

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАГРУЗКИ НА РОЛИК ЗАДАТЧИКА МЕТАЛЛА ПРИ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЗАГОТОВКОЙ, ДВИЖУЩЕЙСЯ ПО РОЛЬГАНГУ

Ручко В.Н. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

In the article the features of dynamic contact of roller of mechanism for the task of metal during its portage to the rollers of flatting mill are considered. A structural diagram and parameters, that having influence on character of contact, are analyzed. The sequence of determination of coefficient of the dynamic loading, affecting roller of mechanism for the task of purveyance, is presented.

Введение

Современное развитие металлургического производства связано с дальнейшей интенсификацией технологических процессов, что требует повышения производительности эксплуатируемого оборудования и снижения времени на вспомогательные операции связанные с его техническим обслуживанием [1]. Увеличение скорости технологических операций (прокатка, транспортирование, правка, резка и т.д.) на современных прокатных станах вызывает в конструктивных элементах металлургических машин большие динамические нагрузки [2], которые приводят к возникновению аварийных отказов и, как следствие, простоем оборудования, снижая технические и технико-экономические показатели производства. Учет динамической составляющей нагрузки еще на стадии проектирования новых или совершенствования существующих металлургических машин или механизмов позволяет определить возможные значения напряжений, которые будут возникать в их элементах при эксплуатации, и использовать их при выполнении прочностных расчетов [3]. Такой подход позволит значительно снизить количество аварийных отказов и обоснованно подойти к выбору конструктивных параметров и материала деталей [4]. **Целью** дальнейших исследований в этом направлении является определение динамической составляющей нагрузки, действующей на элементы металлургической машины еще на стадии конструирования. Для ее достижения необходимо решить следующие **задачи**: составить расчетную схему нагружения элемента машины; выявить факторы, оказывающие влияние на особенности его нагружения; составить уравнение, позволяющее определять требуемый параметр и решить его, используя известные или новые математические методы и подходы.

Основное содержание и результаты работы

Проектирование новой металлургической машины – задатчика металла [5], применительно к условиям НЗС 850 / 610 / 550 ОАО «ЕМЗ» (рис. 1), потребовало проведения исследований особенностей взаимодействия заготовки и ролика задатчика металла при движении по рольгангу в процессе задачи ее в валки прокатной клетки.

Выполненные исследования [6] позволили определить только кинематические и динамические характеристики особенностей первого соударения заготовки и ролика задатчика металла, а также получить зависимости, позволяющие произвести дальнейшее исследование динамического взаимодействия заготовки и ролика задатчика при последующих их соударениях. Однако, для их практического использования при проектировании необходимо получение коэффициента, характеризующего динамическую составляющую нагрузки, действующей на ролик задатчика.

Заготовка массой m_2 и сечением 300x300 мм транспортируется к НЗС 850/610/550 роликами подводящего рольганга, состоящего из 3-х секций и расположенного между ножницами и I-ой клетью, со скоростью $v_2 = 2$ м/с (рис. 2). Масса заготовки m_2 зависит от ее длины и согласно технологическим требованиям составляет: 8,5 т и 10,0 т - для кипящей

стали; 9,0 т и 10,0 т - для полуспокойной стали; 8,9 т и 8,0 т - для спокойной стали [7].

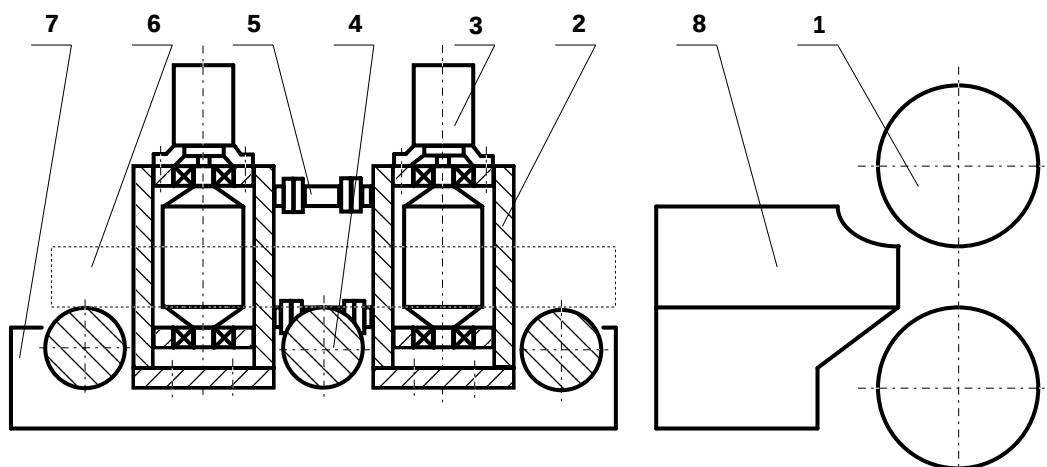


Рис. 1. Конструкция задатчика металла в валки прокатной клетки
1 - валки прокатной клетки; 2 - корпус задатчика; 3 - ролик задатчика в сборе; 4 - ролик рольганга; 5 - траверса; 6 - заготовка; 7 - подводящий рольганг; 8 - вводная проводка

В момент соударения заготовки 2 с роликом задатчика 1 (рис. 2) кинетическая энергия ее движения по роликам подводящего рольганга E_2 определяется как [8]:

$$E_2 = \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2}. \quad (1)$$

Поскольку контакт заготовки с роликом задатчика металла осуществляется под некоторым углом - β (косой удар) [8], скорость движения одного ролика v_1 , перемещающегося в момент удара в направляющих, перпендикулярно заготовке, определится на основании полученного выражения [9] и составит $v_1 = 3,42$ м/с .

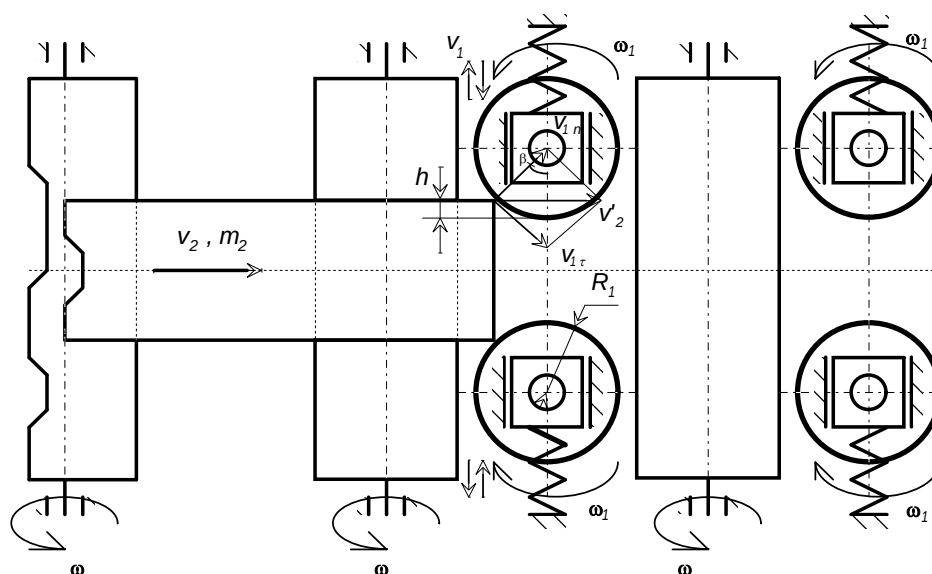


Рис. 2. К определению динамической составляющей нагрузки на ролик задатчика
(вид сверху, увеличено)

Тогда, кинетическая энергия движения заготовки, приходящаяся на один ролик задатчика E_1 , определится из выражения:

$$E_1 = \frac{m_2 \cdot v_1^2}{2}. \quad (2)$$

После удара заготовки о ролик задатчика часть энергии удара расходуется на пластическую деформацию (смятие) кромок заготовки, а заготовка вместе с роликом задатчика будут двигаться со скоростью v_2' , так как произойдет упругий изгиб ролика задатчика. При подсчете прогиба ролика задатчика, для учета влияния его массы (веса), необходимо к массе (весу) действующей на середину ролика задатчика заготовки m_2 прибавить половину (точнее 17/35) массы (веса) самого ролика m_1 [10]. Тогда, кинетическая энергия удара системы «заготовка - ролик» $E_{y\partial}$ определится как [8]:

$$E_{y\partial} = \frac{m_2 + k_1 \cdot m_1}{2} \cdot v_2'^2, \quad (3)$$

где k_1 – коэффициент приведения массы ролика к массе заготовки.

Скорость перемещения системы «заготовка - ролик» v_2' после удара, определим из закона сохранения количества движения [8] – $m_2 \cdot v_1 = (m_2 + k_2 \cdot m_1) \cdot v_2'$, откуда:

$$v_2' = v_1 \cdot \frac{1}{1 + k_2 \cdot \frac{m_1}{m_2}}, \quad (4)$$

где k_2 – коэффициент приведения скорости ролика к скорости заготовки.

Поставляя значение v_2' в выражение (3), получим [10]:

$$E_{y\partial} = E_1 \cdot \frac{1 + k_1 \cdot \frac{m_1}{m_2}}{\left(1 + k_2 \cdot \frac{m_1}{m_2}\right)^2} \approx E_1 \cdot \frac{1}{1 + k_2 \cdot \frac{m_1}{m_2}}. \quad (5)$$

С целью уменьшения динамической нагрузки при ударе и повышения прочности цапфы роликов задатчика установлены на подпружиненных опорах 3 (рис. 2), представляющих собой две секции, состоящие из внутренней и наружной пружины.

В этом случае потенциальная общая энергия системы «заготовка - ролик» U будет равна сумме потенциальных энергий ролика U_1 и пружинных опор U_3 :

$$U = U_1 + U_3. \quad (6)$$

Потенциальная энергия ролика переменного сечения U_1 , состоящего из цапф, бочки и промежуточного участка (типа - усеченный конус), определится как [10]:

$$U_1 = \frac{P_{дин}^2 \cdot l_1^3}{96 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \alpha_1, \quad (7)$$

где $P_{дин}$ – динамическая сила удара заготовки о ролик задатчика;

l_1 – расстояние между опорами ролика задатчика;

E_1 – модуль упругости материала ролика задатчика;

J_1 – момент инерции ролика задатчика относительно оси вращения;

α_1 – коэффициент, учитывающий ступенчатость конструкции ролика задатчика [10].

Потенциальная энергия пружинных опор U_2 определится как [10]:

$$U_3 = \beta_3 \cdot P_{дин}^2 - \gamma_3, \quad (8)$$

где β_3 и γ_3 – характеристические коэффициенты пружинных опор [10].

Приравнявая кинетическую энергию системы «заготовка - ролик» $E_{y\partial}$ суммарной потенциальной энергии системы «ролик – пружинные опоры» U , получим:

$$\frac{m_2 \cdot v_1^2}{2} \cdot \frac{1}{1 + k_2 \cdot \frac{m_1}{m_2}} = \frac{P_{дин}^2 \cdot l_1^3}{96 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \alpha_1 + \beta_3 \cdot P_{дин}^2 - \gamma_3. \quad (9)$$

В левой части равенства массы заготовки m_2 и ролика задатчика m_1 заменим их силами тяжести, соответственно Q_2 и Q_1 , а в правой части, приведем подобные слагаемые, содержащие динамическую силу удара заготовки о ролик задатчика $P_{дин}$:

$$\frac{Q_2 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{1}{1 + k_2 \cdot \frac{Q_1}{Q_2}} = P_{дин}^2 \cdot \left(\frac{l_1^3}{96 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \alpha_1 + \beta_3 \right) - \gamma_3. \quad (10)$$

Упростим левую часть равенства (10), перемножив множители:

$$\frac{Q_2 \cdot v_1^2}{2 \cdot g \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_2} + k_2 \cdot \frac{Q_1}{Q_2} \right)} = P_{дин}^2 \cdot \left(\frac{l_1^3}{96 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \alpha_1 + \beta_3 \right) - \gamma_3. \quad (11)$$

Вынесем в знаменателе параметр $1/Q_2$ за знак скобки, получим:

$$\frac{Q_2 \cdot v_1^2}{2 \cdot g \cdot \frac{1}{Q_2} \cdot (Q_2 + k_2 \cdot Q_1)} = P_{дин}^2 \cdot \left(\frac{l_1^3}{96 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \alpha_1 + \beta_3 \right) - \gamma_3. \quad (12)$$

После преобразования левой части равенства (12), получим:

$$\frac{Q_2^2 \cdot v_1^2}{2 \cdot g \cdot (Q_2 + k_2 \cdot Q_1)} = P_{дин}^2 \cdot \left(\frac{l_1^3}{96 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \alpha_1 + \beta_3 \right) - \gamma_3. \quad (13)$$

Из полученного равенства (13) выразим динамическую силу удара заготовки $P_{дин}$:

$$P_{дин}^2 = \frac{\frac{Q_2^2 \cdot v_1^2}{2 \cdot g \cdot (Q_2 + k_2 \cdot Q_1)} + \gamma_3}{\frac{l_1^3}{96 \cdot E_1 \cdot J_1} \cdot \alpha_1 + \beta_3}. \quad (14)$$

В знаменателе выражения (14) выполним суммирование слагаемых:

$$P_{дин}^2 = \frac{\frac{Q_2^2 \cdot v_1^2}{2 \cdot g \cdot (Q_2 + k_2 \cdot Q_1)} + \gamma_3}{\frac{l_1^3 \cdot \alpha_1 + 96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \beta_3}{96 \cdot E_1 \cdot J_1}}. \quad (15)$$

Упростим правую часть выражения (15), получим:

$$P_{дин}^2 = \frac{96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \left(\frac{Q_2^2 \cdot v_1^2}{2 \cdot g \cdot (Q_2 + k_2 \cdot Q_1)} + \gamma_3 \right)}{l_1^3 \cdot \alpha_1 + 96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \beta_3}. \quad (16)$$

Поскольку динамическая сила удара заготовки $P_{дин}$ определяется как [10]:

$$P_{дин} = k_{дин} \cdot Q_2, \quad (17)$$

где $k_{дин}$ – коэффициент динамичности системы «ролик – пружинные опоры»;

Подставляя выражение (17) в выражение (16), получим равенство:

$$(k_{дин} \cdot Q_2)^2 = \frac{96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \left(\frac{Q_2^2 \cdot v_1^2}{2 \cdot g \cdot (Q_2 + k_2 \cdot Q_1)} + \gamma_3 \right)}{l_1^3 \cdot \alpha_1 + 96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \beta_3}. \quad (18)$$

Выразим из равенства (18) коэффициент динамичности системы «ролик – пружинные опоры» $k_{дин}$ и выполним дополнительные преобразования в правой части:

$$k_{дин}^2 = \frac{96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \left(\frac{Q_2^2 \cdot v_1^2}{2 \cdot g \cdot (Q_2 + k_2 \cdot Q_1)} + \frac{Q_2^2}{Q_2^2} \cdot \gamma_3 \right)}{(l_1^3 \cdot \alpha_1 + 96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \beta_3) \cdot Q_2^2}. \quad (19)$$

Вынесем в числителе выражения (19) параметр Q_2^2 за скобки:

$$k_{дин}^2 = \frac{96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot Q_2^2 \cdot \left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g \cdot (Q_2 + k_2 \cdot Q_1)} + \frac{\gamma_3}{Q_2^2} \right)}{(l_1^3 \cdot \alpha_1 + 96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \beta_3) \cdot Q_2^2}. \quad (20)$$

Сократим параметр Q_2^2 в числителе и знаменателе выражения (20), получим:

$$k_{дин}^2 = \frac{96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g \cdot (Q_2 + k_2 \cdot Q_1)} + \frac{\gamma_3}{Q_2^2} \right)}{l_1^3 \cdot \alpha_1 + 96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \beta_3}. \quad (21)$$

Из выражения (21) получим требуемую зависимость для определения коэффициента динамичности системы «ролик - пружинные опоры» $k_{дин}$, характеризующего динамическую составляющую нагрузки на ролик задатчика при ударе об него движущейся заготовки:

$$k_{дин} = \sqrt{\frac{96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g \cdot (Q_2 + k_2 \cdot Q_1)} + \frac{\gamma_3}{Q_2^2} \right)}{l_1^3 \cdot \alpha_1 + 96 \cdot E_1 \cdot J_1 \cdot \beta_3}}, \quad (22)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Полученное выражение для определения коэффициента динамичности системы «ролик – пружинные опоры» $k_{дин}$, позволяет учесть динамическую составляющую от нагрузки, возникающей при ударе заготовки о ролик задатчика металла. Значение $k_{дин}$ для рассматриваемых условий проектируемого задатчика металла, применительно к условиям НЗС 850 / 610 / 550 ОАО «ЕМЗ», составит [9]:

$$k_{дин} = \sqrt{\frac{96 \cdot 2,10 \cdot 10^{11} \cdot 2,594 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{3,764^2}{2 \cdot 9,8 \cdot (9,8 \cdot 10^4 + 0,7 \cdot 1,686 \cdot 10^3)} + \frac{1,77 \cdot 10^{-11}}{(9,8 \cdot 10^4)^2} \right)}{0,6825^3 \cdot 1,063 + 96 \cdot 2,10 \cdot 10^{11} \cdot 2,594 \cdot 10^{-4} \cdot 1,18 \cdot 10^6}} = 2,485. \quad (23)$$

Таким образом, на основании полученного значения коэффициента динамичности системы «ролик – пружинные опоры» $k_{дин}$, составившего $k_{дин} = 2,485$, можно сделать вывод, что сила $P_{дин}$, действующая на ролик в результате его динамического взаимодействия с заготовкой, превышает статическую почти в 2,5 раза, что необходимо учитывать при выполнении прочностных расчетов ролика задатчика.

Заключение

Использование полученного результата позволит обоснованно подойти к определению конструктивных параметров ролика задатчика и выбору его материала. Обоснование конструктивных параметров и выбор механических свойств материала ролика задатчика дает возможность еще на стадии проектирования новой машины заложить условия ее технического обслуживания, которые обеспечат снижение аварийных отказов, а также уменьшение количества ремонтных воздействий и затрат на их осуществление.

Список литературы: 1. Большаков В.И., Гринберг С.Д. Технологическое оборудование в системе металлургического производства // Теория и практика металлургии. Днепропетровск. -2002, №5-6. - С. 26-31. 2. Большаков В.И., Цапко В.К. Исследование динамики, прочности и надежности металлургического оборудования //

Защита металлургических машин от поломок. Сборник научных трудов. Мариуполь. - 2002. Вып. №6. -С. 6-27. **3.** Большаков В.И., Цапко В.К. Проблемы защиты металлургических машин от поломок // Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск: -1998. №3. -С. 89-91. **4.** Цапко В.К., Гриневич В.И., Махницкий И.Г. Проектирование деталей металлургических машин с заданными характеристиками долговечности // Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск: -1997. №3. -С. 61-62. **5.** Патент 9233 Україна, МПК⁷ В 21 В 39 / 06. Задавач метала в калібри прокатної кліті: Ручко В.М., Руденко В.І. (Україна); ДонНТУ. - № u200501843; Заявл. 28.02.2005; Опубл. 15.09.2005, Бюл. № 9 2005 р.- 3 с. **6.** Ручко В.Н., Журба В.В. Определение кинематических и динамических характеристик соударения заготовки и ролика задатчика металла в валки прокатной клетки // Прогрессивные технологии и системы машиностроения, Донецк, ДонНТУ, -2006. Вып. № 31. С. 251 - 258. **7.** Производство заготовки на непрерывно-заготовочном стане «850-610-550». Технологическая инструкция (ТИ 235-П. 03-03-94). АО «Енакиевский металлургический завод». - Енакиево: ЦПИИ. - 1994.- 69 с. **8.** Добронравов В.В., Никитин Н.Н. Курс теоретической механики: Учебник для машиностроительных специальных вузов. – М. Высш. школа, 1983. – 575 с. **9.** Ручко В.Н., Руденко В.И., Ошовская Е.В. Конструкция и расчет устройства для задачи металла в валки прокатной клетки. – К., 2005. - 98 с. – Рус. – Деп. В ГНТБ Украины 03.10.05, №52 – Ук2005. – Реф в: РЖ Депоновані наукові роботи. – 2005.- № 1-2. **10.** Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. Учебное пособие для вузов. - М.: Металлургия. - 1969. - 464 с.

Сдано в редакцию 29.01.07

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОВЕРОЧНЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КОРПУСА СУДНА

Савицкий И.А. (НУК им. С.О. Макарова, г. Николаев, Украина)

The analysis of devises for a dimension control in the shipbuilding is reviewed. The problems of using digital and optical devises at the allowance-free manufacturing and the manufacturing with excess are stated. The cost and accuracy of devises are showed. The man-hour analysis of measuring methods is complete.

The basic principles, merits and demerits of close-range photogrammetry are displayed. The requirements for development of a new device for Ukrainian shipyards are formulated.

Введение. Существенное влияние на параметры точности формирования корпуса судна оказывают методы выполнения проверочных работ. В настоящее время базовыми является методы, основанные на применении оптических приборов, прогрессивными – лазеров и цифрового оборудования и архаичными – классические методы с использованием ватерпаса и рулетки. Имеет место применение устройств комбинированного типа [1-5].

Каждый тип устройств имеет как достоинства так и недостатки, и выбор типа устройства, который будет наиболее эффективным в конкретных производственных условиях является непростой задачей.

Из оптических приборов наиболее пригодными для судового корпусостроения являются теодолиты. Они предназначены для измерения горизонтальных и