

**Влияние контактных условий в очагах деформации
непрерывного высокоскоростного стана на напряженное
состояние полосы между клетями**

Студент Баймакова А.М.
Научный руководитель Штода М.Н.
ЧАО «ДКХЗ» МП
Украина, г. Каменское

Коэффициент трения при пластической деформации является трудно исследуемой величиной. До сих пор разработано несколько способов измерения величины коэффициента трения при прокатке, некоторые из них лишь условно можно назвать прямыми. Следует учитывать, что само понятие коэффициента трения при прокатке является спорным понятием и каждым исследователем понимается по-разному. Некоторые ученые вводят термины «трение», «показатель трения» и другие понятия [1, 2, 3], имеющие своей целью сгладить острые углы в споре между сторонниками различных теорий и моделей трения, что, к сожалению, не всегда удается.

Из литературных источников известно, что опытные данные о величине коэффициента трения при горячей прокатке для случаев скорости выхода полосы из валков более 5 м/с, отсутствуют. Для горячей высокоскоростной прокатки существуют только расчетные значения коэффициента трения [4, 5]. Поэтому как у исследователей, так и у инженеров, которые рассчитывают технологические параметры высокоскоростной прокатки, возникают трудности с выбором граничных условий на контакте прокатываемой полосы с валками. В то же время от правильности выбора коэффициента трения зависит точность расчетов.

Определение технологических параметров непрерывной высокоскоростной прокатки осложняется взаимозависимостью контактных условий в каждом из очагов деформаций и процессами, протекающими в раскате в пространствах между клетями стана.

Целью данной работы является исследование влияния контактных условий в соседних очагах деформации на величину и направление продольных напряжений в металле прокатываемой полосы между клетями стана.

Для исследования влияния распределения коэффициента трения по очагам деформации при непрерывной высокоскоростной сортовой прокатке на величину натяжения полосы между клетями была разработана математическая модель в программной среде QForm версии 10.1.0. При моделировании в качестве прокатываемого материала был выбран свинец марки С1 из стандартной базы QForm. Для которого ранее [6] методом инверсного анализа были определены значения коэффициента трения Кулона, используемые в расчетах и соответствующие фактическим значениям.

В качестве реального физического процесса взяли прокатку в последних трех проходах чистового блока стана 400/200 ЧАО «ДКХЗ» МП катанки диаметром 7 мм. В соответствии с таблицей калибровки:

№	7	8	9	10
h, мм	6,75	8,66	5,28	7,09
b, мм	13,97	8,96	11,16	7,09
F, мм²	78	61,5	48,9	39,5
n_в, об./мин.	-	6238	7762	9656
Форма	овал	круг	овал	круг
D_в, мм	212	212	212	212

Для упрощения процесса моделирования овальную и круглую формы заготовки и калибров заменили плоской формой, определяя их размеры по методу соответственной полосы. Частота вращения и диаметры валков взяты из таблицы калибровки без изменений. Влияние

предыдущих калибров не учитывается. В качестве изменяемого параметра при исследовании выбран коэффициент трения Кулона для каждого очага деформации. Значения коэффициента трения при моделировании: 0,16; 0,23; 0,3. Значения выбраны из литературных данных. Моделирование проводили для симметричного очага деформации (четвертая часть) и для полного очага деформации рис. 1.

Результаты расчетов показывают, что на состояние полосы между клетями непрерывного стана существенно влияют контактные условия в каждом из очагов деформации. Это особенно хорошо видно при моделировании процесса без плоскостей симметрии (см. табл. 1-4). Практически во всех случаях и в первом, и во втором промежутках между клетями наблюдается напряжение подпора, величина которого изменяется в зависимости от условий трения на контакте с валками в каждом очаге деформации.

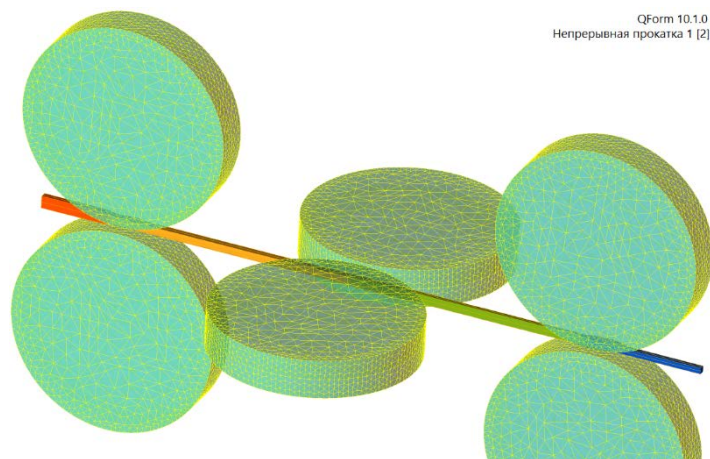


Рисунок 1 - Общий вид результатов моделирования в программной среде QForm 10.1.0 процесса непрерывной сортовой прокатки в чистовом блоке

Результаты расчетов приведены в табл. 1-4.

Таблица 1 – Результаты математического моделирования для случая, когда во всех очагах деформации коэффициенты трения равны 0,3 (при моделировании 0,6)

Параметр	Заготовка	I проход	σ_{xx}^{1-2}	II проход	σ_{xx}^{2-3}	III проход	Способ моделирования
h, мм	6,25	7,94	-18,6	4,71	-19,38	5,57	сим.
b, мм	12,83	8,08		10,03		6,27	
v_M , м/с	56,5	70,9		86,9		107,8	
Коеф. трения		0,3		0,3		0,3	
h, мм	6,2	8,18	-20,8	4,81	5,25	6,24	не сим.
b, мм	13,02	7,98		10,46		5,72	
v_M , м/с	56,8	71,3		90,6		110,0	

Если принять коэффициент трения таким как он рекомендован в работе [7] равным 0,3, то по результатам расчетов между первой и второй клетями возникает подпор около 20 МПа,

а перед чистой клетью растяжение – 5,25 МПа. Если принять значения коэффициента трения, соответствующие рассчитанным для условий высокой скорости прокатки в чистовых проходах [6] равный 0,16, то по результатам расчетов между первой и второй клетями возникает подпор около 12 МПа, а перед чистой клетью подпор величиной 12,5 МПа. Появление подпора вместо растяжения перед чистой клетью можно объяснить снижением скорости прокатки за счет уменьшения опережения за счет чего скорость прокатки в чистой клетке падает со 110 м/с до 108 м/с.

Таблица 2 – Результаты математического моделирования для случая, когда во всех очагах деформации коэффициенты трения равны 0,16 (при моделировании 0,32)

Параметр	Заготовка	I проход	σ_{xx}^{1-2}	II проход	σ_{xx}^{2-3}	III проход	Способ моделирования
h, мм	6,16	7,94	-16,6	4,83	-22,8	6,23	сим.
b*, мм	12,74	7,83/7,75		9,8/9,72		5,7/5,39	
v _м , м/с	47,5	70,06		86,2		98,2	
Коэф. трения		0,16		0,16		0,16	
h, мм	6,2	8,03	-12,0	4,84	-12,5	6,49	не сим.
b*, мм	12,64	8,03/7,9		10,2/9,8		5,76/5,94	
v _м , м/с	55,0	70,97		88,8		108,4	

* числитель ширина на контакте полосы с валками, знаменатель – середина

Таблица 3 – Результаты математического моделирования для случая, когда в первом очаге деформации коэффициент трения 0,3 (при моделировании 0,6), а в последних двух – 0,16 (при моделировании 0,32)

Параметр	Заготовка	I проход	σ_{xx}^{1-2}	II проход	σ_{xx}^{2-3}	III проход	Способ моделирования
h, мм	6,17	8,05	-20,6	4,76	-22,6	6,2	сим.
b*, мм	12,75	7,48/8,12		10,11/10,46		5,98/5,5	
v _м , м/с	53,8	70,1		86,7		106,4	
Коэф. трения		0,3		0,16		0,16	
h, мм	6,22	7,99	-20,8	4,81	-4,8	6,23	не сим.
b*, мм	12,74	7,54/8,34		9,84/10,81		6,05/6,3	
v _м , м/с	56,6	70,9		90,5		112,3	

* числитель ширина на контакте полосы с валками, знаменатель – середина

При разных коэффициентах трениях, распределенных по очагам деформации от большего к меньшему (см. табл. 3-4), получили в промежутке перед чистой клетью подпор 4,8 МПа и 4,1 МПа. Эти значения меньше, чем при одинаково малом коэффициенте трения (табл.

2), что объясняется большей скоростью металла на входе в чистовую клеть. В промежутке между первой и второй клетями в обоих последних случаях (табл. 3-4) наблюдается подпор, величина которого составляет 20,8 МПа и 3,8 МПа. Снижение величины подпора в последнем случае (табл. 4) объясняется увеличением скорости металла на входе во второй очаг деформации из-за увеличения опережения в этом проходе.

Таблица 4 – Результаты математического моделирования для случая, когда в первом очаге деформации коэффициент трения 0,3 (при моделировании 0,6), во втором – 0,23 (при моделировании 0,46) и в третьем – 0,16 (при моделировании 0,32)

Параметр	Заготовка	I проход	σ_{xx}^{1-2}	II проход	σ_{xx}^{2-3}	III проход	Способ моделирования
h, мм	6,17	7,97	-19,0	4,89	-24,1	6,22	сим.
b*, мм	12,75	7,45/7,98		9,59/10,38		5,85/5,54	
v _м , м/с	51,9	70,3		87,1		106,0	
Коэф. трения		0,3		0,23		0,16	
h, мм	6,21	8,0	-3,1	4,79	-4,1	6,3	не сим.
b*, мм	12,79	7,45/8,23		9,72/10,58		5,8/6,03	
v _м , м/с	56,9	71,76		89,5		111,2	

* числитель ширина на контакте полосы с валками, знаменатель – середина

Выводы

1. Напряженное состояние полосы между клетями непрерывного стана определяется не просто рассогласованием скоростей вращения валков соседних клеток, но на его вид и величину существенное влияние оказывают условия на контакте полосы с валками в каждой клетке стана.

2. Изменение величины коэффициента трения в одном или нескольких очагах деформации приводит к изменению скоростных условий прокатки в каждой клетке стана. И, как следствие, изменению напряженного состояния полосы в промежутках между клетями стана. Влияние изменения коэффициента трения сравнимо с влиянием изменения величины зазоров валков, поэтому им пренебрегать нельзя.

3. Сравнение конечной расчетной скорости прокатки, с реальными значениями скорости металла на выходе из чистовой клетки стана показывает, что при использовании малых значений коэффициента трения (табл. 2) указанные скорости практически совпадают. То есть, для определения коэффициента трения при прокатке на высоких скоростях можно использовать методику расчета, рекомендованную в работе [6].

Список использованных источников

1. Данченко В.Н., Миленин А.А., Кузьменко В.И., Гринкевич В.А. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы. Днепропетровск: «Системные технологии», 2005. 448 с.
2. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія позовжньої прокатки. Підручник. Донецьк: УНІТЕХ, 2009. 488 с.
3. Огинский И.К., Данченко В.Н., Самсоненко А.А. и др. Процессы деформации металла на основе многовалковых калибров: Монография. Днепропетровск: Пороги, 2011. 355 с.

4. Капланов В.И. Динамика и трибоника высокоскоростной тонколистовой прокатки. Мировая тенденция и перспектива: Монография. Мариуполь: Изд-во «Рената», 2008. 456 с.
5. Штода М. Н. Влияние коэффициента трения на коэффициент уширения при прокатке круглых полос в овальном калибре с задним натяжением. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії: зб. наук. пр.* Харків: НТУ "ХПІ", 2019. № 26 (1351). С. 77-82.
6. Штода М. Н. Выбор граничных условий при моделировании процесса сортовой прокатки. *Обработка материалов давлением.* 2020. № 1 (50). С. 77-82. DOI: 10.37142/2076-2151/2020-1(50)77
7. Горбанёв А.А., Жучков С.М., Филиппов В.В. и др. Теоретические и технологические основы высокоскоростной прокатки катанки. Минск: Выш. шк., 2003. 287 с. ISBN 985-06-0793-9.