

УДК 621.771.01

С. В. Ершов д. т. н., проф., В. В. Степчук аспірант, В. С. Шкура студент
Днепродзержинский государственный технический университет

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ДЕФОРМАЦИИ НА ТРЕХМЕРНОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПОЛОСЫ С РАВНОМЕРНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ ПОЛЕМ

Розглянуто вплив режиму деформування на розподіл напружень в реальному осередку деформування з врахуванням тривимірної течії металу та показані причини виникнення небезпечних для якості металу напружень при великих обтисненнях

Influence of the mode of deformation is considered on distributing of tensions in the real center of deformation taking into account the three-dimensional flow of metal and showed reasons of appearance of dangerous for quality of metal tensions at large deformations

Введение.

При проектировании режимов обжатий для прокатки крупносортовой продукции необходимо научно-обоснованно выбирать обжатия с учетом реального состояния металла и условий прокатки. Игнорирование этих параметров зачастую приводит к нестабильности процесса прокатки в смысле обеспечения качества поверхностных и внутренних слоев проката. Под качеством в первую очередь понимается отсутствие разрушения металла. Не менее важными являются и структурные показатели, но это отдельный и достаточно сложный вопрос теории ОМД.

Состояние вопроса.

Теория прокатки на гладкой бочке давно привлекает внимание исследователей и многие вопросы этой области рассмотрены достаточно подробно предыдущими поколениями прокатчиков. Все эти исследования имеют громадное методическое значение, которое позволило связать воедино знания о причинах формирования определенных видов напряженно-деформированного состояния.

Наиболее подробный анализ процесса прокатки на гладкой бочке выполнен для условий низких очагов деформации. Гораздо меньший объем исследований выполнен для условий высоких очагов деформаций. Это связано с тем, что для анализа прокатки тонких полос вполне обоснованно возможно использование плоской модели очага деформации. Для анализа прокатки высоких полос использование плоской модели неприемлемо, так как не позволяет оценить в полном объеме всю сложность взаимодействия отдельных зон реального очага деформации друг с другом. Следовательно, отсутствует возможность анализа производственного процесса с достаточной степенью точности, которая как раз и обеспечивается учетом максимального количества факторов, оказывающих заметное влияние на течение металла и его напряженное состояние.

Неизвестность распределения напряжений и деформаций в сложных условиях создает чисто производственные трудности при проектировании режимов обжатий, решают которые обычно методом опытных прокаток. Стоимость таких прокаток высока и далеко не всегда гарантирует получение ответа на поставленные вопросы. Источником информации в таких случаях могут служить исследования, проведенные, как правило, в лабораторных условиях с привлечением теории подобия [1, 2]. Данные исследования очень трудоемки.

Постановка задачи и цель работы.

В связи с этим представляет интерес использование теоретических методов механики сплошных сред и метода конечных элементов для расчета напряженно-деформированного состояния в калибре и за его пределами. При использовании теоретического подхода основным условием является проведение исследования с минимальным количеством различных упрощений.

Разработанное авторами данной работы программное обеспечение, отвечающее описанным требованиям, позволило выполнить комплекс исследований напряженно-деформированного состояния металла при производстве трубной заготовки на трубозаготовочном стане 750 Днепровского металлургического комбината (ДМК) во всех калибрах, предусмотренных технологией, и в частности, на гладкой бочке.

Задача заключалась в последовательном анализе течения металла на всем протяжении реального очага деформации (с учетом внеконтактной деформации) при получении трубной заготовки диаметром 150 мм с тем, чтобы установить видоизменение напряженного состояния металла при переходе от одной зоны очага деформации к другой. Кроме этого оценивалась существующая схема деформации на гладкой бочке для анализа причин образования внутренних и поверхностных трещин при изменении обжатий. На первом этапе исследования проведены для схемы с равномерным распределением температуры по поперечному сечению полосы.

Методика исследований.

В качестве математического аппарата был использован метод конечных элементов для аппроксимации полей скоростей течения металла и вариационный принцип механики сплошных сред. Общая методика моделирования изложена в работе [3].

При моделировании была использована реально действующая на металлургическом комбинате калибровка трубной заготовки диаметром 150 мм. Моделирование велось для валков с диаметром 700 мм, количество оборотов валков было принято равным 80 об/мин. Материал заготовки - сталь 20. Обжатие составляло 55 и 90 мм. Исходная заготовка имеет следующие размеры: $h \times b = 335 \times 400$ мм.

Заготовка была разбита на 4500 призматических элемента с четырехугольным основанием. Температура полосы была принята 1100 °С.

В результате выполнения расчета было получено трехмерное поле скоростей, которое было использовано для расчета напряженного состояния в соответствии с методикой, изложенной в работах [1 и 2].

Анализ полученных результатов.

При увеличенном обжатии все процессы протекают более активно, а вид напряженного состояния четче отображает эти процессы. Видно (рис. 1), что при увеличении обжатия деформации проникли глубже к осевой зоне.



Рис. 1. Поперечные напряжения в сечении 1

Обращает на себя внимание резкий рост поперечных растягивающих напряжений на поверхности полосы в сечении 1 (сечение располагается во внеконтактной зоне перед условной плоскостью входа), по сравнению с прокаткой при малом обжатии (рис. 1). Это говорит о том, что уже здесь сказывается влияние процесса двойного бочкообразования, суть которого в том, что при деформации угловых участков интенсифицируются потоки металла, идущие на формирование местного уширения приповерхностного участка.

Это приводит к тому, что на контактной поверхности развиваются поперечные растягивающие напряжения. По мере отдаления от контактной поверхности в осевом направлении, а значит и от зоны формирования местного уширения, растягивающие напряжения ослабевают. Осевая часть раската в этом сечении наименее деформирована.

В сечении 2 (начало контакта полосы с валком) происходит локальная деформация угловых участков и здесь напряженное состояние не отличается от такового при прокатке с малым обжатием. Большие величины поперечных напряжений свидетельствуют об активном процессе формирования двойной бочки, когда крайние участки вытягивают средние в ширину.

При прокатке с большим обжатием вся контактная поверхность сечения 3 (область между условной плоскостью входа и серединой геометрического очага деформации) охвачена поперечными растягивающими напряжениями (рис. 2). Значит, здесь также идет процесс двойного бочкообразования. Следует отметить, что при малом обжатии здесь были сжимающие напряжения.

Причина появления растягивающих напряжений заключается в том, что при большом обжатии достаточно активно текут приповерхностные слои металла в сторону боковой поверхности. Это и вызывает тянущее действие приповерхностных слоев на поверхностный слой.



Рис. 2. Поперечные напряжения в сечении 3

При прокатке с малым обжатием течение приповерхностных слоев было не так развито, как, собственно, и формирование двойной бочки.

Значительное изменение претерпело и поле напряжений в сечении 4 (середины очага деформации). Нужно отметить, что и при прокатке с малым обжатием, и при прокатке с большим обжатием продольные напряжения здесь сжимающие. При большом обжатии величина сжимающих напряжений значительно возрастает. Однако изменился вид распределения напряжений по поперечному сечению (рис. 3).



Рис. 3. Продольные напряжения в сечении 4

При прокатке с малым обжатием в центральной части полосы напряжения были равны нулю, а в поверхностном участке прослеживалась только слабая неравномерность распределения продольной составляющей

напряжения. По углам сжимающие напряжения были несколько меньше, чем в средней части. При большом обжатии в центральной части значительно увеличились сжимающие напряжения, что свидетельствует о сильном проникновении деформации внутрь полосы.

В контактном слое неравномерность распределения напряжений стала более заметна. Она связана с тем, что средние слои металла получают большую вытяжку, чем крайние, так как из крайних участков металл течет и в сторону боковой поверхности. Поэтому в средней части контактной поверхности продольные сжимающие напряжения больше, чем в угловых участках примерно в 2 раза.

Так же как и при прокатке с малым обжатием, в плоскости выхода полосы из валков наблюдается равномерное распределение скоростей продольного движения. В результате в этой плоскости успевают произойти процессы выравнивания скоростей и этот процесс не распространяется во внеконтактную зону за плоскостью выхода из валков.

Выводы.

При прокатке с большим обжатием активизируется двойное бочкообразование, что приводит к возникновению поперечных растягивающих напряжений на контактной поверхности практически на всем протяжении очага деформации. Эти напряжения не превосходят величины 45 МПа. Значит, при данном температурном поле и режиме обжатий поверхностные дефекты прокатного происхождения здесь появиться могут только в случае наличия на поверхности полосы концентраторов напряжений.

В случае прокатки металла с наличием мелких поверхностных дефектов или других несовершенств поверхностного слоя повышение обжатия приведет к возникновению поверхностных трещин. Поэтому нельзя рекомендовать повышенные обжатия для прокатки полос, у которых не обеспечено надлежащее качество поверхности исходной заготовки.

Список литературы

1. Воронцов В. К. Экспериментальные методы механики деформируемых твердых тел / В. К. Воронцов, П. И. Полухин, В. А. Белевитин, В. В. Бринза. - М.: Металлургия, 1990. - 480 с.

2. Полухин П. И. Деформации и напряжения при обработке металлов давлением. Применение метода муар и координатных сеток / П. И. Полухин, В. К. Воронцов, А. Б. Кудрин, Н. А. Чиченев. - М.: Металлургия, 1974. - 336 с.

3. Ершов С.В. Развитие теории напряженно-деформированного состояния металла при прокатке крупных круглых профилей с пониженным трещинообразованием в системах сортовых калибров: диссертация на соискание ученой степени докт. техн. наук: 05.03.05 / С. В. Ершов. – Днепропетровск, 2008. – 617 с.