

ИНЖИНИРИНГ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 669.04: 621.771.06

Н.В. Савельев, Э.Я. Живаго, В.В. Ерастов

Сибирский государственный индустриальный университет

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПАР ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ШПИНДЕЛЕЙ

В машинах технологических агрегатов тяжелой промышленности до настоящего времени широко используются пары трения скольжения, одним из видов которых являются узлы трения универсальных шпинделей приводов клетей прокатных станов. Пары трения этих узлов рассчитаны по стандартному методу [1] и должны работать в течение периода, превышающего один год эксплуатации стана. Однако практика показывает что, срок службы пар трения скольжения приводов тяжело нагруженных технологических машин достигает, в лучшем случае, двух-трех месяцев. В этой ситуации необходимо оценить процессы, которые на самом деле происходят в зоне взаимодействия таких пар.

По интенсивности износа бронзового вкладыша пары трения универсального шпинделя черновой клети не-прерывно-заготовочного стана (НЗС) ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ЗСМК) уточним возможный механизм взаимодействия контактируемых поверхностей узлов трения универсальных шпинделей.

Существующие механизмы взаимодействия поверхностей пар трения скольжения имеют вполне определенные интенсивности своего износа, что позволяет по этому параметру установить доминирующий механизм взаимодействия контактируемых поверхностей. При выполнении процедуры выявления механизма трения вкладыша из бронзы АЖ9-4 и стальной вилки универсального шпинделя по интенсивности износа были взяты за основу результаты работ Б.И. Костетского и др. [2, 3]. Согласно этим результатам, все механизмы трения скольжения подразделяются на две большие группы: группу механизмов трения и износа в машинах и группу механизмов трения при обработке материалов (рис. 1).

Группа механизмов трения и износа в машинах (рис. 1, а) в свою очередь включает три области, первая из которых – область неустойчивых процессов при малых параметрах нагружения (давления p и скорости v перемещения плоскостей относительно друг друга). Этой области трения соответствует минимальный износ контактируемых поверхностей. При переходе ко второй области в зоне трения возникает упорядоченная, самоорганизующаяся структура в виде динамического равновесия механохимических процессов образования и разрушения вторичных структур с допустимой интенсивностью износа. Ужесточение внешних условий

взаимодействия поверхностей трения приводит к возникновению неустойчивого состояния повреждаемости поверхностей трения – области III (рис. 1, а). В этой области с различными механизмами неустойчивого состояния взаимодействия поверхностей возникает интенсивный их износ, приводящий к быстрому выходу пары трения из строя. График интенсивностей износа ($I_{\text{н}}$), соответствующий различным видам взаимодействия поверхностей в паре трения, приведен на рис. 1, б.

Для определения интенсивности износа в паре трения универсального шпинделя прокатной клети НЗС был собран статистический материал в виде замеров величины износа элементов пары трения на протяжении годичного срока эксплуатации стана. По этим данным произведен расчет интенсивности износа вкладышей универсального шпинделя прокатного стана. Средняя

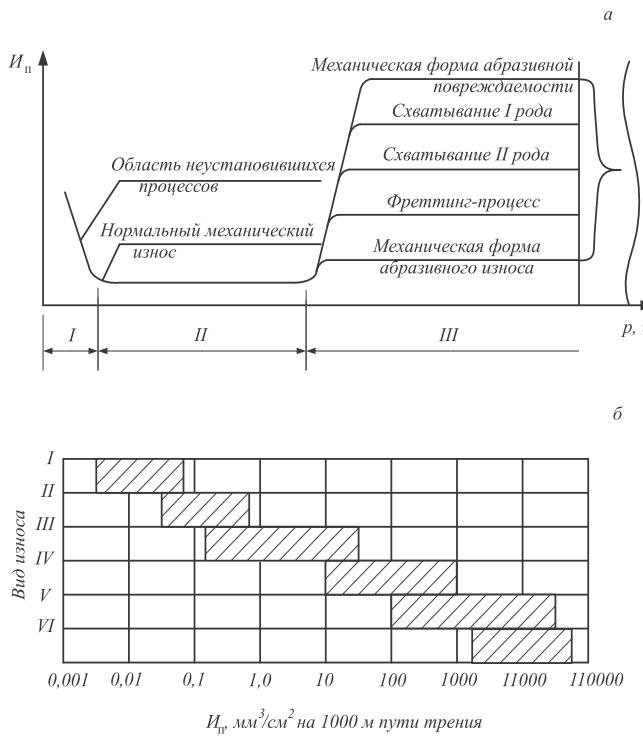


Рис. 1. Механизмы трения и характер интенсивности поверхностного разрушения:
а – механизмы трения и износа; б – график интенсивности поверхностного разрушения при различных видах износа и повреждаемости

величина интенсивности износа была найдена следующим образом:

$$I_n = \frac{V}{L} = \frac{200\,000}{139\,320} \cdot 1000 = 1435,54 \text{ мм}^3/\text{см}^2 \text{ 1000 м},$$

где V – средний по выборке объем изношенного слоя материала; L – усредненная по выборке длина пути относительного перемещения поверхностей при трении.

При сравнении интенсивности износа с данными, полученными в работе [3] и приведенными на рис. 1, б, выясняется, что механизмом взаимодействия поверхностей в паре трения шпинделя прокатной клети является фреттинг-процесс. При этом механизме трения характерно появление в зоне контакта поверхностей больших локальных нагрузок, приводящих к механическому их повреждению. Отсюда появляется потребность в более детальной оценке нагрузок, которые происходят в парах трения узлов приводов тяжелых технологических машин при передаче через них механической энергии.

Анализируемые нагрузки в зоне трения головки и в теле шпинделя были получены во время промышленного эксперимента, выполненного на черновой клети «Б» непрерывно-заготовочного стана ОАО ЗСМК [4]. В эксперименте на тело шпинделя были наклеены тензомосты, а в тело вкладыша головки шпинделя установлены десять тензометров (рис. 2). С помощью этих приборов были записаны силовые характеристики процесса передачи энергии во время прокатки полосы. Записи момента кручения тела шпинделя и давления в третьей точке зоны контакта вкладыш – лопасть шпинделя показаны на рис. 3, а и 3, б.

Для выявления того, что собой представляет силовой процесс в зоне трения шпинделя, был выполнен частотно-амплитудный анализ. Функция, описывающая характер изменения давления в рассматриваемой точке

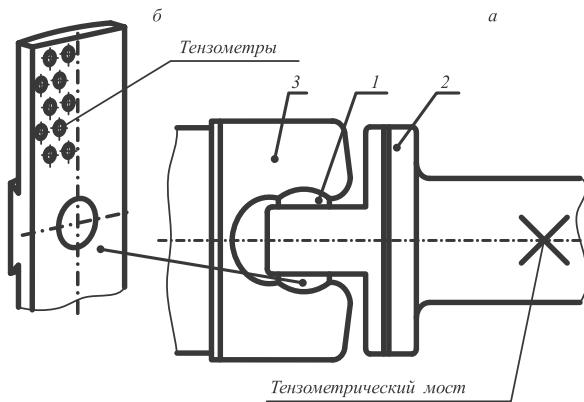


Рис. 2. Расположение тензометров в теле универсального шпинделя клети «Б» непрерывно-заготовочного стана ОАО ЗСМК:
а – размещение тензомоста для фиксации крутящего момента на шпинделе; б – место установки во вкладыше шпинделя третьего тензометра;
1 – вкладыш; 2 – вилка; 3 – лопасть шпинделя

зоны трения, полученная на основе прямого замера давления, была разложена в ряд Фурье по частотам. Анализу подвергли участок колебательного процесса, который был реализован на временном периоде в секундах $T = [0 \div 0,1]$. Функции давления $p_3(t)$ на этом участке представлены в форме ряда Фурье вида

$$p_3(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos \frac{2\pi k}{T} t + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin \frac{2\pi k}{T} t,$$

коэффициенты которого определяются следующим образом:

$$a_k = \frac{h \left(p_1 \cos(\omega_k h) + p_m \cos(\omega_k hm) + 2 \sum_{i=1}^{m-1} p_i \cos(\omega_k hi) \right)}{T};$$

$$b_k = \frac{h \left(p_1 \cos(\omega_k h) + p_m \cos(\omega_k hm) + 2 \sum_{i=1}^{m-1} p_i \cos(\omega_k hi) \right)}{T},$$

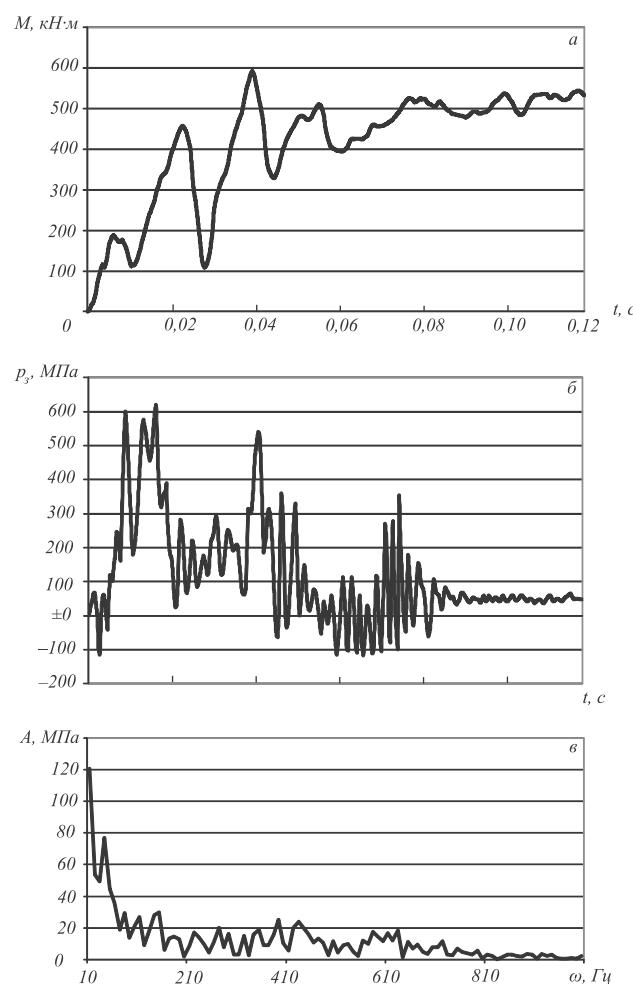


Рис. 3. Графики силовых и частотных характеристик процесса передачи механической энергии через элементы шпинделя:
а – момент на валу шпинделя; б – давление в третьей точке контакта вкладыш – лопасть шпинделя; в – амплитудно-частотная характеристика давления в третьей точке вкладыша универсального шпинделя

здесь $A(k) = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ и $\omega_k = \frac{2\pi k}{n}$ – амплитуда и частота моды колебаний; k – гармоническая компонента; $h = T/m$ – шаг расчета; m – количество данных.

В результате на рис. 3, в получена частотно-амплитудная характеристика кривой изменения параметра $p_3(t)$. Из представленного на этом рисунке графика видно, что амплитудное значение давления непосредственно в третьей точке зоны трения при 10 Гц составляет порядка 120 МПа. Одновременно спектр значимых колебаний охватывает значительный диапазон частот колебаний. Вплоть до частоты в 800 Гц амплитуды давления составляют 10 – 20 МПа; допускаемое давление при расчете пары трения 12 МПа [5]. Из сравнения реального давления с допустимым следует, что интенсивный износ при такой нагрузке неизбежен.

Выходы. Из анализа спектра колебаний нагрузки в зоне контакта лопасти с вкладышем следует, что интен-

сивный износ вкладыша шпинделя вполне обоснован и соответствует тем давлениям, которые там возникают. Показано, что в зоне контакта энергопроводящей пары трения идут свои локальные динамические процессы очень высокой интенсивности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Целиков А.И. Прокатные станы. – М: Металлургиздат, 1946. – 460 с.
2. Костецкий Б.И. // Надежность и долговечность машин и сооружений. 1982. № 1. С. 72 – 82.
3. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 478 с.
4. Савельев А.Н., Савельев Н.В. / Изв. вуз. Черная металлургия. 2002. № 8. С. 51 – 53.
5. Ануров В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т.2. 9-е изд., перераб. и доп./ Под. ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 960 с.

© 2012 г. Н.В. Савельев, Э.Я. Живаго, В.В. Ерастов
Поступила 31 января 2012 г.