

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА В ОЧАГАХ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ ШИРОКОПОЛОЧНОЙ БАЛКИ В КЛЕТЯХ УНИВЕРСАЛЬНО-БАЛОЧНОГО СТАНА

Производство непрерывнолитых заготовок двутаврового сечения на МНЛЗ № 3 предусматривает их последующую прокатку в клетях универсально-балочного стана. Известно, что непрерывно-литые заготовки имеют поверхностные и внутренние дефекты литейной природы. В связи с этим важно определить напряженно-деформированное состояние непрерывно-литого металла в очаге деформации при прокатке в универсальных клетях УБС, что позволит оценить степень проработки литой структуры металла, возможность раскрытия поверхностных дефектов, условия для заваривания неокисленных пустот и пор непрерывно-литой заготовки, т. е. прогнозировать качество широкополочных балок.

Ниже представлена общая постановка для задачи моделирования процесса продольной прокатки двутавровой балки в универсальных клетях универсального балочного стана. Моделирование выполнялось в объемной постановке с использованием программного продукта ANSYS [1]. Упор сделан на определение напряженно-деформированного состояния и характер течения металла, возникающего в очаге деформации при прокатке балки ЗОШ в горизонтальных и вертикальных валках универсальных клеток ГУК1 и ГУК2 универсального балочного стана НТМК.

Материал балки в очаге деформации испытывает упругопластические деформации, которые достигают конечных значений. Поскольку их уровень высок, то при описании модели материала балки в очаге деформации учтена не только физическая, но и геометрическая нелинейность.

В очагах деформации валков с балкой принимаем закон сухого трения Кулона.

Итак, при исследовании напряженно-деформированного состояния двутавровой балки и валков при прокатке будем так же пренебрегать инерционными и массовыми силами, деформируемый металл балки считать несжимаемым и изотропно упрочняющимся, а материал валков, подчиняющимся закону Гука. При записи уравнений состояния будем использовать случай простого нагружения.

На основе анализа объемной задачи рассматривается процесс прокатки для пяти вариантов, указанных в табл. 1.

Во всех случаях рассматривалась прокатка заготовки длиной $L = 30$ м из стали 09Г2.

Диаметры горизонтальных и вертикальных валков приняты равными 1500 мм и 1000 мм соответственно.

Таблица 1

Параметры двутавровой балки, принятые для расчета

№ варианта расчета	Клеть	№ прохода	$h_{ст}$	$B_{ст}$	$\Delta h_{ст}$	h_n	B_n	Δh_n	T_m °C
			мм						
1	ГУК1	3	16,4	265	3,1	27,7	204	7,7	1040
2		5	11,6	265	2,2	17,9	201	4,2	980
3	ГУК2	7	9,1	266	1,1	13,7	197	1,8	900
4									800
5									700

Модуль упругости материала валков принят равным 209 ГПа, а коэффициент Пуассона 0,3.

Схема продольной прокатки показана на рис. 1.

Для расчета необходимо задать реологические свойства материала заготовки: модуль упругости для принятых температур, коэффициент Пуассона, сопротивление деформации (предел текучести). Кроме того, необходимо задать так же коэффициент трения между прокатом и валками.

Для расчета значение модуля упругости для диапазона температур 700–1140°С определяем по зависимости (1). [2]

$$E = -4,566 \cdot 10^5 + 160 \cdot T + \frac{3,266 \cdot 10^8}{T}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала; T – температура металла.

Сопротивление пластической деформации определялось по зависимости (2). [3]

$$\sigma_s = 288 \cdot u_i^{0,107} \cdot (\ln \epsilon_i)^{1,45} e^{-0,00235T} \quad (2)$$

где σ_s – сопротивление пластической деформации, МПа; u_i – скорость деформации, 1/с; ϵ_i – степень деформации, %.

Конечно – элементная модель четверти заготовки представлена на рис. 2.

Результаты расчета процесса прокатки представлены в виде эпюр распределения нормальных и касательных напряжений по дугам захвата и ширине очага деформации балки с горизонтальными и вертикальными валками (рис. 3). Также даны эпюры распределения разности скоростей металла и точек торце-

вой поверхности горизонтального вала в зоне их контакта в направлении оси прокатки (Ox) (рис. 4).

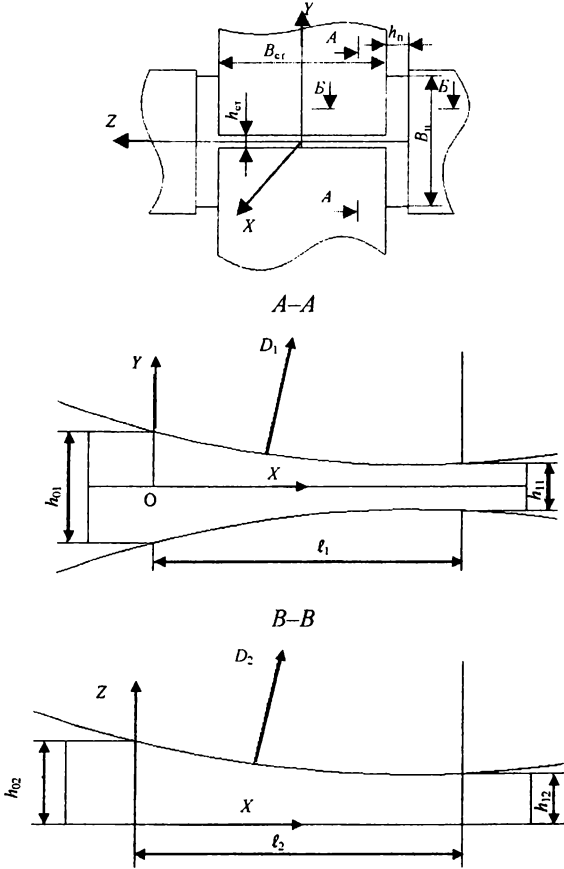


Рис. 1. Схема продольной прокатки двутавровой балки

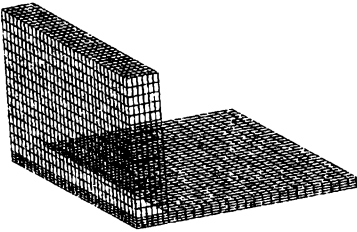


Рис. 2. Конечно-элементная модель для четверти балки 30Ш

Для этих вариантов максимальные значения нормальных и касательных напряжений в очагах деформации балки с вертикальным и горизонтальным валками даны в табл. 2.

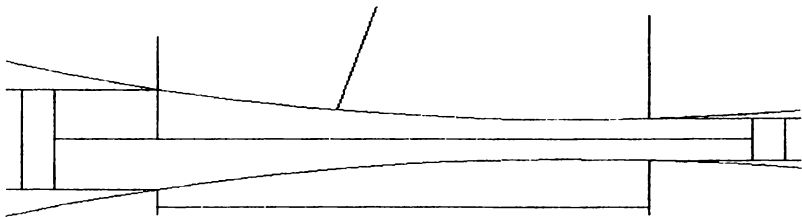
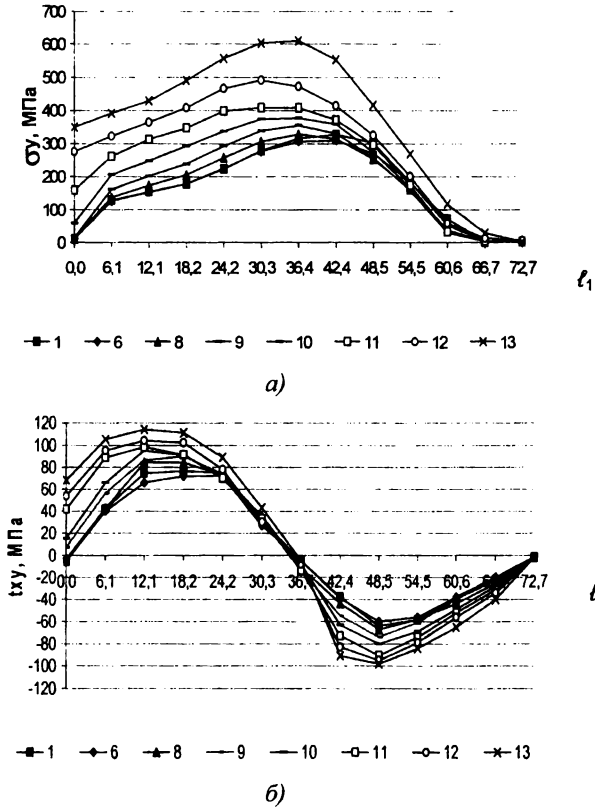


Рис. 3. Эпюры контактных нормальных (а) и касательных напряжений (б) по дуге захвата ℓ_1 и ширине очага деформации балки с горизонтальным валком. Прокатка балки 30Ш в ГУК1 (проход 3). Температура прокатки 1040°C

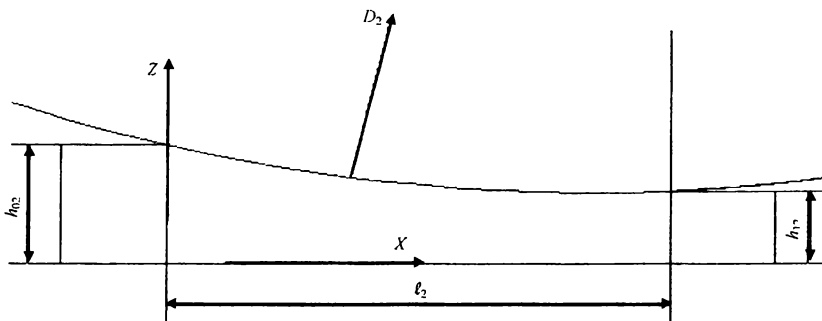
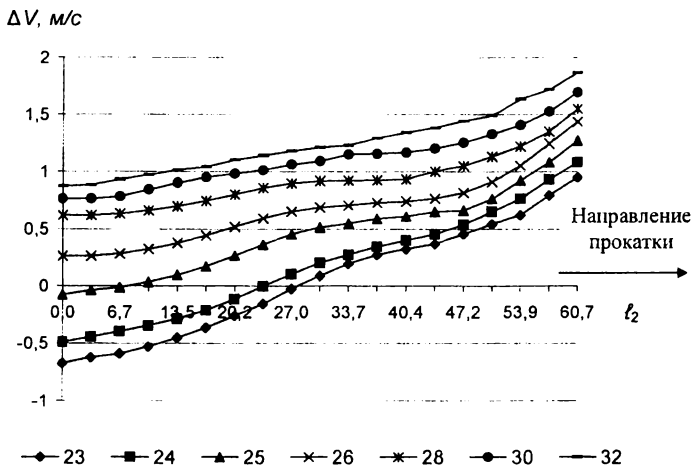


Рис. 4. Эпюры распределения разности скоростей металла и точек торцевой поверхности горизонтального валка в зоне контакта в направлении оси прокатки (Ox). Прокатка балки 30Ш в ГУК2 (проход 7). Температура прокатки 900°C

Анализ расчетных данных показывает, что в очаге деформации двутавровой заготовки в горизонтальных и вертикальных валках универсальной клетки реализуется благоприятная с позиции качества проката схема напряженного состояния с преобладанием высоких сжимающих напряжений (табл. 2). Например, нормальные напряжения в очаге деформации горизонтальных валков σ_x при изменении температуры балки от 1040°C до 700°C возрастают от 610 МПа

до 862 МПа, а нормальные напряжения на контактной поверхности вертикального вала σ_z изменяются от 514 МПа до 913 МПа. Высокие сжимающие напряжения имеют место в очаге деформации двутавровой заготовки и в направлении других осей координат. Такая схема напряженного состояния в очаге деформации заготовки в универсальной клети будет способствовать интенсивной проработке литого металла по всему сечению балки с завариванием несплошностей и пор, предотвратит раскрытие поверхностных трещин, т. е. позволит получить балки высокого качества. Износ торцевой поверхности горизонтального вала, определяющий качество балок, зависит от величины касательных напряжений в зоне контакта боковой поверхности горизонтального вала с полкой балки. Величина этих напряжений существенно зависит от разности скоростей металла и точек торцевой поверхности горизонтального вала в зоне контакта и от температуры металла. Так, например, при снижении температуры металла с 1040°C до 700°C величина касательных напряжений изменяется от 84 МПа до 197 МПа, а нормальные напряжения σ_z при этом возрастают от 544 МПа до 1028 МПа.

Таблица 2

Значения максимальных (контактных) нормальных и касательных напряжений в очагах деформации балки с вертикальным и горизонтальным валками

№ варианта расчета	Клеть	№ прохода	Нормальные и касательные напряжения в зоне контакта балки с валками						Т _М , °С
			горизонтальным		Горизонтальным (боковая поверхность)		вертикальным		
			σ_x	t_{xy}	σ_z	t_{zx}	σ_z	t_{zx}	
			МПа						
1	ГУК1	3	610	114*	544	84	514	119*	1040
				-98		-104		-95	
2	ГУК1	5	627	118	550	86	528	122	980
				-101		-107		-98	
3	ГУК2	7	540	92	640	101	573	108	900
				-93		-124		-102	
4	ГУК2	7	648	110	770	120	688	130	800
				-112		-150		-118	
5	ГУК2	7	862	143	1028	161	913	171	700
				-150		-197		-162	

* – положительные значения соответствуют зоне отставания, а отрицательные значения – зоне опережения в очаге деформации.

Библиографический список

1. ANSYS. Structural Analysis Guide Rel. 6.0 [http:// www.cadferm.ru](http://www.cadferm.ru).
2. Нисковских В.М., Карлинский С.Е., Беренов А.Д. Машины непрерывного литья слябовых заготовок. М.: Металлургия, 1991. 272 с.
3. Мазур В.Л., Хижняк Д.Д. Сопротивление деформации низколегированных сталей/Сталь, 1991, №8. С. 41 – 43.