

бационного периода и замедление темпов нарастания после окончания растворения цинка.

Таким образом, холодная прокатка с рассогласованием скоростей валков оцинкованных полос из низкоуглеродистой стали со степенями деформации до 13–15% снижает склонность к коррозионному разрушению покрытия; дальнейшее увеличение степени деформации интенсифицирует коррозионное разрушение покрытия; при проектировании эксплуатации металлоконструкций и такого проката следует учитывать, какая из его сторон контактировала с ведущим валком при прокатке.

Список литературы

1. Виткин А.И., Тейндл И.И. Металлические покрытия листовой и полосовой стали. — М.: Металлургия, 1971. — 496 с.
2. Люблинский Е.Я. Что нужно знать о коррозии. — Л.: Лениздат, 1980. — 192 с.
3. Мейтен Б., Даванс Ж. Западноевропейская черная металлургия: развитие на основе современных технологий // Черные металлы, 1997. — № 9–10. — С. 41–45.
4. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. — М.: Машиностроение, Ленинград. отд-ние, 1982. — 248 с.
5. Беляковский М.А., Гринберг Д.Л. Производство оцинкованного листа. — М.: Металлургия, 1973. — 256 с.
6. Освоение холодной прокатки и дрессировки тонких полос с рассогласованием скоростей валков / В.Н.Скороходов, Ю.В.Липухин, А.Ф.Пименов и др. // Сталь, 1983. — № 8. — С. 48–52.
7. Алимов В.И., Березин А.В. Влияние борного ангидрида на защитные свойства цинкового покрытия на стали // Защита металлов, 1985. — Т. 21. — № 5. — С. 796–797.
8. Алимов В.И., Байков Е.В., Мишина Е.А. Влияние пластической деформации и хроматирования на коррозионное поведение цинка и цинкового покрытия // Металловедение черных и цветных сплавов. Сб. научн. статей. ДонНТУ. — Донецк, 1994. — Вып. 2. — С. 10–11: ил. 2. — Библиогр. 4 назв. — Рукопись депонирована в ГНТБ Украины 27 марта 1995 г., № 649 Ук-95.
9. Коррозионная устойчивость оцинкованной стали после асимметричной дрессировки / В.И.Алимов, Е.В.Байков, С.И.Марчук и Г.А.Гинзбург // Металловедение черных и цветных сплавов. Сб. научн. статей ДонНТУ. — Донецк, 1995. — Вып. 3. — С. 2–8. — Библиогр. 4 назв. — Рукопись депонирована в ГНТБ Украины 8 февраля 1996 г., № 488 Ук-96.
10. Алимов В.И., Байков Е.В. Влияние асимметричной дрессировки на устойчивость к коррозии цинкового покрытия // Наукові праці ДонДТУ. Серія: Металургія. — Донецьк: ДонДТУ, 2001. — Вип. 31. — С. 94–97.

© Алимов В.И., Байков Е.В., 2004

ДОЛЖЕНКОВ Ф.Е. (ДОННТУ)

НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ПРОКАТКИ

Отмечены противоречивые суждения о взаимосвязи уширения, опережения, вытяжки при продольной прокатке. Доказывается, что и при полном прилипании металла к валкам процесс прокатки мало отличается от обычного, изменяется лишь механизм уширения и опережения. Отмечен аномальный рост опережения при повышенных обжатиях, который не может быть объяснен с позиций современной теории прокатки.

В последние десятилетия активно используют аналитические методы исследования с применением вычислительной техники, компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Это намного ускорило проведение исследований, позволило привлечь большее количество параметров, а, следовательно, более глубоко вникать в суть изучаемых процессов.

Особенно впечатляют результаты, во всяком случае, с точки зрения их практического использования, результаты применения новых методов в расчетах калибровки валков для прокатки сложнейших профилей.

До недавнего времени такие калибровки были предметом не столько инженерного расчета, сколько интуиции, искусства калибровщика. И вот сбылось пророческое предвидение В.Е. Грум-Гржимайло о том, что настанут времена, когда калибровки валков будут рассчитывать также легко и просто, как печь длины на сковородке.

К сожалению, всякие крупные новшества, как правило, таят в себе и возможность негативных последствий. И рассматриваемый случай не является исключением. Экспериментальные методы передаются забвению, во многих теоретических исследованиях прокатки недопустимо упрощают физическую сущность процесса, используют модели, далекие от реального процесса прокатки.

Единственным результатом подобных исследований может быть лишь информационный шум.

К тому же, и сама физическая сущность процесса прокатки еще далеко полностью не познана. По ряду важнейших вопросов имеют место противоречивые суждения, а некоторые явления вообще не могут быть объяснены с позиции современной теории прокатки.

Вот некоторые примеры.

1. Известно, что опережение и отставание металла в очаге деформации выражаются через коэффициенты вытяжки в зонах опережения и отставания, соответственно. А коэффициент вытяжки за проход есть ничто иное, как произведение этих коэффициентов [1,2].

То, что опережение участвует в формировании вытяжки полосы, способствовало тому, что между опережением и вытяжкой начали подразумевать прямую зависимость — чем больше вытяжка, тем больше опережение. И, наоборот. Впервые эту мысль высказал И.М. Павлов [3]. По его мнению, большая вытяжка за счет уширения должна увеличивать и опережение. С развитием уширения вытяжка полосы падает, а вместе с ней уменьшается и величина опережения. Следовательно, развитие уширения влечет за собой падение опережения (стр.40). Подобные суждения высказывались и в ряде более поздних работ.

С нашей точки зрения эти суждения ошибочны. В них опережение ставится в зависимость от вытяжки полосы. Между тем, как отмечено выше, опережение выражает лишь часть вытяжки, а именно вытяжку в зоне опережения, в зоне, где условия для продольной деформации наименее благоприятны. И падение общей вытяжки необязательно должно сопровождаться падением ее части, т.е. вытяжки в зоне опережения.

Для подтверждения этого, рассмотрим схему действия сил со стороны валков на металл в очаге деформации. В зоне отставания горизонтальные проекции элементарных сил трения и давления направлены в разные стороны. С одной стороны, поверхностные слои металла, увлекаемые силами контактного трения, втягивают образец в зев валков. С другой стороны — глубинные слои металла под воздействием противоположенных сил давления выжимаются из очага деформации.

На эту особенность силового воздействия валков на металл указывал еще А.Ф.Головин [4], по образному выражению которого металл в зоне отставания не столько проталкивается, сколько протягивается, проволакивается. Такая разнонаправленность действующих на полосу сил в зоне отставания способствует продольной вытяжке металла и не благоприятствует развитию поперечной деформации. И действительно, вытяжка в зоне отставания достигает 90% и более от общей, вплоть до 100%.

В зоне опережения горизонтальные проекции удельных сил трения и давления имеют одно и то же направление, обратное направлению прокатки. Это создает сопротивление продольному перемещению металла и благоприятствует развитию уширения.

Из этих суждений следует, что увеличение зоны опережения за счет зоны отставания должно способствовать большему развитию уширения металла. При этом общая вытяжка, естественно, должна быть меньше, а опережение, наоборот больше.

Это предположение подтверждается хорошо известными из эксперимента и практики зависимостями уширения и опережения от основных параметров прокатки: диаметра валков, обжатия, коэффициента трения и пр. Увеличение одного или одновременно нескольких из них неизбежно сопровождается увеличением и уширения, и опережения. Так, например, увеличение коэффициента внешнего трения (изношенности поверхности валков) неизменно способствует увеличению уширения полосы (переполнению калибра) и соответственно — увеличению опережения, т.е. вытяжке в зоне опережения. А общая вытяжка полосы при этом снижается.

Таким образом, при прочих равных условиях развитие зоны опережения за счет зоны отставания способствует увеличению, как опережения, так и уширения при уменьшении общей вытяжки полосы.

Из этого заключения следует весьма важный практический вывод о возможности повышения эффективности процесса прокатки за счет увеличения вытяжкой способности валков и снижения энергетических затрат при работе с минимально возможным опережением.

2. В этой связи представляет интерес отрицательное опережение. Классическое определение опережения, как явления выхода полосы из валков со скоростью, превышающей окружную скорость валков, по нашему мнению, явно устарело, и давно. Из этого определения следует, что опережение не может иметь отрицательное значение. Между тем, в целом ряде случаев [5–9], пусть частных, но реально существующих процессов (периодическая прокатка, прокатка в валках неравного диаметра или вращающихся с разной частотой, прокатка высоких, узких полос и др.) зарегистрированы отрицательные значения опережения («непростые случаи прокатки» по определению А.П. Чекмарева и А.А. Нефедова [6]). Так, например, при периодической прокатке свинцовых полос размером 27x50x900 мм в валках со средним диаметром 249 мм и переменным радиусом на участках с переменным обжатием имело место отрицательное опережение до — 12% и более без буксовок [5]

Несмотря на это, Д.И. Старченко [2] утверждает, что отрицательное опережение — это уже не опережение, а отставание, хотя они имеют разные значения и определяют различные скорости полосы — соответственно, на выходе и входе металла в очаг деформации.

Исходя из изложенного, более правильно было бы определять и отставание, и опережение, как явления входа и выхода полосы из валков со скоростью, отличной от окружной скорости валков с последующей детализацией этих явлений. Или как рассогласование скорости продольного движения раската и окружной скорости валков [2], что менее предпочтительно. И тогда выражение «отрицательное опережение» не вызвало бы возражений. Но главное заключается в том, чтобы объяснить природу этого явления, определить предельные значения отрицательного опережения, при которых процесс прокатки протекает стабильно, без пробуксовки.

Кстати, и в вопросах уширения имеет место аналогичная ситуация. Например, при прокатке высоких полос в средней по высоте части раската может появляться отрицательное уширение металла, хотя по определению оно тоже не может иметь отрицательное значение. Возможно это выражение не вызывает возражений потому, что у него имеется синоним — утяжка, и природа ее получила достаточно убедительное научное обоснование [7].

3. Еще одно противоречие связано с явлением т.н. прилипания металла к поверхности валков в очаге деформации. Сегодня разве что самые ярые скептики решатся оспаривать это явление.

Но, признавая в определенных условиях наличие частичного или полного прилипания, многие авторы допускают ошибочные суждения в части развития в этих условиях уширения, опережения, вытяжки. Так, уже в одной из ранних работ [11] находим утверждение, что при наличии полного прилипания «... вытяжка отсутствует и весь металл идет только на уширение» (стр.6). То же самое находим и в других источниках, в том числе, недавно выпущенном учебном пособии [2]: «В зоне прилипания при отсутствии скольжения частиц металла по дуге касания... коэффициент уширения равен коэффициенту обжатия» (стр.163), т.е. весь металл идет только на уширение. Естественно, что и опережение, и вытяжка при этом должны отсутствовать. А поскольку опережение при прокатке бесспорно установлено многими исследованиями, то в реальном процессе прокатки имеет место скольжение металла по дуге касания и полное прилипание, по мнению автора [2], вообще невозможно.

Если принять эту точку зрения, уместно заметить, что наряду с отсутствием продольного скольжения частиц металла по дуге касания такое же состояние может иметь место (и предпочтительно имеет) и в поперечном направлении, и тогда с равным правом можно было бы говорить о том, что уширение в этом случае отсутствует и весь металл идет только на удлинение. Но этого не происходит.

Ошибочность этих суждений заключается в том, что их авторы вольно или невольно исходят из основных положений гипотезы плоских сечений. Эта гипотеза на протяжении десятилетий плодотворно служит для описания процесса прокатки тонких полос, и совершенно непригодна для описания процесса деформации высоких полос, где наличие полного прилипания наиболее вероятно.

Как показали наши исследования [1], при прокатке свинцовых полос с отношением $H/D=0,5...1,0$ в валках с накаткой на контактных поверхностях имеет место полное прилипание, но процесс прокатки протекает вполне нормально: и вытяжка, и опережение, и уширение получают значительное развитие, но только меняется механизм их образования. Обмер недокатов образцов с координатной сеткой, остановленных в валках, показал, что глубинные слои металла удлиняются на всем протяжении очага деформации. При этом, как и при обычной прокатке со скольжением, в соответствии с законом наименьшего сопротивления большая часть обжатого металла смещается против направления прокатки (зона отставания), а меньшая — в направлении прокатки, опережая окружную скорость валков (зона опережения). Но это не фиксируется на поверхности контакта, где скорость частиц металла совпадает с окружной скоростью валков. Поверхностные слои удлиняются лишь на узких участках у плоскостей входа и выхода металла из валков за пределами геометрического очага деформации. Это удлинение поверхностных слоев за линией центров валков и есть не что иное, как следствие опережения, измеряемого методом керновых отпечатков. Только в обычном процессе оно образуется за счет скольжения частиц металла по поверхности валков, а в данном случае — за счет выравнивания скоростей истечения частиц металла по высоте раската. Это согласуется с выводами А.П. Чекмарева и др. о природе опережения при наличии полного прилипания по дуге касания [7,10].

Интересно отметить, что и в поперечном направлении также отмечено полное прилипание металла к валкам, тем не менее, уширение при этом достигает значительных величин. Но в данном случае оно также происходило не за счет поперечного скольжения металла по поверхностям валков, а исключительно за счет перехода боковых граней полосы на контактные поверхности. Наглядно это происходит при горячей прокатке в вакууме, особенно металлов с низкой теплопроводностью, например титана. На поверхности прокатанной полосы четко видны исходные основные грани, а по бокам — полоски металла, перешедшего с боковых граней на контактные [12].

На рис. 1 представлена зависимость элементов показателя уширения от обжатия при прокатке образцов из стали марки Ст.20 при температуре 1200°C в вакууме (а) и на воздухе (б).

Из рисунка видно, что при прокатке в вакууме преобладающее значение имеет полное уширение, образующееся путем бочкообразования. При обжатии до 30...40% этот элемент уширения является единственным. При обжатиях свыше 30% появляется уширение вследствие перехода металла с боковых поверхностей на контактные. Дальнейшее увеличение обжатия приводит к резкому росту этого элемента уширения. Уширение же, развивающееся вследствие скольжения металла по контактной поверхности валков отсутствует. Это свидетельствует о полном прилипании металла к валкам во всем исследованном интервале обжатий.

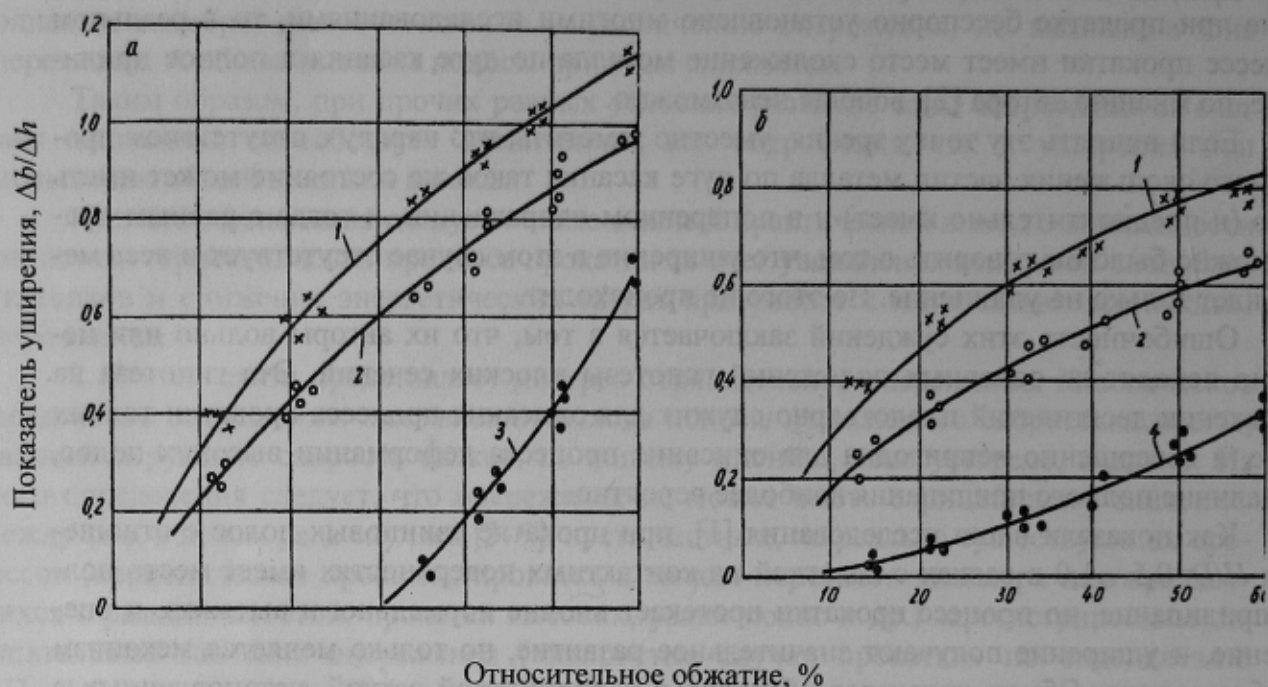


Рис. 1. Зависимость показателя элементов уширения от относительного обжатия при прокатке стали в вакууме (а) и на воздухе (б): 1 — показатель полного уширения; 2 — показатель приведенного уширения; 3 — показатель уширения контактной поверхности вследствие перехода металла с боковых граней; 4 — то же, вследствие скольжения

При прокатке на воздухе, где коэффициент контактного трения ниже, уровень значений показателей полного и приведенного уширения также ниже, чем при прокатке в вакууме. Но уширение за счет скольжения металла по контактной поверхности валков появляется уже при малых обжатиях, а уширение вследствие перехода металла с боковых граней на контактные практически отсутствует.

Таким образом, и при наличии полного прилипания по дуге касания, как в продольном, так и поперечном направлениях процесс прокатки протекает вполне нормально. И уширение, и опережение, и вытяжка получают значительное развитие, как и в обычном процессе. Только если в обычном процессе опережение и уширение образуются в основном за счет скольжения металла по поверхности валков, то при наличии полного прилипания опережение, измеряемое методом керновых отпечатков, образуется за счет выравнивания скоростей истечения металла по высоте раската за пределами геометрического очага деформации, а уширение — за счет перехода боковых граней раската на контактные поверхности.

4. И еще одно противоречие. Многочисленные исследования опережения показали, что по мере увеличения обжатия оно вначале возрастает, а затем, достигнув некоторого максимального значения, снижается почти по симметричной кривой. Это же следует и из анализа зависимости между углами захвата α , нейтрального сечения γ и трения β , предложенной И.М. Павловым.

В реальных условиях при высоких обжатиях обнаружена иная зависимость. Так, при прокатке свинцовых полос толщиной 12,5 мм в валках диаметром 125 мм с грубой накатанной поверхностью при малых и средних обжатиях опережение вначале возрастает в соответствии с описанной закономерностью (рис.2).

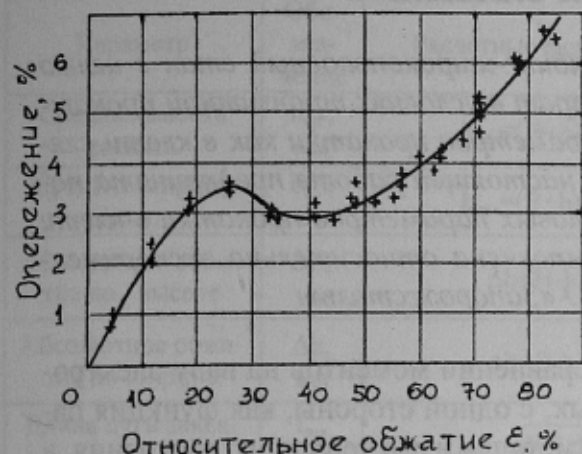


Рис. 2. Зависимость опережения от относительного обжатия

Такой аномальный рост опережения при повышенных обжатиях не может быть объяснен с позиций современной теории прокатки. Между тем, объяснение этого феномена может существенно обогатить наши представления о кинематике и динамике процесса продольной прокатки. Таким образом, несмотря на многочисленные исследования в теории прокатного производства сохранились противоречия относительно взаимозависимости основных показателей процесса. Показано что опережение, являясь частью вытяжки, способствует росту поперечной деформации за счет вытяжки. При наличии полного прилипания процесс прокатки мало отличается от обычного. Изменяется лишь механизм образования опережения и уширения: соответственно за счет выравнивания скоростей истечения частиц металла по высоте раската за пределами геометрического очага деформации и перехода боковых граней раската на контактные. Отмечен аномальный рост опережения при повышенных обжатиях, который не может быть объяснен с позиции современной теории прокатки.

Список литературы

1. Долженков Ф.Е. Опережение при прокатке толстых полос // Труды Украинского НИИ металлов, 1958. — вып.4. — С. 189–202.
2. Старченко Д.И. Кинематика продольной прокатки. — Киев.: УМК ВО, 1992. — 275 с.
3. Павлов И.М., Галлай Я.С. Опережение при прокатке. — М.: ОНТИ, 1935.
4. Головин А.Ф. Прокатка. — М.: ОНТИ, 1933. — Ч.1.
5. Александров П.А., Филиппов И.Н. Опережение и уширение при периодической прокатке. Технология производства и свойства черных металлов. — М.: Металлургиздат, 1956. — Вып.2. — С. 185.
6. Чекмарев А.П., Нефедов А.А. Опережение при прокатке на валках разного диаметра. Труды ИЧМ. «Прокатное производство» вып. 2. — Киев. Изд. АА УССР, 1957. — С. 105–107.
7. Чекмарев А.П. и др. Теория прокатки крупных слитков. — М.: Металлургия, 1968. — 252 с.
8. Бояршинов М.И., Мельцер В.В. Об отрицательном опережении при прокатке // Изв. вузов, Черная металлургия, 1964. — № 9. — С. 102–112.
9. Ливанов А.Н. и др. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением. — М.: Металлургия, 1976. — 348 с.
10. Чекмарев А.П. О некоторых вопросах теории прокатки. Теория прокатки (Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки). — М.: Металлургиздат, 1962. — С. 31–56.
11. Зарошинский М.Л. К вопросу о перемещении металла в очаге деформации при прокатке // Сб. статей «Обработка металлов давлением». — М.: «Металлургиздат», 1958.
12. Долженков Ф.Е. и др. Прокатка металлов в вакууме и инертной среде // 1964. — Киев.: Техника. — 67 с.