

Вместе с тем на данный момент 3D-модели еще не являются главным источником информации об изделии на многих предприятиях. Несмотря на то, что, как и многие предприятия, проектируют свои изделия в виде 3D, в итоге на их основе выпускаются конструкторскую документацию – традиционно бумажные чертежи, которые в дальнейшем и являются основным источником информации, в том числе и в производстве. Для полноценного использования 3D-моделей необходимо внедрение единой PDM (Product Data Management – система управления данными об изделии) системы, создание единой информационной среды предприятия, внедрение сквозных САПР для конструкторско-технологической подготовки, разработка и выполнение стандартов предприятия, внесение организационных изменений в существующих бизнес-процессы.

Для того чтобы перейти на цифровую трансформацию, безбумажную технологию следует: перейти на электронно-цифровой макет изделия при выпуске конструкторской документации; перейти на электронный подлинник и последовательный уход от «отвязанных» от модели чертежей, а также их бумажных версий; оснащенность техническими средствами на всех участках жизненного цикла изделия; высокопроизводительные сети; введение обязательного использования расчетных комплексов для всех видов расчетов с использованием 3D-моделей; цифровая симуляция технологического процесса.

#### Литература

1. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов : ГОСТ 2.102.
2. Единая система конструкторской документации. Электронная модель детали : ГОСТ 2.052.
3. Кондаков, А. И. САПР технологических процессов : учеб. для студентов высш. учеб. заведений / А. И. Кондаков. – М. : Академия, 2007. – 272 с.
4. Ведмедь, П. Почему внедрение новых технологий PLM происходит медленно? «ПЛИМ Урал» / П. Ведмедь, С. П. Щейников. – Режим доступа: [http://www.uppro.ru/print/library/information\\_systems/management/plmtehnologii.html](http://www.uppro.ru/print/library/information_systems/management/plmtehnologii.html).
5. Щейников, С. П. Системно-ориентированный подход к разработке продукции на базе продуктов Siemens PLM Software.
6. Интернет-ресурс: материал из Википедии.

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ КРУГЛОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО АРМАТУРНОГО ПРОФИЛЯ НА ДЕФОРМАЦИОННО-КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОНЦА ПРОКАТКИ**

**Г. А. Слепнев**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. В. Астапенко

Цель работы – провести деформационно-кинематический анализ конца прокатки арматурного профиля в условиях прокатного стана 320 СПЦ-1 ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК» для изучения параметров прокатки и совершенствования методики расчета калибров периодического арматурного профиля № 32.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

– анализ деформационно-кинематических параметров прокатки арматурного профиля № 32 по данным калибровки и телеметрии стана 320;

– проведение аналитического и численного определения параметров прокатки для клеток № 13, 17, 18 по базовому технологическому процессу;

– определение численным экспериментом основных деформационных, кинематических параметров деформации в калибрах исследуемых клеток для уточнения расчетных методик калибровки;

– анализ результатов и формулирование выводов.

Объектом исследования в работе являются деформационно-кинематические параметры прокатки периодического арматурного профиля № 32 в прокатных клетях № 13, 17, 18 мелкосортного прокатного стана 320 ОАО «Белорусский металлургический завод».

Непрерывный мелкосортный стан 320 предназначен для производства сортового и фасонного проката. Главная линия стана включает в себя черновую группу (8 клеток), промежуточную группу (6 клеток) и чистовую группу (6 клеток) [1].

Калибровка валков в клетях № 13 и 17 круг и овал соответственно, клеть № 18 чистовая, геометрия калибра предназначена для прокатки арматурного профиля № 32 по ГОСТ 34028–2016. Подкатом является полоса овального сечения, выходящая из клетки № 12 (рис. 1) [2], [3].

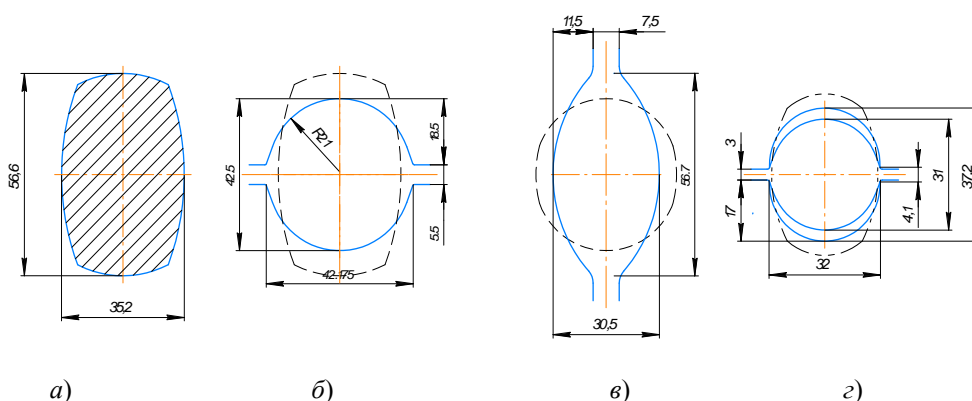


Рис. 1. Геометрия сечения подката и калибров:  
а – сечение подката из клетки № 12; б, в, г – геометрия калибров в клетях № 13, 17, 18

В табл. 1 представлены размеры валков и прокатываемой полосы, а также параметры прокатки в клетях № 13, 17, 18 в соответствии с действующим технологическим процессом.

Таблица 1

**Исходные данные телеметрии работы стана и таблицы калибровки для исследования прокатки арматурного профиля № 32**

Технологические параметры	Подкат из клетки № 12	Клеть № 13	Клеть № 17	Клеть № 18
Диаметр валков (факт.) $D_{в}$ , мм	–	293	305	277
Диаметр валка по дну калибра валка (расчет) $D_{д.к}$ , мм	–	256	282	249
Катающий диаметр валков (расчет) $D_{к}$ , мм	–	250,43	287,22	253,16

Технологические параметры	Подкат из клетки № 12	Клеть № 13	Клеть № 17	Клеть № 18
Площадь сечения $F_i$ , мм <sup>2</sup>	1730	1380	1120	832
Высота полосы $h_i$ , мм	25,20	42,50	27,50	№ 32
Ширина полосы $b_i$ , мм	56,60	50	45,30	
Число оборотов привода для действующего технологического процесса (факт.) $N_i$ , об/мин	–	577	629	717
Передаточное число $k$	–	1,620	1,538	1,227
Коэффициент трения (расчет) $f$	–	0,202	0,202	0,202
Температура полосы на выходе из клетки № 12 (расчет) $T_0$ , °C	999,464			
Скорость движения толкателя $v_{та}$ , м/с	4,10			

Для корректного определения деформационно-кинематических параметров процесса прокатки периодического арматурного профиля проведены численные эксперименты в программном пакете SimufactForming 16 с наложением на подкат из клетки № 12 сетки конечных элементов с размером ячейки 1,4 мм по методике, изложенной в [4].

В результате численного моделирования определили параметры очага деформации (рис. 2) путем построения геометрии и расчета площадей в программном пакете Компас 3D. Результаты аналитического расчета и численного эксперимента представлены в табл. 2.

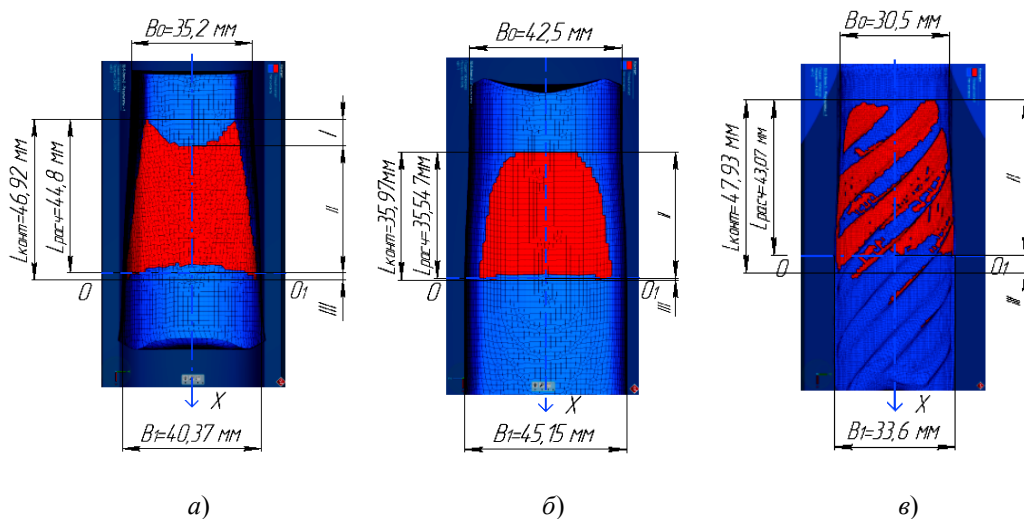


Рис. 2. Контактная поверхность очага деформации в калибрах клеток № 13, 17, 18:

$O_1-O$  – плоскость осей валков;  $X$  – ось прокатки;  $B_0$ ,  $B_1$  – исходная и конечная ширина полосы; I – зона контакта по выпускам калибра на входе в очаг деформации (ОД); II – зона одновременного контакта по выпуску и дну калибра; III – зона контакта по выпускам калибра на выходе из ОД;  $L_{\text{расч}}$  – расчетная длина дуги прокатки;  $L_{\text{конт}}$  – длина дуги контакта

## Результаты исследования

Геометрические параметры прокатки полосы		Клеть № 13	Клеть № 17	Клеть № 18
Высота полосы $H$ , мм	до прокатки $H_0$	56,60	40,37	45,15
	после прокатки $H_1$	42,50	30,50	31,00
Ширина полосы $B$ , мм	до прокатки $B_0$	35,20	42,50	30,50
	после прокатки $B_1$	40,37	45,15	33,60
Длина очага деформации $L$ , мм	$L_{\text{расч}}$	44,80	35,55	43,07
	$L_{\text{конт}}$	46,92	35,97	47,93
Угол прокатки $\alpha$ , град	расчет	19,23	15,12	19,26
	модель	19,28	15,04	18,92
Длина дуги прокатки $L_d$ , мм (формула)	расчет	42,02	37,90	42,55
	модель	41,90	37,61	42,85
Площадь контактной поверхности $F_k$ , мм <sup>2</sup>	расчет	1266,35	1335,24	1050,95
	модель	1281,55	1075,55	1376,07
Площадь поперечного сечения раската $S_n$ , мм <sup>2</sup>	расчет	1380	1145	832
	модель	1373,56	1142,13	841,28
Катающий диаметр валков $D_{ki}$ , мм	расчет	250,43	287,22	253,16
	модель	249,0679	286,6542	259,5554
Опережение $S_{1i}$	модель	0,0371	0,0353	0,0423
Отставание $S_{0i}$	модель	0,1130	0,1018	0,2016
Коэффициент вытяжки $\lambda$	расчет	1,254	1,205	1,376
	модель	1,2386	1,1935	1,3799
Момент прокатки $M$ , кНм	расчет	7,76	7,94	7,43
	модель	4,05	3,12	3,62
Усилие прокатки $P$ , кН	расчет	185,36	210,67	175,84
	модель	174,90	157,52	161,52
Мощность прокатки $W$ , кВт	расчет	288,97	340,18	454,58
	модель	157,78	127,71	221,48
Коэффициент плеча $\psi$	расчет	0,498	0,497	0,496
	модель	0,552	0,527	0,523
Плечо прокатки $a$ , мм	модель	23,14	19,81	22,41

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Выполнен аналитический расчет для определения деформационно-кинематических и энергосиловых параметров прокатки арматурного профиля № 32 на стане 320.

2. Разработана численная модель процесса прокатки в клетях № 13, 17, 18 стана 320 по действующей (базовой) технологии и выполнен анализ результатов моделирования.

3. Рассчитан и проверен численным экспериментом оптимизированный скоростной режим, существенно улучшающий силовую нагрузку на клетки № 13, 17, 18 стана 320.

4. Разработана методика для определения параметров прокатки, которая может универсально применяться и для других схем калибров.

5. Для получения боковых полос арматуры потребовалось увеличение межвалкового зазора в клетки № 17 с 4,5 до 7,5 мм на 3 мм.

#### Литература

1. Астапенко, И. В. Оборудование прокатных цехов : практикум по выполнению лаборатор. работ для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» направления 1-42 01 01-01 «Металлургическое производство и материалобработка (металлургия)» специализации 1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов давлением» днев. и заоч. форм обучения / И. В. Астапенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 47 с.
2. Барановский, Д. С. Совершенствование прокатки по «слиттинг-процессу» в контрольном калибре стана 320 ОАО «БМЗ» / Д. С. Барановский, И. В. Астапенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 г. В 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – С. 93–97.
3. Барановский, Д. С. Конструктивные решения контроля ширины полосы для горячей прокатки по «слиттинг-процессу» / Д. С. Барановский, И. В. Астапенко // Беларусь в современном мире : материалы XIV Междунар. науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 13–14 мая 2021 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Гомел. обл. орг. о-ва «Знание» ; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – С. 250–253.
4. Васильков, Д. М. Исследование параметров очага деформации полосы при прокатке в валах с ящичными калибрами черновой группы клетей стана 370/150 ОАО «БМЗ» / Д. М. Васильков, И. В. Астапенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 26–27 апр. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – С. 178–182.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СТРЕСС-ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРОКАТЕ В ЧЕРНОВОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ ЗАГОТОВКИ СЕЧЕНИЕМ 250 × 300 ММ**

**И. А. Панковец**

*ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин,  
Республика Беларусь*

Научный руководитель М. Н. Верещагин

За весь период работы стана 370/150 (начиная с октября 2015 г.) при производстве сортового проката в прутках отмечаются дефекты поверхности прокатного происхождения, такие как морщины, вкатанная окалина, деформационная рванина, чешуйчатость и др. Классификация дефектов проводилась соответствии с ГОСТ 21014. В ходе анализа причин образования поверхностных дефектов выявлена вероятная причина – снижение пластичности металла на поверхности тела раската. Для исследования и определения стресс-факторов, потенциально способных привести к снижению пластичности проведены математические эксперименты методом конечных