

А.В. Баглай, В.В. Веренев

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ВИБРОПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
В СМЕЖНЫХ ПРОКАТНЫХ КЛЕТЯХ**

Аннотация. Представлен сравнительный анализ результатов измерений переходных процессов в трех смежных черновых клетях стана 1680, отличающихся техническим состоянием по износу сочленений. Показано, что путем сравнения вибропараметров, измеряемых на идентичных участках линий привода можно давать оценку технического состояния оборудования.

Ключевые слова: вибрация, момент, линия привода, прокатная клеть, диагностика.

При разработке систем технической диагностики одна из важных задач состоит в разработке методов и правил определения состояния оборудования по результатам измерений. Для машин и механизмов с постоянной частотой вращения такие методы разработаны и успешно используются на практике. Во многом они основаны на спектральном и корреляционном анализе записей измерений, на сравнении с допускаемыми значениями вибрации и др.

В прокатных станах кроме стационарного вращения линии главного привода существенно проявляются динамические процессы во время захвата полосы валками. На их уровень влияют зазоры в сочленениях последовательной линии передачи момента: хвостовик валка – шпиндель – шестеренный валок – зацепление муфт и редуктора, а также в подшипниковых опорах. В связи с этим актуально знание состояния не только подшипников, но и износ сочленений в крутильной системе, что может быть установлено по данным измерений только во время захвата полосы.

Поставленная задача состоит в разработке метода анализа общего состояния оборудования крутильной системы линии привода и тенденции его изменения путем сравнения вибродинамических процессов в смежных клетях прокатного стана.

Одним из первых, кто показал влияние износа сочленений и образующихся из-за этого угловых зазоров в прокатных станах был С.Н. Кожевников. Экспериментально это подтверждено результатами измерений в 1959–60 гг. момента сил упругости в клетях непрерывного широкополосного стана 1680 металлургического комбината "Запорожсталь" [1]. Тогда же С.Н. Кожевниковым и его школой был фактически разработан метод определения зазора в шпиндельном сочленении. Его суть состоит в том, что путем математического моделирования переходного процесса при захвате полосы валками подбирается такая величина зазора, при которой вид переходного процесса по частоте и величине максимального пикового момента совпадают с результатами измерений или весьма близки к ним. Такой подход к опосредованному диагностированию успешно применялся при исследовании многих станов. Однако, отсутствие на станах штатных измерителей механического момента на шпинделях или промежуточном валу не позволяет применять данный метод.

В последние два десятилетия существенно возросли интерес и потребность в расширении количества узлов и точек, в которых измеряются вибропараметры в прокатных клетях. Накоплен опыт совместного измерения крутящего момента с помощью бесконтактной системы передачи с вращающегося вала сигнала, разработанный Е.Я. Подковыриным [2], и вибрации в нескольких точках [3–5]. Анализ результатов измерений показал существенное подобие переходных процессов в этих сигналах. Это дало основание разработать новый подход к процессу диагностирования технического состояния оборудования линий главного привода прокатных клетей. Рассмотрим результаты одновременных измерений момента сил упругости на промежуточном валу между двигателем и редуктором и виброперемещения в нескольких точках корпусного оборудования вдоль линий привода черновых клетей № 1, 2 и 3 стана 1680 (рис.1). В период ударного нагружения при захвате полосы валками момент сопротивления, распространяющийся вдоль линии от валков к двигателю, представляет собой силовой параметр, на который оборудование откликается в виде вибрационного переходного процесса. Поэтому естественно, что при увеличении износа и зазоров в крутильной системе линии и подшипниковых опорах зубчатых колес динамические нагрузки по моменту и амплитуде вибраций также возрастают. Воспользуемся из-

вестными данными записей в агрегатных журналах. В клетки № 1 установлены шпиндели с новыми бронзовыми вкладышами. К моменту измерений их наработка составила 5 суток. Время работы шпинделей в клетях № 2 и 3 составило соответственно 27 и 93 суток. Поэтому естественно считать, что техническое состояние линий привода всех трех клеток, прежде всего шпиндельного участка, было различным.

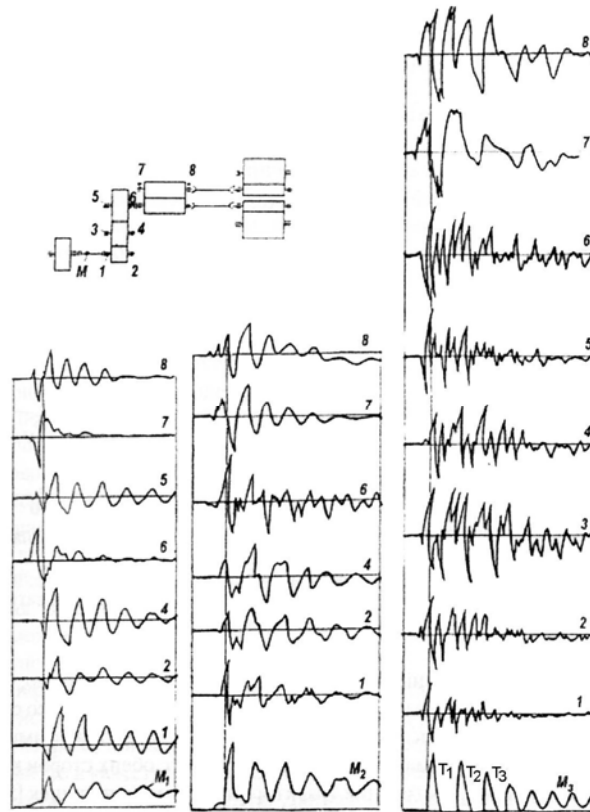


Рисунок 1 - Переходные процессы в оборудовании клеток 1, 2, 3 стана 1680 при захвате полосы валками. Точкам 1, 2...8 у кривых соответствует виброперемещение корпуса редуктора и шестеренной клетки, М - момент сил упругости

С учетом этих знаний дадим анализ переходных процессов и их параметров. В клетки № 1 колебания момента с частой 19 Гц затухают в течение 0,5 с. В точках 1, 2, 4, 5 наблюдается аналогичный одночастотный затухающий процесс. Отметим, что составляющие более высоких частот отсутствуют. В точках 7 и 8 шестеренной клетки и точках 5, 6 колеса редуктора следовало ожидать совпадение процессов ввиду их симметрии. Однако этого не происходит. Можно полагать, что здесь процесс смягчается из-за действия на цапфы колеса и нижнего шестеренного валка массивной промежуточной муфты.

В подшипниковых опорах клетки № 2 в целом наблюдаются аналогичные затухающие колебания, равные или близкие по частоте колебаниям момента. Стало заметным наложение на вибрацию редуктора составляющей с более высокой частотой. Характер вибрации крышки шестеренной клетки в точках 7 и 8 идентичен моменту.

По сравнению с клетями № 1 и 2 колебания момента в клетке № 3 носят специфический характер: после первых 2–3-х пиков момент кратковременно падает до нуля. Это означает, что вал, на котором расположен измеритель момента, в этих промежутках не передает момент из-за разрыва силового контакта между зубьями (размыкания зазора) быстроходной шестерни и колеса (центра) редуктора. Какое-то время зубья шестерни и колеса движутся в поле зазора. Последующие его замыкания, отмеченные вторым и третьим пиком момента, приводят к ударному взаимодействию в зацеплении редуктора, что отражается на вибрации корпуса с высокой частотой его собственных колебаний. Результаты математического моделирования показывают, чем больше износ бронзовых вкладышей (угловой зазор) в шпиндельном сочленении и зубьев, тем больше динамическая составляющая момента и длительней размыкание зубчатого зацепления. Ввиду этого появляется высокочастотная составляющая вибрации крышки редуктора.

Отметим одну общую особенность, касающуюся времени распространения крутильного ударного импульса от шестеренной клетки к двигателю. Его можно определять по началу реакции датчиков. Из рис. 1 видно, что первыми начинают подавать сигнал датчики 7, 8 на крышке шестеренной клетки. Затем наблюдается тенденция последовательного увеличения времени запаздывания реакции. Позднее всех наступает реакция момента на промежуточном валу. Согласно работе [2] это время несет важную информацию о состоянии участков линии привода.

Кинематические схемы главных линий и редукторов рассматриваемых клеток идентичны. Отличие состоит в передаточных отношениях и массе (моменте инерции) колес. По динамическим свойствам системы близки (частота собственных колебаний момента составляет 14–19 Гц). Поэтому есть основания утверждать, что из-за ухудшения технического состояния (по износу) участков линии привода система от нормального (клетка № 1) через промежуточное (клетка № 2)

переходит в состояние с повышенным уровнем высокочастотной вибрации, подобно клетки № 3. Безусловно, сам факт, что наработка шпиндельного участка клетки № 3 наибольшая, позволяет считать, что из трех клеток ее техническое состояние в рассматриваемый период оказывается наихудшим. Однако измерения и анализ вибрационного поля без измерения момента позволяют существенно углубить познание состояния узлов линии привода.

На основании опыта экспериментальных измерений момента сил упругости и вибраций в клетях других широкополосных станков разработаны логические правила анализа вибрации в контрольных точках, способствующие распознаванию ТС по измерениям виброперемещения, как интегрального показателя переходных режимов.

1. Предполагается, что после капитального ремонта клеток стана и установки шпинделей с новыми бронзовыми вкладышами оборудование находится в наилучшем техническом состоянии, назовем его нормой (Н). Признаком этого является то, что переходные процессы в контрольных точках имеют вид явно выраженных затухающих колебаний, как это наблюдается в клетки № 1. В базе данных их параметры (частота, период, время затухания колебаний, максимальный размах) и вид с привязкой к дате и объему ремонтного обслуживания хранятся в качестве базовых или исходных.

2. Все следующие периодические измерения в идентичных точках вдоль линии привода сравнивают с базовыми параметрами: частота и длительность колебаний, максимальный размах (амплитуда) сигнала, период между первыми двумя пиками. При этом каждый раз из агрегатных журналов записываются даты и содержание текущих ремонтов, замены оборудования, время наработки после ремонта шпинделей, шестеренной клетки и редуктора. Сравнение ведется также между смежными клетями.

3. Появление на некотором этапе работы клетки в переходный период захвата полосы валками высокочастотной составляющей в одном или нескольких сигналах указывает на следующие моменты.

а. Если время наработки шпинделей и редуктора сравнительно небольшое (менее 10–20 суток, в течение которого не могло произойти существенного износа зубчатых зацеплений и подшипниковых опор), следует предположить, что произошло ослабление затяжки

болтов крепления. Это особенно верно для случаев, когда высокая частота проявляется в одной-двух точках.

б. Если высокая частота начинает проявляться одновременно во всех точках редуктора и его наработка превышает 50 суток, можно сделать вывод о начале проявления износа зубчатых зацеплений.

в. Появление систематической высокочастотной составляющей во всех сигналах редуктора с заметно увеличившейся амплитудой подобно клетки № 3 указывает на существенный износ зубьев. Происходит размыкание их контакта, образование зазора и последующее его ударное замыкание. Повышенная частота составляющей вибрации в 2–4 раза превышает частоту колебаний момента. В вибросигнале проявляется частота колебаний момента – периоды T_1 , T_2 . В клетки № 3, ко времени измерений наработка редуктора составила 9,5 месяцев.

4. Анализу подвергается разность времен запаздывания реакции различных виброточек. Например, в клетки № 1 разность $\Delta t_{65} = 7$ мс, в других клетях она равна нулю. Это дает основание для тщательного анализа вибрации в т. 5 при постоянной скорости во время прокатки и холостого хода. Установка датчика на прокатной клетки позволяет глубже определять ТС линии привода, включая шпиндельный участок.

Приведенные примеры распознавания ТС оборудования не являются исчерпывающими. Использование в диагностических целях виброизмерений в режиме захвата полосы валками в разработках компании "ДИАМЕХ" находится в начальной стадии. Соединение информации в этом режиме наряду с измерениями во время процесса прокатки и холостого хода прокатного стана позволяет существенно расширить и углубить диагностирование ТС оборудования.

Выводы

Переходные процессы во время захвата полосы валками обладают существенной информативностью связанной с техническим состоянием оборудования.

Путем сравнения отслеживания характера изменения вибраций, их уровня и частоты в идентичных точках нескольких смежных прокатных клеток можно давать качественную оценку общему техническому состоянию оборудования с учетом дат ремонтных воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кожевников С.Н. Экспериментальное исследование главных линий чистовой группы клетей непрерывного тонколистового стана 1680 мм завода "Запорожсталь" / С.Н. Кожевников, П.Я. Скичко // Известия вузов. Черная металлургия. –1961. – № 12. – С. 179–184.
2. Подковырин Е.Я. Бесконтактный измеритель крутящего момента / Е.Я. Подковырин // Динамика металлургических машин. – М.: Металлургия. Труды Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины. – 1969. – Т.ХХХ1. – С. 159–161.
3. Діагностування механічного обладнання металургійних підприємств / Седуш В.Я., Кравченко В.М., Сидоров В.А. та ін. Монографія. Донецьк. 2004. – 98 с.
4. Ульяницкий В.Н. Техническая диагностика металлургического оборудования. Учебное пособие. – Алчевск. ДГМИ. 0 2004. – 186 с.
5. Диагностика и динамика прокатных станов / В.В. Веренев, В.И. Большаков, А.Ю. Путноки и др. // Монография. Днепропетровск, ИМА–пресс. – 2007. – 144 с.