднем конце раската при $\delta h_f = 0$), а также параметры прокатки заднего конца полосы в клетке № 10 при начальной температуре 1000, 1020 и 1050 °С заднего конца промежуточного раската, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры прокатки полосы 2,5 × 1250 мм из промежуточного подката $H_{ПР} = 24$ мм при различной температуре заднего конца (для клеток 5-10)

Номер клетки	Толщина раската, h , мм	Коэффициент трения, f	$p_{ср}$, Н/мм ²	P , Мн	$M_{П}$, МН/мм	t_n , °С	$\delta h_{П}$, мм
5	14,80	0,355	226	15,8	1,43	980	-
6	8,50	0,315	269	14,1	2,31	958	-
7	5,50	0,278	300	11,8	3,49	941	-
8	3,70	0,233	338	10,6	5,33	919	-
9	2,90	0,214	288	6,2	6,50	898	-
10	2,50	0,189	250	3,9	7,88	867	0
10	2,48	0,188	249	3,8	7,90	1000	-0,02
10	2,43	0,187	244	3,7	7,80	1020	-0,07
10	2,38	0,185	237	3,5	7,40	1050	-0,12

Примечание: t_n – начальная температура промежуточного раската

В первой части табл. 1 приведены параметры прокатки заднего конца промежуточного раската в серийном режиме, то есть при его температуре равной 980 °С. Толщина готовой полосы заднего конца принята равной $h_{i0} = 2,5$ мм и $\delta h_f = 0$. Как следует из табл. 1, коэффициент трения, по мере уменьшения толщины полосы, суще-

ственно уменьшается вследствие превалирующего влияния увеличивающейся скорости прокатки. При принятом режиме деформации сила прокатки P уменьшается от клетки к клетке, а модуль жесткости полосы \dot{I}_l возрастает от 1,43 до 7,88 МН/мм.

При дополнительном нагреве внутренних витков промежуточного раската до температуры 1000, 1020 и 1050 °С сила прокатки и модуль жесткости полосы понижаются, что обуславливает уменьшение приращения толщины заднего концевой участка готовой полосы на $\delta h_f = - (0,02 \dots 0,12)$ мм (последние три строки в табл. 1). Таким образом, для уменьшения приращения толщины заднего концевой участка готовой полосы необходимо осуществить предварительный подогрев 2...3 внутренних витков рулона промежуточного раската дополнительно на 50...70 °С.

Для реализации указанного подогрева внутренних витков рулона промежуточного раската при его размотке во внутреннюю полость рулона вводят стержень с водоохлаждаемым индукционным нагревателем, защищенным от ударов витками раската, с мощностью, достаточной для нагрева металла до необходимой температуры.

По данным работы [19], для нагрева раската толщиной 20...30 мм потребуются менее 30 с. После окончания разматывания стержень убирают с линии рольганга для приема нового рулона. Повышенная температура раската обеспечивает уменьшение толщины полосы и устранение утолщенного концевой участка.

Таким образом, из анализа следует, что локальный участок утолщения заднего конца полосы может быть устранен только локальным воздействием одним (или несколькими) из приведенных методов. Возможно, существуют иные методы воздействия на локальный участок длины полосы, но и приведенные выше, на наш взгляд, являются реальными для применения в промышленных условиях.

Выводы. Выполнен краткий анализ возможных способов уменьшения утолщения заднего конца полосы при прокатке на традиционных ШСПП. Наиболее эффективным способом является бесконечная прокатка полос, которую обеспечивают путем стыкового сваривания промежуточных раскатов общей длиной до 1000 м. Рассмотрен и испытан новый метод стыковой сварки промежуточных раскатов непосредственно в очаге деформации. Выполнена оценка влияния температуры заднего конца полосы на величину утолщения. Показано, что для его удаления необходимо дополнительно нагревать концевой участок полосы на 50...70 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев, В. А. Формирование толщины полосы при прокатке на широкополосных станах [Текст] / В. А. Николаев, А. Ю. Путники. – Запорожье : Дикое Поле, 2011. – 180 с. – Библиогр. : с. 166-179. – ISBN 978-966-2994-67-4.
2. Ткалич, К. Н. Точная прокатка тонких полос [Текст] / К. Н. Ткалич, Ю. В. Коновалов. – М. : Металлургия, 1972. – 176 с. – Библиогр. : с. 171-175.
3. Грудев, А. П., Трение и смазки при обработке металлов давлением [Текст] / А. П. Грудев, Ю. В. Зильберг, В. Т. Тилик. – М. : Металлургия, 1975. – 312 с. – Библиогр. : с. 296-310.
4. Железнов, Ю. Д. Статистические исследования точности тонколистовой прокатки [Текст] / Ю. Д. Железнов, С. Л. Коцарь, А. Г. Абиев. – М. : Металлургия, 1974. – 240 с. – Библиогр. : с. 236-239.
5. Температурные условия прокатки с ускорением на широкополосном стане 1680 [Текст] / В. А. Сацкий, А. И. Молчанов, А. Ю. Путники и др. // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 1 (56). – С. 5-7.
6. Коновалов, Ю. В. Справочник прокатчика [Текст] / Производство горячекатаных листов и полос. – М. : Теплотехника, 2008. – Книга 1. – 640 с. – Библиогр. : с. 626-640. – ISBN 5-

98457-060-2.

7. Совершенствование прокатки сверхтонкой полосы из непрерывнолитых тонких слябов [Текст] / Ф. Стелла, А. Карбони, П. Бабич, И. Фарук // Сталь. – 2003. – № 11. – С. 58-65.
8. Новый способ горячей прокатки тонких полос [Текст] / И. Грот, Л. Сьеревогель, М. Корнелиссен и др. // Черные металлы. – 2004. – Июль-август. – С. 30-32.
9. Николаев, В. А. Теория и технология прокатки металла [Текст] / В. А. Николаев. – Запорожье : Акцент Инвест-Трейд, 2013. – 232 с. – Библиогр. : с. 211-226. – ISBN 978-966-2602-40-1.
10. Николаев, В. А. Стыковая сварка полос при горячей прокатке [Текст] / В. А. Николаев // Производство проката. – 2014. – № 3. – С. 14-18.
11. Айнбиндер, С. Б. О возникновении сцепления металлов при совместной пластической деформации [Текст] / С. Б. Айнбиндер, Э. Ф. Клокова // Журнал технической физики. – 1955. – № 13. – С. 12-17.
12. Николаев, В. А. Теория прокатки [Текст] / В. А. Николаев. – Запорожье : ЗГИА 2007. – 228 с. – Библиогр. : с. 218-224. – ISBN 976-966-7101-86-2.
13. Николаев, В. А. Теория и практика процессов прокатки [Текст] / В. А. Николаев. – Запорожье, ЗГИА 2002. – 232 с. – Библиогр. : с. 224-230. – ISBN 966-7101-42-8.
14. Николаев, В. А. Определение продольной разнотолщинности горячекатаных полос [Текст] / В. А. Николаев, Д. А. Матюшенко // Металл и литье Украины. – 2007. – № 8. – С. 20-22.
15. Николаев, В. О. Виробництво плоского прокату [Текст] / В. О. Ніколаєв, В. Л. Мазур. – Запоріжжя : ЗДІА, 2010. – 320 с. – Библиогр. : с. 310-317. – ISBN 978-966-8462-27-6.
16. Николаев, В. А. О рациональном размещении Coilbox в линии широкополосного стана [Текст] / В. А. Николаев, А. А. Васильев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – № 6 (277). – С. 28-33.
17. Николаев, В. А. Оперативные способы снижения продольной разнотолщинности полос [Текст] / В. А. Николаев, Д. А. Матюшенко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010 (261). – № 1. – С. 61-64.
18. Краснокутський, П. Г. Теплотехнічні процеси і конструкції нагрівальних печей [Текст] : навч. посібник ; П. Г. Краснокутський, Ф. І. Колесник. – Київ : ІСДО, 1995. – 248 с. – Библиогр. : с. 243-245. – ISBN 7763-9745-6.

Стаття надійшла до редакції 27.12.2013 р.
Рецензент, проф. В.В. Чигиринський

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>