

К ВОПРОСУ О КРЕПЛЕНИИ КЛЕТЫ ПИЛИГРИМОВОГО СТАНА*Запорожская государственная инженерная академия*

Розглянуто теоретичне дослідження навантажень кліті пилигримового стану із урахуванням імпульсного характеру процесу прокатки. Проведено аналіз одержаних результатів. Розроблені заходи щодо зменшення динамічних навантажень на кліть, конструкція вузла кріплення кліті, а також рекомендації з підвищення втомної міцності болтів.

Рассмотрено теоретическое исследование нагрузок клетки пилигримового стана с учетом импульсного характера процесса прокатки. Проведен анализ полученных результатов. Разработаны меры по уменьшению динамических нагрузок на клеть, конструкция узла крепления клетки, а также рекомендации по повышению усталостной прочности болтов.

Для производства бесшовных труб используют трубопрокатные автоматические пилигримовые и другие станы. Пилигримовую прокатку выполняют в калибрах переменного сечения. Прошивку заготовки осуществляют цилиндрической оправкой (дорном), связанной с подающим аппаратом, который в процессе прокатки создает подпор, препятствующий перемещению гильзы в направлении транспортирования. Процесс пилигримовой прокатки является периодическим: цикл деформации (движение заготовки на оправке при деформации осуществляется в направлении противоположном направлению транспортирования трубы) чередуется с циклом транспортирования [1,2].

В начальный момент прокатки валки, имеющие переменный радиус в пределах полного оборота, захватывают участок гильзы с дорном. В течение одного оборота валок раскатывает захваченный участок гильзы до толщины стенки и диаметра трубы, а по его завершении оказывается повернутым к гильзе наименьшим радиусом. В этот момент подающий аппарат осуществляет перемещение гильзы к валкам на величину 10...35 мм и описанный цикл повторяется.

Таким образом, прокатка характеризуется соударениями подвижных частей подающего аппарата, дорна с гильзой и валками стана. Данные соударения происходят систематически с периодичностью 50...90 раз в минуту, что позволяет оценивать нагрузку клетки при прокатке как динамическую, вызывающую ее колебания. В пользу этого свидетельствуют усталостные повреждения болтов крепления станины клетки.

Постановка задачи. Целью данной работы является анализ динамических нагрузок, действующих на клеть стана, а также усовершенствование узлов крепления клетки.

Основная часть исследований. При соударении дорна с гильзой и валками на клетки возникает опрокидывающий момент, действующий очень короткое время. Результатом этого является приобретение станиной клетки начальной скорости и затухающих колебаний.

Рассмотрим влияние момента на устойчивость клетки. Для этого представляем станину клетки твердым телом, закрепленным упругими связями к основанию (рис.1).

Жесткость упругих связей на растяжение c_p и сжатие c_c полагают различными, так как при действии опрокидывающего момента на клеть деформируются (растягиваются) болты крепления, а лапы станины подвергаются сжатию.

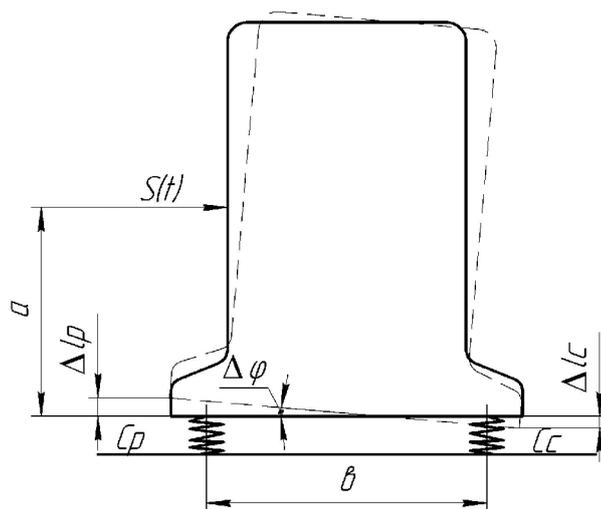


Рисунок 1 – Расчетная схема крети на опрокидывание

Если под действием опрокидывающего момента $M(t)$ креть поворачивается на угол $\Delta\varphi = (\Delta lp + \Delta lc)/b$, то эквивалентная жесткость узлов крепления составляет $c = M(t)/\Delta\varphi$.

Потенциальную энергию упругих элементов узлов крепления можно записать как

$$\Pi = 0,5\tilde{N} \cdot \varphi^2, \quad (1)$$

где c - приведенная жесткость элементов крепления станины к фундаменту; φ - угол поворота станины.

Кинетическая энергия станины крети при ее колебаниях определяется уравнением

$$T = 0,5I \cdot \omega^2, \quad (2)$$

где ω - угловая скорость при повороте станины вокруг принятого центра вращения (посередине между опорами), $\omega = d\varphi/dt$; I - момент инерции станины относительно этого же центра вращения.

Функция Лагранжа для станины имеет вид:

$$L = T - \Pi = 0,5(I \cdot \omega^2 - c \cdot \varphi^2) \quad (3)$$

Уравнение Лагранжа второго рода

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \omega} - \frac{\partial L}{\partial \varphi} = M(t), \quad (4)$$

где $M(t)$ - опрокидывающий момент; $M(t) = S(t) a$; $S(t)$ - нагрузка крети; a - плечо силы $S(t)$ относительно плоскости крепления станины.

Нагрузку $S(t)$ представляют в виде

$$S(t) = F' \cdot \delta(t), \quad (5)$$

где F' - модуль ударной силы; $\delta(t)$ - дельта-функция Дирака.

Применяя к движению гильзы с дорном теорему об изменении количества движения, имеют импульс силы:

$$S(t) = m \cdot (v_1 - v_2), \quad (6)$$

где m - суммарная масса гильзы, дорна и подвижных частей подающего аппарата; v_1, v_2 - соответственно скорость подачи гильзы к валкам и скорость ее движения после захвата валками.

Из уравнений (3) и (4) при $c/I = k^2$ имеют

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + k^2\varphi = \frac{\alpha \cdot F}{I} \delta(t), \quad (7)$$

После решения уравнения (7) при нулевых начальных условиях с применением интегрального преобразования Лапласа окончательно можно записать:

$$\varphi = \frac{\alpha \cdot F}{(I \cdot c)^{0,5}} \cdot \sin kt. \quad (8)$$

При $kt = 0,5 \pi$ получают:

- максимальный угол поворота станины

$$\varphi_{max} = \frac{\alpha \cdot F}{I \cdot c}; \quad (9)$$

- максимальный опрокидывающий момент

$$M_{max} = c \cdot \varphi_{max} = \alpha \cdot F \cdot \left(\frac{c}{I}\right)^{0,5}; \quad (10)$$

- максимальную динамическую нагрузку, действующую на узлы крепления станины к фундаменту:

$$P_{max} = \frac{M_{max}^{0,5}}{b}. \quad (11)$$

Для уменьшения максимальных значений угла поворота станины и силовых параметров:

– целесообразно изменить расположение лап крепления клетки (рис.2), максимально приблизив их к оси прокатки. Также желательно, по возможности, разнести их в направлении, перпендикулярном оси прокатки (то есть уменьшить a), увеличить расстояние b между узлами крепления вдоль оси прокатки;

– увеличить момент инерции I клетки относительно оси ее вращения, выполнив клеть большей массы.

Крепление выполняют болтами с предварительной затяжкой. Опрокидывающий момент нагружает эти болты продольными силами F_1 , которые на передней стороне клетки стремятся оторвать лапы клетки от фундамента. Поскольку момент пропорционален эквивалентной жесткости узлов крепления, остановимся подробнее на путях ее снижения за счет жесткости на растяжение C_p .

Дополнительную нагрузку на болт F_{δ} , раскрывающую стык, определяют из выражения:

$$F_{\delta} = \chi \cdot P_{max} = \frac{\tilde{n}_a}{\tilde{n}_a + \tilde{n}_a} \cdot P_{max}, \quad (12)$$

где χ - коэффициент внешней нагрузки; c_{δ}, c_{δ} - жесткости соответственно болтов и лап клетки.

Известно, что в резьбовом соединении с предварительной затяжкой внешняя нагрузка F_{δ} передается на болты частично [4] поэтому уменьшение жесткости болта c_{δ}

(рост его податливости) и увеличение жесткости соединяемых деталей c_d приводит к снижению коэффициента внешней нагрузки (отсюда правило конструирования: жесткие фланцы – податливые болты).

Податливость болта возрастает с увеличением его длины, уменьшением площади поперечного сечения, а также изготовлением из материала с низким модулем упругости (например, из титана, для которого $E = 1,1 \cdot 10^4$ МПа).

Однако, болты с пониженным поперечным сечением имеют и меньшую прочность при статических и переменных нагрузках.

Прочность при переменных нагрузках легко повысить конструктивными и технологическими мероприятиями:

- оптимизацией профиля резьбы (при переходе от плоской впадины к закругленной с радиусом $0,1 p$, где p - шаг резьбы) на 23% повышается усталостная прочность);
- плавными переходами у головки болта и у сбега резьбы;
- изготовлением резьбы накаткой, а также обкаткой впадин роликами удается увеличить в 2...3 раза усталостную прочность [5].

Статическую прочность соединения обеспечивают количеством болтов в узлах крепления.

На рис.2,*а* показан существующий узел крепления клетки, разработанный для случая действия только статических нагрузок, а на рис.2,*б* – рекомендуемый узел с учетом действующих нагрузок. Предлагается осуществить шарнирное закрепление лапы клетки на станине, а на раме - двумя рядами болтов, конструктивно выполненных с учетом приведенных выше рекомендаций.

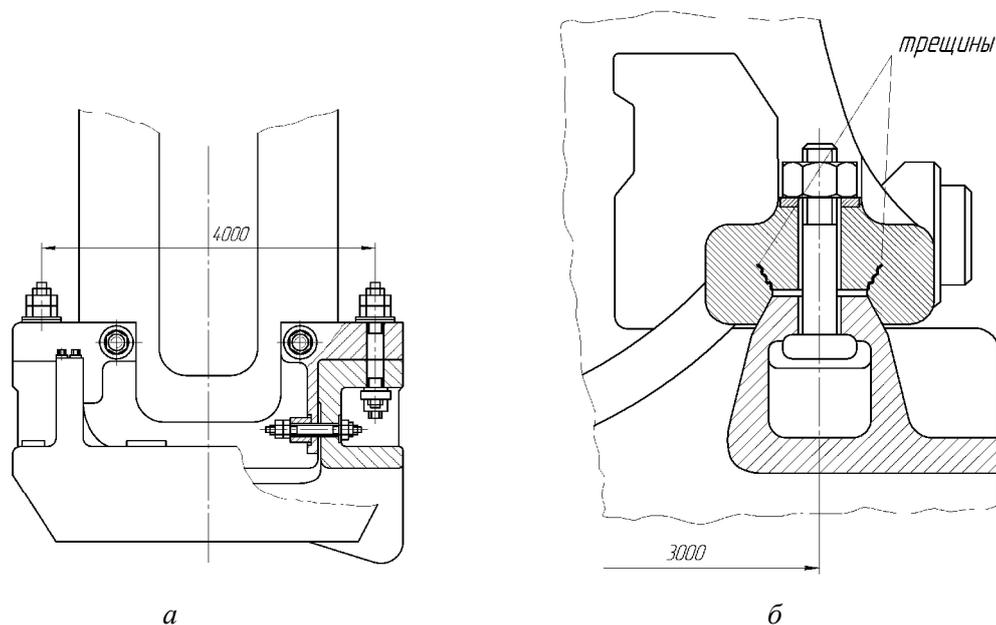


Рисунок 2 – Схемы узлов крепления клетки существующего стана (*а*) и рекомендуемого узла с учетом действующих нагрузок (*б*)

Выводы. Проведенные исследования позволили разработать рекомендации по снижению динамических нагрузок, которые возникают при работе стана и зависят от геометрических и массовых характеристик клетки. Разработан узел крепления с высокой усталостной прочностью, который учитывает действующие динамические нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство труб на установках с пилигримовыми станами / *В.М.Друян, В.В.Перчаник, Г.Н.Кущинский, Г.А.Карпов.* - М.: Металлургия, 1973. - 239 с.
2. *Королев А.А.* Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. - М.: Металлургия, 1969. - 464 с.
3. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. - М: Физматгиз, 1959. - 444 с.
4. *Иоселевич Г.Б.* Детали машин. - М: Машиностроение, 1988. - 368 с.

Стаття надійшла до редакції 29.12.2008 р.

Рецензент, проф. В.О.Ніколаєв