

УДК 621.75.06 -52

РАЗВИТИЕ ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ МЕХАНИЗМОВ «ЗАЛЕЧИВАНИЯ» ДЕФЕКТОВ СПЛОШНОСТИ ОСЕВОЙ ЗОНЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Смирнов Е.Н.¹, д.т.н. профессор кафедры металлургии и металловедения (en_smirnov@i.ua)

Скляр В.А.¹, к.т.н., доцент кафедры металлургии и металловедения (fan-f1@yandex.ru)

Белевитин В.А.², д.т.н. профессор, научный руководитель лаборатории
«Технологии решения и защиты авторских разработок» (belewitina@rambler.ru)

Шмыгля Р.А.³, магистр (Ramzes.112@mail.ru)

Смирнов О.Е.⁴, инженер (olegsmirnoff1@yandex.ua)

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова, филиал НИТУ «МИСиС»
(309516, Россия, Белгородская обл., Старый Оскол, микрорайон Макаренко, 42)

² Челябинский государственный педагогический университет
(454080, Россия, Челябинск, пр. Ленина, 69)

³ Донецкий национальный технический университет
(283001, Донецк, ул. Артема, 58)

⁴ ЗАО «Осколтелеком»
(309504, Россия, Старый Оскол, мкр. Набережный, 11)

Аннотация. Концепция минимизации металлоемкости конструкции готового изделия предъявляет все более высокий комплекс требований к стали как к конструкционному материалу. В этой связи вопросы, связанные с изучением поведения дефектов макроструктуры непрерывнолитой заготовки (усадочная раковина, газовые пузыри, осевая пористость) в процессе деформирования имеют актуальный характер. В работе представлено дальнейшее развитие методов исследования процессов обработки металлов давлением с использованием слоистых физических моделей. Использование слоистых моделей в совокупности с предложенным способом нанесения дефектов на поверхности n -го слоя и методикой обработки информации о характере его формоизменения позволяют оценивать влияние степени деформации на процесс их «залечивания». Выполнена первичная адаптация предлагаемого способа применительно к условиям моделирования процесса деформирования непрерывнолитой сортовой заготовки в первых трех прямоугольных калибрах обжимной клетки линейного стана 500/370 ПАО «Донецкий металлопрокатный завод». Полученные экспериментальные данные позволили уточнить существующий механизм «залечивания» осевых дефектов сплошности металла в зависимости от величины суммарной вытяжки и схемы приложения деформационного воздействия.

Ключевые слова: процесс деформации, сортовая прокатка, заготовка, прямоугольный калибр, обжимная клеть, физическая модель, процесс «выкатки», дефекты макроструктуры.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-5-322-327

Использование сортовой непрерывнолитой заготовки (НЛЗ) малого сечения выявило целый ряд проблем, связанных с обеспечением равномерного уплотнения металла по сечению готового проката, которые ранее не проявлялись при использовании горячекатаной заготовки, полученной по схеме слиткового передела. В наибольшей степени это характерно для случаев производства сортового проката из качественных конструкционных и рессорно-пружинных марок сталей [1].

В этой связи вопросы, связанные с изучением поведения дефектов сплошности макроструктуры непрерывнолитой сортовой заготовки (усадочная раковина и осевая пористость) в процессе деформирования, имеют актуальный характер.

Как показал анализ литературных данных, наиболее сложным в реализации с использованием физических моделей является процесс исследования поведения

внутренних дефектов макроструктуры непрерывнолитой заготовки в ходе прокатки [2 – 4]. В этом случае можно выделить два наиболее применяемых подхода.

В рамках первого подхода наиболее часто используется взаимосвязь параметров макроструктуры готового проката с параметрами деформирования, а именно: с величиной суммарного относительного обжатия ε_{Σ} [5]; соотношением сторон непрерывнолитой заготовки [6]; изменением удельного сопротивления материала физической модели [7].

Второй подход основан на прямых экспериментальных исследованиях с использованием физических моделей с конкретным видом (группой) дефекта макроструктуры металла [8 – 10].

В рамках данного направления заслуживает особого внимания подход, который применяется на протяжении ряда лет в Уральском федеральном техничес-

ком университете на кафедре обработки металлов давлением (ОМД) под руководством профессора Логинова Ю.Н. [11 – 14]. Авторы исследовали поведение одиночной поры. Следует отметить, что предложенный подход является логическим развитием работ И.Я. Тарновского [15], связанных с изучением характера распространения деформации по сечению раската на слоистых свинцовых образцах.

Также следует отметить, что в случае производства сортового проката из НЛЗ малого сечения, дефекты наследственно передаются и сохраняются в прокате даже при очень больших степенях вытяжки [16]. Это обуславливается характером формируемой макроструктуры металла как в поперечном, так и в продольном его сечениях [17].

Целью работы является разработка методологии нового подхода к исследованию процесса поведения дефектов сплошности макроструктуры металла осевой области НЛЗ с использованием физических моделей.

В основу нового подхода были заложены следующие допущения:

- в связи с тем, что осевые дефекты макроструктуры имеют значительную протяженность вдоль продольной оси, принимается, что они подобны поверхностным дефектам и к ним применимо понятие «выкатка»;
- наличие градиента плотности локализации дефектов на единицу площади поперечного сечения позволяет представить данную область в виде послойной модели с дискретным характером ее изменения;
- рассматривается изменение высоты условного слоя металла с уже имеющимися дефектами, причем в процессе прокатки новые дефекты не образуются;
- в процессе прокатки дополнительного заглубления дефекта за счет нарушения сплошности металла не происходит;
- выкатка дефекта пропорциональна изменению высоты условного слоя металла, а угол наклона поверхностных дефектов к вертикальной оси симметрии раската и направлению прокатки (продольные или поперечные), а также их положение в плоскости сечения профиля в процессе прокатки могут меняться.

По аналогии с «выкаткой» поверхностных дефектов заготовки при прокатке, для установления взаимозависимости «выкатки» внутренних дефектов i -го слоя от характера распространения деформации по сечению раската целесообразно, с одной стороны, использовать слоистые физические модели, а с другой – рассматривать данный процесс с позиции закона постоянства объема. В этом случае слоистая физическая модель позволяет, как доказано в работе [15], зафиксировать распространение деформации по сечению раската. Это может быть достигнуто за счет предварительного нане-

сения на одну из поверхностей слоя дефектов разного вида и в требуемом количестве.

При таком подходе для количественного определения величины «выкатки» необходимо учитывать, как минимум, два коэффициента формоизменения: высотный и поперечный. Продольный коэффициент формоизменения будет дополнительным. В этом случае статистическая зависимость между величиной «выкатки» дефектов в i -том слое будет представлять собой функцию от коэффициентов высотного и поперечного формоизменения:

$$K_v^i = f(\varepsilon_h, \varepsilon_b), \quad (1)$$

где ε_h – условная относительная высотная деформации дефекта-имитатора; ε_b – условная относительная поперечной деформации дефекта-имитатора.

Необходимо отметить, что по аналогии с «выкаткой» поверхностных дефектов влияние каждого из них будет различным [18].

Как отмечено в работе [13], дефект-имитатор можно считать «вмонтированным» в макрообъем материала, который подвергается продольной деформации λ_d (удлинению). Следовательно, вместе с длиной макрообъема увеличивается и длина дефекта, т. е. λ_d должна быть больше единицы.

На основании изучения имеющихся подходов к исследованию «выкатки» поверхностных дефектов на физических моделях, было предложено использовать дефект-имитатор в форме треугольной призмы заданной длины (рис. 1).

Эксперимент проводили применительно к условиям деформирования непрерывнолитой заготовки в первой паре калибров обжимной клетки стана 500/370 ПАО «Донецкий металлопрокатный завод» (ДМПЗ). При этом, в случае использования масштаба моделирования 1:5, ширина исходной физической модели будет колебаться в пределах 24,0 – 30,0 мм.

Учитывая многовариантность решаемой задачи, была разработана пластинчатая конструкция матрицы (рис. 2). На одну из граней пластины наносились три дефекта-имитатора, каждый из которых имел свою

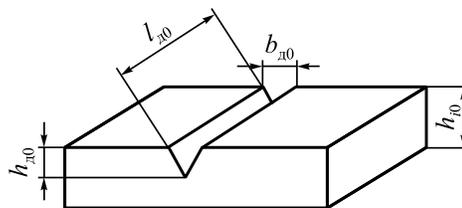


Рис. 1. Схема дефекта-имитатора в форме треугольной призмы: l_{d0} , b_{d0} , h_{d0} – начальные размеры дефекта-имитатора, h_{i0} – начальная толщина i -го слоя

Fig. 1. Scheme of defect simulator in the form of a triangular prism: l_{d0} , b_{d0} , h_{d0} – initial size of the defect simulator, h_{i0} – initial thickness of the i -th layer

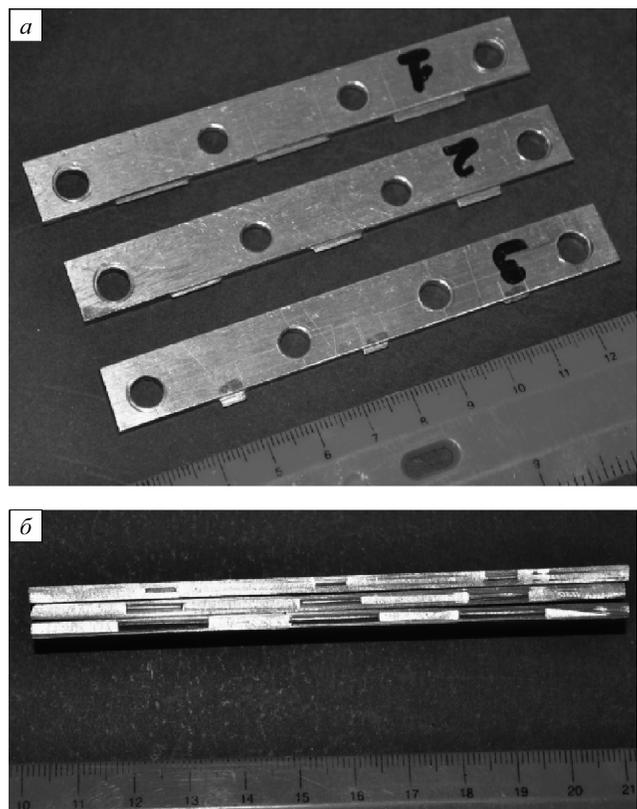


Рис. 2. Вид стальных вставок для нанесения дефектов (а) и матрицы в сборе (б)

Fig. 2. View of steel inserts for application of defects (a) and matrix assembly (b)

длину (5, 10 и 15 мм). Полученные на свинцовых пластинах отпечатки дефектов-имитаторов были замерены с использованием микроскопа БИМ-1 с точностью 0,005 мм (длина l и ширина b). Глубину дефекта h измеряли с использованием модернизированного штангенциркуля.

Были изготовлены три серии слоистых физических моделей, отличающихся схемой расположения дефектов (рис. 3). Пластины соединялись между собой с использованием штифтового соединения.

Такая конструкция образца позволяет оценить характер локализации деформации в слое толщиной, сопоставимой с глубиной дефекта. В дальнейшем физические модели (рис. 4) были прокатаны на стане 100, после чего их разъединяли и производили повторный обмер размеров дефектов-имитаторов.

Приведенные на рис. 5 результаты обработки экспериментальных данных о характере изменения размеров поперечного сечения дефектов-имитаторов, по сути дела, есть численная характеристика первого из двух выявленных механизмов «залечивания», в основе которого лежит процесс их постепенной «выкатки». Видно, что по мере роста величины суммарной вытяжки наблюдается четкая тенденция уменьшения размеров h и b дефектов. При этом, в случае реализации однонаправленного деформационного воздействия в нескольких проходах (рис. 5, б), величина уменьшения глубины дефекта h примерно на 50 – 70 % выше, чем уменьшение его ширины b .

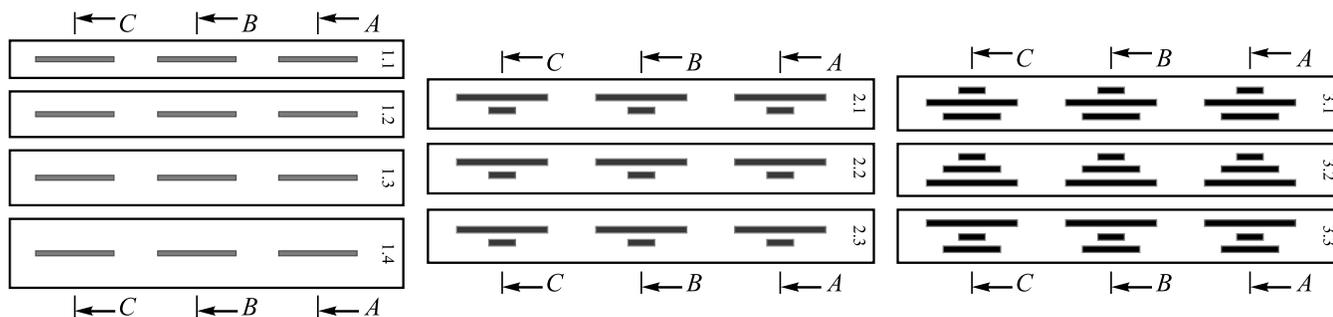


Рис. 3. Схема расположения дефектов на образцах

Fig. 3. Scheme of defects location on samples



Рис. 4. Вид физических моделей после прокатки: а – в калибре 1, б – в калибрах 1, 2, 3 (с кантовкой на 90° после калибра 2)

Fig. 4. View of physical models after rolling: а – pass 1, б – in passes 1, 2, 3 (with tilting of 90° after 2 pass)

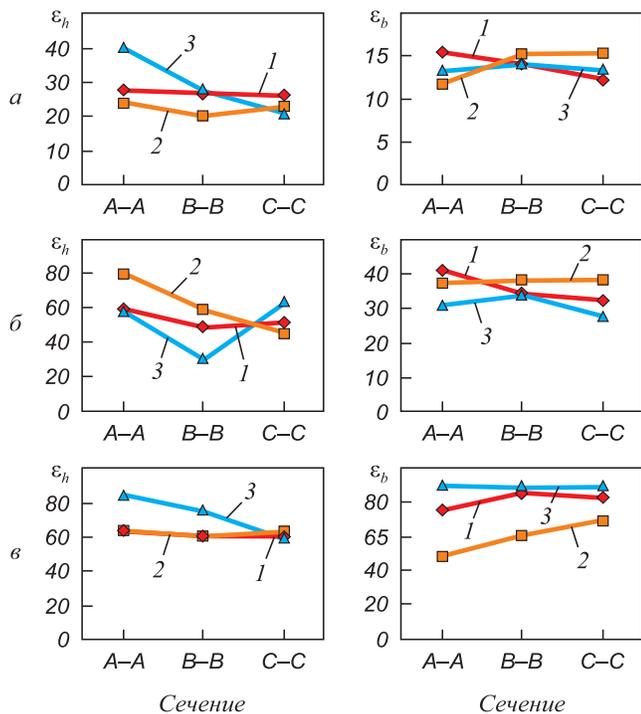


Рис. 5. Изменение ε_h и ε_b в зависимости от величины суммарной вытяжки:
 $\lambda_1 = 1,144$ (а); $\lambda_{1-2} = 1,340$ (б); $\lambda_{1-3} = 1,562$ (в) и начальной длины дефектов-имитаторов, мм: 1 – 15; 2 – 10; 3 – 5

Fig. 5. Changes of ε_h and ε_b depending on the total stretch:
 $\lambda_1 = 1,144$ (a); $\lambda_{1-2} = 1,340$ (б); $\lambda_{1-3} = 1,562$ (в) and the initial length of defect imitators, mm: 1 – 15; 2 – 10; 3 – 5

В тоже время, смена на 90° направления приложения деформационного воздействия приводит к некоторой стабилизации на одном уровне ранее интенсивно уменьшающегося размера h и возрастанию интенсивности уменьшения размера b . В целом, прокатка моделей с величиной суммарной вытяжки $\lambda_{1-3} = 1,562$ обеспечивает уменьшение размеров дефектов в пределах 60 – 80 %, а в ряде случаев приводит и к полной их «выкатке» по одному из размеров.

Вторым механизмом залечивания следует считать «схлопывание», в основе которого лежит эффект заполнения полости дефекта-имитатора металлом из соседних слоев за счет вдавливания. Можно предположить, что в реальных условиях во время деформирования будет происходить резкое сближение границ существующих несплошностей (поры, дефекты усадочного происхождения и т. д.), которые перпендикулярны направлению приложения внешнего деформационного воздействия. При этом, в зависимости от создаваемого напряженно-деформированного состояния в прилегающих к ним слоях металла, возможны случаи вдавливания порций металла в имеющиеся пустоты.

Для оценки «выкатки» дефектов-имитаторов использовали категории, принятые в теории прокатки. С одной стороны, для всего металла образца выполняется условие постоянства объема, с другой – поверхность

дефекта-имитатора является свободной поверхностью для материала заготовки и эта поверхность может перемещаться деформируемым материалом с постепенным его наполнением [13]. С учетом равенства вытяжек во всех слоях металла можно записать формулу для определения коэффициента выкатки K_B внутреннего дефекта-имитатора:

$$K_B = \frac{(\eta\xi)_{\text{база}}}{\eta_i\xi_i}; \quad (2)$$

$$(\eta\xi)_{\text{база}} = \frac{l_0^i}{l_1^i}, \quad (3)$$

где l_0^i и l_1^i – длина i -го дефекта-имитатора до и после прокатки, полученная в результате его обмера; $\eta = h_1/h_0$ – коэффициент обжатия образца; $\xi = b_1/b_0$ – коэффициент уширения образца; η_i и ξ_i – коэффициенты уменьшения глубины h_i и ширины b_i дефекта-имитатора за стадию деформирования.

Если в процессе прокатки происходит «выкатка» дефектов, то величина $K_B > 1$.

Обработка полученных экспериментальных данных с использованием вышеописанной методики позволила получить регрессионную модель, связывающую величину «выкатки» дефекта K_B с относительной величиной площади его поперечного сечения и приложенной вытяжкой:

$$K_B = 17,395 - 75,76 \left(\frac{f_i}{F_0} \right) - 29,19\lambda + 818,69 \left(\frac{f_i}{F_0} \right)^2 + 14,15\lambda^2 + 0,48 \left(\frac{f_i}{F_0} \right) \lambda, \quad (4)$$

где f_i/F_0 – отношение площади поперечного сечения i -го дефекта-имитатора f к площади поперечного сечения физической модели F_0 ; λ – величина коэффициента вытяжки физической модели в серии.

Выводы. В работе представлено дальнейшее развитие методов исследования процессов ОМД с использованием слоистых физических моделей. Использование слоистых моделей в совокупности с предложенным способом нанесения дефектов на поверхность n -го слоя и методикой обработки информации о характере его формоизменения позволяет оценивать влияние степени деформации на процесс их «залечивания». Выполнена первичная адаптация предлагаемого способа применительно к условиям моделирования процесса деформирования непрерывнолитой заготовки в первых трех прямоугольных калибрах обжимной клетки линейного стана 500/370 ПАО «ДМПЗ». Полученные экспериментальные данные позволили уточнить существующий механизм «залечивания» осевых дефектов сплошности металла в зависимости от величины суммарной вытяжки и схемы приложения деформационного воздействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Термомеханическая обработка проката из непрерывнолитой заготовки малого сечения / В.В. Парусов, А.К. Белитченко, Н.А. Богданов и др. – Запорожье: ЗГУ, 2000. – 142 с.
2. Park J.J. Prediction of void closure in a slab during various deformation processes // *Journal of Mechanical and Technology*. 2011. No. 25 (11), pp. 2871 – 2876.
3. Юрьев А.Б., Годик Л.А., Нугуманов Р.Ф. и др. Изучение трансформации дефектов непрерывнолитой заготовки при производстве рельсов // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2009. № 2. С. 42 – 44.
4. Сычков А.Б., Жигарев М.А., Перчатник А.В. и др. Трансформация дефектов непрерывнолитой заготовки в поверхностные дефекты проката // *Металлург*. 2006. № 2. С. 60 – 64.
5. Кокшарев Ю.М., Лубяной О.А. Исследование заваривания внутренних дефектов в сортовых заготовках, полученных на МНЛЗ ОАО «ЗСМК». – В кн.: Металлургия: технологии, управление, инновации, качество: Тр. Всерос. науч.-практич. конф. – Новокузнецк: СибГФУ, 2010. С. 73 – 77.
6. Прокатка рельсов из непрерывнолитой заготовки // *Информация руководителю. Ин-т «Черметинформация»*. 2003. № 10. С. 38.
7. Пат. 77283 UA. Спосіб фізичного моделювання процесів пророблення структури в безперервнолитих зливках при пластичній деформації / О.А. Мінаєв, Є.М. Смирнов, А.П. Мітьєв и др.: заявл. 22.10.2004; опубл. 15.11.2006. Бюл. № 11.
8. Tiros J., Shrizby A., Rubinski I. Evolution of anisotropy in the compliances of porous materials during plastic stretching or rolling – analysis and experiments // *Mechanics of Materials*. 1999. July. Vol. 31. Issue 7. P. 449 – 460.
9. Tripathy P.K., Das S., Jha M.K. etc. Migration of slab defects during hot rolling // *Iron making and Steelmaking*. 2006. Vol. 33. No. 6. P. 447 – 483.
10. Завьялов А.А., Логвинов А.В., Тулупов О.Н. Лабораторные методы моделирования ликвации при деформации непрерывнолитой сортовой заготовки // *Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. С. 66 – 71.*
11. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Поведение при прокатке дефекта типа поры, примыкающей к поверхности полосы // *Производство проката*. 2008. № 10. С. 2 – 6.
12. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Формоизменение одиночно расположенной поры в круглой заготовке при волочении // *Кузнечно-штамповочное производство*. 2009. № 4. С. 3 – 8.
13. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Прокатка заготовки с одиночно расположенной в объеме порой // *Заготовительное производство в машиностроении*. 2009. № 11. С. 33 – 37.
14. Логинов Ю.Н., Еремеева К.В. Формоизменение поры в центральной части прутка на начальной стадии прессования // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2009. № 9. С. 46 – 51.
15. Тарновский И.Я., Поздеев А.А., Ляшков В.Б. Деформация металла при прокатке. – Свердловск: Металлургиздат, 1956. – 287 с.
16. Аникеев В.В. Структурная наследственность углеродистой стали в системе «слиток – прокат» различных заводов производителей. – В кн.: Генезис, теория и технология литых материалов: Матер. Междунар. науч.-технич. конф. – Владимир, 2002. С. 221 – 222.
17. Смирнов Е.Н., Лейрих И.В., Зуб В.В. Исследование динамики структурообразования и свойства высококачественной сварочной проволоки из непрерывнолитой стали 07Г1НМА // *Металлы и литье Украины*. 2006. № 3 – 4. С. 43 – 47.
18. Шубин И.Г., Тулупов С.А. Совершенствование калибровки валков заготовительного стана, повышающее выкатку поверхностных дефектов. – Магнитогорск: МГМИ, 1990. – 10 с.

Поступила 27 марта 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2016. VOL. 59. NO. 5, PP. 322–327.

DEVELOPMENT OF THE STUDY OF MECHANISM OF “HEALING” DEFECTS OF CONTINUOUS CAST BILLET AXIAL ZONE ON A PHYSICAL MODEL

E.N. Smirnov¹, V.A. Sklyar¹, V.A. Belevitin², R.A. Shmygulya³, O.E. Smirnov⁴

¹Stary Oskol Technological Institute of National University of Science and Technology “MISiS”, Stary Oskol, Russia

²Chelyabinsk State Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia

³National Technical University of Donetsk, Donetsk

⁴CJSC “OskolTelecom”, Stary Oskol, Russia

Abstract. The concept of metal construction minimization of finished products requires an increasing set of requirements for steels as structural materials. In this context, issues related to the study of the continuous casting defects macrostructure behavior (shrinkage, gas holes, axial porosity) during deformation are very actual. This work presents further development of metal forming processes research methods with layered physical models use. Layered models usage in conjunction with the proposed method of defects application on the surface of *n*-th layer and processing information method concerning the nature of its forming allows to evaluate the rate deformation influence during the process of “healing”. The initial adaptation of the proposed method applying to the conditions of the deformation process simulation of continuous casting in the first three rectangular breakdown stand calibers of linear mill 500/370 of PJSC “DMPZ” has been performed. Obtained experimental data allow to clarify the existing mechanism of “healing” of axial discontinuities defects in metal depending on the overall elongation and schemes of deformation application.

Keywords: deformation process, section rolling, billets, rectangular gauge, crimp cage, physical model, process of “healing”, defects macrostructure.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-5-322-327

REFERENCES

1. Parusov V.V., Belitchenko A.K., Bogdanov N.A. etc. *Termomekhanicheskaya obrabotka prokata iz nepreryvnoilitoi zagotovki malogo secheniya* [Thermomechanical rolling process of continuous casting billet of small section]. Zaporizhia: ZGU, 2000, 142 p. (In Russ.).
2. Park J.J. Prediction of void closure in a slab during various deformation processes. *Journal of Mechanical and Technology*. 2011, no. 25 (11), pp. 2871–2876.
3. Yur’ev A.B., Godik L.A., Nugumanov R.F. etc. Transformation of defects in continuous-cast billet during rail production. *Steel in Translation*. 2009, vol. 39, Issue 2, pp. 125–126.
4. Sychkov A.B., Zhigarev M.A., Perchatnik A.V. etc. The transformation of defects in continuous-cast semifinished products into surface defects on rolled products. *Metallurgist*. 2006, vol. 50, Issue 1, pp. 83–90.
5. Koksharev Yu.M., Lubyanoi O.A. Research of brewing of internal defects in the billets produced on the CCM of JSC “ZSMK”. In: *Metallurgiya: tekhnologii, upravlenie, innovatsii, kachestvo: Trudy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Metallurgy: tech-

- nology, management, innovation, quality: Proceedings of the All-Russian Scientific-Practical Conf.]. Novokuznetsk, SibGFU, 2010, pp. 73–77. (In Russ.).
6. Rolling of rails from continuous casting billet: inf. head. *Byull. Chernaya metallurgiya*. OAO “Chermetinformatsiya”. 2003, no. 10, 38 p. (In Russ.).
 7. Minaev O.A., Smirnov E.M., Mit’ev A.P., Grigor’ev M.V., Demidova I.A., Slugin O.O., Myagkov V.M. *Sposib fizichnogo modelyuvannya protsesiv proroblennya strukturi v bezperervnolitykh zlivkakh pri plastichnii deformatsii* [Method of physical modeling of the behavior of the prior structure in continuously cast ingots at plastic deformation]. Patent no. 77283 UA. Byul. 2006, no. 11. (In Ukr.).
 8. Tirosh J., Shrizby A., Rubinski I. Evolution of anisotropy in the compliances of porous materials during plastic stretching or rolling – analysis and experiments. *Mechanics of Materials*. July 1999, vol. 31, Issue 7, pp. 449–460.
 9. Tripathy P.K., Das S., Jha M.K. etc. Migration of slab defects during hot rolling. *Iron making and Steelmaking*. 2006, vol. 33, no. 6, pp. 447–483.
 10. Zav’yalov A.A., Logvinov A.V., Tulupov O.N. Laboratory modeling methods of segregation during deformation of continuous cast billet. In.: *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov: Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov* [Treatment of solid and laminates materials: Int. collection of sci. works]. Magnitogorsk: MG TU, 2001, pp. 66–71. (In Russ.).
 11. Loginov Yu.N., Ereemeeva K.V. Behavior of defect of pore type, adjoining to strip surface, during rolling. *Proizvodstvo prokata*. 2008, no. 10, pp. 2–6. (In Russ.).
 12. Loginov Yu.N., Ereemeeva K.V. Changes in shape of single pore situated in a round billet during the drawing process. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*. 2009, no. 4, pp. 3–8. (In Russ.).
 13. Loginov Yu.N., Ereemeeva K.V. Rolling of billet with single pore located in volume. *Zagotovitel’noe proizvodstvo v mashinostroenii*. 2009, no. 11, pp. 33–37. (In Russ.).
 14. Loginov Yu.N., Ereemeeva K.V. Deformation of pores in the central part of the rod at initial pressing stage. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2009, no. 9, pp. 46–51. (In Russ.).
 15. Tarnovskii I.Ya., Pozdeev A.A., Lyashkov V.B. *Deformatsiya metalla pri prokatke* [Metal deformation during rolling]. Sverdlovsk: Metallurgizdat, 1956, 287 p. (In Russ.).
 16. Anikeev V.V. Structural heredity of carbon steel in the “ingot - rolled” system at different manufacturing plants. In: *Genesis, teoriya i tekhnologiya litykh materialov: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Genesis, theory and technology of cast materials: Materials of Int. Sci.-Tech. Conf.]. Vladimir, 2002, pp. 221–222. (In Russ.).
 17. Smirnov E.N., Leirikh I.V., Zub V.V. Investigation of structure formation dynamics and properties of high-quality welding wire of continuously cast 07G1NMA steel. *Metall i lit’e Ukrainy*. 2006, no. 3–4, pp. 43–47. (In Russ.).
 18. Shubin I.G., Tulupov S.A. *Improving the calibration of rolls for manufacturing mill which helps to reduce the size of surface defects*. MGMI, Magnitogorsk. 1990. 10 p. (In Russ.).

Information about the authors:

E.N. Smirnov, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Metallurgy and Metal Science” (en_smirnov@i.ua)

V.A. Sklyar, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair “Metallurgy and Metal Science” (fan-f1@yandex.ru)

V.A. Belevitin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Laboratory “Technology of solution and protection of authoring” (belewitina@rambler.ru)

R.A. Shmyglya, MA Student (Ramzes.112@mail.ru)

O.E. Smirnov, Engineer (olegsmirnoff1@yandex.ua)

Received March 27, 2015