

УДК 627.771.06:531.8

В.В.Вернев, Н.И.Подобедов, В.В.Коренной**РАСЧЁТНО-ЭМПИРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ПРОКАТНЫХ КЛЕТЯХ***Институт черной металлургии НАН Украины*

Предложен метод определения максимальных динамических нагрузок в главной линии привода прокатной клетки при захвате полосы валками. В статистическую модель переходных процессов задаётся измеренное среднее значение момента электродвигателя и случайные значения углового зазора. Получаемые корреляционные поля динамических и статических нагрузок для широкого диапазона прокатываемых сортов металлов позволяют совершенствовать технологию прокатки и работу оборудования.

Ключевые слова: момент двигателя, момент сил упругости, линия привода, случайный зазор, корреляционное поле.

Постановка вопроса. В процессе эксплуатации прокатного стана необходимо знание максимальных нагрузок M_d , формирующихся в линии главного привода при захвате полосы валками. Их измерение в промышленных условиях сопряжено с трудоёмкими и дорогостоящими работами. Прокатные станы не оснащены стационарными средствами измерения крутящего момента непосредственно в валопроводе. Измеритель, применяемый в Институте чёрной металлургии НАНУ, разработанный Е.Я.Подковыриным [1], предназначен для исследовательских целей [2].

Другой метод состоит в расчёте нагрузок с помощью математических моделей, описывающих переходные процессы в прокатной клетке [3, 4]. Его точность зависит от уровня идентификации, полноты модели описания и учёта факторов и её адаптации к конкретным условиям.

Цель работы – представить метод определения максимальных динамических нагрузок в линии главного привода при захвате полосы валками на основе статистического моделирования с использованием фактических средних значений измеряемого момента $M_{стдв}$ электродвигателя. Момент $M_{стдв}$ не отражает всю полноту переходного процесса и не позволяет получить максимальное значение механического момента M_{dmax} .

Изложение материала. На процесс прокатки, работу оборудования и динамические нагрузки влияет большое количество случайных возмущений. Со стороны технологии – разброс температуры, толщины, ширины подката, скорости прокатки, продольная разнотолщинность полосы и др. Со стороны оборудования – биение валковой системы, износ сочленений и, прежде всего, угловые зазоры в сочленении валок-шпиндель.

Практически на всех станах измеряется электромеханический момент главного привода (рис.1). Очевидно, что на $M_{дв}(t)$ оказывает влияние ряд возмущений. Несмотря на то, что они остаются неизвестными, более важен тот факт, что их проявление отражается случайным образом в каждой

записи $M_{дв}(t)$ по всей длине полосы. Следовательно, для каждой партии полос или некоторого промежутка работы клетки средние значения момента $M_{дв,ср}$, определённые с учётом распределения по длине полос, можно рассматривать как случайные величины. Иначе говоря, процесс прокатки является генератором случайных значений $M_{дв,ср}$. Это даёт основание при моделировании динамических нагрузок при прокатке фактической партии полос в систему уравнений задавать на валки момент $M_{ст,ср} - \dot{\eta} M_{дв,ср}$, где $\dot{\eta}$ – коэффициент полезного действия (к.п.д.) линии, как известную для каждой полосы, однако в целом случайную величину. В ней отразилась совокупность случайных возмущений со стороны технологии. Через разброс средней статической нагрузки $M_{ст,ср}$ технологические возмущения отражаются на динамической нагрузке.

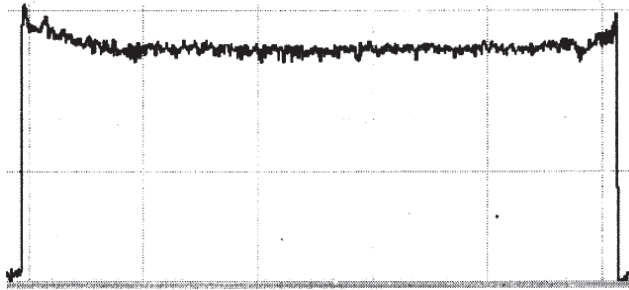


Рис. 1. Момент электродвигателя в клетке 5 стана 1680 при прокатке полосы

Вторая часть задачи состоит в задании в систему уравнений углового зазора $\delta_{ш}$ в шпиндельном сочленении, который также является случайной величиной, переменной во времени. С износом бронзовых вкладышей и увеличением зазора динамическая составляющая $\Delta M_{д}$ нагрузки увеличивается.

В настоящее время разработана следующая модель проявления зазора $\delta_{ш}$. С учётом специфики сочленения во время захвата металла валками создаются условия для раскрытия зазора в среднем на величину $\delta_{ш,ср}$ при случайной составляющей $\sigma_{\delta_{ш}}$ [5]. За время T работы стана $\delta_{ш,ср}$ предлагается определять согласно линейной модели:

$$\delta_{ш,ср}(T_i) = \delta_{ш0} + a(T_i - T_0), \quad (1)$$

где: $\delta_{ш0}$ – начальный (монтажный) зазор, a – средняя скорость увеличения зазора, которая рассчитывается по данным периодических T_i измерений износа вкладышей, например, во время перевалки рабочих валков.

Значение $\sigma_{\delta_{ш}}$ разыгрывается как случайная составляющая зазора $\delta_{ш}(T_i)$.

В результате на вход системы уравнений при расчёте одного варианта задаётся среднее фактическое значение момента $M_{ст,ср}$ и зазор $\delta_{ш}$. По отношению к рассматриваемой партии полос или промежутку времени $M_{ст,ср}$ и зазор $\delta_{ш}$ являются разыгрываемыми случайными величинами. $M_{ст,ср}$ разыгрывается естественным технологическим процессом, $\delta_{ш}$ – со-

гласно методу Монте-Карло. В основу динамической модели линии приняли трёхмассовую рядную расчётную схему и соответствующую ей систему дифференциальных уравнений [2]. Расчёты выполнили на примере чистовых клетей стана 1680 комбината «Запорожсталь». Результаты расчётов представили в виде корреляционного поля значений M_d , $M_{ст}$, например, для участка двигатель-редуктор (рис. 2). Аналогичное поле формируется на шпиндельном участке (при других абсолютных значениях моментов).

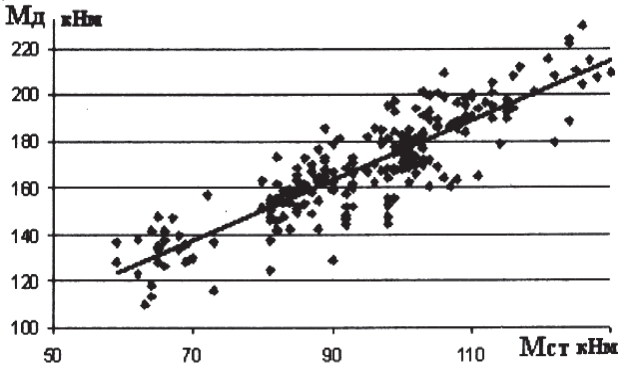


Рис.2. Расчётно-эмпирическое корреляционное поле значений M_d , $M_{ст}$ при прокатке партий полос. Клеть 5

Распушенность поля полностью определяется рассеиванием технологических параметров, которые в совокупности отразились в случайных измеренных значениях момента электродвигателя, и углового зазора в шпиндельном сочленении, обусловленного износом бронзовых вкладышей. С увеличением статического момента явно проявляется тенденция увеличения максимального динамического момента. В случае решения детерминированной задачи точки поля располагаются на прямой линии, что закономерно. Полученные корреляционные поля аппроксимируются уравнением прямой. В данном примере:

$$M_d(M_{ст}) = M_{d0} + k (M_{ст} - M_{ст0}). \quad (2)$$

На рис.3 для этого же участка линии клетки 5 стана построено поле M_d , $M_{ст}$ по данным измерений на действующем стане 1680:

$$M_d(M_{ст}) = 120 + 1,6 (M_{ст} - 50).$$

Отметим, что в обоих примерах использован один и тот же массив случайных значений $M_{ст}$. На основании сравнения рис.2 и 3 и аппроксимирующих выражений и коэффициентов корреляции устанавливаем хорошее совпадение результатов расчётов и измерений.

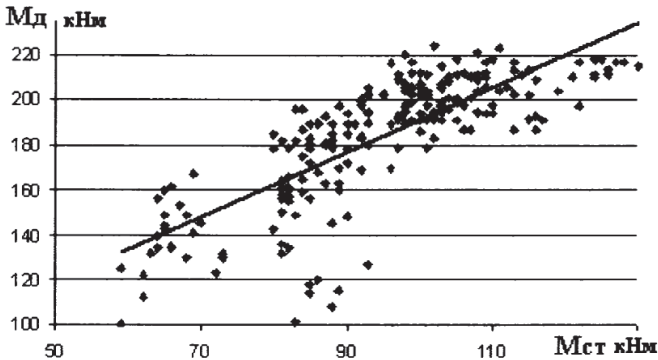


Рис.3. Фактическое корреляционное поле M_d , $M_{ст}$ для тех же партий полос, что на рисунке 2

Рассмотрим, в чём выражается информативность предложенного метода при его применении.

1. С помощью аппроксимации, имеющей конкретное аналитическое выражение для T -го периода работы клетки вида (2), можно определить ожидаемую максимальную динамическую нагрузку при необходимости прокатки более тяжёлого сортамента (по размерам и марке стали).

2. Если для данной клетки задано предельно допускаемое значение максимального динамического момента, можно определить имеющиеся резервы оборудования по отношению к расчётно-эмпирическим значениям максимальной нагрузки.

3. В данном методе определяется абсолютное значение моментов M_d и $M_{ст}$, т.е. те значения, которые необходимы для оценки нагруженности линии. Потребность в определении коэффициента динамичности K и расчёт M_d по формуле $M_d = K M_{ст}$ отпадают.

4. Построение расчётно-эмпирических корреляционных полей одновременно для всех клеток чистовой группы непрерывного стана, когда износ бронзовых вкладышей и величин углового зазора в них разный, позволяет определить наиболее и наименее нагруженные клетки. Подобные знания дают основание принять решение о перераспределении обжатий в клетях, чтобы уменьшить динамические нагрузки в наиболее нагруженных клетях.

5. Результаты статистического моделирования динамических процессов показали, что вид корреляционных полей M_d , $M_{ст}$ (степень их вытянутости или округлости) является информативным признаком для выяснения какое возмущение – со стороны технологии или оборудования оказало наибольшее влияние на M_d .

6. Если в основу математической модели принять многомассовую расчётную схему, динамические нагрузки согласно данному методу можно определять в узлах оборудования, недоступных для измерений момента. В результате появляется возможность накапливать массивы данных о

нагрузках, действующих на различные узлы и детали, определять спектр нагрузок за разные периоды работы стана.

В настоящее время большие массивы информации данных измерений моментов электродвигателей отправляются в архив. Их анализом занимаются только в случаях нарушения технологии или неполадок в оборудовании. Предлагаемый метод позволяет использовать эти массивы и с помощью статистической модели в свою очередь накапливать массивы максимальных динамических нагрузок с целью совершенствования режимов обжатий и работы оборудования, учёта их при расчёте ресурса различных элементов главных линий клетей.

Выводы. Применение расчётно-эмпирического метода даёт широкие возможности определять максимальные динамические нагрузки в любом узле линии главного привода клетки в зависимости от детализации принятой расчётной схемы. При этом используются массивы измеренных значений момента электродвигателя и случайного зазора в шпиндельном соединении. Результаты представляются в виде корреляционных полей M_d , $M_{ст}$, которые достаточно хорошо совпадают с фактическими полями, полученными путём измерений. Метод может быть использован для накопления больших массивов динамических нагрузок, необходимых для совершенствования процесса прокатки и расчёта ресурса узлов оборудования.

1. *Подковырин Е.Я.* Бесконтактный измеритель крутящего момента. // Динамика металлургических машин. ИЧМ. – 1969. – С.159-161.
2. *Динамические* процессы в клетях широкополосного стана 1680 / В.В.Вернев, В.И.Большаков, А.Ю.Путноки, А.Г.Маншилин, С.В.Мацко // Монография. – Днепропетровск: ИМА-пресс, 2011. – 184 с.
3. *Математическая* модель динамической нагруженности главной линии четырёхвалковой клетки прокатного стана / Е.Я.Антонюк, А.И.Бобух, Л.Н.Федоринов // Обработка металла давлением. Сб.научн.тр. ДГМА. – Краматорск. – №1(20). – 2009. – С.519-521.
4. *Большаков В.И., Вернев В.В.* Особенности идентификации динамической модели привода листопркатного стана /Сб. Защита металлургических машин от поломок. Вып. 3. – Мариуполь: ПГТУ,1998. – С. 30-34.
5. *Вернев В.В., Большаков В.И.* Особенности проявления зазоров в главных линиях прокатных станов // Сб. Защита металлургических машин от поломок. Вып. 4. – Мариуполь, 1999. – С. 29-36.

*Статья рекомендована к печати
академиком НАН Украины В.И.Большаковым*

В.В.Вереньов, М.І.Подобєдов, В.В.Коренний

Емпірично-розрахунковий метод визначення динамічних навантажень у прокатних клітях

Запропоновано метод визначення максимальних динамічних навантажень в головній лінії приводу прокатної кліті при захопленні смуги валками. В статистичну модель перехідних процесів задається вимірне середнє значення моменту електродвигуна і випадкові значення кутового зазору. Одержувані кореляційні поля динамічних і статичних навантажень для широкого діапазону прокатуваних сортamentів смуг дають змогу удосконалювати технологію прокатки та роботу устаткування.

Ключові слова: момент двигуна, момент сил пружності, лінія приводу, випадковий зазор, кореляційне поле.

V.V.Verenev, N.I.Podobedov, V.V.Korenoj

Settlement and empirical method for determining the dynamic loads in the rolling stands.

The study offers a method of determining maximum dynamic loads in the main rolling stand drives at the moment of strip biting. The measured average value of the motor torque and casual values of the angular gap are entered into the statistical model of transient processes. The resulting correlation fields of dynamic and static loads for a wide range of the rolled strips contribute to the improvement of the rolling technology and equipment operation.

Keywords: motor torque, the moment of the elastic forces, line drive, random gap correlation field