

УДК 621.771

ДИНАМИКА ЗАХВАТА ДВУТАВРОВОЙ ЗАГОТОВКИ ВАЛКАМИ ОБЖИМНОЙ КЛЕТИ 1300 УНИВЕРСАЛЬНО-БАЛОЧНОГО СТАНА

Лехов О.С.¹, д.т.н., профессор кафедры автомобилей

и подъемно-транспортных машин (MXLehov38@yandex.ru)

Раскатов Е.Ю.², д.т.н., доцент, зав. кафедрой металлургических

и роторных машин (raskatov@pochta.ru)

¹ Российский государственный профессионально-педагогический университет

(620012, Россия, г. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11)

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

(620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19)

Аннотация. Рассмотрены особенности условий захвата двутавровой заготовки калиброванными валками обжимной клетки 1300 универсально-балочного стана Нижнетагильского металлургического комбината. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния металла, возникающего в очагах деформации при прокатке балки в калибрах валков обжимной клетки. Результаты расчета процесса прокатки представлены в виде эпюр распределения контактных нормальных и касательных напряжений в очагах деформации по мере захвата валками двутавровой заготовки. Установлено, что величина растягивающих нормальных напряжений, возникающих в стенке двутавровой заготовки, не превышает 52 МПа. В очагах деформации полки и зоне сопряжения полки со стенкой нормальные контактные напряжения сжимающие, что свидетельствует о благоприятной с позиции качества балки схемы напряженного состояния с преобладанием высоких сжимающих напряжений. Разработана методика расчета динамических нагрузок в линии привода обжимной клетки 1300 с учетом зазоров в шпиндельных соединениях.

Ключевые слова: двутавровая заготовка, обжимная клеть, валки, очаг деформации, захват, нормальные и касательные напряжения, динамические нагрузки, зазоры.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-4-221-225

На Нижнетагильском металлургическом комбинате непрерывнолитые двутавровые заготовки прокатываются в обжимной клетке 1300 универсально-балочного стана [1 – 5]. При этом очень важно оценить условия захвата двутавровой заготовки калиброванными валками обжимной клетки 1300, а также знать характер изменения и величину нормальных и касательных напряжений на контактной поверхности по мере заполнения очага деформации металлом.

Моделирование процесса прокатки двутавровой балки в обжимной клетке 1300 универсального балочного стана выполнялось с использованием программного комплекса ANSYS [1, 6, 10]. Расчет проводился в объемной постановке. Упор сделан на определение напряженно-деформированного состояния и характер течения металла, возникающего в очаге деформации при прокатке балки 30Ш в калибрах 1, 2 и 3 обжимной клетки 1300.

При исследовании напряженно-деформированного состояния двутавровой балки при прокатке пренебрегли инерционными и массовыми силами; деформируемый металл балки считаем несжимаемым. При записи уравнений состояния использовали случай простого нагружения. Для материала проката принята упруго-пластическая модель Прадтля-Рейса.

На первом этапе моделировался захват металла валками, на втором – установившийся процесс прокатки двутавровой заготовки из стали 09Г2 для трех вариантов, указанных в табл. 1.

Модуль упругости (E) определяли по зависимости [1, 6]:

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

где T – температура металла.

Сопrotивление пластической деформации (σ_s) вычисляли по соотношению [1, 6]:

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

в котором u_i – скорость деформации, с⁻¹; ε_i – степень деформации, %.

В соответствии с принятыми исходными данными рассчитаны зависимости сопротивления пластической деформации для стенки, полки и зоны сопряжения стенки с полкой заготовки для рассматриваемых проходов и принятых температур. Коэффициент трения во всех калибрах принят равным 0,49.

В исходном состоянии, чтобы смоделировать процесс захвата, передний торец балки размещался на не-

Параметры балки и калибров, принятые в расчете

Table 1. Parameters of bars and gauges, taken into account

Вариант	Размер заготовки перед входом в калибр, мм						Размеры калибра, мм					
	$B_б$	$R_б$	$h_{ст,б}$	$H_{п,б}$	$h_{п,б}$	$a_б$	$B_к$	$R_к$	$h_{ст,к}$	$H_{п,к}$	$h_{п,к}$	$a_к$
1	336*	90*	65*	275*	85*	99*	336	90	40	255	60	99
2	336	90	40	255	61	99	348	75	30	236	52	77
3	348	75	30	236	59	77	362	60	23	227	49	65

* Значения соответствуют размерам заготовки после первого прохода в первом калибре.

Здесь B, R, h, H, a – ширина, радиус внутреннего закругления, ширина стенки, высота полки, толщина основания фланца; индекс «б» относится к балке, «ст» – стенке, «п» – полке, «к» – калибру.

котором расстоянии от плоскости, проходящей через ось вала перпендикулярно оси прокатки (рис. 1).

Балку представляли твердотельной объемной моделью, а калибр моделировали недеформируемой твердой поверхностью. Конечно-элементную модель балки формировали из трехмерных 20-ти узловых твердотельных элементов SOLID186. В окончательной, принятой для расчета сетке конечных элементов, размер элемента в поперечных сечениях был равен 2,5 мм, а в направлении прокатки – 5 мм. Для более наглядного представления результатов расчета весь очаг деформации разбили на три очага деформации (рис. 2). Расчет показал, что в процессе захвата балки калибром обжатия для всех вариантов начинаются в первую очередь с зоны полки в направлении оси OX . При этом во всех случаях стенка по всей толщине испытывает напряжения растяжения в направлении оси OX (рис. 3, а, б).

На рис. 3, а, б принято следующее правило знаков: величины, относящиеся к растяжению, являются положительными, к сжатию – отрицательными. Значения максимальных (контактных) нормальных и касательных напряжений (МПа) в очагах деформации при прокатке балки 30Ш в калибрах 1 и 3 для двух поперечных сечений приведены в табл. 2, из которой следует, что величина растягивающих нормальных напряжений, возникающих в стенке, в направлении оси OX (σ_x) не превышает 52 МПа. В очагах деформации полки и зоне радиуса сопряжения полки со стенкой нормальные контактные напряжения сжимающие, что свидетельствует о благоприятной с позиции качества балки схемы напряженного состояния с преобладанием высоких сжимающих напряжений.

Определив величину и характер изменения контактных нормальных и касательных напряжений по мере

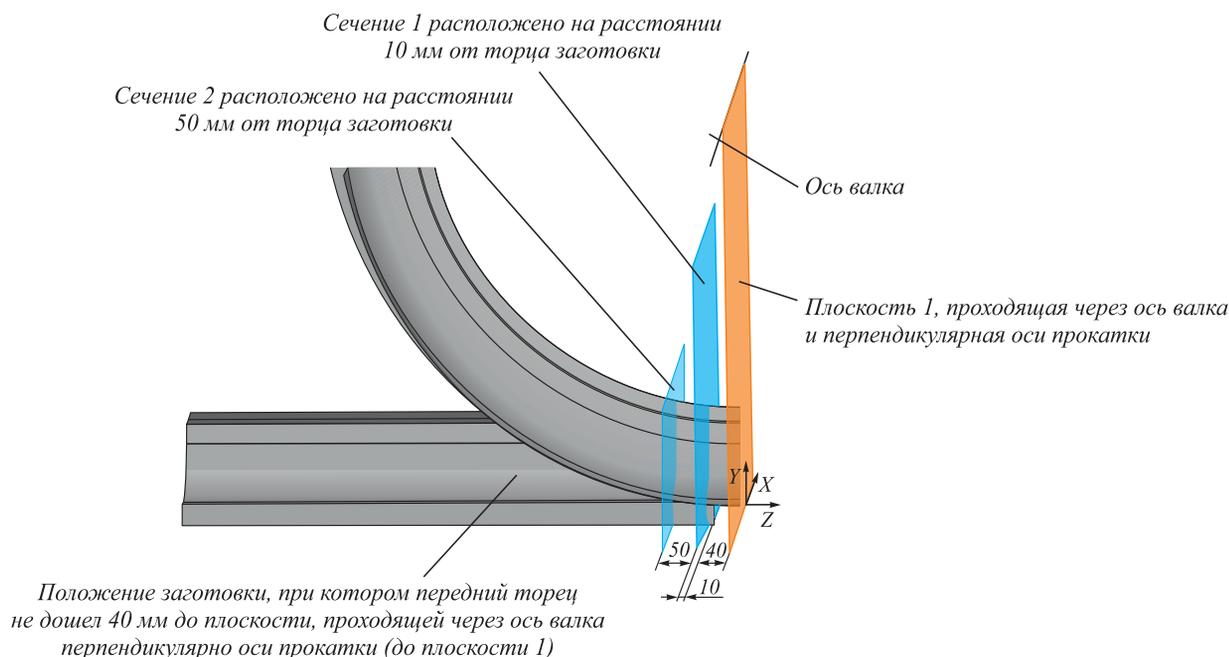


Рис. 1. Положение плоскости, проходящей через ось вала перпендикулярно оси прокатки, и поперечных сечений 1 и 2

Fig. 1. Position of plane, going through the axis of a roller perpendicularly to the axis of rolling, and cross-sections 1 and 2

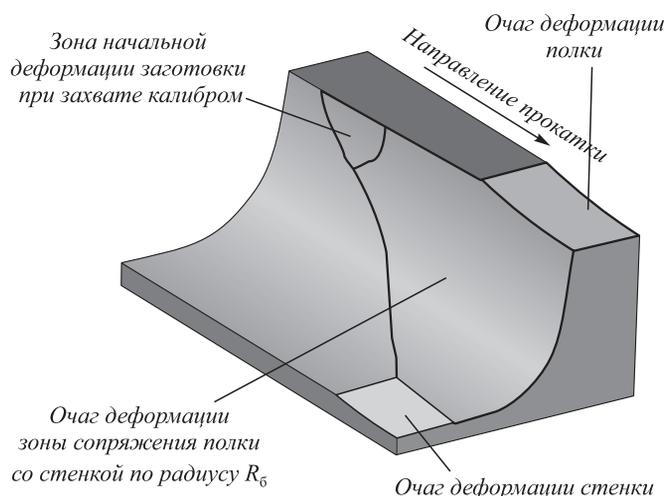


Рис. 2. Вид очага деформации при прокатке балки в калибре

Fig. 2. View of the deformation zone when rolling a bar in a gauge

захвата двутавровой заготовки валками, переходим к расчету динамических нагрузок в линии привода обжимной клетки 1300.

Известно [11 – 14], что основной причиной высоких динамических перегрузок в линии привода реверсивных обжимных прокатных станов являются зазоры в шпиндельных соединениях. В связи с этим важно оценить уровень динамических нагрузок, определить скорость соударения масс в зазоре в зависимости от технологических и скоростных параметров процесса прокатки, которая и определяет величину динамических нагрузок, и принять ряд мер для снижения уровня динамических нагрузок. Основными причинами раскрытия зазоров в шпиндельных соединениях обжимных станов являются задача раската в валки со скоростью, превышающей скорость валков, и захват раската валками при замедлении приводного электродвигателя [11 – 14].

Линию индивидуального привода валков обжимной клетки приведем к двухмассовой полуопределенной модели. Дифференциальное уравнение движения вала и заготовки с момента выбора зазора в шпиндельном соединении имеет вид [11 – 14]

$$\left(J + \frac{GR^2}{2g} \right) \ddot{\varphi} + c\dot{\varphi} = R^2 \delta_1 B \tau_k, \quad (3)$$

где J – момент инерции вала, $\text{т}\cdot\text{м}^2$; G – масса заготовки, кН ; R – радиус вала, м ; B – ширина контактной поверхности двутавровой заготовки с валком, м ; τ_k – касательное напряжение, МПа ; c – жесткость упругой связи; δ_1 – угол заполнения геометрического очага деформации в момент полного выбора зазора в линии привода якорем двигателя [11 – 14]:

$$\delta_1 = \frac{\omega_0}{\beta_1} \sin \left(\sqrt[3]{\frac{6\Delta_0\beta_1}{\omega_0}} \right), \text{ рад};$$

здесь ω_0 – угловая скорость якоря двигателя, с^{-1} ;

$$\beta_1 = \frac{RBp \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{J + \frac{GR^2}{2g}}}; \quad p \text{ – среднее удельное давление, МПа};$$

α – угол захвата, рад.

В результате решения неоднородного дифференциального уравнения (3) максимальная величина динамического момента составит

$$M_d = C \frac{\Delta\omega}{\beta} + R^2 \delta_1 B \tau_k,$$

где $\Delta\omega$ – скорость соударения в зазоре шпиндельного соединения, определяется как $\Delta\omega = \omega_0 \left[1 - \cos \left(\sqrt[3]{\frac{6\Delta_0\beta_1}{\omega_0}} \right) \right]$

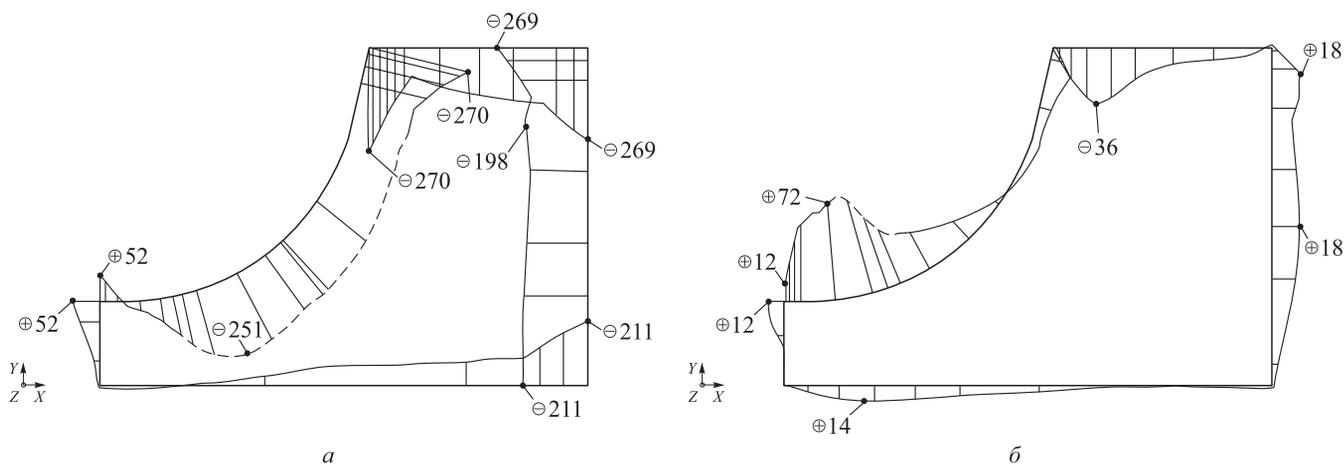


Рис. 3. Характер нормальных осевых напряжения (а) и касательных напряжений (б) по контуру поперечного сечения I (см. рис. 2) при прокатке балки 30Ш в калибре I (второй проход). Температура прокатки 1200 °С

Fig. 3. Characteristics of normal axial stresses (a) and tangential stresses (b) along the I cross-section outline (see Fig. 2) when rolling 30Ш bars in a I gauge (second approach). Rolling temperature is 1200 °C

Значения максимальных (контактных) нормальных и касательных напряжений в очагах деформации при прокатке балки 30Ш в обжимной клетке 1300

Table 2. Values of maximum (contact) normal and tangential stresses in a deformation zone when rolling 30Ш bars in 1300 breakdown stand

Номер калибра и прохода	Сечение	σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{zx}
Стенка							
1 калибр 2 проход	1	52	-116	-	12	14	6
	2	40	-77	-	14	11	30
3 калибр 1 проход	1	27	-47	-	10	16	-
	2	32	-	36	-	-	-
Полка							
1 калибр 2 проход	1	-270	-291	-239	-36	-101	78
	2	-301	-383	-251	-48	-31	27
3 калибр 1 проход	1	-212	-260	-236	-43	-77	-28
	2	-315	-434	-352	-57	-21	24
Зона радиуса сопряжения полки со стенкой							
1 калибр 2 проход	1	-251	-174	-159	72	-74	78
	2	-188	-115	-89	64	32	29
3 калибр 1 проход	1	-189	-141	-157	65	-65	71
	2	-157	-97	-91	51	34	22

параметр β рассчитывается так:
$$\beta = \sqrt{\frac{c}{J + \frac{GR^2}{2g}}}$$

Выводы. В результате теоретического исследования определено напряженно-деформированное состояние металла в очагах деформации при захвате двутавровой заготовки калиброванными валками обжимной клетки 1300 универсально-балочного стана. Разработана инженерная методика расчета максимальных динамических нагрузок в линии привода обжимной клетки 1300 с учетом зазоров в шпindelных соединениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комратов Ю.С., Лехов О.С. Совершенствование производства проката в условиях НТМК. – Екатеринбург: изд. «Банк культурной информации», 2002. – 384 с.
2. Ганжа А.О. Непрерывное литье балочных заготовок // Производство проката. 2007. № 10. С. 5 – 19.
3. Сладкоштанов В.Т., Гордиенко М.С., Потанин Р.В. Непрерывная разливка и качество фасонных заготовок. – М.: Металлургия, 1975. – 246 с.
4. Виллим Ф. Непрерывное литье заготовок для изготовления рельсов, тяжелых балок и труб // Черные металлы. 1981. № 14. С. 30 – 39.
5. Гришук Н.Ф., Антонов С.П. Производство широкополочных двутавров. – М.: Металлургия, 1978. – 304 с.
6. ANSYS. Structural Analysis Guide. Rel.6.0. Электронный ресурс. <http://www.cadfern.ru> (дата обращения 20 октября 2015 г.)
7. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
8. Мазур Д.Д., Хижняк В.Л. Сопротивление деформации низколегированных сталей // Сталь. 1991. № 8. С. 41 – 43.
9. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. – М.: Мир, 1984. – 432 с.
10. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 393 с.
11. Комратов Ю.С. Напряженно-деформированное состояние металла при прокатке двутавровой заготовки в обжимной клетке универсально-балочного стана // Производство проката. 2008. № 2. С. 24 – 26.
12. Лехов О.С. Динамические нагрузки в линии привода обжимных станов. – М.: Машиностроение, 1975. – 184 с.
13. Кожевников С.Н. Метод упрощения динамических моделей при расчете приводов металлургических машин // Машиноведение. 1981. № 1. С. 3 – 6.
14. Бетхер З. Влияние динамических нагрузок на долговечность и надежность металлургических агрегатов // Черные металлы. 1972. № 8. С. 15 – 25.

Поступила 27 октября 2015 г.

DYNAMICS OF H-BEAM CAPTURE BY ROLLERS OF BREAK-DOWN STAND 1300 OF THE UNIVERSAL-BEAM MILL

O.S. Lekhov¹, E.Yu. Raskatov²

¹ Russian State Professional Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia

² Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yel'tsin, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The paper considers the condition features of the H-beam capture grooved with rolls and break-down stand 1300 of a universal-beam mill of Nizhny Tagil Metallurgical Plant. The authors have carried out the study of the stress-strain state of metal arising in the deformation zone during rolling of the beam in the calibers of rolls of a breakdown stand. The results of the calculation of the rolling process are presented in the form of plots of the distribution of contact normal and tangential stresses in the deformation zones as the rolls grip the H-beam. The value of normal tensile stresses arising in the wall of the H-beam does not exceed 52 MPa. In the deformation zones the shelf and the zone of interface the shelves with the wall are normal contact compressive stresses, indicating a favorable position of the beam quality of the scheme of stress state with a predominance of high compressive stress. The paper also presents the developed calculation method of dynamic loads in drive line of a breakdown stand 1300 considering the gaps in the spindle connection.

Keywords: H-beam, breakdown stand, rolls, deformation zone, capture, normal and tangential stresses, dynamic loads, gaps.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-4-221-225

REFERENCES

1. Komratov Yu.S., Lekhov O.S. *Sovershenstvovanie proizvodstva prokata v usloviyakh NTMK* [Improvement of rolling production in the conditions of the Nizhny Tagil Metallurgical Plant]. Ekaterinburg: izd. "Bank kul'turnoi informatsii", 2002, 384 p. (In Russ.).
2. Ganzha A.O. Continuous casting of beam blanks. *Proizvodstvo prokata*. 2007, no. 10, pp. 5–19. (In Russ.).
3. Sladkoshteev V.T., Gordienko M.S., Potanin R.V. *Nepriyvnyaya razlivka i kachestvo fazonnykh zagotovok* [Continuous casting and the quality of shapeblanks]. Moscow: Metallurgiya, 1975, 246 p. (In Russ.).
4. Villim F. Continuous casting of blanks for the production of rails, heavy beams and pipes. *Chernye metally*. 1981, no. 14, pp. 30–39. (In Russ.).
5. Grishchuk N.F., Antonov S.P. *Proizvodstvo shirokopolochnykh dvutavrov* [Production of H-beams]. Moscow: Metallurgiya, 1978, 304 p. (In Russ.).
6. *ANSYS. Structural Analysis Guide. Rel. 6.0.* [ANSYS. Structural Analysis Guide. Rel.6.0]. Available at: <http://www.cadfern.ru> (Accessed: 20 October, 2015).
7. Zienkiewicz O.C., Morgan K. *Finite Elements and Approximation*. New York: Wiley, 1983, 328 p. (Russ.ed.: Zienkiewicz O.C., Morgan K. *Konechnye elementy i approksimatsiya*. Moscow: Mir, 1986, 318 p.).
8. Mazur D.D., Khizhnyak V.L. Strain resistance of low-alloyed steels. *Stal'*. 1991, no. 8, pp. 41–43. (In Russ.).
9. Gallagher R.H. *Finite Element Analysis: Fundamentals*. Prentice-Hall, New Jersey, 1975, 420 p. (Russ.ed.: Gallagher R. *Metod konechnykh elementov. Osnovy*. Moscow: Mir, 1984).
10. Segerlind Larry J. *Applied finite element analysis*. New York etc., 1976. (Russ.ed.: Segerlind L. *Primenenie metoda konechnykh elementov*. Moscow: Mir, 1979, 393 p.).
11. Komratov Yu.S. Stress-strain state of the metal during H-beam in the breakdown stand of universal beam mill. *Proizvodstvo prokata*. 2008, no. 2, pp. 24–26. (In Russ.).
12. Lekhov O.S. *Dinamicheskie nagruzki v linii privoda obzhimnykh stanov* [Dynamic loads in a drive line of breakdown mills]. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 184 p. (In Russ.).
13. Kozhevnikov S.N. Simplification method of dynamic models when calculating the drive of metallurgical machines. *Mashinovedenie*. 1981, no. 1, pp. 3–6. (In Russ.).
14. Betkher Z. Influence of dynamic loads on the durability and safety of metallurgical units. *Chernye metally*. 1972, no. 8, pp. 15–25. (In Russ.).

Information about the authors:

O.S. Lekhov, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Hoisting and Transport Machinery (MXLehov38@yandex.ru)

E.Yu. Raskatov, Dr. Sci. (Eng.), Assist. Professor, Head of the Chair "Metallurgical and Rotary Machines" (raskatov@pochta.ru)

Received 27 October, 2015