

С.В.Ершов, Г.В.Левченко, Е.Е.Мостипан

АНАЛИЗ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В СПЕЦИАЛЬНОМ ЯЩИЧНОМ КАЛИБРЕ ПРИ ПРОКАТКЕ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ

В статье рассмотрен процесс прокатки заготовки в ящичном калибре специальной формы при получении трубной заготовки. Исследование выполнено с использованием метода конечных элементов. Показаны особенности течения металла во внешней зоне перед входом полосы в валки, в контактном очаге деформации и в зоне, расположенной за плоскостью выхода из валков

Современное состояние вопроса. При разработке любой калибровки валков инженеры всегда сталкиваются с вопросом оценки правильности принятых решений. Это связано с тем, что на течение металла в калибрах оказывает влияние значительное количество факторов. В первую очередь, на течение влияет форма калибра. Однако при кажущейся простоте вопроса возникает проблема оценки влияния того или иного элемента калибра на течение металла и напряженное состояние полосы в геометрическом очаге деформации и за его пределами. Проблема обусловлена недостатком информации о процессах, происходящих внутри полосы при прокатке крупных профилей в реальных условиях, т. е. без упрощения схемы деформации.

Наиболее обстоятельный обзор производства трубной заготовки дан в работах [1–2]. Каждое исследование расширяло понимание происходящих в калибрах процессов, но практически все эти работы выполнены с использованием чисто экспериментального подхода. Преимущество такого подхода – высокая достоверность полученных данных. Недостаток – трудность оценки с использованием этих данных схем деформирования, отличающихся от тех, которые были при проведении эксперимента, а также отсутствие возможности анализа течения металла и напряженного состояния в любой точке реального очага деформации.

Другим примером исследований течения металла в фасонных калибрах, и в частности в ящичных, выполненных с использованием экспериментальной техники проведения эксперимента в лабораторных условиях, является работа [3]. Результаты исследований, приведенные здесь, позволили оценить напряженно–деформированное состояние в реальном очаге деформации и показали значительную сложность процессов, происходящих в нем. Однако прямой перенос результатов этих исследований на прокатку в ящичных калибрах, используемых для прокатки трубных заготовок на Днепровском металлургическом комбинате, затруднен. Причина в том, что форма этих калибров отличается от формы стандартных ящичных калибров, исследовавшихся в работе [3].

Постановка задачи. Ставилась задача последовательного анализа течения металла на всем протяжении фактического очага деформации при получении трубной заготовки диаметром 150мм с тем, чтобы четко определить течение металла при переходе от одной зоны реального очага деформации к другой.

Методика исследования. Для проведения исследования напряженно-деформированного состояния металла при производстве трубной заготовки во всех калибрах, предусмотренных технологией, и в частности, в ящичных калибрах специальной формы, использовались теоретические методы механики сплошных сред, так как стоимость натуральных экспериментов несоизмерима со стоимостью теоретического моделирования. В качестве математического аппарата был использован метод конечных элементов для аппроксимации полей скоростей течения металла и вариационный принцип механики сплошных сред.

При моделировании была использована реально действующая на металлургическом комбинате калибровка трубной заготовки диаметром 150мм. Моделирование велось для валков с диаметром по буртам 700мм, количество оборотов валков было принято равным 80об/мин. Материал заготовки – сталь 20. Зазор по буртам был равен 7мм. Чертеж калибра представлен на рис.1. Исходная заготовка имеет следующие размеры: $h \times b = 205 \times 165 \text{ мм}$.

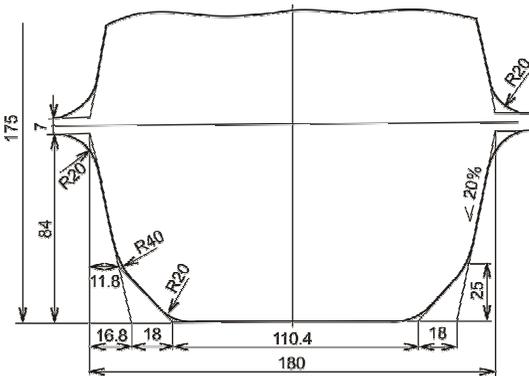


Рис.1. Ящичный калибр

Заготовка была разбита на 4673 призматических элемента с четырехугольным основанием. Температура полосы была принятой 1050°C . В результате выполнения расчета было получено трехмерное поле скоростей.

Изложение основных материалов исследования. После предварительного анализа течения металла в очаге деформации было выделено 6 наиболее характерных сечений, в которых происходит более или менее значительное изменение поля скоростей. Изображение сечений с векторами скорости течения металла в каждом узле представлено на рис.2. На рисунке координаты сечений имеют следующие величины: 1) 187мм; 2) 158мм; 3) 99мм; 4) 67мм; 5) 0.0мм (ось валков); 6) –14мм.

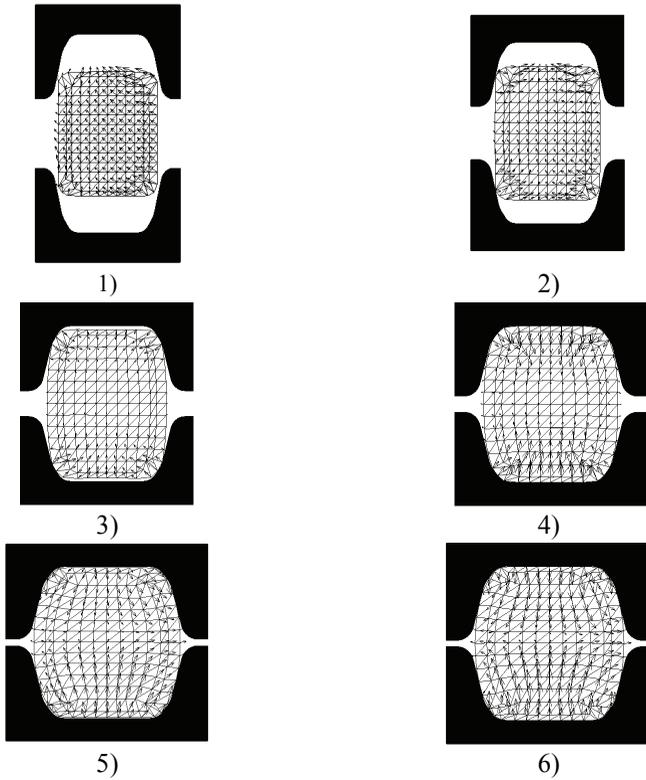


Рис.2. Поперечные сечения очага деформации.

Анализируя изображения, приходим к следующему. Сечение 1 находится на расстоянии 187мм от плоскости выхода полосы из валков (вертикальное сечение, проходящее через ось валков) и на расстоянии 29мм от плоскости, где происходит первый контакт полосы с валками. В этом сечении деформации уже достаточно сильно развиты, так как степень деформации угловых участков составляет 7,4%. Это подтверждается и векторным видом поля скоростей в поперечном сечении. Особенностью течения металла в этом сечении является неравномерность распределения скоростей и значительная несимметричность течения металла относительно вертикальной и горизонтальной осей симметрии.

Так как в схеме деформации и схеме распределения температуры по полосе отсутствуют условия, которые могли бы вызвать такое поведение металла в предочаговой внешней зоне, то такое поведение объясняется неустойчивостью полосы при входе в валки. По мере входа полосы в валки и увеличении обжатия угловых участков боковыми стенками

калибра происходит защемление полосы и устойчивость ее в калибре значительно увеличивается.

Процесс защемления ярко виден в сечении 2, где металл касается боковых стенок калибра. При этом средняя по ширине часть заготовки не вступает в контакт с валком. Здесь мы видим, что векторы скоростей направлены к средней части полосы по ширине. В этой ситуации мы имеем схему, при которой происходит утяжка профиля по ширине и прирост его высоты. Т.е., в этом сечении полоса получает отрицательное уширение в средней части боковой поверхности и отрицательное обжатие в средней части будущей контактной поверхности.

В сечении 3 деформация становится несколько иной, хотя средняя часть полосы все еще не вступила в контакт с дном калибра. Причиной этого является особенность формы калибра. Нужно заметить, что в нашем случае ящичный калибр выполнен с двойным уклоном. Ближе к дну калибра он имеет больший уклон (выпуск), чем в области, расположенной возле крайнего бурта валка.

В области с большим уклоном стенок, металл угловых участков смещается под другим углом, что и приводит к изменению схемы деформации. В этом сечении мы видим схему, которая сопровождается уменьшением высоты средней части профиля (положительное обжатие) и увеличением его ширины (положительное уширение). Из рисунков мы видим, что основная деформация, все еще, идет в области углов заготовки. Из этой области металл растекается в двух направлениях. С одной стороны, потоки металла направлены в сторону разъема калибра, а с другой стороны – в направлении средней части будущей контактной поверхности.

При этом нужно обратить внимание на величины векторов в средней части будущей контактной поверхности. Мы замечаем, что в этой точке и соседних участках заготовки поверхностные векторы имеют большую величину, чем векторы, которые расположены в приповерхностных слоях. Это происходит из-за того что, с одной стороны, поверхность металла на этом участке осаживается в результате взаимодействия контактной поверхности с калибром после начала на этом участке контактной деформации. С другой стороны, боковые части полосы обжимаются в углах заготовки, что приводит к возникновению боковых потоков металла, направленных к вертикальной оси симметрии заготовки. В результате, происходит притормаживание вертикального течения металла в приповерхностных участках рассматриваемой области.

В сечении 4 начинается деформация в средней по ширине части полосы. Следует отметить, что сечение 4 расположено на расстоянии 67 мм от плоскости выхода полосы из валков и на расстоянии 91 мм от плоскости, где металл впервые коснулся валков. В этом сечении мы видим, что теперь основная деформация происходит в средней части полосы, а угловые участки деформируются гораздо слабее. При этом в

данном сечении начинается активная проработка внутренних частей полосы. Здесь же начинается активное формирование уширения профиля. Поперечное сечение по характеру распределения потоков металла четко разделяется на несколько областей. Первая область соответствует контактным частям, где происходит основное обжатие полосы. Вторая область соответствует центральной осевой части. Третья область – это область в районе боковых стенок калибра. В каждой области течение металла своеобразно, но самое главное, что мы видим четкие границы этих областей при рассмотрении векторного вида поля скоростей. Участки, где происходит резкое изменение течения металла, обычно охвачены самими большими напряжениями. Эти напряжения могут быть как растягивающие, так и сжимающие.

Рассмотрение векторного вида поля скоростей в сечении 5 (плоскость выхода полосы из валков) показывает, что здесь течение металла сильно отличается от течения во всех предыдущих сечений. Мы видим, что векторы скорости, сохраняют некоторые особенности течения металла на участке 4. Вместе с тем, мы можем заметить, что к этим особенностям добавился разворот векторов скоростей в сторону периферийных участков полосы. Причина этого явления заключается в начале процесса выравнивания скоростей продольного движения полосы.

Заключение. Анализ течения металла во всех зонах очага деформации показал, что для прогнозирования возможности образования дефектов недостаточно рассмотрение течения металла и связанного с ним напряженного состояния в упрощенной постановке, без учета всех особенностей формы калибра и заготовки. Кроме этого, при анализе дефектообразования недостаточно рассмотрения только схемы деформации, свойственной плоскости выхода полосы из валков, так как в очаге деформации присутствуют несколько принципиально различных схем течения металла, для каждой из которых анализ дефектообразования должен быть выполнен отдельно.

1. *Беда Н.И., Канцельсон Г.М., Коновалов В.С.* Производство и качество трубной заготовки. К.: Техника.– 1966.– 244с.
2. *Производство трубной заготовки / А.П. Чекмарев, Р.А. Машковцев, О.П. Носенко и др. // М.: Металлургия.– 1970.– 304с.*
3. *Экспериментальные методы механики деформируемых твердых тел. / В.К.Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин и др. // М.: Металлургия.– 1990*

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, проф. С.М.Жучковым*