

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СЛЯБА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ПОЛОСЫ



Виктор Владимирович Носов, д.т.н., профессор
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия
Тел: (904)6179438, e-mail: nosovvv@list.ru



Валентин Георгиевич Лаврин, инж. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия
Тел: (951)3057260, e-mail: valial@inbox.ru

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы обеспечения качества на стадии производства листовой стали по результатам акустико-эмиссионного контроля литых заготовок. Предложена модель преобразования прочностного состояния материала сляба в состояние материала листа в процессе прокатки, диагностические параметр и признак прочностного состояния материала заготовки.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, контроль дефектности, производство стального листа.

Viktor V. Nosov, Valentin G. Lavrin

METHOD OF QUALITY CONTROL FOR SLABS FOR FORECASTING DEFECTIVE HOT STRIP

Dr. Viktor V. Nosov, Prof.

St. Petersburg Polytechnical University, Polytechnicheskaya, 29, St-Petersburg,
195251, Russia

Phone: (904)6179438, e-mail: nosovvv@list.ru

Eng. Valentin G. Lavrin,

St. Petersburg Polytechnical University, Polytechnicheskaya, 29, St-Petersburg,
195251, Russia

Phone: (951)3057260, e-mail: valial@inbox.ru

Abstract

The article is devoted to the issues of forecasting the presence of dangerous defects in the steel sheet according to the results of acoustic emission control of slabs. The results showed that a predisposition to the appearance of defects in the material of the slab during rolling can be determined using the method of acoustic emission, a model state of the material transformation of a strength of the slab in the state of the sheet material during the rolling process.

Key words: acoustic emission, quality control, production of rolled steel.

Современный уровень технологии производства проката позволяет с высокой точностью контролировать и поддерживать требуемые параметры технологического процесса, сортировать заготовки для производства листа по критерию наличия в них дефектов, ведущих к образованию дефектов в прокате. Для выявления зон с неудовлетворительным прочностным состоянием применим метод регистрации сигналов акустической эмиссии, но использование данного метода для контроля листовой стали осложнено особенностями формы и размеров листа и общей структуры материала. Однако подавляющее большинство методов, применяемых для неразрушающего контроля листа, определяют дефекты как нарушения сплошности материала, не однозначно связанные с прочностью. Поэтому проблема выявления опасных дефектов в стальном листе на стадии производства является актуальной.

Для решения вопроса была предложена гипотеза о развитии дефектов и связи прочностного состояния слябов и производимых из них листов. Процесс формоизменения заготовки рассматривается как суперпозиция одновременно протекающих в материале двух конкурирующих процессов изменения структуры: пластической деформации, при которой разрушение одних связей между структурными элементами материала компенсируется возникновением новых связей, что может приводить к упрочнению материала, и разрушения, при котором происходит разрыв связей без последующего их восстановления. Развитие несплошностей в деформируемом материале является результатом превосходства процессов разрушения над процессами упрочнения структуры.

До начала процесса обработки имеется материал технологической заготовки с повышенной неоднородностью прочностного состояния структурных элементов, связанной как с неодинаковостью размеров этих структурных элементов, так и разностью их расположения, напряжённого состояния и критических значений воспринимаемых напряжений. При этом плотность вероятности значений показателя прочностного состояния ω структурных элементов материала [1-4] можно представить в виде двух прямоугольного закона распределения (рис. 1). Характерными особенностями распределения для материала заготовки является значительное

количество не несущих существенного влияния на прочность материала образующих «хвост» распределения $\psi(\omega)$ элементов с высокой интенсивностью разрушения и значительным разбросом воспринимающих основную нагрузку и влияющих на характеристики прочности листа значений ω «колокола» распределения $\psi(\omega)$ различных заготовок.

Материал листа, прошедший технологический процесс пластической деформации, характеризуется меньшей степенью неоднородности прочностного состояния структурных элементов, более равномерным распределением размеров структурных элементов, упорядоченностью положения, более однородным напряжённым состоянием элементов и критических значений воспринимаемых ими напряжений. При представлении вероятности распределения значений интенсивности разрушения структурных элементов в виде двух прямоугольного распределения, доля образующих «колокол» распределения $\psi(\omega)$ элементов существенно выше, чем в технологической заготовке, разброс значений интенсивности разрушения элементов колокола уже. Такое изменение происходит в процессе прокатки за счёт повышения упорядоченности структурных элементов, уменьшения их максимальных размеров и уменьшения неоднородности распределения напряжений в материале. Подавляющее большинство элементов «колокола» распределения технологической заготовки преобразуются в элементы «колокола» распределения для листового материала, при этом сокращая разброс значений интенсивности разрушения. Часть элементов «хвоста» распределения для технологической заготовки из ближнего к колоколу участка также преобразуется в элементы с малыми значениями интенсивности разрушения и пополняет «колокол» распределения для листового материала. Другая часть элементов хвоста, в зависимости от значения параметров каждого элемента, преобразуется либо в элементы «хвоста» распределения для листового материала, либо разрушаются без восстановления превращаясь в разупрочнённые области или макродефекты листа. Такой вариант протекания процесса возможен в условиях значительной неоднородности прочностных параметров структурных элементов заготовки, когда интенсивности разрушения большого числа её элементов становятся чрезмерно высокими. Также процесс развития повреждённости структуры листового материала в процессе пластической деформации может быть обусловлен несформированностью материала технологической заготовки, выражающегося в высокой доле вероятности наличия в материале элементов «хвоста». В этом случае, в процессе пластической деформации разрушение элементов хвоста ведёт к накоплению повреждённости структуры материала, достаточной для развития макродефектов. Наличие макроскопических дефектов приводит к повышению значений напряжений, действующих в прилегающем материале, что может интенсифицировать разрушение структурных элементов этого участка материала.

Оценка параметров функции $\psi_3(\omega)$ плотности распределения параметра прочностного состояния структурных элементов заготовки сводится к оценке акустико-эмиссионного диагностического параметра:

$$W_{AE} = d \ln \xi / dK_H \approx \omega_3,$$

где $dK_H \approx \Delta K_H = K_{H2} - K_{H1}$, K_{H1} и K_{H2} – коэффициенты нагрузки, определяемые по формуле:

$$K_{H2} = \frac{\sigma_{\max 2}}{\sigma_T} \quad \text{и} \quad K_{H1} = \frac{\sigma_{\max 1}}{\sigma_T},$$

$$W_{AE} = \omega_T = \frac{\gamma \sigma_T}{KT} = \frac{(\ln \xi_2 - \ln \xi_1)}{K_{H2} - K_{H1}}$$

где ξ_1, ξ_2 – значения информативного АЭ параметра при максимальных напряжениях в сечении $\sigma_{\max 1}, \sigma_{\max 2}$ в образце при диагностическом нагружении в разный момент времени, а σ_T – предел текучести материала заготовки.

Определить параметры распределения $\psi_3(\omega)$ предлагается на основе обработки получаемой при упругом нагружении заготовки АЭ информации. Сложность определения параметра W_{AE} , связана с нелинейностью начального участка зависимости $\ln \xi(t)$ в момент разрушения структурных элементов со значениями ω из области «хвоста» функции $\psi_3(\omega)$.

Изменение состояния материала заготовки моделировалось изменением параметров функции $\psi_3(\omega)$ плотности распределения параметра ω по структурным элементам заготовки (рис. 1), а результатом изменения структуры явились новое прочностное состояние, моделируемое функцией $\psi_L(\omega)$ структурных элементов готового листа. В процессе изменения часть элементов распределения $\psi_3(\omega)$ со значениями $\omega > \omega_{\text{крит3}}$, соответствующие наиболее дефектным структурным элементам, ухудшают своё прочностное состояние. Это проявляется либо в разрушении, либо увеличении параметра ω . Структурные элементы со значениями $\omega < \omega_{\text{крит3}}$ упрочняются в результате пластической перестройки структуры материала заготовки, что моделируется понижением параметра состояния ω структурных элементов. Параметры распределения $\psi_3(\omega)$ индивидуальны для каждой заготовки, а их определение предлагается на основе обработки АЭ с позиции микромеханической модели разрушения.

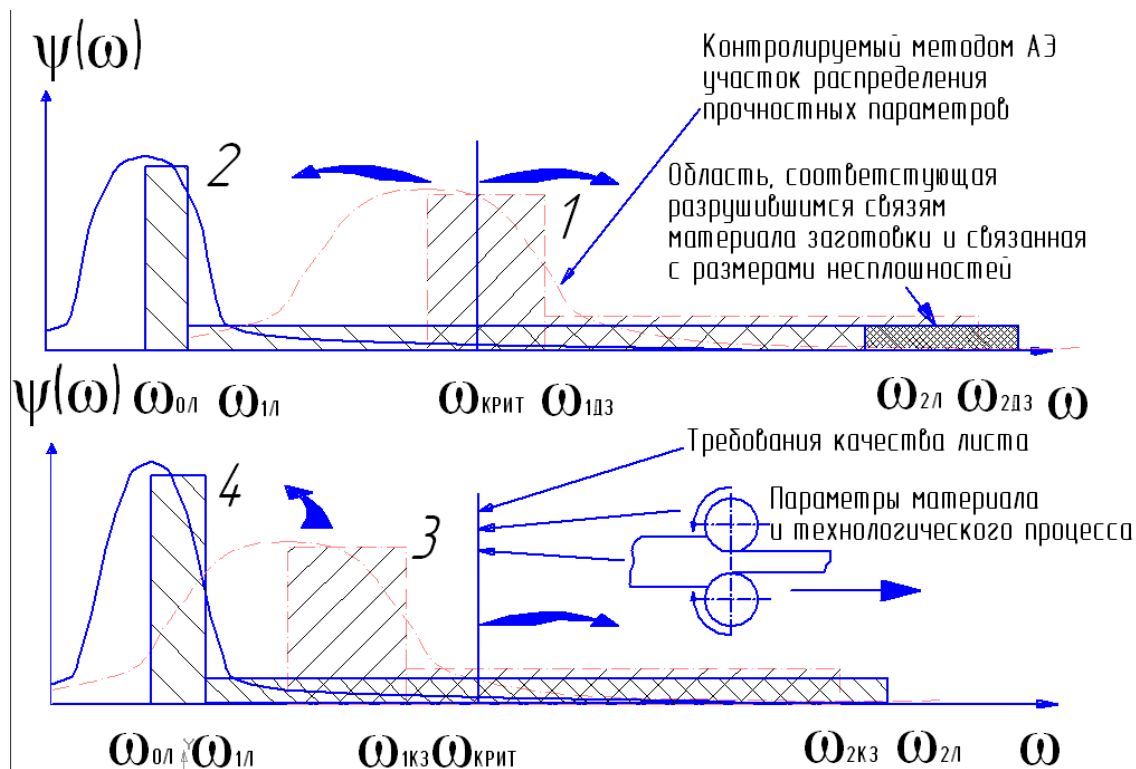


Рис. 1. Модель изменения прочностного состояния материала при пластической деформации. 1-график функции плотности распределения параметра прочностного состояния структурных элементов дефектной заготовки, 2-дефектного листа, 3-качественной заготовки, 4- качественного листа.

Информативность физического подхода позволяет сформулировать диагностический признак.

В качестве основного критерия прочностного состояния структурного элемента использовалось время Θ до его разрушения, описываемое формулой Журкова:

$$\Theta = \tau_0 \exp[(U_0 - \gamma\sigma)/(KT)] = \tau_0 \exp(U_0/KT - \omega), \quad (1)$$

где $\tau_0 = 10^{-12} \div 10^{-14}$ с – период атомных колебаний, U_0 – энергия активации процесса разрушения, γ – структурно-чувствительный параметр, σ – напряжения на структурном элементе, K – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, $\omega = (\gamma\sigma)/(KT)$ – параметр прочностного состояния.

Критическое значение параметра прочностного состояния материала заготовки $\omega_{зкр}$ и границы разброса значений параметра ω состояния функции $\psi(\omega)$ листа позволяет сформулировать знание величины Θ_T времени технологического воздействия на заготовку. Минимальное значение $\omega_{минл}$, соответствующее работоспособному состоянию листа, принимается из экспериментов по нагружению и АЭ-исследованию сварных соединений

листов и равно $2 \div 3$ ($0,01 \cdot 200 \div 300 - \sigma_T$), максимальное $\omega_{\text{макл}} = \omega_{\text{Зкр}}$, после которого распределение обрывается, соответствует значениям параметра прочностного состояния наименее долговечных структурных элементов заготовки, оставшихся не разрушенными после технологического воздействия. В условиях прокатного производства время этого воздействия может колебаться $\Theta_T = 0,1 \div 1$ с. (время воздействия валка на раскатываемую часть листа).

Значение времени технологического воздействия Θ_T берётся из данных по технологии или может быть рассчитано приблизительно по данным схемы (рис. 2)

$$\Theta_T = BC/V \approx 2AC/(D\omega_B)$$

$$AC = \sqrt{BC^2 + AB^2}$$

где $V_{\text{cp}} = \frac{1}{2}(V_1 + V_2)$, $V_2 = \omega_B D/2$, V_1 - скорость движения заготовки до прокатки, V_2 - скорость движения заготовки после прокатки; $2AB = \Delta - \delta$ - величина уменьшения толщины заготовки при первом проходе; ω_B , D - угловая скорость вращения и диаметр валка; Δ , δ - значения толщины заготовки до и после прокатки. Эти данные используются для расчёта времени технологического воздействия (рис. 2). Из условия несжимаемости (постоянства объёма) материала заготовки

$$V_1/V_2 = \delta/(2AB + \delta), V_{\text{cp}} = \omega_B D(\delta + AB)/(2(\delta + 2AB)),$$

Откуда

$$\theta_T = \frac{2AB}{D\omega_B \sqrt{1 - \left(\frac{\delta + AB}{\delta + 2AB}\right)^2}},$$

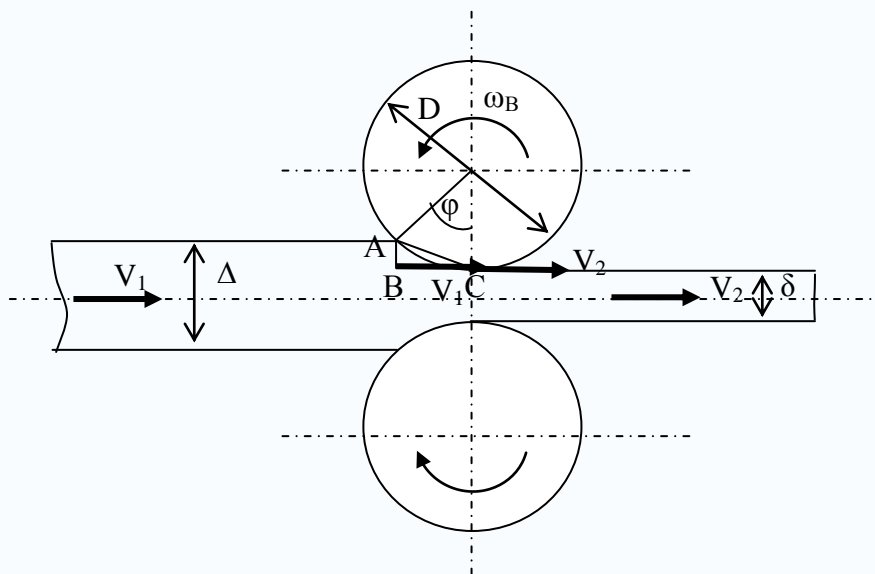


Рис. 2. Схема технологического воздействия на заготовку при изготовлении листа

Знание величины Θ_T позволяет определить критическое значение параметра прочностного состояния заготовки $\omega_{зкр}$. Из формулы Журкова (1) при известных значениях $\tau_0 = 10^{-13} \div 10^{-15}$ с, $U_0/KT = 50 \div 59$ имеем

$$\omega_{зкр} = \ln(\tau_0/\Theta_T) + U_0/KT \approx 20 \div 30$$

Сопоставление этих расчётных значений с результатами оценки параметра $W_{AE} = 11,163$, полученными в ходе промышленных экспериментов по контролю АЭ годной заготовки на Новолипецком металлургическом комбинате, показало приемлемость результатов разработок для практического применения.

Диагностический признак состояния пригодной для дальнейшей обработки заготовки выглядит следующим образом

$$W_{AE} < [W_{AE}]$$

С повышением значения параметра W_{AE} вероятность проявления дефектов в заготовке с перспективой их развития в процессе обработки увеличивается вплоть до необходимости отбраковки заготовки. Снижение значения указывает на меньшую дефектность материала заготовки. Уточнение пороговых значений $[W_{AE}]$ параметра для условий конкретного производства требует проведения установочных экспериментов.

Таким образом, предложены модель протекающих процессов преобразования структуры заготовки в ходе её пластической деформации, диагностические признак и критерий состояния материал заготовки и методика контроля качества заготовок для производства горячекатанной полосы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2010. – 242 с.
2. Носов В.В. Механика композиционных материалов: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2010. – 165 с.
3. Носов В.В., Потапов А.И., Бураков И.Н. Оценка прочности и ресурса технических объектов с помощью метода акустической эмиссии // Дефектоскопия, 2009. № 2. С. 47-57.
4. Лаврин В.Г, Носов В.В. Методика контроля качества сляба для прогнозирования дефектности горячекатаной полосы. // Современное машиностроение. Наука и образование: Материалы Междунар. науч.-практ. конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С. 296-300.