

ДИНАМИКА ГЛАВНОГО РЕДУКТОРНОГО ЧЕТЫРЕХ ДВИГАТЕЛЬНОГО ПРИВОДА.

Поваляев В.Д., Дворников С.В.

Динамика главного редукторного ($U_p = 6,12$) четырех двигательного индивидуального привода исследована на примере 5 – й клетки стана 2000 Бокаро (Индия), проект реконструкции которого выполнен АО НКМЗ, с целью возможного применения асимметричной прокатки (скорость верхних рабочих валков не равна скорости нижних). Асимметричная прокатка используется на черновых клетях прокатных станов с целью получения требуемой величины и направление изгиба переднего конца раската.

Особенность рассматриваемой схемы главного привода является привод каждого рабочего валка от двух двигателей через трехступенчатый редуктор с передаточным числом 6.12. Суммирование вращающих моментов двигателей осуществляется на выходных валах редуктора путем приложения окружных сил с противоположных сторон тихоходного колеса, что позволяет уменьшить нагрузку на зубья этого колеса и на остальные ступени редуктора. Синхронизация работы двигателей обеспечивается с помощью средств автоматики.

Применение индивидуального привода рабочих валков предполагает возможность регулирования величины скоростной асимметрии рабочих валков в довольно широких пределах путем регулирования скоростей двигателей, сглаживая отрицательное (нерегулируемое в данный момент прокатки) влияние на изгиб полосы других факторов (различные коэффициенты трения на валках, неравномерный нагрев полосы по высоте, размеры очага деформации, угол задачи полосы в валки). Однако, в период нестационарного процесса прокатки, задача усложняется в связи с различной жесткостью трансмиссий привода валков, различной величиной моментов прокатки, зависящих от угловых скоростей валков и, как следствие, различной упругой деформацией трансмиссий. Это требует не только проведение динамических исследований предлагаемой схемы главного привода, но и поиск оптимальной по степени стабилизации величины скоростной асимметрии, схемы главного привода.

Исследование выполнено с использованием математической модели главного привода рабочих валков с учетом фрикционного взаимодействия рабочих валков через деформируемый металл [1]. Цель исследования - определить степень поддержания заданной величины скоростной асимметрии рабочих валков в период неустановившегося процесса прокатки (захват полосы валками, образование жесткого переднего конца раската) и величины динамических нагрузок в трансмиссиях и двигателях привода.

Рассмотрены случаи симметричной прокатки (равные скорости верхних и нижних валков), асимметричной прокатки (разность скоростей рабочих валков 2 и 5%), ведущий верхний (угловая скорость верхнего валка больше угловой скорости нижнего) и наоборот, без разгона валков после захвата полосы валками и с разгоном, изменение жесткости механической части трансмиссии и сопротивление обмотки якорной цепи двигателей.

Как показали проведенные исследования, динамические свойства привода таковы, что даже при симметричной прокатке, в период неустановившегося процесса прокатки, имеет место отклонение скоростей рабочих валков от заданной ($\Delta\omega_{зад} = 0$), то есть процесс из симметричного превращается в асимметричный, при максимальной величине скоростной асимметрии рабочих валков 0,5%. При этом, в момент времени 0,25 с. происходит смена знака скоростной асимметрии рабочих валков, а колебание скоростной асимметрии рабочих валков и якорей двигателей в этот период происходит в противофазе. К этому времени, при средней скорости прокатки 3,2 м/с, образуется свободный передний конец полосы длиной до 0,5 м, целенаправленное регулирование

направления изгиба которого путем использования обратной связи по скорости якорей двигателей от сигнала тахогенераторов не представляется возможным.

И только при величине начальной скоростной асимметрии 5% в течение первых 0,15 сек. происходит синхронное изменение скоростной асимметрии рабочих валков и якорей двигателей. Объясняется это тем, что только в этом случае в течении первых 0,2 сек. наблюдается синхронный рост моментов сил упругости (а следовательно и углов закручивания) в скоростной части трансмиссий главного привода верхнего и нижнего валков. В остальных случаях в этот период моменты сил упругости существенно разнятся, что и определяет различие скоростной асимметрии рабочих валков и якорей двигателей.

Прокатка с разгоном валков после захвата металла и изменением величины скоростной асимметрии с 2% до 5%, позволяет получить хорошее приближение величины скоростной асимметрии к заданной в течении первых 0,5 с. в случае ведущего нижнего валка.

Изменение динамических свойств привода путем повышения жесткости механической характеристики ведомого двигателя (за счет повышения суммарного сопротивления обмотки якорной цепи) пропорционально отношению моментов прокатки в стационарном процессе, привело к возбуждению колебаний скоростной асимметрии рабочих валков до 0,5 с. в пределах $\pm 25\%$, а начиная с 0,5 с. к ее практически полной стабилизации (1,98% при заданной 2%).

Аналогичные результаты имеют место при совместном повышении жесткости механической характеристики ведомого двигателя и жесткости ведущей трансмиссии. Это позволяет обеспечить формирование кривизны переднего конца длиной до 1м при заданной величине скоростной асимметрии.

Из анализа силовых параметров прокатки сделан вывод, что при заданном суммарном моменте прокатки (1,2 МНм) и скорости прокатки, не превышающей 3,24 м/сек ($5,4 \text{ с}^{-1}$), перегруз двигателей не происходит. Проведение разгона валков после захвата полосы в диапазоне скоростей выше номинальной недопустимо по причине перегруза двигателей ведущих валков в неустановившемся процессе прокатки ($M_{\text{дв.откл.}} = 0,165 \text{ МН}\cdot\text{м}$).

Величина коэффициента динамичности ведомого валка во всех случаях превышает коэффициент динамичности ведущего. Объясняется это перераспределением скоростей рабочих валков в неустановившихся процессах прокатки в сторону снижения величины скоростной асимметрии. Зависимость моментов прокатки на валках от величины скоростной асимметрии ведет в этот период к перераспределению моментов в сторону их роста на ведомом валке и снижению – на ведущем.

Современные системы автоматического управления главными приводами оснащены блоками ограничения и выравнивания нагрузки двигателей. С целью определения степени влияния этих регуляторов на кинематические и силовые условия асимметричной прокатки, проведено моделирование введения в работу регуляторов для случая суммарного момента прокатки 5 МНм, захвата металла при нулевом рассогласовании скоростей с последующим выходом на скоростную асимметрию 8% за счет увеличения скорости ведущего валка и торможения ведомого. Блок выравнивания нагрузки включался в момент времени 0,6 с. когда значительно затихли колебательные процессы в трансмиссиях и на рабочих валках. Величина ограничения нагрузки принималась исходя из условия максимальной перегрузочной способности двигателей равной 0,25 МНм.

Как следует из проведенных расчетов, к моменту включения блока выравнивания нагрузки двигателей, обеспечивается выход на заданную величину рассогласования скоростей валков. При этом величина рассогласования скоростей якорей двигателей

достигала величины 14 – 16%, а момент прокатки и ведущих двигателей превышал предельную величину.

Введение в работу блока ограничения нагрузки двигателей в момент времени 0,1с. привело к резкому снижению величины скоростной асимметрии рабочих валков до 0,5 – 2% при заданной 8%. За период с 0,2 до 0,6с. имеет место некоторый рост величины скоростной асимметрии рабочих валков до 2% и двигателей до 6%. Однако включение блока выравнивания нагрузки двигателей в момент времени 0,6с не позволяет достигнуть заданной величины рассогласования скоростей и спад до нуля.

Рассмотрен случай регулирования величины скоростной асимметрии с нуля до 8% путем увеличения напряжения на якоре двигателя ведущего валка и уменьшения на якоре двигателя ведомого. Величина ограничиваемого момента определена из условия перегрузочной способности двигателей, равной 0.25 МНм.

Из полученных результатов моделирования следует, что этот режим работы привода позволяет обеспечить выход на заданную скоростную асимметрию рабочих валков к моменту включения блока выравнивания нагрузки двигателей (рис. 8.5, поз. 3). При этом степень рассогласования скоростей двигателей достигает $14 \div 16\%$ (рис. 8.5, поз.4), а момент ведущего двигателя превышает предельно допустимую величину .

Блок ограничения нагрузки включился через 0.1 с. после захвата полосы валками в связи с превышением допустимого момента двигателя ($M_{дв} > [M]$). Это привело к резкому снижению величины скоростной асимметрии рабочих валков до $0,5 \div 2\%$ при заданной 8%. (рис. 8.7). За период с 0.2 до 0.6 сек. имеет место некоторый рост величины скоростной асимметрии рабочих валков (до 2%) и двигателей (до 6%) (рис. 8.7, поз. 3,4). Однако, включение блока выравнивания нагрузки в момент времени 0,6 с. не позволяет достигнуть заданной величины рассогласования скоростей, и происходит ее спад до нуля.

Если включение блока ограничения нагрузки двигателей не привело к возбуждению колебательного процесса, то включение блока выравнивания нагрузки привело к возбуждению колебаний как скоростей, так и нагрузок в трансмиссиях.

Работа привода с использованием системы автоматического выравнивания и ограничения нагрузки (тока) двигателей ведет к снижению коэффициента динамичности, так как максимум нагрузки автоматически ограничен. В случае ведомого валка понятие коэффициента динамичности теряет смысл, так как включение в работу блока выравнивания нагрузки ведет к росту момента прокатки на ведомом валке в стационарном режиме.

При прокатке с разгоном валков значительная величина коэффициента динамичности объясняется большой величиной моментов инерции якорей двигателей. Динамические моменты сил упругости в механической части трансмиссии примерно в два раза меньше динамических моментов на якоре в связи с тем, что приведенный к валу двигателя момент инерции тихоходной части трансмиссии (валкового узла, шпинделей $I_1 = I_4 = 0,27 \times 10^3 \text{ кгм}^2$) на порядок меньше момента инерции якорей двигателей, ($I_3 = I_6 = 0,24 \times 10^4 \text{ кгм}^2$).

Перераспределение упругих параметров трансмиссий и жесткости механических характеристик двигателей не оказывает существенного влияния на динамические нагрузки в приводах.

Выводы. 1. В первые 0,25 – 0,5с после захвата полосы валками имеет место динамический спад скоростей, а следовательно и величины скоростной асимметрии, как рабочих валков, так и якорей двигателей. Полная стабилизация заданной величины скоростной асимметрии почти во всех режимах прокатки достигается после этого периода.

2. Установлено, что в первые 0,2 – 0,3 с. имеет место существенное различие величины скоростной асимметрии рабочих валков и якорей двигателей, что не позволяет

в период формирования переднего конца полосы вести целенаправленную корректировку скоростной асимметрии рабочих валков по сигналу тахогенераторов.

3. Наилучшие результаты по поддержанию заданной скоростной асимметрии рабочих валков получены при величине скоростной асимметрии 5% и ведущем нижнем двигателе. Однако, прокатка с разгоном рабочих валков при скоростной асимметрии 5% недопустима по причине перегрузки ведущего двигателя.

4. Использование блоков ограничения и выравнивания нагрузки двигателей несовместима с режимом асимметричной прокатки, так как не позволяет получить требуемую величину скоростной асимметрии рабочих валков.

Список литературы. 1. Поваляев В.Д. Стабилизация скоростной асимметрии в условиях нестационарного процесса прокатки // Известия вузов. Черная металлургия.- 1999.- № 3.-С. 36-39.