

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЛИПАНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ

Огинский И. К. /д. т. н./, Ремез О. А. /к. т. н./

Национальная металлургическая академия Украины

Набуло подальший розвиток уявлення про механізм утворення явища прилипання при прокатці. Виконано обґрунтування та експериментальне підтвердження місця розташування зони прилипання. Показано, що явище прилипання є одним з факторів що забезпечують процес прокатки. Вихідною межею зони прилипання є площина виходу з осередку деформації, кінематичним підтвердженням такого розташування є близькі значення швидкостей металу та валка. Розташування зони прилипання поблизу площини виходу з осередку деформації обумовлено також енергетичним принципом мінімуму роботи.

Ключові слова: прокатка, валок, осередок деформації, прилипання, відставання.

The idea of a mechanism for the formation of a sticking phenomenon during rolling was further developed. The justification and experimental confirmation of the location of the zone of adhesion has been carried out. It is shown that the sticking phenomenon is one of the factors that ensure the rolling process. The exit boundary of the sticking zone is the plane of exit from the deformation center, the kinematic confirmation of such an arrangement is close values of the velocities of the metal and the roll. The location of the sticking zone near the exit plane from the deformation center is also due to the energy principle of the minimum of work.

Key words: rolling, roll, deformation zone, adhesion, backward slip.

Получило дальнейшее развитие представление о механизме образования явления прилипания при прокатке. Выполнено обоснование и экспериментальное подтверждение месторасположения зоны прилипания. Показано, что явление прилипания является одним из факторов, обеспечивающих процесс прокатки. Выходной границей зоны прилипания является плоскость выхода из очага деформации, кинематическим подтверждением такого расположения являются близкие значения скоростей металла и валка. Расположение зоны прилипания вблизи плоскости выхода из очага деформации обусловлено также энергетическим принципом минимума работы.

Ключевые слова: прокатка, валок, очаг деформации, прилипание, отставание.

Среди кинематических признаков процесса прокатки прилипание является наименее изученным и потому вызывает наибольшее число спорных утверждений. Исследователи во все времена больше внимания уделяли опережению [1-3 и др.], поскольку оно участвует в расчетах скоростных режимов. Прилипание и отставание остаются сопутствующими явлениями; возможно по этой причине природа прилипания до настоящего времени в достаточной мере не раскрыта и продолжает существовать многообразие мнений относительно причин его образования. Вместе с тем, с уточнением механизма образования прилипания при прокатке становится возможным внести уточнения в недостаточно раскрытые вопросы теории прокатки и, в конечном итоге, достичь необходимой точности решения прикладных задач.

Целью настоящей работы является развитие существующих подходов к установлению характера контактного взаимодействия металла с валком, уточнение кинематической картины в пределах объема очага деформации и на контакте, установление физической природы прилипания при прокатке, выявление его роли и механизма формирования, экспериментальная проверка новых подходов и решений. В основу подходов положена картина объемных перемещений металла, включая и контактное взаимодействие металла с валками.

Говоря о прилипани при прокатке, обычно основоположником темы называют Соболевского Н. А. [4], хотя правильнее сказать, что он был в числе первых, поскольку известны работы С. Экелунда, в

которых принималось для одной трети дуги захвата сплошное прилипание металла к валкам (на протяженности двух третей дуги захвата – трение скольжения), эти сведения приводит автор [5].

Автор [4] был, возможно, первым кто высказал предположение, что вся контактная поверхность может быть зоной прилипания. Многие исследователи продолжительное время ставили под сомнение наличие зоны прилипания, или возможность ее протяженности в пределах всей площади контакта. В настоящее время существование зоны прилипания, или, по меньшей мере, возможность ее существования при определенных обстоятельствах, признается в большинстве работ, вместе с тем, достаточной ясности в этом вопросе не достигнуто.

В ранний период создания основ теории прокатки на страницах печати возникали дискуссии, высказывались самые различные и порой противоположные точки зрения [6-8]. Существование прилипания в настоящее время перестало вызывать сомнения, его проявление установлено прямыми методами, встречаются предположения о длине зоны прилипания, предпринимаются попытки учесть ее протяженность в технологических расчетах [9, 10]. Вместе с тем, объяснения природы его возникновения и назначения продолжают оставаться неполными, не установленными также являются границы и местоположение зоны прилипания. Неполное или одностороннее освещение процесса прокатки не способствует получению точных результатов при решении прикладных задач.

Развитию представлений о механизме образования прилипания, его роли и назначению посвящены работа [11, 12]. В работе [12] получено решение, устанавливающие параметры прокатки, при которых вся площадь контакта стремится быть зоной прилипания. Практически все более ранние работы, посвященные вопросам прилипания, в своей основе содержали подходы на основе контактного взаимодействия металла с валками. Объемное течение металла при прокатке и, соответственно, объемный характер природы прилипания и опережения за небольшим исключением в исследованиях не учитывался. Работам [11, 12] предшествовали более ранние исследования [13-20], в основу которых были положены объемные признаки процесса прокатки.

На основе выполненных исследований установлено, что процесс прокатки должен обеспечивать участок контактной поверхности валка, где обеспечивается устойчивая фрикционная связь металла с валком, то есть, где существует трение покоя. Именно, таким требованиям и такой связи отвечает зона прилипания. Известно, что линейные скорости валков и металла на выходе из очага деформации примерно одинаковы (разница составляет несколько процентов). Принимая во внимание близкие значения скоростей валков и металла на выходе из очага деформации, можно утверждать, что «фрикционный механизм» находится в выходной части очага деформации. В соответствии с приведенными предпосылками передняя часть зоны прилипания должна быть расположена в выходной части очага деформации, в непосредственной близости к плоскости выхода из валков. Кинематическим подтверждением расположения зоны прилипания вблизи плоскости выхода из очага деформации является отмеченные выше близкие значения скоростей металла и валка.

Зона прилипания характеризует тянущие возможности валков, ее протяженность отображает резерв втягивающих сил. Опережение формируется под влиянием тянущей зоны, оно является в определенной мере вторичным фактором по отношению к прилипанию. Уменьшение резерва втягивающих сил означает уменьшение протяженности зоны прилипания, при этом одновременно происходят и изменения в части формирования опережения. Сопутствующим явлением становится и скольжение в зоне отставания. Участок отставания примыкает к зоне прилипания, он занимает входную часть очага деформации и имеет известные кинематические признаки, но не имеет того физического назначения, которое ему отводилось – вталкивать металл вглубь очага деформации. Опережение и отставание являются сопутствующими процессами, они зависят от ряда технологических факторов, в том числе и от характера области прилипания.

Расположение зоны прилипания вблизи плоскости выхода из очага деформации обусловлено

также энергетическим принципом минимума работы. Если сравнивать процессы обработки металлов давлением, где преобладает продольная вытяжка, с позиций энергозатрат, то, как известно, наиболее энергоемким является прессование, наименее энергозатратным – волочение (процесс прокатки, по устоявшемуся мнению, занимает промежуточное положение).

С целью проверки изложенных положений в части природы прилипания и его месторасположения выполнены экспериментальные исследования. Исследования проводились на лабораторных станах 200 кафедры обработки металлов давлением НМетАУ.

Стан 200 (рис. 1) включает рабочую клеть дуо с валками диаметром 200 мм, длиной бочки 300 мм и линию привода валков, состоящую из редуктора, шестеренной клетки, универсальных шпинделей, соединительных муфт и электродвигателя переменного тока мощностью 30 кВт.



Рис. 1. Общий вид стана 200

В исследованиях применялись свинцовые образцы длиной 150...300 мм, квадратной и прямоугольной формы, вторые – высотой 10...20 мм, шириной 20...45 мм. Квадратные (20x20 мм) и прямоугольные образцы (10x40 мм) изготавливались прессованием из свинцовых отливок. Прокатка производилась при комнатной температуре.

Исследование образования прилипания проводилось в двух режимах – в первом изучался установившийся процесс прокатки непосредственно при движении образца, во втором режиме образец тормозился в валках и отбирался недокат. Основным был первый режим. В первом случае использовалась видеосъемка, камера устанавливалась со стороны, противоположной приводу валков (рис. 2). Кроме образцов с исходными размерами, указанными выше, использовались также повторно указанные образцы, соответственно, с уменьшенными размерами по высоте.



Рис. 2. Вид на торцевую поверхность валков со стороны наблюдения

На одну из боковых поверхностей образцов наносились вертикальные риски с шагом 2 или 4 мм, образцы с нанесенными рисками представлены на рис. 3. Для нанесения рисок использовался в качестве рейсмуса штангенциркуль с точность измерения 0,05 мм, способ нанесения показан на рис. 4. При прокатке сторона образца с нанесенными рисками была обращена к объективу кинокамеры. На торцевую поверхность валка, обращенную к кинокамере был нанесен лимб с ценой деления 1 град. (рис. 2).

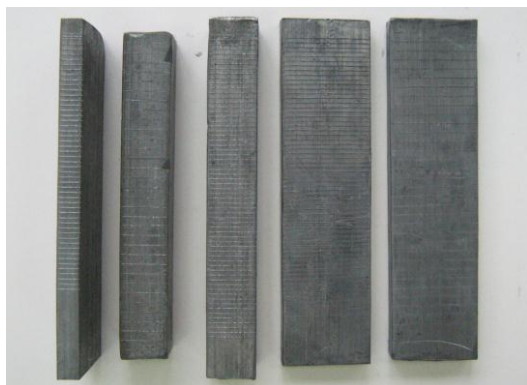


Рис. 3. Образцы с нанесенными рисками



Рис. 4. Способ нанесения рисок на образец

Начало зоны прилипания фиксировалось визуально при замедленном воспроизведении видеозаписи и в режиме реального времени. Диапазон изменения коэффициента вытяжки в исследованиях составил 1,05...4,6. Все исследования проводились в одинаковых условиях контактного трения.

На рис. 5 и 6 представлены некоторые наиболее показательные видеокадры. Они характеризуют собой достаточно контрастные условия деформации по величине коэффициентов вытяжки, в первом случае который составил $\lambda = 1,802$, во втором – $\lambda=1,124$. Первый случай является достаточно близким к предельным условиям захвата, второй – к режиму транспортирования. Соответствующим образом меняется и протяженность зоны прилипания $l_{пр}$ по отношению к дуге контакта l_k , в первом и втором случаях отношение $l_{пр} / l_k$ было различным.

Для определения протяженности зоны прилипания выбирались отметки на образце и лимбе валка, которые в пределах проекционной плоскости наблюдения находились вблизи друг друга и сохраняли свою близость вплоть до выхода из очага деформации. Протяженность пути, где пара отметок при перемещении сохраняла свое расположение по отношению друг к другу (близость), составляет длину зоны прилипания. (На смену названным отметкам приходят другие и с ними все повторяется). Положение а) на рис. 5 и 6 соответствует входной границе зоны прилипания, соответственно, протяженность зоны прилипания находится в промежутках, обозначенных положениями а) и в) раската на рис. 5 и 6.

Более наглядно названная процедура отображена на рис. 6, где положение а) характеризует собой выявленное расположение (на основе сказанного выше) входной границы зоны прилипания. Одна из прямых на лимбе, соответствующая положению $l_{пр}$ на рис. 6а, своей конечной точкой соприкасается с выделенной на образце риской. Это место выявленного ранее начала зоны прилипания. Дальнейшее перемещение образца и валка (положение б) происходит в условиях совпадения названных элементов – риски образца и линии на лимбе валка.

Месторасположение входной границы зоны прилипания может быть установлено и обратным порядком. Для этой цели используется режим реверсного воспроизведения. В этом случае выбирается две максимально близко расположенные (в наилучшем случае совпадающие) метки на образце и лимбе валка в плоскости осей валков. Затем в режиме обратного воспроизведения отслеживается место, где метки начнут расходиться. Это место и будет соответствовать входной границе зоны прилипания.

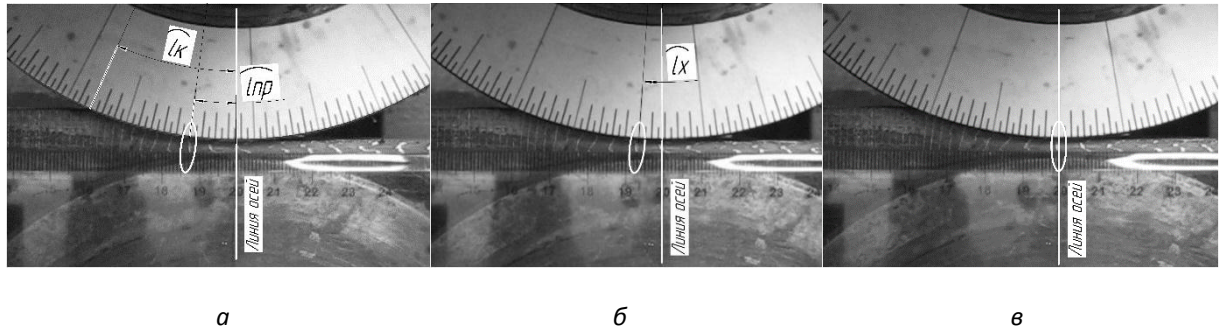


Рис. 5. Расположение и протяженность зоны прилипания при параметрах прокатки: $h_0=20$ мм; $h_1=11,1$ мм; $l_{пр}/l_k=0,31$

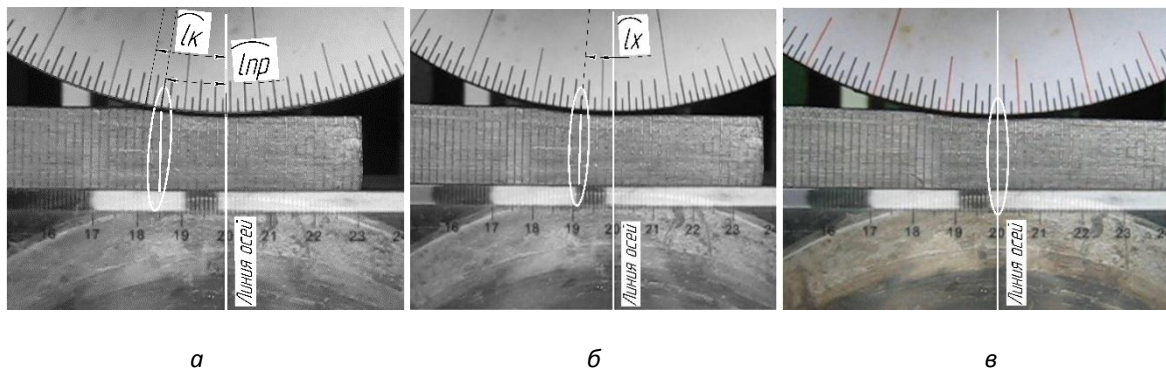


Рис. 6. Расположение и протяженность зоны прилипания при параметрах прокатки: $h_0=20$ мм; $h_1=17,8$ мм; $l_{пр}/l_k=0,8$ (вся контактная поверхность стремится быть зоной прилипания)

В результате исследований установлено, что прилипание наблюдается во всем диапазоне изменения коэффициента вытяжки и его зона находится в выходной части очага деформации. В случае на рис. 5 (когда условия захвата близки к предельным) резерв втягивающих сил уменьшается, и зона прилипания выклинивается. В этих условиях отношение протяженности зоны прилипания $l_{пр}$ к длине дуги контакта l_k составляло $l_{пр} / l_k = 0,3$.

Второй случай (рис. 6) по своим параметрам близок к режиму транспортирования, условия захвата далеки от предельных и зона прилипания стремится занять большую площадь контакта. Отношение протяженности зоны прилипания к длине дуги контакта стало равным $l_{пр} / l_k = 0,8$. В предельном случае (когда обжатие будет стремиться к нулю) зона прилипания займет всю контактную поверхность [12].

На рис. 7 показан образец-недокат (вид сверху) со следами контакта с валком. В выходной части отчетливо видны следы точечного контакта, что характерно для зоны прилипания. Во входной части

очага деформации видны продольные борозды, образовавшиеся в результате интенсивного скольжения металла по поверхности валков. Этот участок контактной поверхности соответствует зоне отставания.



Рис. 7. Образец-недокат со следами контакта с валком (вид сверху)

Такая картина характерна для достаточно больших коэффициентов вытяжки – $\lambda > 1,5$. При меньших значениях λ картина отражения на контактной поверхности зон прилипания и скольжения становится менее выразительной.

ВЫВОДЫ

1. Получило дальнейшее развитие представление о механизме образования прилипания при прокатке. Выполнено обоснование и экспериментальное подтверждение месторасположения зоны прилипания. Показано, что явление прилипания, является одним из факторов (наряду, например, с условиями захвата), которые обеспечивает процесс прокатки. Ранее считалось, что прилипание является сопутствующим фактором и проявляется оно

вследствие действия сил на контакте; функции объекта, который обеспечивает процесс прокатки, придавались зоне отставания.

2. Выходной границей зоны прилипания является плоскость выхода из очага деформации, кинематическим подтверждением такого расположения являются близкие значения скоростей металла и валка. Расположение зоны прилипания вблизи плоскости выхода из очага деформации обусловлено также энергетическим принципом минимума работы.

3. Использование установленных закономерностей позволяет расширить представление о физической стороне процесса прокатки, более корректно формулировать начальные условия и тем самым повысить точность расчетов кинематических и энергосиловых параметров прокатки.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Головин А.Ф. Опережение, максимальный угол захвата и коэффициент трения//Сталь. – № 1. - 1947.- С. 320 – 327.
2. Долженков Ф.Е. Уширение, опережение и вытяжка при продольной прокатке (О некоторых противоречиях современной теории прокатки)// Известия вузов. – ЧМ.- 2003.- № 6.-С. 41-44.
3. Долженков Ф.Е. Нерешенные вопросы современной теории прокатки // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2009 № 9.– С. 52-56.
4. Соболевский Н. А. Основные явления процесса прокатки// Советская металлургия. – 1933.- № 8-9. – С. 423-436.
5. Крейндин Н. Н. Расчет обжатий при прокатке цветных металлов / Н. И. Крейнлин. – Изд. второе, перераб. и доп. – М.: Металлургиздат, 1963.– 407 с.
6. Голубев Т.М. Определение перемещений в прокатываемом металле//Сталь. – № 2.- 1952.-С. 138 – 141.
7. Суворов И.К. Скольжение и прилипание при прокатке // Сталь. – № 3.- 1952.-С. 243-247.
8. Зарошинский М.Л. Перемещение металла в очаге деформации при прокатке//Сталь. – № 8.-1950.- С. 715-719.
9. Моделирование контактных напряжений и усилий горячей прокатки тонких широких полос с учетом зоны прилипания и упругих участков очага деформации/ Гарбер Э.А., Кожевникова И.А., Тарасов П.А. и др.//Металлы. –2007.-№ 2.-С. 26-36
10. Гарбер Э.А., Кожевникова И.А., Тарасов П.А. Расчет усилий горячей прокатки тонких полос с учетом напряженно-деформированного состояния в зоне прилипания очага деформации//Производство проката. – 2007. - № 4.-С. 7-15
11. Огинский И. К. Прилипание при прокатке, его происхождение и физическое назначение / Огинский И. К. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – № 5. – С. 46–51.
12. Огинский И. К. Условия, при которых вся контактная поверхность может быть зоной прилипания / И. К. Огинский // Металл и литье Украины. – 2011. – № 1. – С. 14–16.
13. Огинский И. К. Анализ перемещения объемов металла в очаге деформации при прокатке / Огинский И. К. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 2. – С. 59–61.
14. Огинский И. К. Экспериментальные исследования объемного течения металла при прокатке / И. К. Огинский // Вестник Национального технического университета ХПИ. Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ ХПУ, 2010. – № 42. – С. 9–13.
15. Огинский И. К. Модель деформационно-кинематических состояний в очаге деформации при прокатке / Огинский И. К. // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – Краматорск: Донбасская государственная машиностроительная академия, 2010. – № 4 (25). – С. 26–30. – ISSN 2076-2151.
16. Огинский И. К. Взаимосвязь деформационных и кинематических параметров прокатки /И. К. Огинский // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – № 6. – С. 49–52.
17. Огинский И. К. О механизме опережения при прокатке / Огинский И. К. // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 5–6. – С. 113–117.
18. Огинский И. К. Смещенный объем при прокатке / И. К. Огинский // Металл и литье Украины. – 2010. – № 11. – С. 27–30.
19. Огинский И. К. Модель течения металла без применения гипотезы плоских сечений / И. К. Огинский // Металл и литье Украины. – 2010. – № 12. – С. 33–38.
20. Огинский И. К. Модель объемных перемещений при прокатке в валках неравного диаметра / Огинский И. К. // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – Краматорск: Донбасская государственная машиностроительная академия, 2011. – № 2 (27). – С. 54-57. – ISSN 2076-2151.