

О. С. Лехов, И. В. Киршин,  
М. Ю. Туев

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АГРЕГАТОВ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ЛИНИЯХ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ – БУДУЩАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

Непрерывная отливка полосы и фасонных профилей, близких по форме к готовому профилю, находит широкое распространение в современном производстве на металлургических заводах. В последующем процессе прокатки необходима высокая степень обжатия для проработки литой структуры металла, связанная с большой затратой энергии и значительными расходами [1]. Подвижные кристаллизаторы, в течение многих лет успешно используемые в металлургии цветных металлов, для разливки стали разработаны еще недостаточно. Наиболее продвинутыми в этой области являются фирмы «СМС Шлеман-Зимаг», «Маннесман Демаг», «Фест-Альпина» и ряд других.

Последнее десятилетие на кафедре механики Российского государственного профессионально-педагогического университета ведутся работы по созданию нового процесса циклической деформации, включающего агрегаты на основе кривошипно-шатунного механизма и технологии, позволяющие использовать их в составе литейно-прокатных модулей. Непрерывно-литые заготовки имеют наружные и внутренние трещины, в осевой зоне заготовок образуются ликвации, пористость, раковины. С другой стороны, современные прокатные станы не позволяют совместить процессы разливки и прокатки по скоростным характеристикам. Повышение качества непрерывно-литого металла и создание совмещенных процессов непрерывного литья и прокатки, позволяющих значительно снизить себестоимость получаемых изделий, является важнейшей задачей металлургических процессов.

Способы деформации полосы [А. с. № 926836 (СССР), А. с. № 1115295 (СССР)] легли в основу создания первого полупромышленного участка в цехе стальных фасонных профилей Омутнинского металлургического за-

вода. В процессе опытно-промышленного освоения агрегата циклической деформации силой 3500 кН, изготовленного ПО «Уралмашзавод», и технологии производства подката простых и сложных профилей была проверена работоспособность конструкции, определены основные кинематические и силовые характеристики процесса циклической деформации. Проведено экспериментальное исследование формоизменения металла, разработаны элементы технологии прокатки и принципы калибровки бойков, проведено исследование влияния циклической деформации на механические свойства и структуру металла из различных марок стали. Эксперименты, проведенные на участке, позволили оценить качество получаемых изделий и показали возможность использования созданного оборудования и технологии в совмещенных процессах литья и деформации [2]. Обжатие заготовки осуществлялось одновременно или поочередно парами противоположных бойков с приводами от четырех эксцентриковых валов. Все бойки совершали поступательное движение по круговой или эллиптической траектории. Основными недостатками являлись громоздкость конструкции и уникальная шестеренная клеть на подшипниках скольжения с одновременным синхронным приводом всех эксцентриковых валов.

Этот же способ деформации полосы, но без выявленных недостатков, был реализован на опытном участке Опытного завода УралНИИчермет в конструкции ковочного двухбойкового блока с возможностью установки его в рабочую клеть стана 300.

Блочное исполнение различных конструкций [3– 5] агрегатов циклической деформации с возможностью установки их в существующие прокатные клетки позволяет сохранить главную линию стана, рольганги, фундаменты и вспомогательное оборудование. Такое решение дает значительную экономию времени и средств на этапах проектирования, изготовления и ввода в эксплуатацию. Созданы как конструкции ковочных блоков, в которых реализован мгновенный очаг деформации (типа машины фирмы «Фридрих Коккс»), так и конструкции ковочных блоков, обеспечивающие деформацию заготовки в условиях, близких к всестороннему сжатию. Заводские испытания показали работоспособность конструкций, а металлографические исследования – улучшение качества получаемых заготовок. Исследование формоизменения заготовки и технологические параметры процессов позволяют говорить о том, что созданные ковочные блоки отно-

сятся к установкам с высокими обжатиями. За один проход через ковочный блок степень деформации может превышать 90%, а вытяжка достигает более 3. При частоте вращения эксцентриковых валов  $n=300$  об/мин, величине эксцентриситета вала  $e = 5$  мм и угле наклона рабочей поверхности бойка  $\alpha = 15^\circ$ , средняя скорость заготовки на входе составляет в режиме самозадачи 1,6 м/мин, а при принудительной – 5,6 м/мин.

Такие характеристики позволяют устанавливать клетки с ковочными блоками вместо черновых групп сортовых станов или черновых клетей непосредственно после машины непрерывного литья заготовок, а также выпускать простые сортовые профили или просто уплотнять структуру при переработке непрерывнолитых заготовок в потоке, улучшая качество металла и увеличивая выход годного. Наиболее эффективное использование данных ковочных блоков ожидается в составе литейно-прокатных комплексов, а также совмещенных процессов литья и деформации металла.

За последние десятилетия появилось много описаний способов скоростного литья тонких заготовок. Подвижные кристаллизаторы успешно используются в металлургии цветных металлов. Основной проблемой при отливке стальной полосы является контролирование подачи жидкой стали в зазор между стенками кристаллизатора и контроль боковых кромок сляба. После предварительных испытаний и экспериментов в лаборатории кафедр механики опробован ковочный блок с бойками-кристаллизаторами и плотно прижатыми подвижными, исключающими заклинивание полосы щеками, образующими замкнутый калибр. Эксперименты показали возможность высокоскоростной разливки стали и получения полосы с почти идеальной бездефектной поверхностью.

Проведено теоретическое исследование процесса деформации наклонными бойками непрерывно-литого сляба с поверхностными и приконтактными дефектами. Дана оценка напряженно-деформированного состояния металла в области и за пределами очага деформации, а также произведена разработка рациональных режимов деформации.

На базе численного метода решения системы дифференциальных уравнений пластического течения разработан алгоритм и составлена программа на языке Фортран, позволяющая анализировать процессы деформации заготовок. По алгоритму область деформирования разбивается на

ортогональные элементы. Для каждого элемента записывается полная система дифференциальных уравнений пластического течения в конечно-разностной форме через значения напряжений и скоростей перемещений на гранях элемента. Полученная нелинейная система алгебраических уравнений решается итерационным методом. Результатом решения являются значения нормальных и касательных напряжений, скоростей перемещений на гранях каждого элемента. Алгоритм дает возможность учитывать физическую и геометрическую нелинейность. Построенные рекуррентные соотношения уменьшают порядок первоначальной системы уравнений примерно в 6–7 раз. Из достаточно большого многообразия моделей физического состояния среды выбрана модель нелинейно-вязкой среды с ограниченным упрочнением [6], дающая удовлетворительное соответствие:

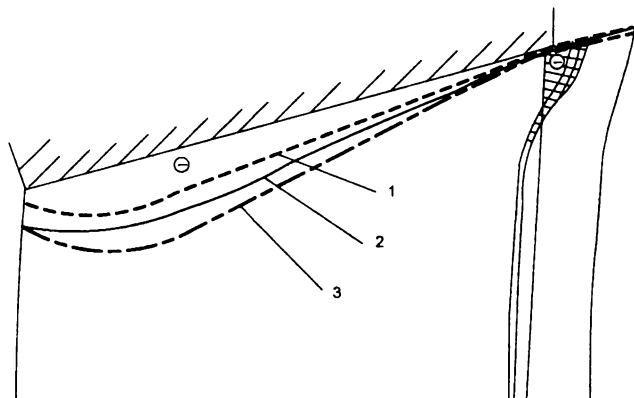
$$T = \left[ t_0 \left( \frac{\Theta_0}{\Theta} \right)^2 - t_1 \right] \sqrt{e} (e_0 - e)^2 \frac{H^a}{H_0^a + H^a},$$

$$\alpha = b_0 - \frac{\Theta}{\Theta_0} - b_1.$$

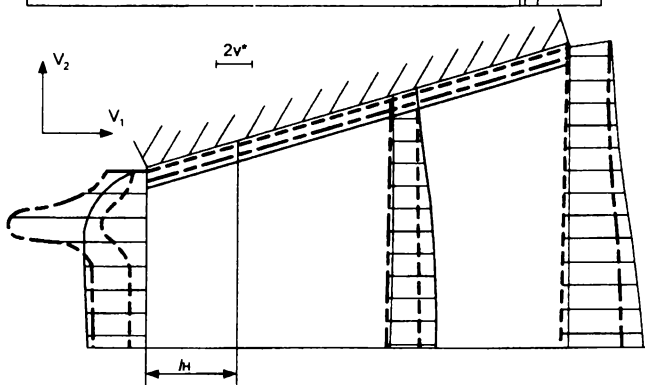
Отметим, что среда с выбранным уравнением состояния является нелинейно-вязкой жидкостью, обладающей упрочнением. Применим численный метод решения дифференциальных уравнений пластического течения, разработанный В. И. Одиноким [7].

По характеру напряженного состояния наибольшие изменения проявляются в эпюре  $\sigma_1$ . На входе в очаг деформации растягивающие напряжения  $\sigma_1$  локализуются в слоях, контактирующих с дефектным слоем, т. е. выше или ниже его (рисунок). Наибольшее значение (до 290 МПа) растягивающие напряжения имеют на поверхности сляба при повороте эксцентрика на угол  $\varphi$  от 40 до 80°. Под дефектным слоем растягивающее напряжение на входе значительно меньше (до 100 МПа). Наличие дефектных образований препятствует течению металла в направлении выхода из очага деформации, образуя значительные всплески скорости  $V_1$  под дефектным слоем, достигающей наибольшей величины при угле поворота эксцентрикового вала  $40^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$ .

а



б



Эпюры  $\sigma_{ii}$  (а) и  $V_j$  (б) при деформации полосы, имеющей дефектные образования в поверхностном слое:  
1 –  $\beta=0\div 20^\circ$ ; 2 –  $\beta=40\div 60^\circ$ ; 3 –  $\beta=80\div 90^\circ$

Анализ траекторий движения дефектов вдоль очага деформации показал, что при наличии сжимающих напряжений на контактной поверхности дефекты не выходят на поверхность сляба и не могут быть причиной образования поверхностных трещин и рванин.

### Библиографический список

1. Лехов О. С. Оптимизация машин для деформации непрерывно-литых заготовок. Екатеринбург, 1995.
2. Экспериментальное исследование формоизменения и энергосиловых параметров при циклической деформации полосы прямоугольного се-

чения / *О. С. Лехов, Б. П. Гуселетов, М. Ю. Туев и др.* // Теория машин металлургического и горного оборудования: Межвуз. сб. науч. тр. Свердловск, 1989.

3. *Лехов О. С., Туев М. Ю., Киришин И. В.* Новые возможности и новые подходы к проблеме реконструкции металлургических заводов // Сб. тр. Урало-сиб. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2003.

4. Расчет основных параметров установки непрерывного литья и деформации для производства листа / *О. С. Лехов, М. В. Баранов, И. В. Киришин и др.* // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Мсжрегион. сб. науч. трудов. Магнитогорск, 2002.

5. Пат. 206275 RU. Прокатно-ковочный стан / *Туев М. Ю., Лехов О. С., Малахов А. В.* // Опубл. 10.07.96, Бюл. № 19.

6. *Одинокоев В. И., Макежанец Е. И.* Теоретическое исследование процесса деформации непрерывно-литого сляба непосредственно за кристаллизатором // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1977. № 5, 7. Сообщ. 1, 2.

7. *Одинокоев В. И.* Численный метод решения дифференциальных уравнений пластического течения // Прикл. механика. 1973. Т. IX, вып. 12.

**О. С. Лехов, В. С. Минаков**

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛИСТА ИЗ АЛЮМИНИЯ НА УСТАНОВКЕ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ДЕФОРМАЦИИ**

Мировой рынок цветных металлов в период до 2008 г. имеет благоприятную перспективу в плане увеличения спроса. Однако вызывает озабоченность экспортная политика России, поскольку экспортируется 84% первичного алюминия, 75% рафинированной меди, причем экспорт готовых изделий из цветных металлов составляет 8% от общего объема экспорта.

Развитие внутреннего рынка России связывается с увеличением спроса на цветные металлы. Намечается существенное увеличение выпуска конкурентоспособной продукции: тонкой алюминиевой ленты для упаковочной тары, алюминиевых строительных профилей, алюминиевого листа и латунной ленты для автомобилестроения. Таким образом, создание и внедрение ресурсосберегающих технологических процессов и оборудования на заводах цветной металлургии, коренное улучшение качества ме-