

Определения контактных напряжений при прокатке

Д.М.Бердиев, Ж.М.Бабаев, Н.Г.Самиджонов, Б.Б.Юнусов
(Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент,
Узбекистан)

В статье рассматриваются влияние контактных напряжений при прокатке, приведены результаты анализа методики повышения прочности валков и автоматизации производства, определены основные технологические факторы, корректирующие процесс пластической деформации при прокатке, а также влияние скорости деформации на изменение структуры металла, и условия получения однородности структуры металла на изотропное состояние среды.

Ключевые слова: *прокатное производство, функциональная зависимость, жесткопластическое тело, пластическая деформация, контактное напряжение, противоположное направление, закономерность, легирующих элементов.*

Прокат является основным видом металлургической продукции. Примерно 90% всей выплавляемой стали первоначально обрабатывается в прокатных цехах. Имеются все основания утверждать, что от уровня развития прокатного производства зависит скорость научно-технического прогресса в нашей республике.

Прокатке подвергается большее количество металла, чем при других методах обработки металлов давлением, об этом методе деформации довольно мало научно-технической информации. Многие научные труды по этой тематике уже не отражают современное состояние технологии прокатного производства. А это ограничивает глубину изучения данной проблемы, что сдерживает дальнейший технический прогресс в прокатном производстве.

Специалистам производства, проектировщикам конструкторам прокатного оборудования необходимо знать и анализировать силовые условия прокатки. Установления взаимосвязей всех факторов, влияющих на технический прогресс прокатки не всегда просто.

На практике прокатного производства такие взаимосвязи и надежность их экспериментального определения часто отсутствуют, а эмпирические расчетные формулы принимают, для конкретных прокатных станков.

В связи с этим основной целью работы является рассмотрение и рекомендации методики анализа и определения контактных напряжений и прочности валков.

Функциональное установление взаимосвязей мы сделаем с помощью инженерно-механических методов, которые пригодны для достаточно быстрого

и надежного применения в производственных условиях и конструкторских бюро.

В соответствии с современным уровнем автоматизации производственных процессов необходимо, чтобы анализ и расчет определились с использованием прокатных функциональных зависимостей, которые позволяли бы легко и быстро производить расчеты при управлении производственными процессами с применением компьютерных технологий.

В работе использованы следующие методы:

- *метод линий скольжения*. Он основан на возможности описания линий скольжения, появляющихся в условиях плоской деформации, характеристиками системы дифференциальных уравнений равновесия в частных производных при совместном решении с уравнениями состояния пластичности [1];

- *метод конечных элементов*. Он используется для исследования значительных по величине деформаций и получивший развитие в работах японских ученых [2];

- *энергетический (вариационный) метод*. Он необходим для решения конкретных задач, выдвигаемый практикой [3];

- *приближенные (инженерный) методы*. Служит для определения напряжений на контактных поверхностях «металл-инструмент» и расчетах полных и удельных сил. Этим методом получил развитие и применение при использовании модели однородного изотропного жесткопластического тела, описываемой приближенными основными уравнениями пластически деформируемой среды. В полученные таким образом решения вносятся поправки, отражающие реальные состояния деформируемого металл [4].

Каждый из указанных выше методов продолжает совершенствоваться в связи с необходимостью учета большего числа факторов, реально воздействующих на процесс деформирования, а также повышением требований математической строгости.

По мере увеличения возможностей методов, используемых в теории прокатки, расширяется и круг решаемых вопросов. Если в начальной стадии эта теория использовалась лишь для определения деформирующих сил, то в настоящее время используется для оценки допустимого формоизменения, определения характера течения металла заготовки и оценка свойств, полученных в результате процесса прокатки [5].

Следует отметить, что различные методы анализа процессов деформирования дополняют друг друга. В ряде случаев полезные для практики результаты могут быть получены разумным комбинированием различных методов.

Применяя указанные выше методы был проведен анализ влияние температуры на механические свойства металла. Критерием применимости теоретических решений, полученных указанными методами, может быть соответствие результатов анализа данных практики и экспериментальных исследований.

В настоящее время можно считать экспериментально установленным [6], что при пластическом деформировании с расчетом нормальных напряжений

касательные контактные напряжения τ_k возрастают первоначально по закону, близкому к линейному, а затем по кривой, асимптотически приближаясь к некоторому постоянному значению.

При достижении нормальных напряжений этого значения рост касательных напряжений замедляется и касательные напряжения с ростом нормальных стремятся асимптотически к некоторому пределу и далее остаются постоянными.

Приведенные выше предел при наличии неразрушаемой пленки смазочного материала характеризуется качеством обработки контактных поверхностей валков. При сухом трении (т.е. при отсутствии смазочного материала) предельное касательное напряжение после которого скольжение металла по контактными поверхностям уже становится невозможно, равно $\tau_k = \tau_s = \sigma_s / \sqrt{3}$.

Рассмотрим изменение касательных контактных напряжений при прокатке. Этот процесс имеет особенность: на контактной поверхности имеет место линия раздела течения, на которой касательные напряжения равны нулю. В обе стороны вдоль горизонтальной оси от нейтральной линии, касательные напряжения имеют противоположное направление. Поскольку скачкообразное изменение знака касательных напряжений невозможно, то в области нейтрального сечения имеются зоны, в которых касательные напряжения плавно снижается от максимального значения в какой-то точке контактной поверхности до нуля. Эти зоны обычно называют застойными, или зонами прилипания, поскольку внутри этих зон движения металла вдоль контактных поверхностей заторможено.

Экспериментально установлено, что характер распределения касательных напряжений на контактных плоскостях при прокатке зависит главным образом от двух факторов – геометрии, обрабатываемого изделия и контактных сил трения [7]. Последние определяется шероховатостью обработки поверхностей, а также качеством технологического материала.

Для промежуточных значений касательных контактных напряжений $0 \leq \tau_k \leq k$ введем понятие интегральное (усредненное) контактное напряжение.

Пусть контактная поверхность полосы длиной l вдоль координатной оси y (в декартовых, цилиндрических или сферических координат) по направлению течения металла делится на m участков, длина каждого из которых равна L_n . Началом каждого последующего участка является конец предыдущего участка.

Рассмотрим $\tau_k = \tau_k(\tau_n)$, закономерность изменения τ_{kn} в направлении оси y на данном участке. Среднеинтегральное касательное напряжение в этом случае будет иметь вид:

$$\tau_{\kappa_i} = \frac{1}{L} \left[\int_0^1 \tau_{\kappa_1}(\tau_1) dL + \int_1^2 \tau_{\kappa_2}(\tau_2) dL + \dots + \int_{m-1}^m \tau_{\kappa_m}(\tau_m) dL \right] = \frac{1}{L} \sum_1^m \tau_{\kappa_n}(\tau_n) \quad (1)$$

Назовем фактором трения среднеинтегрального касательного контактного напряжения к максимально возможному значению касательного напряжения:

$$f_i = \frac{\tau_{k_i}}{\tau_{k_{\max}}} = \frac{\tau_{k_i}}{k} = \frac{1}{kL} \sum_1^m \tau_{k_n} (\tau_n) \quad (2)$$

Таким образом, коэффициент f_i отражает собой, какую долю контактное напряжения (среднее интегральное) τ_{k_i} составляет от максимального значения касательного напряжения при пластической деформации металла, равного k .

Введем другое понятие. Назовем интегральным условным коэффициентом трения выражение

$$\mu_i = \tau_{k_n} / (2k) = f_i / 2 \quad (3)$$

т.е. интегральный условный коэффициент трения равен половине фактора трения.

Хотя коэффициент μ_i формально не согласуется с установившимся понятием коэффициента трения как отношения касательного напряжения к нормальному, мы тоже рекомендуем применять этот коэффициент при решении технологических задач со сложным распределением касательных напряжений, т.к. это позволяет уменьшить трудоемкость многих математических вычислений без ущерба для точности искомого результата.

В результате, с целью определения методики проведения анализа автоматизации и определения контактных напряжений при прокатке углеродистых и низколегированных сталей, значение текучести свыше 1200°C относительно мало зависит от химического состава сталей.

Для сталей с высоким содержанием легирующих элементов значения временного сопротивления и напряжения текучести существенно выше, чем для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей.

Предварительно всесторонне деформированный металл достаточно точно удовлетворяет условиям непрерывности и изотропного состояния среды (в I и II ядерных клетях). Металл подвергнутый термообработке удовлетворяет условию изотропного состояния среды (будучи квазиизотропным). Следовательно, к металлу, подвергнутому обработке давлением (прокатке) и подлежащей термической обработке, допустимо и целесообразно применение уравнений механики сплошной однородности и изотропной среды.

Металл, деформируемый при температуре ниже температуры рекристаллизации, в неоднородном температурном поле с разными степенями и скоростями деформации (прокатки), а также подвергнутый воздействию излучения, не удовлетворяет условиям однородности и изотропному состоянию среды.

Основными технологическими факторами, определяющими процесс пластического деформирования при прокатке, является температура, степень и скорость деформации, а также внешнее трение на контактных поверхностях инструмента (валок) определяется степенью деформации металла.

Библиографический список

1. Оптимизация прокатного производства /А.Н. Скороходов, П.И. Полухин, Б.М. Илюкович, Б.Е. Хайкин, Н.Е. Скороходов. -М.: Металлургия, 1983. -432 с.
2. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернатив в технике. - М.: Радио и связь, 1984.- 288 с.
3. Рыбин Ю.И., Рудской А.И., Золотов А.М. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов. -СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. -610 с.
4. Математическая теория оптимальных процессов / А. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Е. Ф. Мищенко. -М.: Наука, 1983.
5. Воронцов А.Л. Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением. - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. - 390 с.
6. Третьяков А.В. Теория, исследования, расчет станов холодной прокатки. -М.: Изд-во «Металлургия», 1999. -492 с.
7. Полухин П. И. и др. Стойкость валков непрерывных станов холодной прокатки тонких листов.// Известия вузов, Черная металлургия. -М.: 1961. № 7. С. 76 -79.