

РОЗДІЛ «ПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО»

УДК 621.771.01

МАКСИМЕНКО О.П., д.т.н., професор
ІЗМАЙЛОВА М.К., к.т.н., доцент
РОМАНЮК Р.Я., к.т.н., ст. викладач
ПОПОВ В. О., магістр

Дніпродзержинський державний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ОБТИСНЕННЯ ЖЕРСТІ НА СТАНІ 550 КОМБІНАТУ „ЗАПОРІЖСТАЛЬ”

Вступ. Режим обтиснень на стані є найважливішим елементом технології виробництва холоднокатаних штаб. Режим обтиснень визначає продуктивність стану, якість поверхні, точність і властивості готової продукції, завантаження механічного і електричного устаткування, стійкість інструмента, стабільність процесу і стійкість штаби при холодній прокатці. Тому розрахунок режиму обтиснень виконують для кожного типорозміру штаб. При виконанні розрахунку режиму обтиснень враховують можливості (характеристики) встановленого устаткування, вимоги, які пред'являються до готової продукції, хімічний склад і механічні властивості матеріалу штаби (підкату), стан поверхні підкату і інструмента, властивості технологічного змащення, швидкісні і температурні умови прокатки.

Оптимальний режим обтиснень повинен забезпечувати [1, 2]:

- одержання продукції, що задовольняє вимогам стандартів або технічних умов;
- найбільш повне використання можливостей механічного і електричного устаткування стану;
- мінімальний видатковий коефіцієнт металу;
- високу ефективність роботи систем регулювання і керування;
- високу продуктивність стану і найбільш низьку собівартість продукції.

Постановка задачі. Метою роботи є удосконалення режимів обтиснень жерсті на стані 550 комбінату “Запоріжсталь” з метою зменшення енерговитрат на ведення процесу прокатки.

Результати роботи. Одноклітьовий реверсивний стан 550 складається з однієї робочої чотирьохвалкової кліті і допоміжного устаткування: неприводного дискового розмотувача з пересуванням дисків, двох моталок (лівої і правої) барабанного типу і ремінного захльостувача [3].

Діаметр робочих валків 200-210 мм, довжина бочки 550 мм, діаметр шийки 120 мм, довжина шийки 145 мм, загальна довжина валка 1370 мм. Число оборотів робочих валків 168,5-500,5 об/хв. Маса валка 250 кг.

Діаметр опорних валків 480-520 мм, довжина бочки 550 мм, діаметр шийки 260 мм, довжина шийки 335 мм, загальна довжина валка 1670 мм, маса 1300 кг. Матеріал валків – легована сталь 9Х, 9ХСВФ, 9ХФ.

В теперішній час відсутня єдина досить обґрунтована методика розрахунку режимів обтиснень на безперервних станах. Тому при розробці режимів обтиснень на кожному стані, як правило, виходять із досвіду роботи персоналу, існуючих традицій і прийнятих на заводах технологічних схем, особливостей встановленого устаткування, якості вихідної заготовки і конкретних вимог, які пред'являються до готової продукції. Однак такий диференційований підхід обмежує застосування автоматизованих систем для розрахунку і оптимізації режимів обтиснень.

При розробці режимів обтиснень на безперервних станах холодної прокатки, як і на будь-яких інших станах, повинні бути враховані технологічні обмеження. Врахування технологічних обмежень при розробці режимів обтиснень дозволяє сформулювати умови, які забезпечують ефективну роботу технологічного устаткування і одержання продукції з необхідними показниками якості. Умови, що гарантують найбільшу ефективність роботи технологічного устаткування, найкращі показники якості продукції або найменші витрати, можуть бути сформульовані тільки в результаті оптимізації режимів обтиснень, що розробляються, за відповідними критеріями [2].

В роботі [2] наведені основні обмеження при розрахунку режимів обтиснень:

- по максимальній силі прокатки;
- по максимальному моменту прокатки;
- по максимальній потужності прокатки;
- по максимальній швидкості прокатки;
- по питомих натягах за умови відсутності пробуксовки в останній кліті;
- по питомих натягах за умов максимальної стійкості форми штаби при наявності дефектів – концентраторів напружень;
- по максимальній температурі в зоні контакту за умови стабільності змащення;
- по площинності штаби в міжклітьових проміжках і на виході стану;
- по мінімальному обтисненню в останній кліті за умов ефективної роботи системи автоматичного регулювання товщини (САРТ);
- по мікрогеометрії прокатуваної штаби;
- по питомих натягах при змотуванні штаби за умов запобігання дефектів „злипання” та „злам”;
- за умовою сталості секундних об’ємів.

Як показують дослідні дані [4], оптимальні значення відносних питомих натягів знаходяться в діапазоні:

$$0,17 \leq \frac{q}{\sigma_T} \leq 0,49. \quad (1)$$

Поздовжня стійкість штаби при холодній прокатці забезпечується при виконанні наступної умови [2]:

$$\frac{x_{1n}}{l_c} - \frac{x_1}{l_c} < \frac{\gamma_c}{\alpha_c} < 1 - \frac{x_1}{l_c} - \frac{x_{0n}}{l_c}, \quad (2)$$

де γ_c , α_c – відповідно кут пружно-пластичного контакту штаби з валком та кут, що характеризує положення нейтрального перетину в осередку деформації;

l_c , x_1 – відповідно довжина дуги контакту штаби з валком і її приріст за лінією, що з’єднує центри обертання валків, що є наслідком пружного стиснення валків і пружного відновлення штаби;

x_{0n} , x_{1n} – відповідно збільшення довжини дуги контакту штаби з валком, що є наслідком пружного стиснення і пружного відновлення штаби.

Фізичний зміст умови (2) полягає в тому, що її виконання гарантує ведення процесу холодної прокатки з обов’язковою наявністю в осередку деформації зон пластичного відставання і пластичного випередження.

Обмеженнями сили, моменту і потужності прокатки при розробці режимів обтиснень є наступні умови [2]:

$$P_c < [P]; \quad (3)$$

$$M_{\partial\partial} < [M_{\partial\partial}]; \quad (4)$$

$$N_{\partial\epsilon} < [N_{\partial\epsilon}]. \quad (5)$$

де P_c , $M_{\partial\epsilon}$, $N_{\partial\epsilon}$ – відповідно розрахункові значення сили, моменту та потужності на валу привода;

$[P]$, $[M_{\partial\epsilon}]$, $[N_{\partial\epsilon}]$ – відповідно допустимі значення сили, моменту та потужності привода.

Для попередження руйнування поверхневого шару валків використовують обмеження [2]:

$$p_k \leq [\sigma_k], \quad (6)$$

де p_k , $[\sigma_k]$ – відповідно максимальне результуюче контактне напруження в поверхневому шарі валка і припустиме напруження на контактну міцність матеріалу валка.

В [5] наведено рекомендації, з яких випливає, що на безперервних жерстикатальних станах комбінату ‘Запоріжсталь’ енергетично вигідно вести процес прокатки з натягами $0,3\beta\sigma_{Tcr}$ ($\beta\sigma_{Tcr}$ – середня примусова межа текучості металу).

Виходячи з цього, пропонується застосовувати режими натягів для жерстикатального стану 550, які дорівнюють $0,3\beta\sigma_{Tcr}$. В 5-му проході використовуємо задній натяг $0,15\beta\sigma_{Tcr}$, оскільки значний задній натяг збільшує момент та потужність деформації. Натяги в першому (задній) та останньому (передній) проходах приймаємо відповідно 10 МПа та 15 МПа [1].

Це не суперечить обмеженням, наведеним вище. У якості критерію стійкості процесу в поздовжньому напрямку використовуємо обмеження (2).

В табл.1-3 наведено режими деформації та енергосилові параметри при виробництві жерсті №22, №25 та №28 за розробленими режимами натягів ($0,3\beta\sigma_{Tcr}$).

Таблиця 1 – Режимы деформації та енергосилові параметри прокатки жерсті 0,22x350 мм зі сталі 08кп (підкат відпалений), $V = 3$ м/с, $\sigma_{T0} = 260$ МПа

№	h , мм	ϵ , %	$\beta\sigma_{Tcr}$ МПа	q_0 , МПа	q_1 , МПа	S , %	P_{cp} , МПа	P , кН	M_{np} , кН.м	W_{np} , кВт	f
1	0,44	12	492,8	10	148	9,3	475,5	502,6	-2,1	-63	0,053
2	0,36	18,2	615,5	148	185	7,6	505,5	608,7	1,4	41	0,057
3	0,3	16,7	695,8	185	209	7	568,4	628,6	1,5	44	0,056
4	0,25	16,7	748,9	209	225	7	620,1	655,4	1,6	47	0,056
5	0,22	12	792,8	112	15	5,3	807,4	796,9	3,2	96	0,053
Σ									5,6	165	

Таблиця 2 – Режимы деформації та енергосилові параметри прокатки жерсті 0,25x400 мм зі сталі 08кп (підкат відпалений), $V = 3$ м/с, $\sigma_{T0} = 260$ МПа

№	h , мм	ϵ , %	$\beta\sigma_{Tcr}$ МПа	q_0 , МПа	q_1 , МПа	S , %	P_{cp} , МПа	P , кН	M_{np} , кН.м	W_{np} , кВт	f
1	0,52	13,3	501,5	10	150	10	484,6	663	-2,5	-76	0,054
2	0,42	19,2	626,9	150	188	7,9	512,7	775,2	2	61	0,058
3	0,35	16,7	705,3	188	212	6,9	566	758,5	2	59	0,056
4	0,3	14,3	752	212	226	6,1	594,4	710,9	1,7	52	0,055
5	0,25	16,7	814,4	113	15	6,9	840,6	1126,3	4,5	134	0,056
Σ									7,7	230	

Таблиця 3 – Режими деформації та енергосилові параметри прокатки жерсті 0,28x450 мм зі сталі 08кп (підкат відпалений), $V = 3$ м/с, $\sigma_{T0} = 260$ МПа

№	h , мм	ε , %	$\beta\sigma_{Tcp}$ МПа	q_0 МПа	q_1 МПа	S , %	P_{cp} МПа	P , кН	M_{np} кН.м	W_{np} кВт	f
1	0,48	20	541,5	10	162	13	554,5	1030,5	-1,5	-44	0,058
2	0,36	25	678,5	162	204	10	589,4	1106,1	3,5	105	0,061
3	0,28	22,2	757,9	102	15	9	840,4	1478,8	5,9	176	0,06
Σ									7,9	237	

Слід зазначити, що у всіх трьох випадках по проходах умова (2) виконується, тобто забезпечується стійкий процес деформації.

Для оцінки зниження сумарного моменту та потужності на деформацію жерсті порівняємо запропоновані режим прокатки з аналогічним, але за натягу $0,15\beta\sigma_{Tcp}$. Енергосилові параметри при прокатці жерсті №22, №25 та №28 за цих натягів по проходах наведено в табл.4-6.

Таблиця 4 – Енергосилові параметри прокатки жерсті 0,22x350 мм зі сталі 08кп (підкат відпалений), $V = 3$ м/с за натягу $0,15\beta\sigma_{Tcp}$, $\sigma_{T0} = 260$ МПа

№	h , мм	ε , %	$\beta\sigma_{Tcp}$ МПа	q_0 МПа	q_1 МПа	S , %	P_{cp} МПа	P , кН	M_{np} кН.м	W_{np} кВт	f
1	0,44	12	492,8	10	74	7	502,7	538,3	-0,4	-13	0,053
2	0,36	18,2	615,5	74	92	7,9	614,2	771,7	1,7	52	0,057
3	0,3	16,7	695,8	92	104	7,5	697,5	815,4	1,7	50	0,056
4	0,25	16,7	748,9	104	112	7,7	768,4	871,3	1,7	51	0,056
5	0,22	12	792,8	112	15	5,3	807,4	796,9	3,2	96	0,053
Σ									7,9	236	

Таблиця 5 – Енергосилові параметри прокатки жерсті 0,25x400 мм зі сталі 08кп (підкат відпалений), $V = 3$ м/с за натягу $0,15\beta\sigma_{Tcp}$, $\sigma_{T0} = 260$ МПа

№	h , мм	ε , %	$\beta\sigma_{Tcp}$ МПа	q_0 МПа	q_1 МПа	S , %	P_{cp} МПа	P , кН	M_{np} кН.м	W_{np} кВт	f
1	0,52	13,3	501,5	10	75	7,6	511,5	703,9	-0,3	-9	0,054
2	0,42	19,2	626,9	75	94	8,2	620,7	970,8	2,5	75	0,058
3	0,35	16,7	705,3	94	106	7,4	692,4	972,2	2,2	67	0,056
4	0,3	14,3	752	106	113	6,7	734	936,6	1,9	56	0,055
5	0,25	16,7	814,4	113	15	6,9	840,6	1126,3	4,5	134	0,056
Σ									10,8	323	

Порівнюючи витрати сумарного моменту та потужності на деформацію (табл.1-6), можна побачити, що при більших натягах в кожному проході зменшується сила прокатки, що звісно є дуже позитивним фактором, також знижується момент та потужність деформації. Зниження їх сумарних величин складає відповідно: 7,2% та 8,4% при прокатці жерсті №22; 8,1% та 7,8% – жерсті №25; 14,5% та 14,1% – жерсті №28.

Необхідно звернути увагу на те, що зниження енерговитрат розраховували без врахування негативних значень, оскільки двигун в цих випадках працює в генераторному режимі, момент M_{np} та потужність W_{np} прокатки враховують витрати на створення переднього та заднього натягів.

Таблиця 6 – Енергосилові параметри прокатки жерсті 0,28х450 мм мм зі сталі 08кп (підкат відпалений), $V = 3$ м/с за натягу $0,15 \beta \sigma_{Tcp}$, $\sigma_{T0} = 260$ МПа

№	h , мм	ε , %	$\beta \sigma_{Tcp}$ МПа	q_0 МПа	q_1 МПа	S , %	P_{cp} МПа	P , кН	M_{np} кНм	W_{np} кВт	f
1	0,48	20	541,5	10	81	10	584,6	1094,4	1	29	0,058
2	0,36	25	678,5	81	102	10	714,3	1391,7	4,1	122	0,061
3	0,28	22,2	757,9	102	15	9	840,4	1478,8	5,9	176	0,06
Σ									11	327	

Розрахунок приблизного економічного ефекту від впровадження запропонованих режимів обтиснень показано в табл. 7.

Таблиця 7 – Розрахунок річного економічного ефекту від впровадження розроблених режимів натягів

Параметр	жерсть №22	жерсть №25	жерсть №28
Товщина жерсті h , мм	0,22	0,25	0,28
Ширина жерсті b , мм	350	400	450
Маса рулону, т	8	8	8
Швидкість прокатки V , м/с	3	3	3
Довжина жерсті в рулоні, м	13235	10191	8088
Машинний час прокатки t_m , с	4412	3397	2696
Час пауз t_p , с	50	50	50
Темп прокатки рулону T , с	4462	3447	2746
Річна витрата електроенергії на деформацію до удосконалення режимів, кВт	2239653,5		
Річна витрата електроенергії на деформацію за запропонованими режимами, кВт	2005185		
Річна економія електроенергії кВт	234468,5		
Ціна 1 кВт електроенергії, грн.	0,7797		
Річна економія електроенергії, грн	182815,1		

Висновки. При розробці режиму обтиснень враховують можливості встановленого устаткування, вимоги, які пред'являються до готової продукції, хімічний склад і механічні властивості матеріалу штаби (підкату), стан поверхні підкату і інструмента, властивості технологічного змащення, швидкісні і температурні умови прокатки та технологічні обмеження, зокрема, повинна забезпечуватися поздовжня стійкість штаби. Запропоновано режими натягів для стану 550 комбінату “Запоріжсталь”, за якими забезпечується зниження енерговитрат на ведення процесу прокатки жерсті. Річний економічний ефект складає приблизно 182,8 тис. грн.

ЛІТЕРАТУРА

1. Василев Я.Д. Производство полосовой и листовой стали / Я.Д.Василев, М.М.Сафьян. – К.: Вища школа, 1975. – 192с.
2. Василев Я.Д. Инженерные модели и алгоритмы расчета параметров холодной прокатки / Я.Д.Василев. – М.: Металлургия, 1995. – 368с.

3. Прокатные станы: справочник в 3-х томах. Листопрокатные станы и профилегибочные агрегаты / [В.Г.Антипин, Д.К.Нестеров, Кизиев В.Г. и др.]. – М. Металлургия, 1992. – Т. 3. – 429с.
4. Кузнецов Л.А. Применение УВМ для оптимизации тонколистовой прокатки / Л.А.Кузнецов. – М.: Металлургия, 1988. – 304с.
5. Романюк Р.Я. Підвищення поздовжньої сталості процесу тонколистової прокатки на основі розвитку теоретичних положень щодо контактної взаємодії полоси з валками: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.03.05 „Процеси та машини обробки тиском” / Р.Я.Романюк. – Дніпропетровськ, 2012. – 19с.

Надійшла до редколегії 30.05.2013.

УДК 621.771.0

МАКСИМЕНКО О.П., д.т.н., професор
ИЗМАЙЛОВА М.К., к.т.н, доцент
ПОНОМАРЕНКО А.С., студент

Днепродзержинский государственный технический университет

К ВОПРОСУ О БАЛАНСЕ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ

Введение. При оценке захватывающей способности валков в теории прокатки рассматривается соотношение между втягивающими металл в очаг деформации и выталкивающими контактными силами. Условия захвата в установившемся процессе также зависят от режима натяжения полосы, особенно в тех случаях, когда заднее натяжение больше переднего. Как показывает исследование [1], наряду с указанными силами в очаге деформации действует результирующая продольных сил пластически деформируемого металла. Эта средняя результирующая является силой сопротивления продольному течению металла. Кроме того, при высокоскоростной стационарной прокатке возможно возникают значительные динамические силы по причине нарастания скорости частиц металла в очаге деформации. Они также направлены против хода прокатки.

Постановка задачи. Цель настоящего исследования заключается в количественной оценке вышеперечисленных сил сопротивления по отношению к общему балансу горизонтальных сил в зоне контакта полосы с валками. Как известно, силы трения, действующие в зоне опережения, $T_{оп}$ представляют собой резерв для дальнейшего увеличения угла захвата. Поэтому определим соотношение между запасом $T_{оп}$ и выше указанными силами сопротивления.

Результаты работы. Используя методику [1], рассчитаем среднюю результирующую продольных сил пластически деформируемого металла $Q_{\tilde{n}\delta}^*$ для случая прокатки относительно тонкой полосы, когда при расчете контактных напряжений правомерно воспользоваться дифференциальным уравнением равновесия Т.Кармана. Пусть прокатка ведется в валках радиусом $R=100$ мм, угол захвата равен $\alpha_y = 0,17$ рад., коэффициент трения составляет $f_y = 0,2$, конечная толщина полосы $h_1 = 3,75$ мм и параметр формы $\frac{l_d}{h_{\tilde{n}\delta}} = 3,27$. При заданных условиях деформации рассчитаем контактные напряжения и определим текущую продольную силу:

$$Q_{x\dot{\delta}} = \sigma_x h_x b$$

или в безразмерном виде:

$$Q_{x\dot{\delta}}^* = \frac{Q_{x\dot{\delta}}}{2kRb} = \frac{Q_x}{2k} \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right), \quad (1)$$

где σ_x – продольные нормальные напряжения;

$2k$ – сопротивление металла пластической деформации;

φ – текущий угол в очаге деформации;

b – ширина полосы.

Результаты расчета представлены графиками на рис.1.

Как видно, текущая сила $Q_{x\dot{\delta}}^*$ на границах очага деформации принимает нулевое значение, а в остальных сечениях является сжимающей, направленной против хода прокатки. Среднее результирующее значение этой силы равно

$$Q_{\dot{n}\delta\dot{\delta}}^* = \frac{1}{\alpha_y} \int_0^{\alpha_y} Q_{x\dot{\delta}}^* d\varphi = 0,00526.$$

На преодоление $Q_{\dot{n}\delta\dot{\delta}}^*$ требуется дополнительная энергия контактных втягивающих сил, что вызывает сокращение зоны опережения. Резерв сил трения в зоне опережения $T_{\dot{n}}^* = \frac{T_{\dot{n}}}{2kRb}$ определим непосредственно по эпюре контактных касательных напряжений. Этот запас при указанных условиях прокатки составляет: $T_{\dot{n}}^* = 0,014$. Тогда отношение $\frac{Q_{\dot{n}\delta\dot{\delta}}^*}{2T_{\dot{n}}^*} = 36,9\%$.

Таким образом, средняя результирующая продольных сил пластически деформируемого металла составляет значительную долю от резерва сил трения в зоне опережения и в общем балансе продольных сил, действующих в очаге деформации, ее необходимо учитывать.

Оценим динамическую составляющую продольных сил при стационарном процессе прокатки. Как известно, общее ускорение частицы металла в очаге деформации определяется следующим способом [2]:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z}.$$

В случае стационарного процесса $\frac{\partial v_x}{\partial t} = 0$. Тогда при прокатке относительно широкой и тонкой полосы можно принять

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = v_x \frac{\partial v_x}{\partial x},$$

и в первом приближении среднее ускорение металла в очаге деформации будет:

$$a_{\dot{n}\delta} = \frac{v_1 - v_0}{t} = \frac{(v_1 - v_0)v_{\dot{a}}}{l_{\dot{n}\dot{i}}}, \quad (2)$$

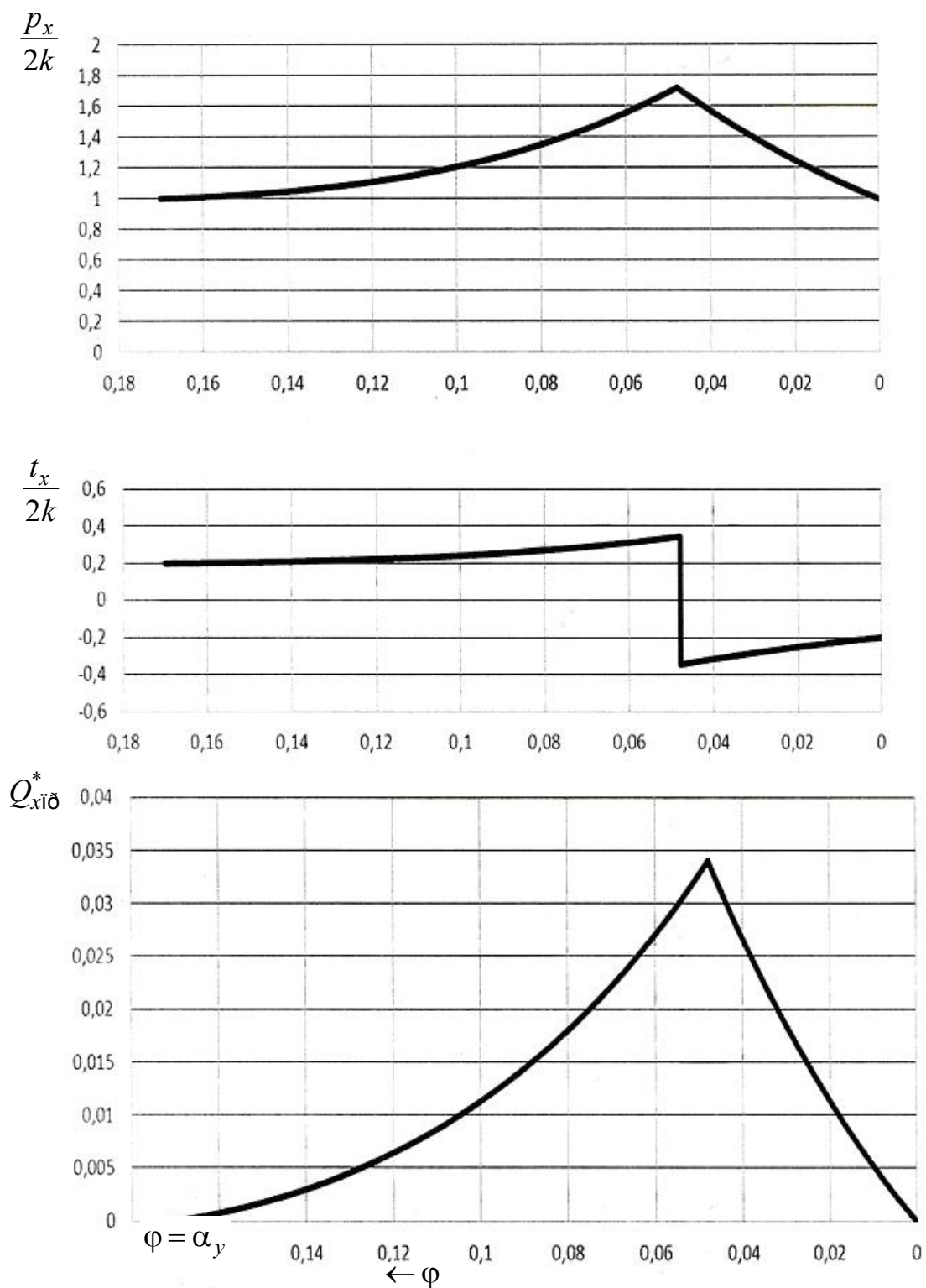


Рисунок 1 – Распределение контактных напряжений и текущей продольной силы в очаге деформации

где v_0, v_1 – скорость полосы при входе в очаг деформации и при выходе из него;
 v_a – линейная скорость вращения валков;
 t – время прохождения частицы металла через очаг деформации;
 $l_{\tilde{n}\tilde{i}}$ – длина сплюсненного очага деформации.

В результате динамическую силу, возникающую за счет ускорения частиц металла в зоне контакта полосы с валками при стационарном процессе, можно определить так:

$$F_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{i}} = \rho \frac{h_0 + h_1}{2} l_{\ddot{n}\ddot{i}} b \frac{1}{g} \frac{v_1 - v_0}{l_{\ddot{n}\ddot{i}}} v_{\ddot{a}}$$

или в безразмерном виде

$$F_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{i}}^* = \frac{F_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{i}}}{2kRb}, \quad (3)$$

где ρ – плотность металла;

g – ускорение свободного падения.

Оценим значимость каждой из названных выше выталкивающих сил ($Q_{\ddot{n}\ddot{\delta}\ddot{i}\ddot{\delta}}^*$; $Q_i^* = \frac{\sigma_0 h_0 - \sigma_1 h_1}{2kR}$ – безразмерная результирующая сил натяжения и $F_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{i}}^*$) по отношению к резерву сил трения в зоне опережения при прокатке жести на стане 1400 [3].

Исходные данные, необходимые для расчета контактных напряжений, приведены в табл.1, где $l_{\ddot{n}\ddot{i}}$ и $\alpha_{\ddot{n}\ddot{i}}$ – сплюснутая длина очага деформации и угла захвата; P – сила прокатки; $p_{\ddot{n}\ddot{\delta}}$ – среднее давление металла на валки.

Таблица 1 – Геометрические, кинематические и силовые параметры при прокатке жести размерами 0,22x890 мм на стане 1400

Номер клетки	Толщина, мм		Удельное натяжение		f_y f_y	P , Мн	$p_{\ddot{n}\ddot{\delta}}$, МПа	$l_{\ddot{n}\ddot{i}}$, мм	$\alpha_{\ddot{n}\ddot{i}}$	Скорость, м/с	
	h_0	h_1	$\frac{\sigma_0}{2k}$	$\frac{\sigma_1}{2k}$						v_0	v_1
1	2,4	2,11	0,091	0,15	0,075	6,4	609	11,8	0,0246	2,8	3,18
2	2,11	1,29	0,15	0,18	0,07	9,4	717	14,7	0,0558	3,18	5,2
3	1,29	0,79	0,18	0,22	0,06	9,22	781	13,2	0,0379	5,2	8,5
4	0,79	0,49	0,22	0,25	0,05	8,95	835	12,0	0,025	8,5	13,7
5	0,49	0,345	0,25	0,26	0,05	8,39	943	10,0	0,0145	13,7	19,5
6	0,345	0,22	0,26	0,1	0,05	9,98	1108	10,0	0,0124	19,5	30,6

Ввиду того, что процесс прокатки во всех клетях совершается устойчиво и качественная картина распределения контактных напряжений и текущей силы $Q_{\ddot{x}\ddot{i}\ddot{\delta}}^*$ подобна, на рис.2 приведено изменение этих величин по длине очага деформации полосы для второй клетки. Заметим, что на участке зоны контакта полосы с валками, характеризваемым текущим углом $\varphi < 0,01$, напряжения σ_x изменяют свое направление в результате действия переднего натяжения. Поэтому на этом участке текущая сила $Q_{\ddot{x}\ddot{i}\ddot{\delta}}^*$ является растягивающей и способствует процессу прокатки. Результаты расчета относительных выталкивающих сил $\frac{Q_{\ddot{n}\ddot{\delta}\ddot{i}\ddot{\delta}}^*}{2T_{\ddot{i}\ddot{i}}^*}$, $\frac{Q_i^*}{2T_{\ddot{i}\ddot{i}}^*}$, $\frac{F_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{i}}^*}{2T_{\ddot{i}\ddot{i}}^*}$ приведены в табл.2.

Анализ приведенных в табл.2 расчетных данных показывает, что результирующая сил натяжения Q_i^* направлена в сторону прокатки только в первой клетке, в осталь-

$$Q_{cp}^* = 0,00008$$

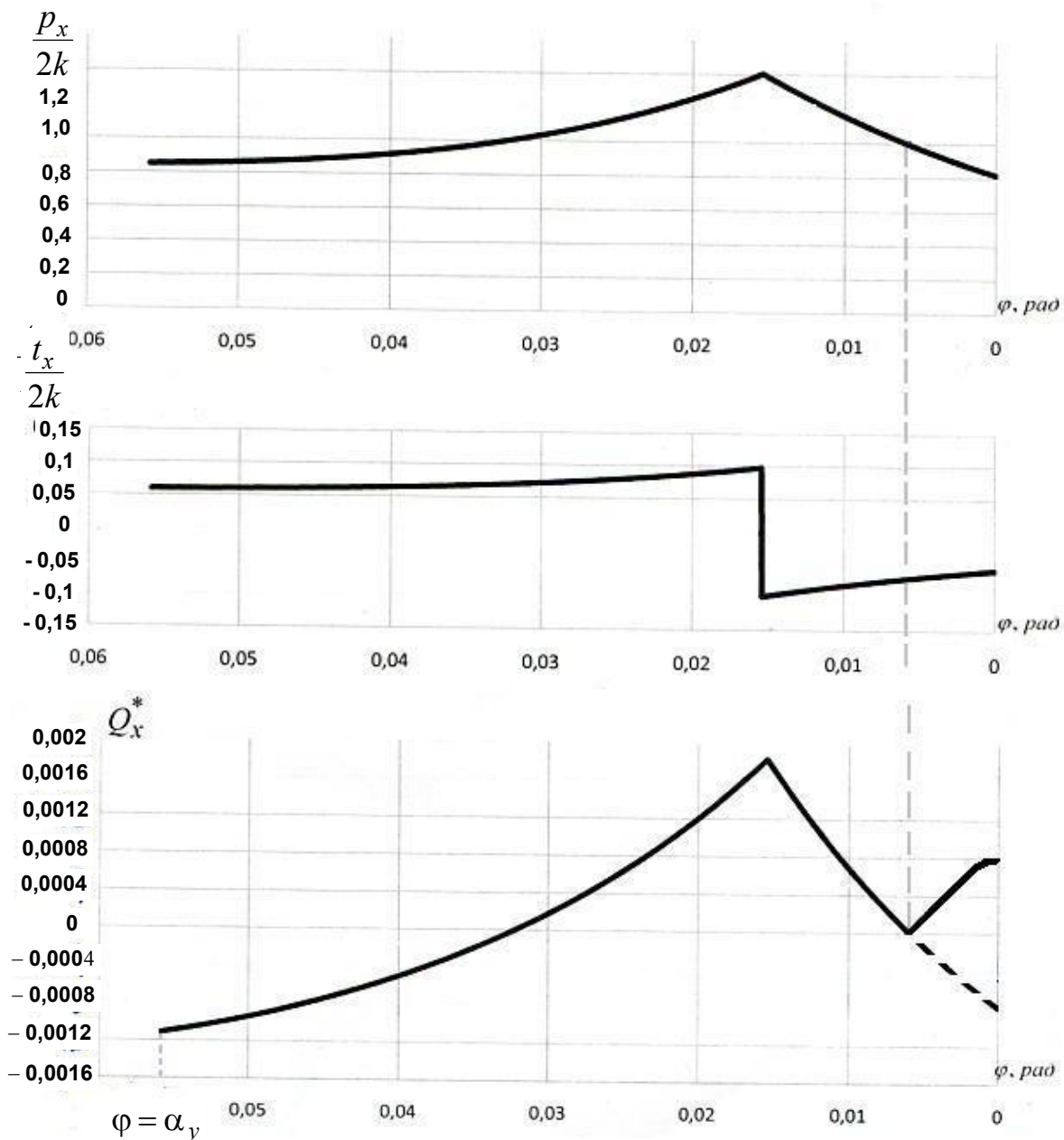


Рисунок 2 – Эпюры контактных напряжений и текущей продольной силы при прокатке во второй клетки стана 1400

ных клетях ее необходимо преодолевать втягивающим силам. Отношение $\frac{Q_i^*}{2T_{ii}^*}$ по клетям стана 1400 изменяется от 11% до 33% и при оценке продольной устойчивости процесса результирующую сил натяжения необходимо учитывать. Результирующая продольных сил пластически деформируемого металла $Q_{\dot{n}\dot{\delta}\dot{\delta}}^*$ во всех клетях направлена противоположно к движению полосы, что подтверждает устойчивый характер прокатки. Отношение этой силы к резерву сил трения в зоне опережения по клетям

стана 1400 колеблется от 6,9% до 21,8%, что указывает на значительность силы $Q_{\dot{\delta}\dot{\delta}}^*$.

Таблица 2 – Расчеты средних значений выталкивающих из очага деформации сил в клетях стана 1400

Но- мер кле- ти	$a_{\dot{\delta}} \cdot 10^3$ м/с ²	$2k$, МПа	$Q_{\dot{\delta}\dot{\delta}}^*$ 10^{-3}	Q_i^* 10^{-3}	$F_{\dot{\alpha}\dot{\epsilon}\dot{\iota}}^*$ 10^{-5}	$2T_{\dot{\iota}\dot{\iota}}^*$ 10^{-2}	$\frac{Q_{\dot{\delta}\dot{\delta}}^*}{2T_{\dot{\iota}\dot{\iota}}^*}$, %	$\frac{Q_i^*}{2T_{\dot{\iota}\dot{\iota}}^*}$, %	$\frac{F_{\dot{\alpha}\dot{\epsilon}\dot{\iota}}^*}{2T_{\dot{\iota}\dot{\iota}}^*}$, %
1	0,1	290	0,16	-0,33	0,025	0,16	15	20,3	0,015
2	0,69	350	0,56	0,28	0,13	0,19	8,2	14,4	0,07
3	2,06	405	0,38	0,19	0,16	0,17	8,2	11,1	0,08
4	5,8	490	0,34	0,17	0,23	0,09	6,7	18,9	0,26
5	11,08	580	0,22	0,11	0,25	0,056	7,1	19,6	0,4
6	31,8	672	0,46	0,23	0,37	0,055	21,8	33,5	0,67

Несмотря на то, что ускорение частиц металла в очаге деформации значительно, возникающие в очаге деформации динамические силы при стационарном процессе весьма малы, меньше одного процента от резерва сил трения $2T_{\dot{\iota}\dot{\iota}}^*$.

Выводы. При оценке продольной устойчивости прокатки жести на стане 1400 необходимо учитывать результирующую сил натяжения и среднюю по очагу деформации продольную силу пластически деформируемого металла. Динамическими силами $F_{\dot{\alpha}\dot{\epsilon}\dot{\iota}}^*$, ввиду их малости, можно пренебречь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максименко О.П. Анализ продольных условий прокатки с учетом продольных сил пластически деформируемого металла / О.П.Максименко, Д.И.Лобойко // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА. – 2012. – № 4 (33). – С.60-64.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды / Л.И.Седов. – М.: Наука, 1970. – Т.1 – 492с.
3. Василев Я.Д. Производство жести методом двойной прокатки / Я.Д.Василев, А.В.Дементченко, С.Г.Горбунов. – М.: Металлургия, 1994. – 124с.

Поступила в редколлегию 30.05.2013.