

В.В.Вернев

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ

Предлагается параметры и факторы, от которых зависят динамические нагрузки в главных линиях прокатных клетей, объединить в три группы – конструктивную, технологическую и технического состояния. Это позволяет в первую очередь исследовать основные закономерности изменения нагрузок при захвате полосы валками и определить направления поиска путей их уменьшения.

Введение. Решение задачи динамики прокатной клетки при захвате полосы валками состоит в определении максимальной динамической нагрузки или коэффициента динамичности в упругих связях линии главного привода. С этой целью применяются многомассовые дискретные модели, которые описываются известной системой дифференциальных уравнений в форме С.Н. Кожевникова.

Динамические нагрузки и коэффициент динамичности зависят от множества параметров и факторов, таких как время захвата полосы, характер нарастания нагрузки, зазоры, скорость прокатки (или заготовки), жесткость клетки, упруго–массовые параметры главной линии, параметры главного привода. К ним следует отнести также параметры полосы (толщина и ширина на входе и выходе из клетки), ее температуру, энергосиловые параметры, сопротивление деформации и др. и такой фактор, как их отклонение от заданных (номинальных).

В общем случае зависимость для максимального пикового момента сил упругости или, например, коэффициента динамичности на каком-либо i -м участке K_i можно представить многомерной функцией множества параметров P_j :

$$K_i = K_i(P_j), \quad (1)$$

где $j = 1, 2, \dots, n$. Задача сводится к отысканию области таких их значений, при которых достигается минимум функции K_i или выполняется неравенство $K_i < K_{i3}$, где K_{i3} – наперед заданная величина, до которой требуется уменьшить коэффициент динамичности на i -м участке.

Очевидно, что знание глобального минимума функции K_i (при условии его существования) не представляет практического интереса, поскольку он, если существует, может оказаться в области не реализуемых параметров. С практической точки зрения более важным является изучение поведения функции (1) с учетом ограничений на P_j . Это дает возможность определить вклад каждого параметра в динамическую составляющую нагрузки и на основании полученных данных оценить и предложить пути уменьшения пиковых нагрузок. Однако, для этого необходимо рассматривать значительное количество вариантов, каждый раз решая систе-

му дифференциальных уравнений, т.к. аналитическое выражение функции (1) в общем случае отсутствует. При этом нет гарантии, что «лучшие» решения не будут пропущены.

Постановка задачи. При таком множестве параметров возникает вопрос: в какой наиболее рациональной последовательности следует принимать их во внимание при моделировании переходных процессов, чтобы ускорить поиск наилучших решений. Задача усложняется для непрерывных прокатных станов, которые состоят из десятка и более клетей. Каждой из них присущи свои технологические параметры прокатки (скорость, обжатие и др.), конструктивные особенности, частотные свойства главных линий, техническое состояние оборудования. Естественно, что динамическая нагруженность и переходные процессы в клетях разные. При такой ситуации успешное решение задачи уменьшения динамических нагрузок для одной клетки не гарантирует, что это решение (или его составляющие) окажется пригодным для других клеток рассматриваемого стана. Очевидно, что здесь необходим системный подход, который бы учитывал специфику указанных выше параметров и их проявления, а также особенности технологии и оборудования непрерывного стана.

Изложение основных материалов исследования. Фактически в известных работах рассматриваются 2–3 фактора (раздельно, иногда совместно), которые, по мнению исследователей, являются наиболее влиятельными. Например, такие как зазоры, скорость прокатки, упруго–массовые параметры, функции нагружения.

Наиболее полный перечень параметров и факторов (в количестве 52), которые могут влиять на динамику линии привода при захвате полосы валками, даны в работе [1]. Здесь по методу К.Исикавы построена причинно–следственная диаграмма, которая дает наглядное представление об их взаимосвязях. На основании опыта исследований с учетом принципа Парето, согласно которому наибольшая часть следствий вызывается относительно небольшим количеством причин, авторы путем парного сравнения выделяют в итоге 8, 6 или 4 фактора, оказывающих, по их мнению, наибольшее влияние на динамические нагрузки. Так, при модернизации существующего привода клетки ШПС ГП предлагается учитывать: 1) частотные свойства, 2) открытую в начальный момент захвата часть зазора, 3) воздействие системы управления двигателями, 4) форму передней кромки. В результате предлагается последовательность воздействий на факторы (1), (2) и т.д., следовательно, и поиск путей уменьшения динамических нагрузок. Данный подход является достаточно наглядным в том смысле, что систематизирован перечень выявленных факторов. Однако предложенные варианты последовательности воздействия, например, при модернизации привода, не столь очевидны.

В общем случае задача состоит в том, чтобы разработать метод, позволяющий найти рациональный путь выбора («просмотра») основных параметров и оценки их влияния на динамические нагрузки и, следова-

тельно, обоснованно определить наиболее эффективные пути поиска направлений и методов их уменьшения. Для решения поставленной задачи применен метод, основанный на декомпозиции «большой» задачи на задачи меньшей размерности. В его основу положено разделение параметров, факторов и возмущений на три группы: 1 – конструктивную, 2 – технологическую и 3 – технического состояния.

Основанием предложенного группирования является тот факт, что параметры каждой группы имеют свою специфику математического описания их влияния на динамические процессы. Конструктивные параметры учитываются в коэффициентах системы дифференциальных уравнений, а технологические параметры и возмущения входят в выражения для силы и момента прокатки (технологическое сопротивление), которые представляются в правых частях соответствующих уравнений. Влияние угловых зазоров на соответствующих участках, т.е. параметров технического состояния, описывается нелинейными функциями.

С учетом такого подхода выражение для K_i представлено в виде

$$K_i = K_i(Q_j, T_\ell, S_q), \quad (2)$$

т.е. в зависимости от трех групп параметров. Исследование K_i упрощается, т.к. его следует вести в трех сечениях. Вместе с тем становится очевидным, что поиск путей уменьшения ударных нагрузок также следует вести в трех направлениях: изменять конструктивные и технологические параметры или улучшать параметры технического состояния.

Первый шаг в уменьшении размерности задачи состоит в упрощении многомассовой линии привода путем сведения её до 3-х массовой. Результаты натуральных измерений и моделирования показывают, что такая модель с достаточной точностью отражает фактические переходные процессы в линии привода. В этом случае достаточно иметь зависимость для коэффициента динамичности на двух участках ($i = 2$) – шпindelном и моторном.

Дальнейшее уменьшение размерности задачи основано на опыте натуральных измерений на действующих станах и моделирования динамических процессов и состоит в выделении наиболее влиятельных параметров и факторов в каждой группе. Например, вместо множества конструктивных параметров трехмассовой системы (трех масс и двух жесткостей), как это рассматривается в большинстве моделей главных линий клетей, предложено принять один обобщенный параметр (свертку) – отношение частот n двух низших собственных колебаний. От этого отношения зависят биения колебаний и как следствие уровень динамической составляющей момента сил упругости и коэффициента динамичности. Поэтому в сечении Q вначале достаточно исследовать одномерную функцию $K_{iQ} = K_i(n)$.

Из группы технологических параметров наибольшее влияние на K и M_{\max} оказывают скорость прокатки V при захвате полосы валками, обжатие ΔH и статический момент M_c . Скорость проявляется через функции силы и момента на валках в период заполнения очага деформации металлом, время захвата и статический момент, а обжатие – через время захвата полосы, статический момент и жесткость полосы в очаге деформации. Поэтому функцию K_i в сечении T на начальном этапе предложено рассматривать как зависимость от трех параметров $K_{iT} = K_i(V, \Delta H, M_c)$.

В третьей группе учтен угловой зазор (открытая часть в момент захвата полосы) на шпиндельном $\delta_{ш}$ участке. В сечении S функция K_i имеет вид $K_{iS} = K_i(\delta_{ш}, M_c)$, так как степень влияния $\delta_{ш}$ на коэффициент динамичности зависит от момента M_c . В итоге на начальном этапе исследования коэффициент динамичности рассматривается как функция пяти основных параметров $K_i = K_i(n, V, \Delta H, M_c, \delta_{ш})$, а исследование и поиск наилучших решений предлагается вести раздельно для функций K_{iQ}, K_{iT}, K_{iS} .

Рассмотрим один из вариантов алгоритма действий на примере клетки непрерывного стана.

В первую очередь определяют спектр собственных частот линии главного привода и обобщенный параметр n . Если $n < 1,8$, конструктивные параметры линии нерациональны (чем меньше n , тем динамичнее («хуже») линия). Рассматривают возможность улучшения частотных свойств, например, путем изменения размеров промежуточного вала и шпинделей согласно методике [2]. Если при этом достигается условие $n \geq 1,8$, исследуют зависимость коэффициента динамичности от скорости прокатки в сочетании с зазором в шпиндельном сочленении, т.е. $K_i(V, \delta_{ш})$, при постоянных ΔH и M_c . Она позволяет определить как далеко (близко) фактический диапазон скорости прокатки в данной клетке находится от $K_{i\max}$ [3], чтобы при неблагоприятном их соотношении предусмотреть необходимую коррекцию технологии, например, изменить обжатие.

Выводы. Установлено, чем нерациональнее конструктивные параметры (чем меньше n), тем большее влияние оказывают угловые зазоры на динамику. Поэтому, если эти параметры не удастся существенно улучшить, необходимо предпринять меры по уменьшению угловых зазоров или их влияния на K_i , построив предварительно зависимость $K_i(\delta_{ш})$ при средних значениях ΔH и M_c в этой клетке.

Если в исходной системе конструктивные параметры выбраны рационально ($n > 1,8$), в первую очередь необходимо исследовать функ-

цию $K_i(\delta_{ш})$ и $K_i(V)$ или совместно $K_i(\delta_{ш}, V)$. Избежав множественной детализации параметров и возмущений удастся ускорить процесс исследования.

Заключение. Предложенный метод и обоснование группирования и выделения в первую очередь наиболее влиятельных параметров и факторов позволяет исследовать основные закономерности изменения динамических нагрузок и на их основании определить направления поиска путей их уменьшения.

1. *Большаков В.И., Поздняков В.П.* Применение причинно–следственной диаграммы для поиска путей уменьшения динамических нагрузок металлургических машин // Теория и практика металлургии. – 2005. – № 14. – С.51–57.
2. *Верев В.В.* Инженерная методика выбора оптимальных конструктивных параметров линии привода прокатного стана // Сб. научн. тр. НГУ. – № 13, том 3. – 2002. – С.9–12.
3. *Верев В.В., Большаков В.И., Подобедов Н.И.* Влияние скорости захвата полосы на динамические нагрузки в приводе прокатной клетки // В сб. научн. тр. ИЧМ « Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии » . – 2007. – Вып.14. – С.260–266.

*Статья рекомендована к печати
чл.-корр.НАН Украины В.И.Большаковым*