

С.В.Ершов, Г.В.Левченко, Е.Е.Мостипан

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ПРОКАТКЕ В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Рассмотрены вопросы влияния скорости течения металла на формоизменение поверхностных дефектов при прокатке профиля со значительной неравномерностью обжатия по ширине полосы.

Введение. Результаты исследований формоизменения поверхностных дефектов, пришедших с исходной заготовкой, позволяют прогнозировать изменение размеров этих дефектов при прокатке. Но проведение экспериментов в условиях промышленного производства связано с большими материальными затратами. Поэтому целесообразно применять теоретические методы расчета, позволяющие при минимальных затратах анализировать течение металла в разнообразных калибрах.

Современное состояние вопроса. В настоящее время имеются исследования, проведенные для различных схем деформации, которые позволили установить эмпирические зависимости между регулируемыми калибровщиком технологическими факторами и размерами поверхностных дефектов после деформации. В качестве наиболее широко известных работ такого характера можно привести исследования Ю.М. Чижикова [1] и Ю.В. Зильберга [2,3,4]. Однако эти работы связывают параметры трансформации дефектов, в большинстве случаев, только с суммарной степенью деформации металла. Использование результатов данных работ при прогнозировании формоизменения поверхностных дефектов, в случае прокатки в калибрах с большой неравномерностью деформации по ширине, вызывает затруднения, поскольку при большой неравномерности деформации в калибре нахождение дефекта в зонах с разным характером течения металла может существенно влиять на изменение его размеров. В таких случаях, по нашему мнению, более эффективно связывать параметры трансформации дефектов со значением скорости течения металла в каждой конкретной точке. Известно, что течение металла напрямую зависит от конфигурации калибра. Поэтому прогнозирование формоизменения дефектов, основываясь на параметрах течения металла, дает возможность анализировать калибровки валков по их способности выкатывать поверхностные дефекты. На этой основе становится возможным проектирование формы калибра с максимальной выкатывающей способностью.

Постановка задачи. Для выявления степени влияния на формоизменение поверхностных дефектов таких факторов как обжатие, начальная глубина и месторасположение дефекта с учетом неравномерного течения металла в калибре необходимо проведение нескольких серий экспериментов по прокатке образцов с нанесенными искусственными дефектами в разрезном калибре, а так же выполнение расчетов течения металла. Ис-

ходные дефекты должны быть расположены таким образом, чтобы они попадали в зоны с разным характером течения металла (рис.1).

Это дает возможность связать параметры формоизменения дефектов со значениями скорости течения металла в областях нахождения искусственных поверхностных дефектов.

Цель и задачи работы. Провести моделирование процесса течения металла при прокатке прямоугольной полосы в разрезном калибре. Определить связь между геометрическими параметрами искусственных поверхностных дефектов и скоростью течения металла в точках их расположения.

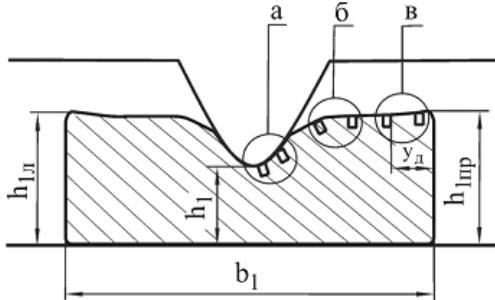


Рис. 1. Схема деформации прямоугольной полосы в разрезном калибре.

- а) расположение дефектов при значении фактора $m_3 = y_d/b_0 = 0,42 - 0,48$
 б) тоже при $m_3 = y_d/b_0 = 0,23 - 0,35$, в) $m_3 = y_d/b_0 = 0,10 - 0,21$, где b_0 - начальная ширина искусственного дефекта.

Методика экспериментальных исследований.

Исследования проводились на стане 300 прокатной лаборатории Днепродзержинского государственного технического университета. В качестве образцов использовались свинцовые заготовки сечением 20 x 40 мм, длиной 300 мм. Валки были изготовлены из стали 45 без термической обработки. Размеры искусственных дефектов до и после прокатки измеряли при помощи инструментального микроскопа с точностью $\pm 0,005$ мм. Статистическую обработку результатов экспериментов осуществляли при помощи программного пакета Statistica 6.

Было проведено три серии экспериментов, в ходе которых искусственные дефекты располагали в зонах с разным характером течения металла: зона непосредственно обжимаемая гребнем (а), зона не обжимаемая гребнем, где происходит утяжка высоты профиля (б), и зона, где наблюдается эффект наплыва (в).

Размеры дефектов до прокатки представлены на рис.2. После прокатки измеряли: высоту правой $h_{1прд}$ и левой $h_{1лд}$ стенок дефекта, ширину по дну $b_{1дн}$ и по верху дефекта $b_{1в}$.

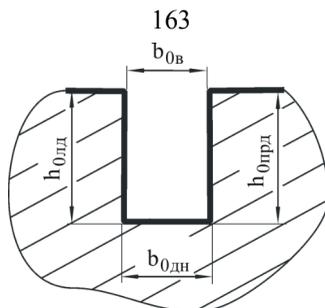


Рис. 2. Геометрические параметры дефекта

Эксперименты проведены для следующие изменения диапазона значений исследуемых факторов:

- коэффициент обжатия $m_1 = h_0/h_1 = 1,14 - 2,00$;
- коэффициент формы дефекта $m_2 = h_{0лд}/b_{0дн} = 1,0 - 2,0$;
- коэффициент положения дефекта $m_3 = y_d/b_0 = 0,10 - 0,48$,

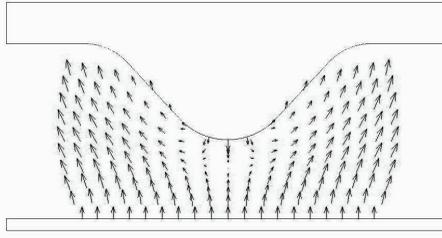
где h_0 , h_1 – начальная и конечная высота полосы; b_0 – начальная ширина полосы; $h_{0лд}$, $b_{0дн}$ – начальная высота и ширина искусственного дефекта; y_d – расстояние от правого края полосы до правой стенки дефекта.

Методика аналитических исследований.

Моделирование выполняли при помощи программного пакета ESV Deform, который в качестве математического аппарата использует метод конечных элементов для аппроксимации полей скоростей течения металла и вариационный принцип механики сплошных сред. Общая методика моделирования изложена в работе [5]. Расчет был выполнен для условий прокатки в разрезном калибре, которые полностью соответствовали условиям эксперимента. Поле скоростей в векторном виде, а также распределение поперечной V_y и вертикальной V_z составляющей поля скоростей по поперечному сечению полосы для случая прокатки с относительным обжатием 50% приведены на рис 3.

Анализ полученных результатов. Представленные на рис.3 данные показывают насколько велика неравномерность течения металла в поперечном сечении очага деформации при прокатке в разрезном калибре. Видно, что в области разрезки под гребнем потоки металла направлены в разные стороны. В тоже время в области боковых участков потоки металла направлены в одну сторону, но имеют различные значения скоростей от точки к точке, что хорошо видно по изменению интенсивности цвета полей V_y и V_z . Более темным участкам соответствуют большие скорости течения, а более светлым – меньшие.

Векторный вид поля скоростей



Градиентный вид поля скоростей

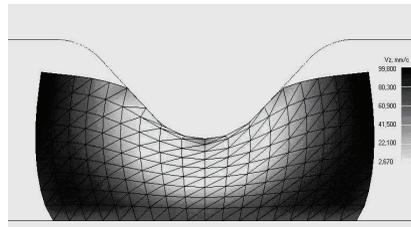
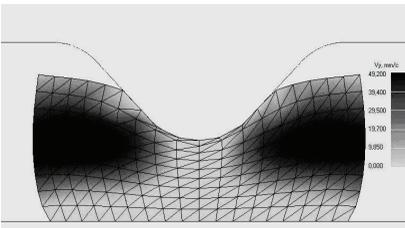
 V_y V_z 

Рис. 3. Поперечные и вертикальные составляющие поля скоростей, определенные в результате моделирования для случая $m_1 = h_0/h_1 = 2,00$

Логика говорит, что при таком неравномерном течении металла формоизменение поверхностных дефектов, попавших в разные зоны профиля, будет зависеть от скорости перемещения металла в этой зоне. В зоне менее интенсивного течения металла можно ожидать и менее интенсивного формоизменения дефектов. И наоборот, в зоне с развитым течением металла, можно ожидать большего формоизменения дефектов. Однако точный ответ на вопрос о степени влияния скоростей течения металла в области дефекта на его формоизменение может дать только статистический анализ связи скоростей течения и коэффициентов формоизменения поверхностных дефектов.

Для выполнения такого сопоставления значения составляющих скорости течения металла V_y и V_z были определены для всего поверхностного слоя и затем сопоставлены с месторасположением дефектов согласно плану эксперимента. После статистического анализа удалось определить влияние скоростей течения металла на изменение геометрических параметров дефектов.

Статистический анализ проводился для безразмерных величин: коэффициента уменьшения высоты левой стенки дефекта (находящейся ближе к зоне деформации) $h_{1лд}/h_{0лд}$, коэффициента уменьшения правой стенки дефекта $h_{1прд}/h_{0прд}$, коэффициента уширения дефекта по дну $b_{1дн}/b_{0дн}$ и ко-

эффицента уширения дефекта по верху $b_{1в}/b_{0в}$. Значения коэффициентов корреляции между перечисленными параметрами и скоростями течения металла в зоне дефекта V_y и V_z представлены на рис 4.

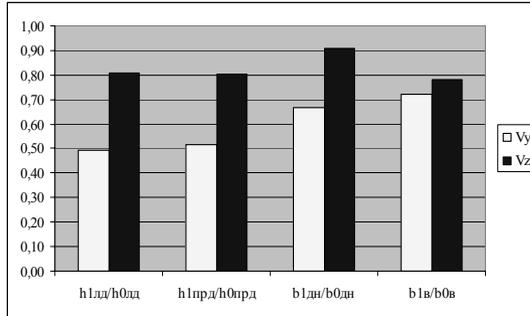


Рис. 4. Значения коэффициентов корреляции между коэффициентами формоизменения дефекта и составляющими скорости течения металла V_y и V_z

На рис.4 видно, что существует тесная связь между параметрами дефекта и скоростью течения металла, что подтверждает значениями коэффициентов множественной корреляции уравнений регрессии. Уравнение регрессии для параметра $h_{1лд}/h_{0лд}$ имеет вид:

$$h_{1лд}/h_{0лд} = 1,032 - 0,048V_y + 0,0124V_z + 0,0007V_y^2 - 0,00005V_z^2.$$

Коэффициент множественной корреляции для этого уравнения равен 0,89, что говорит о высокой степени достоверности полученной зависимости.

Уравнение регрессии для параметра $h_{1прд}/h_{0прд}$ имеет вид;

$$h_{1прд}/h_{0прд} = 1,246 - 0,0547V_y + 0,0148V_z + 0,00089V_y^2 - 0,00012V_z^2.$$

Коэффициент множественной корреляции для этого уравнения равен 0,92.

Для параметра $b_{1дн}/b_{0дн}$ уравнение регрессии имеет вид:

$$b_{1дн}/b_{0дн} = 0,754 - 0,0365V_y + 0,0095V_z + 0,00067V_y^2 - 0,000025V_z^2.$$

Коэффициент множественной корреляции для этого уравнения равен 0,94.

Для параметра $b_{1в}/b_{0в}$ уравнение регрессии имеет вид:

$$b_{1в}/b_{0в} = 1,062 - 0,0783V_y + 0,0091V_z + 0,0022V_y^2 - 0,000009V_z^2.$$

Коэффициент множественной корреляции для этого уравнения равен 0,81.

Приведенные данные показали существенную зависимость формоизменения поверхностных дефектов от скоростей течения металла в области их расположения. Это позволяет проектировать калибровки валков для прокатки профилей с точным предсказанием характера изменения поверхностных дефектов. Учитывая, что изменение конфигурации калибра сильно влияет на течение металла, появляется возможность проектирования таких калибровок валков и схем деформации, при которых выкатываемость поверхностных дефектов будет максимальна.

Выводы. Установлено, что существует тесная связь между скоростями течения металла и геометрическими параметрами дефекта после прокатки. Получены уравнения регрессии для определения значений глубины и ширины дефекта после прокатки через значение составляющих скорости течения в области расположения дефекта.

Результаты исследований показывают, что при анализе калибровок валков, с точки зрения их способности к выкатыванию поверхностных дефектов, необходимо выполнять анализ течения металла в каждой конкретной области профиля. В противном случае при прогнозировании выкатываемости возможно возникновение ошибок, связанных с неоднородным течением металла в различных частях профиля при прокатке с неравномерностью обжатия по ширине.

1. *Чижиков Ю.М., Кондрашин С.Е.* Влияние формы и размеров исходного слитка на качество поверхности железнодорожных рельсов. // Сталь. – 1972. – №11. – С.1009–1111.
2. *Зильберг Ю.В.* Исследование закономерностей формоизменения поверхностных дефектов при прокатке. // Сталь. – 1997. – №10. – С.44–464.
3. *Изменение* поверхностных дефектов при прокатке трубной заготовки из коррозионностойкой стали / Ю.В.Зильберг, М.М.Родман, С.В.Ревякин и др. //Сталь. – 1991. – №10. – С.33–36.
4. *Зильберг Ю.В., Миленин А.А.* Теоретическое и экспериментальное исследование формоизменения поверхностных впадин при прокатке // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1998. – №2, с.27–29.
5. *Теоретические основы* обработки металлов давлением / Б.М.Илюкович, А.П.Огурцов, Н.Е.Нехаев и др. В 2 т.– Том 2. – Днепропетровск: РИА «Днепр-ВАЛ», 2002. – 485 с.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. С.М.Жучковым