



УДК 669.71

Поступила 12.12.2015

КАК УЛУЧШИТЬ КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

HOW TO IMPROVE THE CORROSION RESISTANCE OF BUILDING BARS

А. Б. СТЕБЛОВ, ООО «Инновационные металлургические технологии», Технопарк Сколково, г. Москва, Россия. E-mail: anver_steblov@mail.ru

Л. И. ЕЛШИНА, ОАО «НИЦ «Строительство» НИИЖБ им. А. А. Гвоздева, г. Москва, Россия. E-mail: l.elchina@mail.ru

A. B. STEBLOV, LLC «Innovative Metallurgical Technology», Technopark Skolkovo, Moscow, Russia. E-mail: Anver_Steblov@mail.ru

L. I. ELSHINA, SIC «Construction» NIIZhB them. A. A. Gvozdev, Moscow, Russia. E-mail: l.elchina@mail.ru

Установлено влияние технологии прокатки непрерывнолитой заготовки слиттингом на поверхностные дефекты и коррозионную стойкость строительной арматуры класса А500С.

It was found the influence of rolling technology of the continuous cast steel billet by slitting on surface defects and corrosion resistance of a building bars grade А500S.

Ключевые слова. *Непрерывнолитая заготовка, слиттинг, строительная арматура, коррозионная стойкость.*

Keywords. *Continuous cast steel billet, slitting, construction armature, corrosion resistance.*

Современные металлургические мини-заводы имеют существенные экономические преимущества перед крупными интегрированными металлургическими комбинатами полного цикла [1, 2]. Однако есть особенности, которые наряду с преимуществами приводят к ухудшению показателей качества строительной арматуры.

Все мини-заводы используют в основном непрерывнолитую заготовку, которая изначально проигрывает в качестве макроструктуры катаной заготовке того же сечения, полученной из слитка. При прокатке слитка удаляется его головная часть, где сосредоточены основные металлургические дефекты. Кроме того, большое количество термовоздействий в виде нагрева слитка, затем заготовки с высокой деформационной проработкой литой структуры в основном ликвидируют дендритную микронеоднородность и обеспечивают гомогенизацию структуры по сечению проката. При разливке рядовой низкоуглеродистой стали на МНЛЗ защита металла от вторичного окисления и магнитное перемешивание жидкой стали в кристаллизаторе обычно не используются, поэтому высока вероятность возникновения дефектов поверхности. Есть и исключения, например, непрерывнолитая заготовка завода BSW (Германия), где при серийной разливке 30–40 плавов за счет технологии разливки достигнуты очень хорошие показатели по однородности распределения химических элементов по сечению и длине заготовки, а также по неметаллическим включениям.

Прокатка заготовок с использованием слиттинга с одновременным получением 2–4 прутков арматуры осуществляется практически на всех заводах. Установлено, что суммарный коэффициент вытяжки соответственно и проработка внутренней структуры металла при прокатке арматуры слиттингом в два прутка из заготовки сечением 125×125 мм в сравнении с арматурой, прокатанной из 8-тонного слитка в один пруток, снижаются в среднем в 50 раз. Исследованиями НИИЖБ им. А. А. Гвоздева, проводимыми в 1990 г. на металле производства различных металлургических заводов, установлено, что арматура, полученная прокаткой в один пруток, имеет показатель «коррозионная стойкость» существенно выше, чем при слиттинге с разделением на два прутка. Выявлено, что по этому показателю арматура производства ЗСМК (прокатка из слитка в один пруток) была лучше в 20–50 раз, чем арматура Белорусского ме-

таллургического завода, полученная двойным слиттингом из непрерывнолитой заготовки сечением 125×125 мм. В таблице приведены результаты испытаний коррозионной стойкости образцов арматурной стали, выпускаемой по различным технологиям на разных заводах.

Результаты испытаний коррозионной стойкости некоторых арматурных сталей диаметром 12 мм

Марка стали	Завод–изготовитель	Способ производства	Коррозионная стойкость, ч	Способ прокатки
АТ-У	Молдавский металлургический завод, 1990 г.	Непрерывнолитая заготовка 125×125 мм	Менее 7	Двойной слиттинг
АТ-У	Белорусский металлургический завод, 1990 г.	Непрерывнолитая заготовка 125×125 мм	Менее 6	То же
20ГС, А-У	Криворожский металлургический завод, 1990 г.	Слиток массой 8,5 т, 820×720–715×620 мм	Более 100	То же
500СП	Сибирский металлургический комбинат, 2005 г.	Слиток массой 11,6 т, 975×855–827×725 мм	Более 200	Один пруток
500С	Белорусский металлургический завод, 2012 г.	Непрерывнолитая заготовка 125×125 мм	46	Двойной слиттинг
500С	Нижне-Сергинский метизно-металлургический завод, 2007 г.	Непрерывнолитая заготовка 125×125 мм	34	То же
500С	Челябинский металлургический комбинат, 2000 г.	Непрерывнолитая заготовка 125×125 мм	Более 78	Один пруток

Из таблицы видно, что коррозионная стойкость на арматуре из непрерывнолитой заготовки, полученной слиттингом, существенно хуже в сравнении с арматурой, прокатанной в один пруток из слитка. Прокатка непрерывнолитой заготовки в один пруток повышает этот показатель почти в 2 раза в сравнении с двойным слиттингом.

На рис. 1–4 показано, как внутренние дефекты металла при продольном разделении заготовки на два прутка, выходят на поверхность¹.

Используя структурно-матричный подход [3] к анализу поведения дефектов в виде трещин и ликваций в сечении заготовки и деформируемой полосы, была получена математическая модель, позволяющая анализировать и количественно оценивать вероятность выхода дефекта в виде трещины на поверхность готовой арматуры в зависимости от процесса формоизменения при продольной прокатке.

В качестве базовых данных для расчета в модели была взята суммарная площадь ликвационных дефектов в исходной заготовке (рис. 1):

$$S_{л} = \sum_{i=2}^n \left(\frac{b_{i-1} + b_i}{2} l_i \right), \quad (1)$$

где n – число узлов ликвации; S_i – площадь элемента ликвации; b_{i-1} – ширина ликвации в узле $i-1$; b_i – ширина в i -м узле; l_i – длина i -го вектора. Общая площадь ликвационных дефектов определена по результатам сканирования фотографии темплета.

Вводится коэффициент ликвации

$$K_{л} = \frac{S_{л}}{S_{р}},$$

где $S_{л}$ – площадь сечения ликвации; $S_{р}$ – площадь сечения раската.

Очевидно, что чем меньше $K_{л}$, тем меньше ликвация, и ее влияние на технологические свойства раската. Для использования этого показателя в матричной модели запишем данную формулу через компоненты матрицы раската. Сама матрица раската состоит из нескольких матриц $[\Phi]$, $[L]$, ..., $[ПИ]$, которые, в свою очередь, также могут состоять из матриц низшего порядка (a_1, a_2, \dots, a_n) .

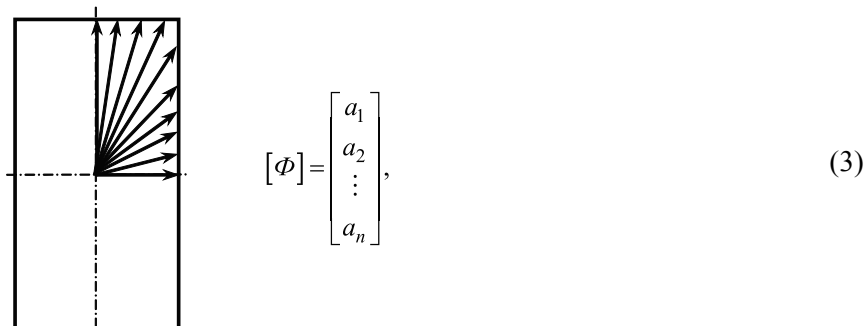
Например,

$$[A] = \begin{bmatrix} [\Phi] \\ [L] \\ [CP] \\ [ПО] \\ [ПИ] \end{bmatrix}, \quad (2)$$

¹ Материалы исследований А. В. Ивченко.

где $[\Phi]$ – матрица формы сечения; $[L]$ – матрица ликвации; $[CP]$ – матрица свойств раската (температура, пластические свойства); $[ПО]$ – матрица параметров оборудования; $[III]$ – матрица износа калибров.

В качестве примера приведена матрица изменения формы сечения заготовки (раската) $[\Phi]$, в которой каждый из компонентов матрицы задается в векторной форме, а площади сечения раската находятся как площади треугольников, образованных двумя соседними векторами:



$$S_i = \frac{1}{2} a_i a_{i+1} \sin \alpha, \tag{4}$$

где a_i, a_{i+1} – компоненты матрицы формы; α – угол между векторами, в матричном подходе угол константа для всего сечения. Просуммировав все площади треугольников, получим площадь сечения:

$$S_p = \frac{360}{\alpha n} \frac{1}{2} \sin \alpha \sum_{i=1}^{n-1} (a_i a_{i+1}), \tag{5}$$

где n – число векторов в матрице формы (от min 8 до max 360).

Аналогично формируются матрица формы ликвации $[L]$ и ее изменения в процессе деформации по проходам. Ликвация в сечении заготовки, слитка может быть задана в виде точечной, шнуровой, в виде окружности, овала или прямоугольника. Форма ликвации в сечении определяет ее поведение при пластической деформации раската и степень опасности выхода ликвации на поверхность раската (вероятность появления дефекта).

Для определения формы ликвации предлагается коэффициент формы ликвации:

$$K_{\text{фл}} = \frac{\sum_{i=2}^n L_i}{n \max_{i=1} b_i}, \tag{6}$$

где L_i – длина элементов ликвации; b_i – ширина ликвации в узле.

Из анализа поведения ликвации на основе проведенных экспериментов и данных литературного обзора $K_{\text{фл}}$ может принимать значения от 0,9 до 10. Осевая ликвация в виде круга имеет коэффициент от 0,9 до 2. При значениях от 2 до 5 ликвацию оцениваем как осевую вытянутой, эллипсоидной формы по сечению раската. При значениях свыше 5 – сечение ликвации принимает вид осевой размытой ликвации, включая близкую по форме к прямоугольнику.

Коэффициенты формы, ликвации и другие на первом этапе рассчитываются по сканированному изображению, затем корректируются с учетом сопоставления расчетных и фактических экспериментальных значений. После настройки модели ее используют для аналогичных расчетов при деформации заготовки слитка на заданные сечения по различным калибровкам, в том числе калибры при прокатке слитингом в 2–4 прутка. При настройке модели за базовую точку отсчета взяты и условно приняты за 1 данные по сканированию темплетов по рис. 1–4.

Программа RollingMill разработана и используется на кафедре «ОМД» МГТУ [4].

Расчетные значения вероятности возникновения дефектов по модели подтверждают данные НИИЖБ. Так, при разделении раската на четыре продольные полосы качество поверхности может ухудшиться в среднем на 30% по сравнению с прокаткой заготовки в одну «нитку», при разделении раската на три полосы – до 75%, а при делении раската с помощью делительной кассеты или валками на две полосы расчетный показатель «коррозионная стойкость» может ухудшиться в 8–15 раз в зависимости от начального распределения дефектов по сечению заготовки.



Рис. 1. Поперечное сечение заготовки клетей 125×125 мм

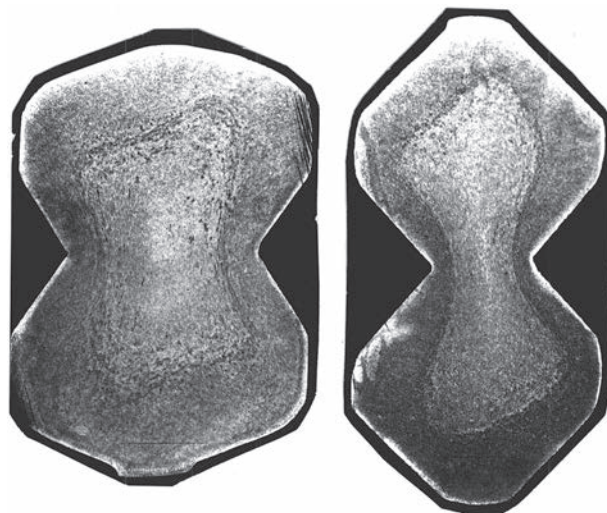


Рис. 2. Формирование сечения перед разделением в промежуточной группе

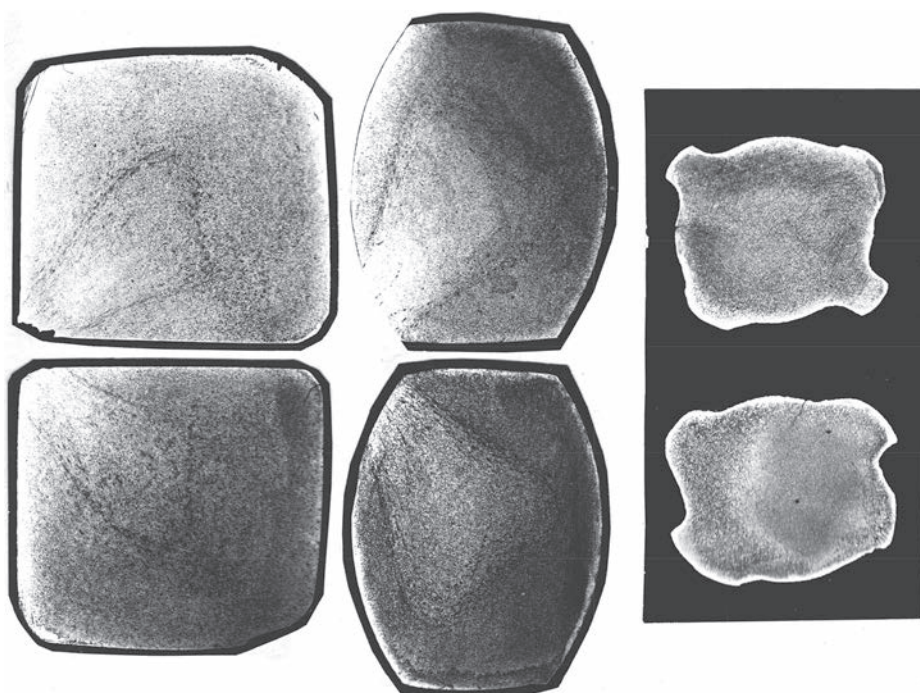


Рис. 3. Поперечное сечение раската после слиттинг-разделения на два прутка



Рис. 4. Поперечное сечение готовой арматуры класса А500С после прокатки непрерывнолитой заготовки слиттинг-процессом с разделением на два прутка диаметром 12 мм

Результаты исследований и выводы по влиянию прокатки разделением на дефекты поверхности арматуры не ставят цель запретить технологию слиттинга. Нормативная документация по использованию арматуры в строительстве МГС ГОСТ 31384-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические условия» регламентирует показатель, условно называемый «коррозионная стойкость» стальной арматуры. Вводятся понятия «коррозионное повреждение» и «коррозионное растрескивание». Причем если раньше «коррозионная стойкость» регламентировалась для различных видов арматуры в зависимости от ответственности железобетонных конструкций и условий их эксплуатации в слабо, средне- и сильноагрессивных средах, то сейчас установлен единый показатель – стойкость стали против коррозионного растрескивания в кипящих солях не менее 40 ч. Любая арматура должна обладать свойством: выстоять в принятой к испытаниям агрессивной среде под нагрузкой не менее 40 ч. Этот показатель войдет и в новый межгосударственный стандарт по арматурной стали, который в настоящее время находится в стадии согласования, терминология уточняется. Металлурги же должны обратить внимание на совершенствование технологии получения термически упрочненной арматуры.

Во-первых, на качестве арматуры положительно скажется увеличение поперечного сечения непрерывнолитой заготовки, защита металла от окисления при разливке, совершенствование скоростного режима охлаждения заготовки при разливке, включая электромагнитное перемешивание в кристаллизаторе. Во-вторых, в прокатном производстве по возможности нужно заменять двойное разделение на тройное или катать в одну нитку. В-третьих, схема прокатки и калибровка при двойном слиттинге должна иметь максимальное количество проходов (не менее 4) от момента разделения раската до выхода арматуры из чистового калибра. Существенного улучшения качества поверхности можно также достичь за счет изменения режима охлаждения арматуры после прокатки – технология термоциклирования [5]. Кроме того, известен опыт введения ингибиторов коррозии в систему агрегата водяного охлаждения и термического упрочнения арматуры перед холодильником. В некоторых случаях вводится дополнительная операция по алюминированию, оцинкованию готовой арматуры, известна технология нанесения эпоксидного покрытия на поверхность арматуры. Для наиболее ответственных конструкций строители заказывают производство партии арматуры из нержавеющей стали. Это, конечно, сопряжено с дополнительными затратами, но они многократно окупаются из-за увеличения сроков межремонтной эксплуатации, что позволяет полагать увеличение спроса у строителей на эту арматуру в будущем.

Необходимо также иметь в виду, что сортировка арматурных стержней по наличию дефектов перед пакетированием производителями арматуры не производится и процент содержания некачественной стали в пачке остается неопределенным. В результате дефектная арматура может оказаться в ответственных конструкциях, работающих в агрессивных средах и особо опасных условиях. Примером таких сооружений являются мостовые конструкции, тоннели, подземные гаражи и паркинги, бассейны и другие спортивные сооружения. Подземные паркинги, располагаемые под высотными жилыми зданиями, торговыми центрами, многоэтажными офисами, могут стать причиной серьезных разрушений с многочисленными жертвами. Обязательные к исполнению (в части безопасности) строительные правила СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» четко регламентируют применение в конструкциях без предварительного напряжения, эксплуатируемых в агрессивных средах, арматуры со стойкостью против коррозионного растрескивания не менее 40 ч, а в конструкциях с предварительным напряжением – не менее 100 ч.

НИИЖБ им. А. А. Гвоздева выступает с предложением разработать рекомендации по приемке арматуры на строительной площадке и с целью исключения нештатных ситуаций в течение всего жизненного цикла строительного объекта активно работает со всеми заинтересованными сторонами, включая Министерство регионального развития, Минстрой России, Государственную экспертизу, Правительство Москвы. Это обстоятельство необходимо учитывать производителям арматуры, чтобы обеспечить своевременные меры по гарантии высокого качества арматурной стали, поступающей на строительную площадку и оставаться на рынке строительных профилей ответственными поставщиками материалов для современного строительства.

Из таблицы можно сделать вывод, что работа по улучшению качества арматуры на заводах проводится, о чем свидетельствует улучшение показателя по коррозионной стойкости на некоторых заводах в сравнении с данными 1990 г. Сегодня лучший показатель по коррозионной стойкости при производстве строительной арматуры методом непрерывного литья и двойного слиттинга у Белорусского металлургического завода, но резерв для дальнейшего улучшения этого показателя, несомненно, есть

и НИИЖБ им. А. А. Гвоздева готов сотрудничать в этом направлении со всеми заинтересованными организациями.

Литература

1. Смирнов А. Н., Сафонов В. М., Дорохова Л. В., Цупрун А. Ю. *Металлургические мини-заводы*. Донецк: Норд-Пресс, 2005. 469 с.
2. Стеблов А. Б., Матейко А. В. Эффективность и риски мини-заводов // *Электromеталлургия*. 2008. № 7. С. 2–8.
3. Тулупов О. Н. Структурно-матричные модели для повышения эффективности процессов сортовой прокатки. Магнитогорск, МГТУ, 2002. 224 с.
4. Завьялов А. А. Совершенствование технологии сортовой прокатки на основе исследований поведения осевой ликвации непрерывнолитой заготовки для улучшения качества проката: Дис. ... канд. техн. наук. М., 2001. 138 с.
5. Кугушин А. А., Узлов И. Г., Калмыков В. В., Мадатян С. А., А. В. Ивченко А. В. *Высокопрочная арматурная сталь*. М.: Metallurgia, 1986. 272 с.

References

1. Smirnov A., Safonov V., Dorohova L., Tsuprun A. *Metallurgicheskie mini-zavody* [Mini steel plants]. Donetsk, Nord-Press Publ., 2005. 469 p.
2. Steblov A., Matejko A. Effektivnost i riski mini-zavodov [Effectiveness and risks of mini-mills]. *Electrometallurgiya = Electrometallurgy*, 2008, no. 7, pp. 2–8.
3. Tulupov O. *Strukturno-matrichnye modeli dlya povysheniya effektivnosti prozessa sortovoy prokatki* [Structural-matrix models to improve efficiency bar rolling processes]. Moscow State Technical University, Magnitogorsk, 2002, 224 p.
4. Zavyalov A. *Sovershenstvovanie tehnologii sortovoy prokatki na osnove issledovaniya povedeniya osevoy likvazii nepreryvno litoy zagotovki dlya ulucheniya kachestva prokata* [Improving bar rolling technology-based research center segregation behavior of continuous casting to improve the quality of hire]. Thesis for the degree of PhD, Bauman im. N. G. Nosova, 2001. 138 p.
5. Kugushin A., Uzlov I., Kalmykov V. et al. *Vysokoprochnaya armaturnaya stal'* [High-strength reinforcing steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1986, 272 p.