

Условия, при которых вся контактная поверхность при прокатке может быть зоной прилипания

Выполнен анализ существующих подходов к выявлению причин, по которым значительная часть контактной поверхности металла с валком при прокатке становится зоной прилипания. Выявлены параметры прокатки, при которых вся контактная поверхность стремится быть зоной прилипания. Уточнены сочетания параметров прокатки, характеризующих условия полного прилипания. Детализированы кинематические особенности течения металла в области значений коэффициентов вытяжки, которые удовлетворяют условиям полного прилипания.

Ключевые слова: прокатка, прилипание, опережение, параметр, угол захвата, валок

Прилипание при прокатке взаимосвязано с другими проявлениями на контакте, в частности с опережением, о котором стало известно намного раньше, но в природе которого остаются невыясненные обстоятельства. О прилипании стали говорить значительно позже (начиная с 30-х годов прошлого столетия), но его открытие не внесло ясности в понимание явления опережения и процесса прокатки в целом, а напротив, породило множество различных точек зрения [1–6], и такое состояние сохраняется по настоящее время (об этом говорится, в частности, в работах [7, 8]). Впервые мысль о том, что вся контактная поверхность может быть зоной прилипания, высказал Н. А. Соболевский [9]. Многие исследователи продолжительное время ставили под сомнение наличие зоны прилипания или возможность ее протяженности в пределах всей площади контакта. Автор [9] говорил о сплошном прилипании как о частном случае, но его утверждение часто воспринималось как преобладающее явление. Возникали возражения, поскольку исследователи визуально наблюдали обратное явление – интенсивное скольжение на значительной части контактной поверхности. Не находя подходящих объяснений, некоторые исследователи отвергали саму возможность существования сплошного прилипания на контакте. Другими исследователями было установлено, что зона прилипания может занимать значительную (большую) часть контактной поверхности; в публикациях последнего периода приводятся данные о параметрах очага деформации, при которых наблюдается подобное явление [10, 11], однако общие закономерности сплошного прилипания при прокатке не установлены.

Целью настоящей работы являются анализ существующих подходов к выявлению причин, по которым значительная часть контактной поверхности металла с валком при прокатке становится зоной прилипания, и выявление параметров прокатки, при которых вся контактная поверхность может быть зоной прилипания. Ставится также задача дать приближенную количественную оценку этим условиям. В основе предлагаемых подходов лежат признаки объемного течения металла при прокатке, уточнение сочета-

ния параметров прокатки, характеризующих условия полного прилипания, что позволяет внести уточнения в недостаточно раскрытые вопросы теории прокатки и в конечном итоге достичь необходимой точности решения прикладных задач.

Одна из причин существования спорных положений в теории прокатки заключается в том, что часто предпринимаются попытки установить факт полного прилипания (или его отсутствия) с позиций общей картины процесса прокатки, или напротив, – обобщающие выводы делаются на основе частных случаев. Так, например, исследователи, признающие возможность прилипания, делают выводы на основе экспериментальных наблюдений, которые проводились при прокатке толстых полос. Напротив, исследователи, наблюдавшие интенсивное скольжение на значительной части контактной поверхности при прокатке тонких полос, делали свои выводы об отсутствии возможности существования достаточно большой протяженности зоны прилипания. Исследователи, говоря о прилипении, не всегда принимают во внимание кинематические особенности, сопровождающие названное явление, не учитывают специфические признаки очага деформации, на контактной поверхности которого наблюдается (или может происходить) прилипение, в частности особенности формоизменения и поперечного течения металла.

Сплошное прилипение на всей контактной поверхности, являясь частным случаем общей картины прилипания при прокатке, помимо сохранения общих признаков и природы его возникновения требует включения дополнительных условий. С этой целью обратимся к деформационно-кинематической картине в очаге деформации. Уточним само понятие «сплошное прилипение» и каким технологическим признакам оно должно соответствовать. Если говорить об абсолютно полном прилипении, то на контакте металла с валком должно быть, прежде всего, равенство скоростей металла V_M и валков V_B на всей контактной поверхности:

$$V_M = V_B. \quad (1)$$

Условие (1) распространяется на граничные участки в плоскости входа металла в валки:

$$V_0 = V_{B\alpha} \quad (2)$$

и в плоскости выхода металла из валков

$$V_1 = V_B \quad (3)$$

где V_0 – скорость металла на входе в очаг деформации; $V_{B\alpha}$ – скорость валков в плоскости, соответствующей углу α ; V_1 – скорость металла в плоскости выхода его из валков. Сплошное прилипание предполагает также отсутствие опережения ($S = 0$).

Если говорить о полном прилипании, то следует исключить из употребления термин «поперечное прилипание», который предложен в работе [5]. Ее автор справедливо отмечает, что к понятию «прилипание при прокатке» следует подходить дифференцированно, но в то же время предпринимает попытку решить задачу в обязательной тесной взаимосвязи с развитием уширения: «...можно говорить лишь о продольном прилипании при развитом уширении или только о поперечном прилипании при отсутствии уширения». Автор расценивает задачу прилипания с позиций общей картины процесса прокатки, при этом не принимается во внимание тот факт, что при прокатке в условиях полного прилипания уширение имеет специфический характер. Полоса при прокатке уменьшается по высоте, если металл не идет в вытяжку по причине «продольного прилипания», он должен идти в уширение. При этом в общем случае возможны две формы проявления его поперечного течения: металл скользит по поверхности валка, либо уширение происходит без скольжения. В условиях полного прилипания (включая и «поперечное прилипание») металл не скользит в поперечном направлении, и боковая поверхность полосы приобретает бочкообразную форму. Закономерности взаимосвязей уширения с другими параметрами прокатки, в частности с прилипанием, в достаточной степени не установлены, об этом говорится, например, в работах [7, 8]; по этой причине на первом этапе рассмотрения задачи сплошного прилипания уширение исключим.

Воспользуемся известными в теории прокатки соотношениями, для вышеприведенных условий они будут иметь вид

$$\frac{V_1}{V_0} = \lambda = \frac{V_B}{V_{B\alpha}} = \frac{1}{\cos \alpha} \quad (4)$$

Рассмотрим частный случай, когда уширение отсутствует ($\Delta b = 0$), тогда

$$\lambda = \frac{h_0}{h_1} \quad (5)$$

С учетом выражения (1):

$$\frac{1}{\lambda} = \cos \alpha = 1 - \frac{\Delta h}{2R} = \frac{h_1}{h_0} \quad (6)$$

откуда

$$h_0 - \Delta h \frac{h_0}{2R} = h_1, \quad (7)$$

$$h_0 - h_1 - \Delta h \frac{h_0}{2R} = 0, \quad (8)$$

$$\Delta h \left(1 - \frac{h_0}{2R}\right) = 0, \quad (9)$$

$$\Delta h \neq 0 \quad \text{тогда} \quad 1 - \frac{h_0}{2R} = 0. \quad (10)$$

Выражение (7) определяет собой параметры прокатки, при которых вся контактная поверхность становится зоной прилипания, в законченном виде оно имеет вид

$$\frac{R}{h_0} = \frac{1}{2} \quad \text{или} \quad h_0 = D. \quad (11)$$

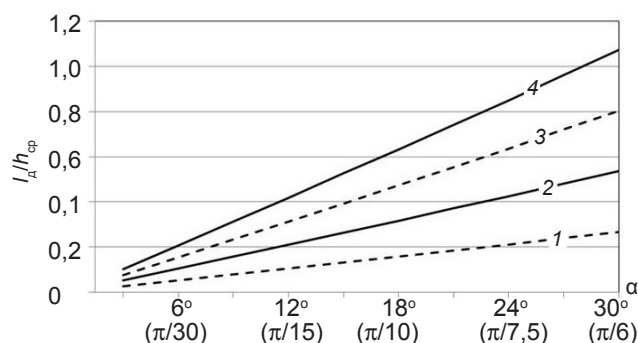
Условие (11) отвечает сформулированным выше начальным условиям полного прилипания. Это особый случай прокатки; определим, каким технологическим признакам оно соответствует.

В работах раннего периода установлено и в более поздних подтверждено, что обширное прилипание наблюдается при прокатке достаточно толстых полос, и по предварительной оценке условие (11) характеризует именно такой случай. Для количественной оценки воспользуемся принятым в теории прокатки фактором формы, представленного отношением l_d/h_c (l_d – длина очага деформации, h_c – средняя высота раската), поставив его в зависимость от основных технологических параметров: диаметра валков D , угла захвата α , обжатия Δh и конечной высоты раската h_1 . Все названные параметры в неявной форме включает в себя фактор формы l_d/h_c .

Представим выражение (11) в виде

$$h_1 + D(1 - \cos \alpha) = D. \quad (12)$$

После чего преобразуем выражение (12), приведя его к виду, удобному для последующего анализа и построения графических зависимостей. На рисунке представлена зависимость фактора формы от угла захвата и диаметра валков. Как видно, все участки кривых относятся к области, которую принято считать областью прокатки толстых и особо толстых полос.



Изменение фактора формы l_d/h_c в условиях полного прилипания в зависимости от угла контакта α и радиуса валков R (1 – 100, 2 – 150, 3 – 200, 4 – 300)

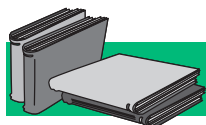
Полученные графические зависимости относительно их принадлежности к указанной области подтверждаются результатами экспериментальных исследований, проведенных автором, и другими исследователями. Установленные количественные взаимосвязи, характеризующие условия полного прилипания при прокатке, носят приближенный характер. В реальных условиях в очаге деформации на контакте металла с валком всегда могут быть участки, где картина полного прилипания не соблюдается и происходит смещение металла относительно валков. Вообще говоря, в теории прокатки не выработаны критерии, в соответствии с которыми можно было бы установить состояние прилипания (покоя), скольжения, и промежуточное состояние (переход от состояния покоя к скольжению, или наоборот), по этому вопросу есть только отдельные мнения. Названные состояния изучаются в трибологии, для их оценки созданы термины («микроскольжение контактных поверхностей», «предварительное смещение») и их определения [12], но для условий пластического контакта они малоприменимы и могут служить только аналогами при создании подобных характеристик. Поэтому установленные

взаимосвязи следует считать условиями, при которых вся контактная поверхность стремится быть зоной прилипания.

Выводы

Приведен анализ существующих подходов к выявлению причин, в соответствии с которыми значительная часть поверхности металла, контактирующей с валком при прокатке, становится зоной прилипания. Выявлены параметры прокатки, при которых вся контактная поверхность стремится быть зоной прилипания. Детализированы сочетания параметров прокатки, характеризующих условия полного прилипания. Уточнены кинематические особенности течения металла в области значений коэффициентов вытяжки, которые удовлетворяют условиям полного прилипания.

На основе установленного условия полного прилипания при прокатке становится возможным внести дополнения в недостаточно раскрытые вопросы теории прокатки и в конечном итоге достичь необходимой точности решения прикладных задач.



ЛИТЕРАТУРА

1. Головин А. Ф. Опережение, максимальный угол захвата и коэффициент трения // Сталь. – 1947. – № 1. – С. 320-327.
2. Бахтинов Б. П. Некоторые вопросы теории прокатки // Там же. – 1946. – № 4-5. – С. 281-285.
3. Зарощинский М. Л. Перемещение металла в очаге деформации при прокатке // Там же. – 1950. – № 8. – С. 715-719.
4. Голубев Т. М. Определение перемещений в прокатываемом металле // Там же. – 1952. – № 2. – С. 138-141.
5. Суворов И. К. Скольжение и прилипание при прокатке // Там же. – 1952. – № 3. – С. 243-247.
6. Зарощинский М. Л. К вопросу о перемещении металла в очаге деформации при прокатке // Там же. – 1952. – № 3. – С. 247-253.
7. Долженков Ф. Е. Уширение, опережение и вытяжка при продольной прокатке (О некоторых противоречиях современной теории прокатки) // Изв. вузов, Черн. металлургия. – 2003. – № 6. – С. 41-44.
8. Долженков Ф. Е. Нерешенные вопросы современной теории прокатки // Металлургическая и горнорудная пром-сть. – 2009. – № 9. – С. 52-56.
9. Соболевский Н. А. Основные явления процесса прокатки // Советская металлургия. – 1933. – № 8-9. – С. 423-436.
10. Моделирование контактных напряжений и усилий горячей прокатки тонких широких полос с учетом зоны прилипания и упругих участков очага деформации / Э. А. Гарбер, И. А. Кожевникова, П. А. Тарасов и др. // Металлы. – 2007. – № 2. – С. 26-36.
11. 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 // Пр-во проката. – 2007. – № 4. – С. 7-15.
12. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / Под ред. В. Д. Зозули, Е. Л. Шведкова, Д. Я. Рвинского, Э. Д. Брауна. – Киев: Наук. думка, 1990. – 260 с.

Анотація

Огінський Й. К.

Умови, при яких вся контактна поверхня при прокатці може бути зоною прилипання

Виконано аналіз існуючих підходів до виявлення причин, за яких значна частина контактної поверхні металу з валком при прокатці стає зоною прилипання. Виявлено параметри прокатки, при яких вся контактна поверхня може бути зоною прилипання. Уточнено поєднання параметрів прокатки, що характеризують умови повного прилипання. Деталізовано кінематичні особливості течії металу в області значень коефіцієнтів витяжки, які задовольняють умовам повного прилипання.

Ключові слова

прокатка, прилипання, випередження, параметр, кут захоплення, валок