



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-55-59>
УДК 621.771.06-114

Поступила 23.01.2024
Received 23.01.2024

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ГОРЯЧЕКАТАНОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА В СРЕДЕ QFORM VX С ТЕХНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЛПК АО «УЗМЕТКОМБИНАТ»

Ж. О. ОЛИМЖОНОВ, АО «Узметкомбинат», г. Бекабад, Узбекистан, ул. Сирдарё, 1
Н. И. ШЕРБУТАЕВ, ООО «Ташкентский металлургический завод», г. Ташкент, Узбекистан, ул. ТКАД, 1
А. С. ТАТАРУ, НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия, Ленинский пр., 4. E-mail: j.olimjonov@uzbeksteel.uz

Проведен анализ методики расчета параметров горячекатаной полосы из низкоуглеродистой стали на широкополосном стане 1600, по результатам которого разработана компьютерная программа для быстрого расчета параметров прокатки. Построена твердотельная модель и выполнено моделирование процесса прокатки в среде QForm. Проведен сравнительный анализ полученных данных с паспортными данными агрегата «Danieli». Установлено, что результаты моделирования не превышают предельно допустимых значений отклонений по усилию прокатки и геометрическим параметрам горячекатаной полосы.

Ключевые слова. Листовая прокатка, продольная прокатка, рабочие валки, опорные валки, реверсивный стан, непрерывный стан, горячая прокатка, холодная прокатка.

Для цитирования. Олимжонов, Ж. О. Сравнительный анализ результатов моделирования процесса прокатки горячекатаного листового проката в среде QForm VX с техническими характеристиками ЛПК АО «Узметкомбинат» / Ж. О. Олимжонов, Н. И. Шербутаев, А. С. Татару // *Литье и металлургия*. 2024. № 1. С. 55–59. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-55-59>.

COMPARATIVE ANALYSIS OF HOT-ROLLED SHEET ROLLING PROCESS MODELING RESULTS IN QFORM VX ENVIRONMENT WITH TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE HOT STRIP MILL OF JSC “UZMETKOMBINAT”

J. O. OLIMZHONOV, JSC “Uzmetkombinat”, Bekabad, Uzbekistan, 1, Sirdaryo str.
N. I. SHERBUTAYEV, JV LLC “Toshkent Metallurgiya Zavodi”, Tashkent, Uzbekistan, 1, TKAD str.
A. S. TATARU, National University of Science and Technology “MISiS”, Moscow, Russia, 4, Leninskiy ave.
E-mail: j.olimjonov@uzbeksteel.uz

The paper presents an analysis of the methodology for calculating the parameters of hot-rolled low-carbon steel strip on a 1600 wide strip mill. Based on the analysis, a computer program for quick calculation of rolling parameters has been developed. A solid-state model was constructed and the rolling process was simulated in the QForm environment. A comparative analysis was carried out with the passport data of the “Danieli” unit based on the modeling results. The obtained modeling results do not exceed the maximum allowable deviations for rolling force and geometric parameters of the hot-rolled strip.

Keywords. Sheet rolling, longitudinal rolling, work rolls, backup rolls, reversing mill, continuous mill, hot rolling, cold rolling.

For citation. Olimzhonov J. O., Sherbutayev N. I., Tataru A. S. Comparative analysis of hot-rolled sheet rolling process modeling results in QForm VX environment with technical characteristics of the hot strip mill of JSC “Uzmetkombinat”. *Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 1, pp. 55–59. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-1-55-59>.

Введение

В настоящее время в АО «Узметкомбинат» идет строительство литейно-прокатного комплекса (ЛПК) [1]. Изготовителем оборудования является концерн «Danieli» (г. Буттрио, Италия) – один из крупнейших мировых производителей. В соответствии с проектом, в состав основного оборудования ЛПК будет входить непрерывный широкополосный стан с длиной бочки рабочих валков 1600 мм.

В статье рассмотрена и проанализирована технология производства горячекатаного широкополосного проката, состав, технические характеристики и расположение основного оборудования прокатного

комплекса. Выполнен анализ существующих методик расчета параметров прокатки: деформационного, температурного, скоростного режимов, энергосиловых параметров и т.п. Построена твердотельная модель валков чистовых клетей прокатного стана и проведено моделирование процесса прокатки горячекатаного листа в среде QForm VX. Выполнено сравнение результатов моделирования с техническими характеристиками ЛПК «Danieli».

Характеристика ЛПК АО «Узметкомбинат»

Мощность ЛПК – 1,04 млн т в год горячекатаного листового проката в рулонах. Прокатный стан состоит из 5 прокатных клетей кварто: 3 клетки – черновая группа, 2 клетки – чистовая. Клетки кварто оборудованы парой рабочих валков гладкого профиля и парой опорных валков для придания дополнительной жесткости по всей поверхности валка. Прокатка происходит непрерывно, т.е. раскатанная полоса находится одновременно во всех клетях стана. Основные технические характеристики клетей представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Технические характеристики клетей

Характеристика	Значение				
	K1	K2	K3	K4	K5
Клеть					
Максимальная скорость прокатки, м/с	3,50	5,44	10,20	14,32	18,23
Максимальное усилие прокатки, кН	38000	38000	38000	32000	32000
Максимальный крутящий момент на рабочем валке, кНм	980,1	646,8	372,4	169,9	130,72
Модуль жесткости клетки, кН/мм	6000	6000	6000	6000	5400
Опорные валки					
Длина бочки, мм	1400	1400	1400	1400	1400
Максимальный диаметр, мм	1350	1350	1350	1350	1350
Минимальный диаметр, мм	1230	1230	1230	1230	1230
Рабочие валки					
Минимальный диаметр, мм	730	730	730	560	560
Максимальный диаметр, мм	810	810	810	630	630
Длина бочки, мм	1600	1600	1600	1600	1600

Программа расчета параметров прокатки горячекатаной полосы

На основе методики расчета параметров прокатки [2] на агрегате производства горячекатаной полосы разработана компьютерная программа с использованием Microsoft Office Excel. Интерфейс программы показан на рис. 1.

Моделирование и расчет процесса горячей прокатки в среде QForm VX

Анализ производства горячекатаной полосы проводили путем моделирования процесса прокатки в среде QForm VX [3, 4].

Использовали следующие параметры входной заготовки: толщина сляба 40–60 мм, ширина 800–1300 мм, максимальная длина 59 м, максимальный вес 30 т.

Параметры выходного продукта: толщина горячекатаного проката 1,4–12,0 мм, ширина 800–1300 мм, максимальный вес 30 т.

Моделирование проводили для профиля 2,80×1260. В табл. 2 и 3 представлены основные рассчитанные параметры технологического режима прокатки, на рис. 2 показано относительное обжатие заготовки по клетям на стане горячей прокатки.

На рис. 3 дан общий вид рабочих валков чистовых клетей № 1–5.

Исходные условия, по которым проводилось моделирование в среде QForm VX, указаны в табл. 4. Энергосиловые параметры (ЭСП), полученные в результате моделирования и расчета, отражены на рис. 4 и в табл. 5.

По результатам моделирования и расчета минимальный запас прочности составил 18,5%.

Помимо ЭСП и технологических режимов прокатки, с помощью моделирования в среде QForm VX получены геометрические параметры – толщина полос (табл. 6, рис. 5). Согласно сравнительному анализу, отклонение по толщине не превышает 1,5%.

Постоянные параметры				Постоянные параметры			
Указ	В	м/с	коэффициент	У	В	м	коэффициент
V_{max}	8	К	скорость в последней клетке	1,10	Ладе (1,0-1,15)		
T_p	1323	К	температура металла перед прокаткой	S	0,934		
l	11	м	расстояние до чистой клетки	σ_0	87,6	МПа	предел текучести
V_{in}	1	м/с	скорость	a	0,125		коэффициент
t	11	с	время охлаждения	b	0,266		коэффициент
Δt_{max}	10,140	°C	время охлаждения заготовки при транспортировке ее от печи до клетки	c	-2,46		коэффициент
Δt_r	11,000	°C	потери температуры в зоне гидросбива	B	1300	мм	ширина проката

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА														
Клеть	Толщина полосы, мм		Обжатие, %	Скорость прокатки, м/с	Радиус вала, мм	Температура вала, °C	Длина очага деформации, мм	Температура металла на входе, °C	Температура изменения после контакта, °C	Увеличение температуры за счет пластической деформации, °C	Температура на выходе, °C	Расстояние между клетями, м	Время остывания металла между клетями, с	Потери температуры между клетями, °C
	h_0	h												
F1	60,00	30,00	50,00%	0,81	405,00	80,00	110,23	1028,86	21,86	15,83	1022,83	5,50	3,60	6,14
F2	30,00	15,90	47,00%	1,53	405,00	80,00	75,57	1016,70	25,26	17,96	1009,40	5,50	2,05	6,33
F3	15,90	9,06	43,02%	2,68	405,00	80,00	52,43	1003,07	28,47	19,52	994,13	5,50	1,23	6,34
F4	9,06	5,43	40,07%	4,48	315,00	80,00	33,81	987,78	29,65	19,95	978,09	5,50	0,69	5,64
F5	5,43	3,04	44,01%	8,00	315,00	80,00	27,44	972,46	34,03	30,06	968,49			

РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ																		
Клеть	Толщина полосы, мм		Обжатие, %	Скорость прокатки, м/с	Радиус вала, мм	Скорость прокатки, 1/с	Длина очага деформации, мм	Температура металла на входе, °C	Сопротивление деформации, Мпа	Отношение длины очага деформации к средней толщине	Среднегеометрическая толщина, мм	Коэффициент трения	Коэффициенты				Среднее давление на контакте, МПа	Усилие прокатки, МН
	h_0	h											ϵ	v	R_0	$\omega_{ср}$		
F1	60,00	30,00	50,00%	0,81	405,00	3,68	110,23	1028,86	137,74	2,45	42,43	0,498	3,66	2,717	1	0,726	411,71	59,00
F2	30,00	15,90	47,00%	1,53	405,00	9,51	75,57	1016,70	157,12	3,29	21,84	0,504	5,40	3,205	1	0,779	553,88	54,41
F3	15,90	9,06	43,02%	2,68	405,00	21,94	52,43	1003,07	176,11	4,22	12,00	0,510	7,85	2,054	1	0,669	397,97	27,23
F4	9,06	5,43	40,07%	4,48	315,00	53,07	33,81	987,78	200,41	4,67	7,01	0,517	9,64	2,167	1	0,699	477,69	21,00
F5	5,43	3,04	44,01%	8,00	315,00	128,33	27,44	972,46	238,47	6,68	4,06	0,524	12,04	2,620	1	0,763	687,19	24,51

Рис. 1. Интерфейс программы расчета параметров горячей прокатки

Таблица 2. Технологические режимы прокатки

Номер клетки	Диаметр рабочих валков, мм	Толщина на входе, мм	Толщина на выходе, мм	Обжатие, %	Угол захвата, градус	Ширина проката, мм
K1	810	50,00	21,90	56,20	15,14	1256,36
K2	810	21,90	10,00	54,34	9,83	1259,05
K3	810	10,00	5,70	43,00	5,91	1260,02
K4	630	5,70	3,65	35,96	4,62	1260,48
K5	630	3,65	2,80	23,29	2,98	1260,67

Таблица 3. Динамические параметры прокатки

Номер клетки	Частота вращения валков, об./мин	Усилие на валки		Момент прокатки		Температура металла, °C	Расстояние между клетями, м
		Т	МН	Т/М	МН/М		
K1	13,3	2978	29,20	279,03	2,736	996	5,5
K2	28,2	3200	31,38	172,95	1,696	971	
K3	50,1	2630	25,79	83,91	0,823	943	
K4	102,1	1788	17,53	34,42	0,337	915	
K5	136,6	1266	12,415	15,44	0,151	882	

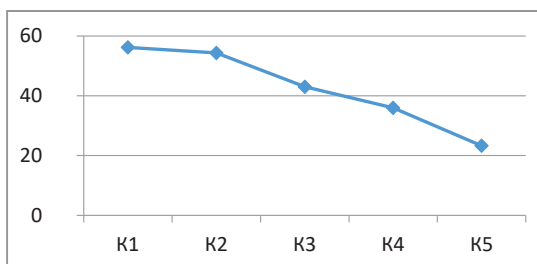
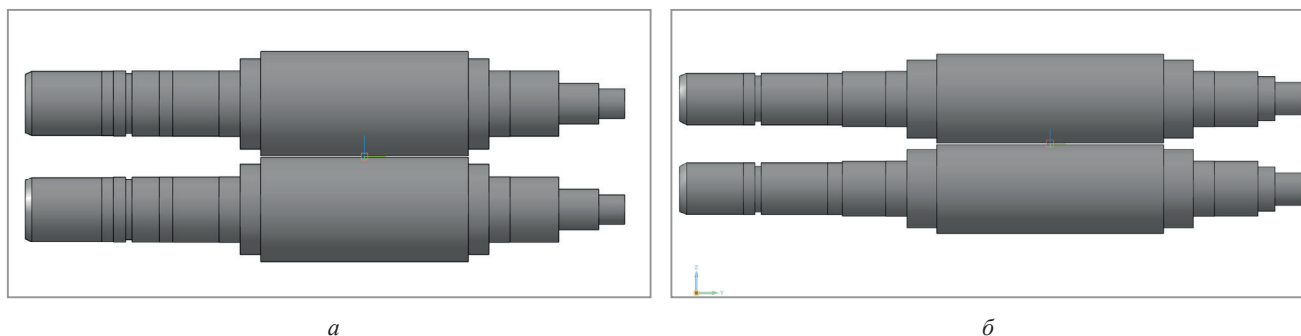


Рис. 2. Относительное обжатие по клетям на стане горячей прокатки, %



а

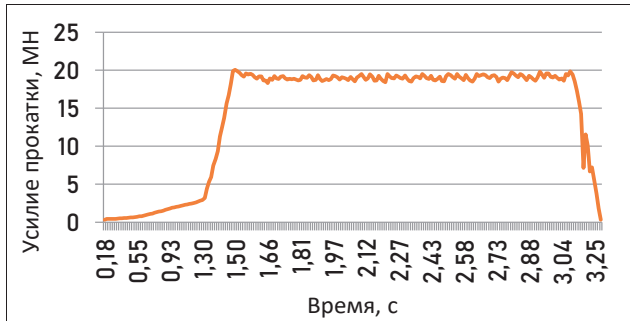
б

Рис. 3. Рабочие валки стана горячей прокатки:

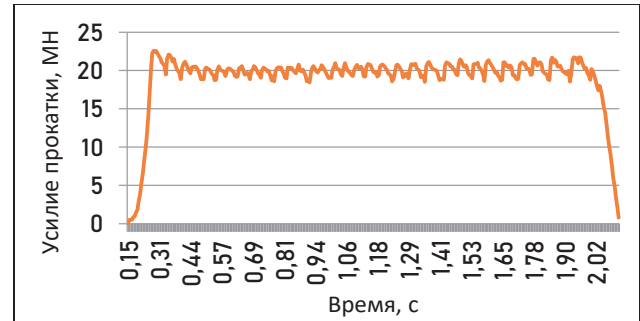
а – клетки № 1–3: ширина 1600 мм, диаметр 810 мм; б – клетки № 4, 5: ширина 1600 мм, диаметр 630 мм

Таблица 4. Условия моделирования в среде QForm VX

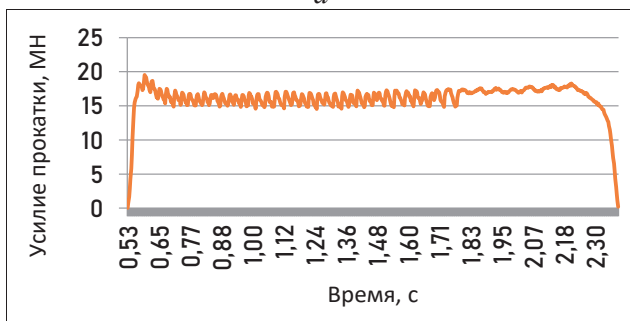
Размер исходной заготовки листа, мм	Температура заготовки, °С	Температура валков, °С	Материал заготовки	Материал валков	Коэффициент скольжения
50×1260	1200	80	Сталь 10	3Х3М3Ф	0,8



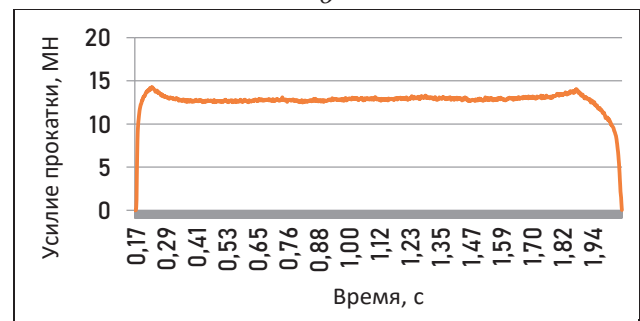
а



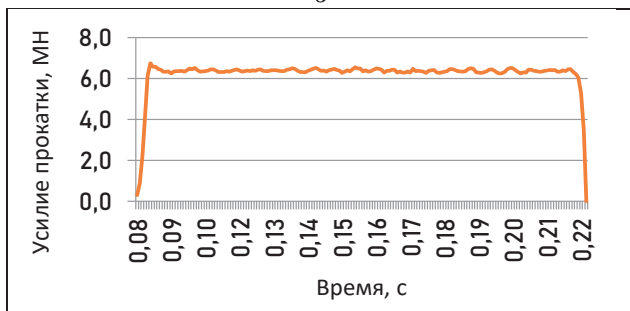
б



в



г



д

Рис. 4. График зависимости усилия прокатки от времени: а – ЭСП клетки № 1; б – № 2; в – № 3; г – № 4; д – ЭСП клетки № 5

Таблица 5. Сравнительный анализ энергосиловых параметров

Номер клетки	Усилие прокатки в QForm, МН	Допустимое усилие, МН	Запас прочности, %
К1	20,06	29,20	31,2
К2	22,06	31,38	29,7
К3	19,53	25,79	24,3
К4	14,29	17,53	18,5
К5	6,74	12,42	45,7

Таблица 6. Сравнительный анализ геометрических параметров полосы

Номер клетки	Толщина на выходе по результатам QForm, мм	Толщина, требуемая на выходе, мм	Отклонение, %
К1	21,92	21,90	0,11
К2	10,11	10,00	1,15
К3	5,79	5,70	1,50
К4	3,68	3,65	0,82
К5	2,84	2,80	1,42

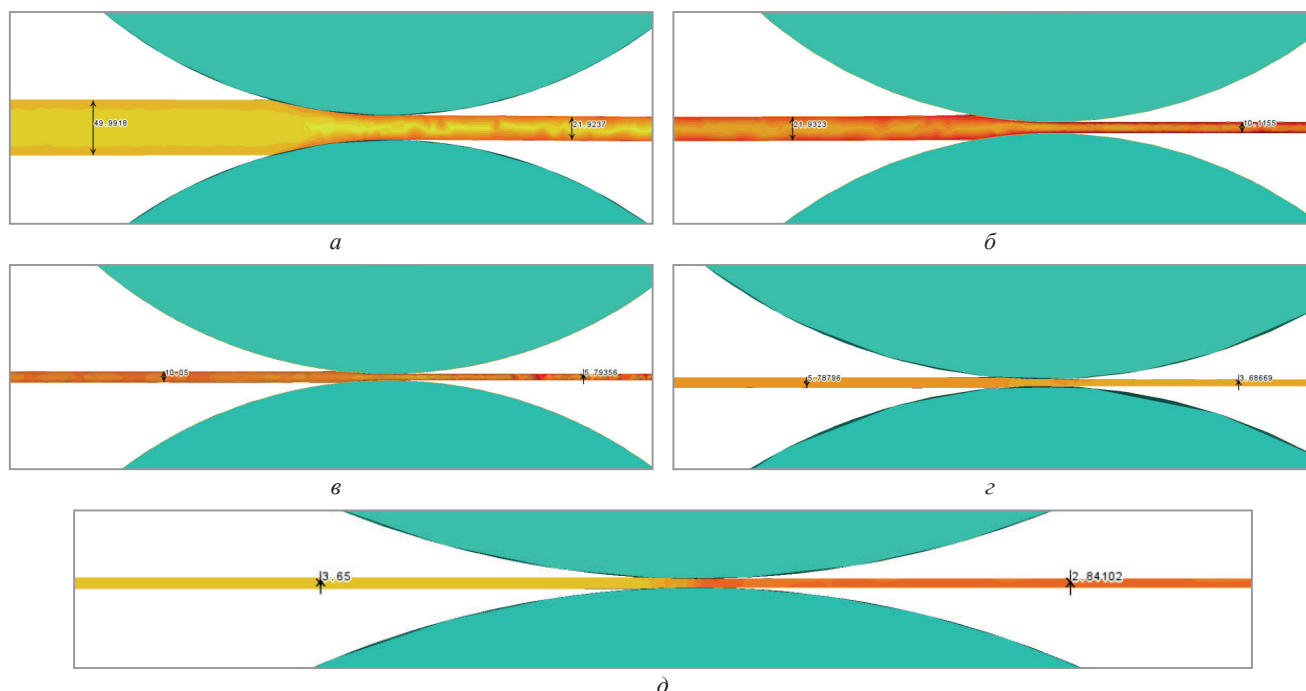


Рис. 5. Результат моделирования горячей прокатки в среде QForm VX – геометрические параметры получаемого проката: а – первый проход; б – второй; в – третий; г – четвертый; д – пятый проход

Выводы

1. Проведен анализ методики расчета параметров горячекатаной полосы, а также анализ и расчет основных технологических параметров прокатки: деформационного, температурного и скоростного режимов, ЭСП и т.п.
2. Разработана компьютерная программа для быстрого расчета параметров прокатки. Построена твердотельная модель и выполнено моделирование процесса прокатки в среде QForm. По результатам моделирования проведен сравнительный анализ с паспортными данными агрегата «Danieli».
3. Установлено, что отклонения по толщине проката не превышают 1,5%, а минимальный запас усилия составил 18,5%.
4. Проведен сравнительный анализ ЭСП горячей листовой прокатки. Результаты моделирования соответствуют паспортным данным и не превышают предельно допустимых значений по усилию прокатки, запасу прочности и геометрическим параметрам горячекатаной полосы.

ЛИТЕРАТУРА

1. О программе развития АО «Узметкомбинат» на 2021–2023 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.uzbeksteel.uz/about/328>. – Дата доступа: 29.04.2019.
2. Обработка металлов давлением: учеб. / Б. А. Романцев [и др.]. – М.: МИСиС, 2008.
3. Компьютерное моделирование технологических процессов ОМД: лаб. практ. / С. М. Крикович [и др.]. – М.: Metallurgiya, 2019.
4. Власов, А. В. Метод конечных элементов в моделировании технологических процессов обработки металлов давлением / А. В. Власов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018.

REFERENCES

1. *Investment programs* [Electronic resource]. Accessed at: <https://www.uzbeksteel.uz/about/475> (access date 29.04.2019).
2. **Romantsev B. A., Goncharuk A. V., Vavilkin N. M., Samusev S. V.** *Obrabotka metallov davleniem* [Metal forming]. Moscow, MISiS Publ., 2008.
3. **Krskovich S. M.** *Komp'yuternoe modelirovanie tehnologicheskikh processov OMD* [Computer modeling of OMD technological processes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 2019.
4. **Vlasov A. V.** *Metod konechnykh jelementov v modelirovanii tehnologicheskikh processov obrabotki metallov davleniem* [Finite element method in modeling technological processes of metal forming]. Moscow, MSTU named after N. E. Bauman Publ., 2018.