

В.И.Большаков, А.М.Юнаков, Е.А.Евтеев

ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЖЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ОСВОЕНИИ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И РАЗВИТИИ ПРОВОЛОЧНОГО СТАНА

*Институт черной металлургии НАН Украины
Белорецкий металлургический комбинат*

Целью исследования являлись разработка и освоение технологии производства высококачественной катанки широкого марочного состава, исследование и оптимизация режимов работы современного оборудования, установление и использование его резервов. Представлены результаты исследований нагруженности линий приводов оборудования, в том числе динамических и вибрационных процессов. Показано, что использование результатов данного исследования при освоении, эксплуатации и развитии проволочного стана позволило обеспечить выпуск конкурентоспособной продукции.

проволочный стан, оборудование, катанка, режимы работы оборудования, динамические и вибрационные процессы, выпуск конкурентоспособность продукции

Современное состояние вопроса. Освоение современных высокоскоростных проволочных станов на сегодняшней территории СНГ началось вводом в эксплуатацию стана 150 на Белорецком металлургическом комбинате (БМК). По конструкции, составу и компоновке оборудования, определяющего технологические возможности, это принципиально новый стан, не имевший аналогов. Нагрев исходной заготовки Φ 200 мм длиной до 7 м осуществляется в нагревательной печи с шагающим подом. Собственно стан состоит из односточной обжимной шестиклетевой группы, в линии которой установлены две термофрезерные машины, горизонтальная (ГТФМ) и вертикальная (ВТФМ). За этой группой – проходная роликовая подогревательная печь. Далее следует двухниточная черновая группа из 5 клетей и две, первая и вторая промежуточные группы, каждая из шести клетей. За второй промежуточной группой технологическая линия разделяется на две чистовые группы, выполненные в виде десятиклетевых прокатных блоков. Последеформационное охлаждение катанки осуществляется в линиях, реализующих Стелмор процесс.

Отечественная металлургия не имела опыта эксплуатации аналогичных станов. В этой связи для успешного освоения стана Институту черной металлургии (ИЧМ) Минчермет поручил разработать и освоить технологию производства высококачественной катанки широкого марочного состава, исследовать и оптимизировать режимы работы оборудования, установить и использовать его резервы. Результаты промышленных, лабораторных и теоретических исследований, этапов разработки и реализации технологии, включающей ряд приоритетных технических решений, вы-

полненных в процессе освоения стана 150 БМК, представлены в многочисленных публикациях, основными из которых являются работы [1–6].

Целью данного исследования являлись разработка и освоение технологии производства высококачественной катанки широкого марочного состава, исследование и оптимизация режимов работы современного оборудования, установление и использование его резервов.

Постановка задачи. При вводе в эксплуатацию принципиально нового оборудования, когда неизвестны его динамические характеристики и нагруженность, для оптимизации деформационно–скоростных и температурных режимов прокатки, оценки возможности реализации форсированных режимов и ресурсосберегающих технологий весьма важно установление действительных нагрузок в главных линиях стана. В работах [1–6] результаты исследований динамических и статических нагрузок приведены фрагментарно. Это обусловлено тем, что на базе этих исследований предполагалось развитие на контрактной основе сотрудничества со СКЭТ – комбинатом, поставлявшим в СЭВ комплектные проволочные и мелко–сортно–проволочные станы.

Изложение основных материалов исследования. В настоящей работе представлены результаты исследований нагруженности оборудования, которые использовались для оценки возможности форсирования и оптимизации работы оборудования новой конструкции стана при его эксплуатации и модернизации.

Технология производства катанки рядовых (низкоуглеродистых и канатных) сталей из заготовок с пониженным теплосодержанием [4] является одной из высокоэффективных технологий, разработанных и внедренных на стане 150 БМК. На базе аналитических расчетов показана возможность понизить температуру нагрева заготовок указанных марок сталей в целях экономии энергии. Промышленная реализация этой технологии осуществлена на основании предварительной опытно–промышленной прокатки партий металла объемом более 5 тыс. тонн и анализа работы стана в течение 6 месяцев с пониженными на 100–150⁰С температурами нагрева заготовок при производстве 130 тыс. тонн катанки. Сопоставимые объемы металла нагревались также по существующему режиму.

Для сравнительного анализа нагрузок в главных линиях при существующей и пониженной температурах нагрева заготовок оценивали статические нагрузки по изменению параметров приводов клетей стана (токов якорных цепей, напряжений питания и частот вращения якорей). По этим параметрам определяли величины крутящих моментов на валах двигателей и на тихоходных валах редукторов и мощностей, затрачиваемых на прокатку. При прокатке с пониженной температурой среднearифметические величины токов якорных цепей приводов обжимной группы увеличились в 1,15 (клеть № 1) – 1,6 раза, черновой группы – в 1,25–1,4 раза, I промежуточной – в 1,05–1,28 раза, II– в 1,03–1,13 раза. Отношение величин максимальных (I_{\max}) и номинальных ($I_{\text{ном}}$) токов приводов клетей 1–

21 при прокатке по низкотемпературному режиму катанки из наиболее труднодеформируемой марки стали этой группы (сталь 85) определяется

неравенством $0,75 \geq \frac{I_{\max}}{I_{\text{НОМ}}} \geq 0,3$ (для клетей 7–21 величина тока при про-

катке в две нитки). Загрузка приводов клетей 1–21 по мощности при прокатке катанки из этой стали лежит в интервале 22–75%.

Максимальные величины крутящих моментов на валах приводов и приведенные к прокатным валкам для клетей 1–21 значительно меньше величин, допускаемых по проекту на соответствующие элементы приводных линий. Так, например, величины моментов в линиях клетей 1–4, приведенные к валкам, не превышают 220 кНм при допускаемых для шпинделей и редукторов этих клетей соответственно 450–330–450–280 кНм. Элементы линий остальных клетей стана имеют резерв от 30 до 50%. Исключение составляет линия клетки № 8, величина максимального момента в которой превышает на 5% величину момента допускаемого на шпиндель и редуктор. С учетом того, что линии клетей 7,8,9,10 равнопрочны и величины нагрузок в линиях клетей 7,9,10 значительно ниже допускаемых было предложено скорректировать калибровку и режим настройки клетей черновой группы с целью перераспределения технологических нагрузок в указанных клетях. Анализ динамических нагрузок в этот период не производили, т.к. одним из условий реализации новой технологии являлось понижение температуры до уровня, при котором сопротивление деформации указанных сталей не превысит сопротивление деформации труднодеформируемых сталей сортамента стана. Таким образом, нет оснований предполагать изменение характера переходных процессов и, следовательно, динамической реакции линии привода при захвате.

При низкотемпературном нагреве температура подката перед блоком снижается на 30–40⁰С, что привело к увеличению нагрузок в блоке на 4–7% в режиме максимальной загрузки блока – при прокатке катанки Ø 6,5 мм из 10 клетки. Однако эти нагрузки не превышают максимальные величины, на основании которых определены конструктивные параметры оборудования при проектировании.

Как отмечено в работе [4] на базе результатов комплексного анализа (нагрузок, стойкости технологического инструмента, качества проката и энергетических затрат на нагрев и прокатку и др.) на стане внедрена ресурсосберегающая технология, при которой увеличение расхода электроэнергии при прокатке, связанное с более низкой температурой металла, полностью компенсируется экономией тепловой энергии с положительным балансом до 7–10%. Аналогичные исследования нагрузок в линиях клетей обжимной группы стана проведены при разработке и промышленном внедрении технологии, основанной на способе прокатки коррозионностойких сталей мартенситно–ферритного класса [7], обеспечивающем формирование требуемых структуры и свойств катанки за счет создания

условий деформации пластического металла в твердой (направленное подстуживание поверхности) оболочке. Сопоставлением действительных нагрузок с допускаемыми величинами определялись граничные условия охлаждения заготовок перед прокаткой.

Специальный анализ нагрузок в главных линиях обжимной группы был проведен также при освоении производства катанки нержавеющей и подшипниковых сталей. Установлено, что во избежание перегрузок клетей 2, 3 и 5 необходимо обеспечить температуру металла после 2-й клетки для нержавеющей сталей в интервале 1120–1170⁰С и не допускать задержек заготовок перед станом более 30 с.

Совершенствование технологии зачистки металла, режимов работы машин и их технического обслуживания. При работе термофрезерных машин (ТФМ), установленных в линии обжимной группы стана, возникают повышенные вибрации, имеют место поломки (разрушения) узлов линий приводов. Тенденция расширения марочного сортамента стана с увеличением объемов катанки специальных высоколегированных сталей требовала повышения эксплуатационных характеристик машин, обоснованного выбора рациональных режимов зачистки. С этой целью проведены исследования влияния качества исходных заготовок и режимов зачистки на ТФМ на качество катанки, исследование динамических нагрузок в главных линиях машин, анализ их конструкций и разработка комплекса рекомендаций по совершенствованию технологии зачистки металла, режимов работы машин и их технического обслуживания. Исследования и оптимизация технологии, включая температурно– деформационные режимы прокатки, глубина зачистки заготовок на ТФМ, режимы последеформационного охлаждения катанки, анализ качества проката и др. выполнены на стане 150 БМК под руководством к.т.н. А.А. Горбанева.

Главные линии ТФМ отличает простота конструкции. Момент двигателя рабочим органам – режущим головкам передается посредством типовых узлов и механизмов – цилиндрической (для горизонтальной машины), коническо–цилиндрических (для вертикальной) зубчатых передач, шпинделей с шарнирами Кардано, зубчатых муфт. Режущие головки выполнены двухраздельными и состоят из цилиндрического корпуса с ножами для фрезеровки боковых поверхностей заготовки и кромочной фрезы с ножами для обработки противоположных диагонально расположенных кромок заготовки. Привод головок индивидуальный, двигателями постоянного тока с регулируемым в широком диапазоне числом оборотов. Защита главных двигателей и элементов линий привода режущих головок по максимальному моменту ($M_{\max}=10000\text{Нм}$) осуществляется контролем тока посредством амперметра с контактным устройством.

Результаты исследования. Исследованиями с измерением крутящих моментов на шпинделях и моторных валах ТФМ посредством бесконтактных измерителей, электрических параметров и частоты вращения якорей двигателей установлено:

– процесс фрезерования сопровождается незатухающими колебаниями моментов сил упругости приводных линий машин. Циклическое изменение момента сил упругости (рис.1,а) симметрично относительно определенного уровня напряженного состояния линии привода, определяемого суммой моментов – момента сил технологического сопротивления (резания) и сил трения в линии привода машины.

– виды осциллограмм изменения моментов на шпинделях и моторных валах ГТФМ и ВТФМ идентичны.

– величина статического момента увеличивается с увеличением глубины фрезерования, но даже при максимальной (по паспорту машин) толщине снимаемого слоя металла $\delta = 3$ мм не превышает 50% момента, соответствующего уставке токовой защиты привода. Максимальные величины амплитуд циклических колебаний не превышают 80% этой величины.

– мгновенные (1,2 пика) значения динамического момента при зачистке переднего конца полосы достигают при глубине зачистки 1, 2 и 3 мм соответственно 11000, 14500 и 19000 Нм.

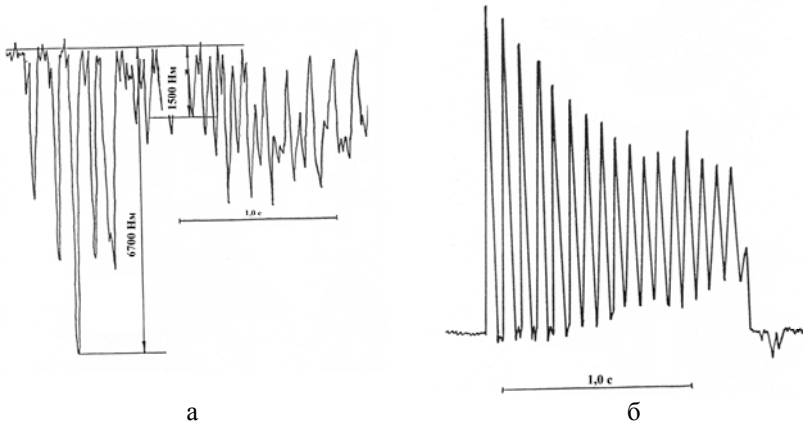


Рис.1. Характерный вид осциллограмм изменения момента сил упругости линии ТФМ (а) и проявление собственной частоты нижнего тона при форсированном разгоне привода ГТФМ (б).

Несмотря на превышение момента защиты, ее срабатывания не происходят. Электрическая защита линии привода по току эффективно предохраняет двигатель от статических нагрузок, превышающих 10000 Нм, однако в силу инерционности не является защитой механических элементов приводных линий от действия динамических нагрузок. Пиковые динамические нагрузки при фрезеровке переднего конца раската в сочетании с циклическими незатухающими колебаниями нагрузки, действующими в течение всего цикла зачистки, приводят к накапливанию усталостных повреждений в элементах линии привода режущих головок. В результате этого в определенный момент времени

при небольших перегрузках или даже при нагрузках, меньших номинальных, происходят поломки элементов приводных линий с наименьшим резервом прочности – карданных шпинделей.

В процессе промышленных исследований определены собственные частоты крутильных линий машин (при форсированном запуске двигателя) (рис. 1,б). Для ВТФМ и ГТФМ с безредукторным приводом они равны 15 Гц, для ГТФМ с редукторным – 12,5 Гц. Значения действительных величин собственных частот определили для оценки достоверности расчетов параметров динамических моделей машин, а также для определения резонансных зон, эксплуатация машин в которых недопустима из-за опасности резкого увеличения амплитуд моментов сил упругости. С целью оценки влияния режимных и конструктивных параметров машин на уровень динамической реакции их приводов проведен анализ динамических моделей ТФМ. Линии приводов представлены упругими системами с сосредоточенными массами [8]. Машин с редуктором – трехмассовой, с безредукторным приводом – двухмассовой.

При моделировании установлено, что при неизменных массах узлов реальных машин уменьшение жесткости шпинделей в три раза уменьшает динамическую составляющую в 1,2 раза. Изменение масс оказывает более активное влияние – аналогичное уменьшение динамики обеспечивается увеличением момента инерции режущей головки в два раза. Установка такой головки способствует сглаживанию пиков момента в линии, т.е. она выполняет функцию маховика. На основании результатов промышленных исследований и анализа моделей ТФМ разработаны следующие рекомендации:

- для минимизации динамических нагрузок устанавливается скоростной режим (вне резонансных зон) работы ВТФМ и ГТФМ без редуктора – 650...700; ГТФМ с редуктором – 600...650 об/мин. При зачистке на ТФМ высота гребня, образованного на раскате пересечением поверхностей, описанных каждой парой смежных ножей, зависит от частоты вращения режущих головок. Для частот вращения 350 и 700 об/мин для ВТФМ и ГТФМ она соответственно равна $1,2 \times 10^{-3}$; $3,1 \times 10^{-4}$ и $2,03 \times 10^{-3}$; $5,1 \times 10^{-4}$ мм, т.е. является весьма малой величиной. Поэтому изменение частоты вращения фрез не может влиять на качество поверхности катанки. Этот вывод получен также сравнительным анализом качества поверхности катанки при зачистке раската на различных скоростных режимах;

- установку режущих головок в положение «реза» осуществлять в автоматическом режиме с пропуском переднего конца полосы. Это уменьшит уровень максимальных пиков момента, а также обеспечит экономию электроэнергии и увеличит срок службы ножей. Длина незачищаемого участка полосы определяется по массе обрезки, заложенной в технологии, и поперечным размерам полосы перед зачисткой.

- с учетом неэффективности защиты главных линий ТФМ по току двигателя установить механическое предохранительное устройство, например, втулочно-пальцевую муфту предельного момента.

Рекомендации по скоростным режимам ТФМ и обоснованной технологией глубине фрезерования на основании анализа качества катанки при запороченности поверхности заготовки дефектами различной глубины включены в НТД.

3. Особое внимание в работах по анализу нагруженности главных линий стана уделено исследованию динамики переходных процессов. Для представления качественных характеристик и при необходимости количественной оценки динамических составляющих действующих нагрузок произведены измерения крутящих моментов в линиях приводов клетей в реальных условиях прокатки основного сортамента стана. Установлено, что в линиях приводов клетей 1–14 переходный процесс (захват) характеризуется плавным увеличением момента в линии по мере заполнения очага деформации, колебательный процесс не возбуждается. Здесь и далее промышленные исследования нагрузок проведены под руководством А.М.Юнакова сотрудниками ОТОСУ Бирич В.П., Лебедюк В.С., Петров В.Д., Чернышев А.А.

Линии приводов клетей, начиная с 15–ой, динамически активны. При захвате металла в них возбуждается колебательный процесс, имеющий вид затухающих колебаний с собственной частотой линий. Характерным является существенное различие уровней динамики при прокатке в одну и две нитки. Коэффициенты динамичности при прокатке в одну нитку наибольшие, при прокатке в две – в 1,5...2 раза меньше. Это физически объясняется следующим. Во–первых, тем, что в момент захвата раската по 2–ой нитке линия привода находится под нагрузкой, зазоры во всех узлах закрыты; во–вторых, существенно различным уровнем напряженного состояния линии при прокатке в 1 и 2 нитки, определяемого моментом сил технологического сопротивления, относительно которого происходят колебания. Отметим, что в линии клетки № 15 коэффициент динамичности при однопиточной прокатке не превышает 2,0; в последующих клетях промежуточных групп величины коэффициентов динамичности изменяются в интервале 2,3–3,5. Исследования динамики проводились нами как для определения динамических характеристик оборудования, так и при решении конкретных задач.

Исследования изменений крутящих моментов в приводных линиях клетей 2–й промежуточной группы при прокатке спецсталей проводились как с целью оценки уровня силового взаимодействия смежных прокатных клетей через металл при кинематическом рассогласовании (т.е. для определения оптимальности скоростного режима из условия минимизации величины натяжения в межклетевых промежутках), так и с целью определения уровня фактических нагрузок в приводных линиях валков. При этом производился анализ величин статических нагрузок, действующих при установившемся процессе прокатки, и динамических, возникающих в линии привода в переходный период, при захвате.

На рис.2 представлены характерные осциллограммы изменения крутящих моментов (M) на валах приводов 18...21 клетей при заполнении группы клетей металлом, т.е. при захвате в 18-й и последующих клетях. Индекс при M соответствует номеру клетки. Как видно из осциллограмм, в линиях приводов при захвате возникают интенсивные колебательные процессы. Коэффициенты динамичности, характеризующие отношение максимального пика момента к его величине при установившемся процессе прокатки, для клетей 18...21 соответственно равны 2,6...3,1; 2,7...3,1; 3,1...3,5; 2,1...2,3. Частоты колебаний момента сил упругости, являющиеся собственными частотами линий этих клетей, составляют соответственно 46–48; 44–46; 42–45; 43–44 Гц. Несмотря на существенно различные коэффициенты динамичности клетей 18, 19, 20 и 21 продолжительность колебаний в их линиях практически одинакова и составляет не более 0,3 с, что объясняется различными рассеивающими свойствами приводных линий и разными абсолютными величинами статических нагрузок.

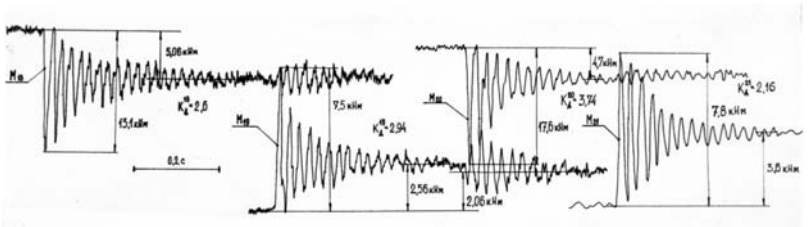


Рис. 2 – Вид характерных осциллограмм изменения крутящих моментов на валах приводов 18...21 клетей.

Динамические свойства линий клетей 18 и 19 проявляются также в момент захвата в последующей клетке. При этом интенсивность колебательного процесса определяется уровнем кинематического рассогласования предыдущей и последующей клетей, т.е. величиной натяжения. Так, например, при практически согласованном режиме прокатки в клетях 18 и 19 крутящий момент в линии клетки 18 в момент захвата металла валками 19 клетки приобретает колебательный характер с незначительной амплитудой колебаний. В то же время при значительном кинематическом рассогласовании клетей 19 и 20 и (как результат этого) значительной величине натяжения в межклетевом промежутке 19–20, что видно по изменению уровня статического момента 19 клетки при захвате металла валками клетки 20, в момент захвата в 20 клетки в линии клетки 19 возбуждается колебательный процесс. Следует заметить, что амплитуды этих колебаний соизмеримы с уровнем момента при установившемся процессе прокатки. С учетом того, что параметры приводных линий клетей 18 и 19 и динамические характеристики практически одинаковы, на основании анализа осциллограмм можно заключить – оптимизация скоростного режима с це-

лью снижения уровня натяжения в группе клетей и уменьшения разношерстности подката обеспечивает также уменьшение уровня дополнительных циклических нагрузок, действующих на элементы приводных линий и увеличивает их долговечность.

Приведенные на рис.2 осциллограммы изменения моментов получены в период исследований, предусматривающих оптимизацию скоростного режима прокатки в группе. Анализ взаимодействия через прокатываемую полосу клетей группы позволил оценить согласованность режима прокатки. Видно, что режим прокатки в клетях 20 и 21 практически согласован, натяжения раската между клетями не наблюдается. В клетях 19 и 20 – значительное рассогласование скоростей. Для организации согласованного режима прокатки с минимальным уровнем натяжения в этом промежутке на основании результатов измерений крутящих моментов и контроля скоростей предложено уменьшить скорости в клетях 20 и 21, оставив неизменным их соотношение.

При исследовании установлено, что нагрузки в клетях 2-й промежуточной группы при прокатке катанки стали ШХ15 по уровню соответствуют нагрузкам при прокатке катанки канатных сталей. Величины статических нагрузок при прокатке катанки нержавеющей сталей составляют для клетей 18...21 соответственно 8,5...10,2; 3,3...4,6; 4,9...6,4; 3,5...4,5 кНм (величины нагрузок приведены к прокатным валкам). Эти величины для всех клетей укладываются в соответствующие интервалы изменения нагрузок при прокатке основного марочного сортамента стана в две нитки, а также значительно ниже уровня расчетных величин моментов прокатки по данным фирмы СКЭТ. Величина максимальных динамических нагрузок в линиях клетей 2-й промежуточной группы не превышает допускаемых нагрузок для элементов приводных линий по проектной документации стана 150. Так, например, величины максимальных динамических моментов на валах приводов клетки 18 укладываются в интервале 14...17 кНм при величине допускаемого момента на моторную муфту 25 кНм. Заметим, что 18 клеть является наиболее нагруженной в группе, во всех клетях которой установлены моторные муфты одного типоразмера.

Одним из наиболее важных результатов комплексного исследования технологии и оборудования являлось обоснование и разработка технически и экономически целесообразного варианта реконструкции стана. Задача перспективного развития стана заключалась в определении на основании исследования нагрузок действительных резервов оборудования и с их учетом рационального объема реконструкции для повышения производительности стана до 500 тыс. т в год (по проекту – 400).

Повышение производительности непрерывного стана при определенном сортаменте обеспечивается увеличением скорости прокатки. При этом на величину сопротивления деформации металла оказывают влияние два фактора – повышение скорости деформации (увеличивающее сопротивление) и сохранение теплоты нагретого металла и разогрев (уменьша-

ют сопротивление). В этой связи до проведения промышленных исследований с целью определения действительных нагрузок в линиях приводов клетей и оценки возможности форсирования скоростного режима прокатки был проведен теоретический анализ. Расчетами по различным методикам (А.А.Динника, М.Я.Бровмана, Л.В.Андреюка) определены усилия и моменты при прокатке катанки $\varnothing 5,5$ мм из коррозионностойких марок стали со скоростями 50 и 80 м/с [9]. Расчеты показали, что при увеличении скорости прокатки в этом интервале нагрузки в клетях не превысят допустимые. Вместе с тем реализация форсированных скоростных режимов прокатки представляется обоснованной только на базе знания фактических нагрузок в приводных линиях стана в реальных промышленных условиях.

В работе [9] представлены результаты исследования статических и динамических нагрузок в линиях приводов прокатных клетей при трех уровнях частот вращения приводов, соответствующих прокатке катанки диаметром 5,5 мм со скоростью соответственно 60, 70 и 80 м/с. В период промышленных исследований на стане прокатывалась катанка $\varnothing 8$ мм. При анализе полученных в реальных условиях прокатки величин статических крутящих моментов в главных линиях клетей № 7–21 и токов якорных цепей приводов установлено: величины крутящих моментов при повышении скорости прокатки в указанных пределах ниже расчетных проектных величин моментов прокатки, на базе которых выбраны параметры оборудования стана; величина силы токов ниже допускаемых при ПВ 100%. Это позволило сделать вывод о возможности форсирования скоростного режима прокатки в двухниточных группах стана по резерву прочности основного оборудования.

Исследования динамических нагрузок (на базе измерений крутящих моментов) при изменении скорости прокатки производили в линиях наиболее динамичных клетей 16–21. Среднеарифметические значения динамического момента находились соответственно в пределах: 28,0–28,8; 20,7–21,4; 19,7–22,0; 8,9–10,0; 10,7–14,0; 7,8–9,9 кНм; величины коэффициентов динамичности укладывались в интервале 2,4–3,4. Расчеты, выполненные с учетом критерия Стьюдента, показали с вероятностью 0,95 коэффициент динамичности при переходном процессе в клетях № 16–21 не зависит от скорости, изменяемой в указанных пределах. Среднеквадратическое отклонение величин динамического момента и коэффициента динамичности также не зависят от скорости прокатки. Установленные величины динамических нагрузок не превышают величин допускаемых кратковременных перегрузок по паспортным характеристикам оборудования приводных линий промежуточных групп стана.

На основании результатов исследований нагрузок в главных линиях стана и анализа технических характеристик вспомогательного оборудования определен рациональный объем реконструкции стана с сохранением основного действующего оборудования и заменой прокатных блоков и

оборудования, сопряженного с ним (ножницы перед блоком, трайбаппараты и виткообразователи). Для увеличения пропускной способности участка обработки и транспортировки бунтов необходимо также установить дополнительную передаточную тележку с поворотным устройством и опрокидывателем. Это решение обосновано результатами анализа циклограмм работы оборудования выходной части стана с целью установления его технической возможной пропускной способности.

Проект реконструкции стана был разработан Челябинским ЦНИИ на базе технологического задания ИЧМ. Основное оборудование прокатного цикла, чистовые блоки и др. было поставлено СКЭТ, Германия; теплотехническое оборудование – НПП «Аэротермические технологии и агрегаты» (АТТА), Россия. Аэродинамические режимы новых секций интенсивного охлаждения катанки расширяют технологические возможности стана, в том числе, например, сочетание высоконапорных вентиляторов с конвективными термостатами в секциях выдержки обеспечивают возможность для отдельных марок стали прямого патентирования катанки в потоке стана [10]. После реконструкции на этом оборудовании реализована универсальная технология последеформационного охлаждения катанки, разработанная ИЧМ и НПП «АТТА».

В полном объеме реконструкция завершена в 2000 г. На стане обеспечено как увеличение (до 80 м/с) скорости прокатки, так и получение катанки с принципиально новыми показателями качества, например, высокоуглеродистой, не требующей патентирования в последующем, сталепроволочном производстве [11]. В течение почти 9 лет после реконструкции оборудование стана обеспечивает устойчивое производство высококачественной катанки широкого марочного сортамента. Межремонтные сроки оборудования, в том числе главных линий стана не изменены. Это свидетельствует, с одной стороны, о его проектных резервах, с другой стороны, об объективности их оценки на базе результатов проведенного исследования нагрузок при принятии решения о реконструкции.

В рамках комплекса работ по стану 150 впервые проведены исследования нагрузок и вибродинамических процессов в линиях приводов чистовых прокатных блоков. Конструктивно собственно прокатный блок представляет собой весьма сложный агрегат. Привод валков блока осуществляется от двух двигателей постоянного тока мощностью 1200 кВт каждый, которые через мультипликатор и цилиндрический распределительный редуктор приводят во вращение два трансмиссионных вала. От каждого через конические передачи момент двигателей передается посредством редукторных и рабочих кассет соответственно 5 горизонтальным и 5 вертикальным парам прокатных валков. Привод чередующихся горизонтальных и вертикальных клетей блока осуществляется через жесткую кинематическую связь.

Первое исследование нагрузок в линии привода блока было обусловлено следующим. В начальный период эксплуатации наблюдалась существенная неравномерность износа зубчатых передач с внутренним зацеп-

лением по клетям блока, в нечетных клетях срок службы был в несколько раз меньше, чем в четных. Наименьшая стойкость и систематические отказы (разрушения) зубчатых передач рабочих кассет проявились в третьей клетке. При групповом приводе оценить нагрузку в отдельной клетке блока по изменению параметров привода не представляется возможным. В связи с этим для выяснения (установления) причин отказов проведено комплексное исследование нагрузок в линии привода блока с измерением крутящих моментов непосредственно на трансмиссионных валах горизонтальных и вертикальных клетей [12].

Измерения крутящих моментов проведены посредством специально разработанной аппаратуры с бесконтактными датчиками. При исследовании на трансмиссионных валах было установлено 7 датчиков – на трансмиссионном валу нечетных клетей, на участках соответственно 1, 3, 5 и 7 клетей; на валу четных клетей 2 и 4, а также на валу двигателя. На основании полученных значений крутящих моментов были рассчитаны моменты прокатки в клетях блока, по изменению момента в i -той клетке в момент захвата в $i+1$ рассчитывали полное натяжение (подпор) в межклетевом промежутке. Телеметрическая аппаратура разработана Подковыриным Е.Я. и изготовлена в ИЧМ под его руководством.

Анализ результатов исследований позволил установить факт существенно неравномерного распределения нагрузок по клетям блока. Отметим установленные особенности нагружения клетки 3. В результате несогласованного режима прокатки (натяжение в межклетевом промежутке клетей 2–3 и подпор в – 3–4) линия привода валков клетки 3 работала с перегрузкой. Момент прокатки в клетке превышал предельное по проекту значение более, чем на 20%. Особенно высокий уровень натяжения между клетями 2 и 3 установлен после выхода заднего конца раската из 2-ой клетки по уменьшению (на 30–35%) момента в клетке 3.

Полученные в реальных условиях прокатки величины действительных нагрузок в клетях блока, оценка по ним уровня межклетевых сил (подпора, натяжения) в сочетании с анализом реального заполнения калибров валков металлом и размеров подката и катанки позволили разработать адекватную математическую модель для исследования процесса прокатки в блоке [13,14]. Анализ влияния различных возмущающих воздействий на процесс прокатки и распределение натяжений в блоке, выполненный на модели, позволил скорректировать режим обжатий и калибровку валков. В результате неравномерность распределения нагрузок по клетям блока была существенно уменьшена [12]. Это установлено дополнительными измерениями при настройке блока по режиму, разработанному на основе моделирования процесса прокатки. Реализация этого режима весьма проста, т.к. требовала перестройки межвалковых зазоров в нескольких клетях. Таким образом, отмеченные недостатки были устранены. Оборудование блока работало устойчиво даже в условиях форсирования режимов, например, при прокатке катанки $\varnothing 6,5$ мм не в 8 (по проекту), а в 10 кле-

тях блока. Кроме того переход на разработанный режим настройки клетей блока позволил снизить затраты на ремонт и замену деталей редукторов, уменьшить текущие простои, а также сократить количество недокатов.

При исследовании нагрузок установлены также характерные особенности изменения момента сил упругости в линии привода при переходных процессах (захват, выброс металла; торможение и разгон при организации и выборке петли перед блоком). При захвате раската в первой и во второй клетях на соответствующих им распределительных валах момент имеет вид затухающих колебаний, с явно выраженными 2–3 периодами. Колебания симметричны. Коэффициент динамичности (K_d) для клетки 1 – $K_{d1} \leq 1,8-2,0$; для клетки 2 – $K_{d2} \leq 1,5-1,7$. В момент захвата в этих клетях датчики, контролирующие нагрузку в последующих клетях, приводимых от этих валов, соответственно в кл. 3 и в кл. 4, воспроизводят аналогичную закономерность изменения момента, но с K_d не превышающем 1,5. Захват в каждой последующей нечетной клетке вызывает на участке вала, напряженное состояние которого определяется величиной момента в кл. 1, кратковременное (единичный пик) уменьшение момента с последующим восстановлением до прежнего уровня. Аналогичная закономерность характерна и для четных клетей. Величина K_d на соответствующих участках с увеличением номера клетки уменьшается, т.к. значение динамического момента (наибольшего пика) сопоставляется с уровнем момента, определяемого суммой моментов предыдущих клетей, приводимых от данного трансмиссионного вала. Так, например, если в клетке 3 $K_{d3} \leq 1,5$, то в клетке 7 $K_{d7} \leq 1,10$. Таким образом, коэффициенты динамичности для клетей 1 и 2 блока имеют наибольшее значение. Однако величины динамических моментов, соответствующие этим клетям, по абсолютной величине в 1,5–2,0 раза меньше суммарных моментов при установившемся процессе прокатки в нечетных и четных клетях.

При выбросе металла, равно как при разгоне и торможении блока, связанных с технологией «прокатка с петлей», на участках трансмиссионных валов всех клетей динамических явлений при промышленных изменениях не установлено.

На осциллограммах изменения момента на валу первого двигателя со стороны мультипликатора при заполнении блока металлом динамических процессов не наблюдается. От момента захвата металла в первой клетке и до последней работающей клетке блока нагрузка на валу привода ступенчато (без динамических всплесков) увеличивается до некоторого установившегося уровня (рис.3). В процессе прокатки имеет место (при нормальном техническом состоянии оборудования) колебательный процесс изменения момента с незначительным уровнем амплитуд. Как видно на рисунке при выбросе катанки из последней клетке блока динамические явления, также как и при захвате, не возникают.

Применение новых режимов настройки блоков обеспечило устойчивость процесса прокатки, уменьшение износа и количества отказов зубча-

тых передач и стабильную работу блоков в целом. При этом эксплуатацией была установлена частота вращения привода на уровне 820 об/мин, что соответствовало проектной скорости прокатки.

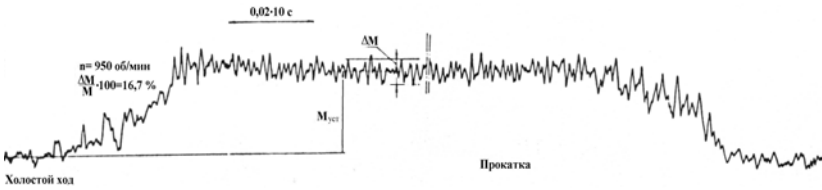


Рис. 3. Вид характерной оциллограммы изменения крутящего момента на валу привода прокатного блока

Для максимального использования резервов оборудования была поставлена задача повышения производительности стана без изменения состава и технических характеристик оборудования. С целью оценки возможности интенсификации скоростного режима прокатки в блоке проведен анализ энергосиловых параметров процесса и амплитудно-частотных характеристик блока, а также экспериментальные исследования нагрузок в приводных линиях прокатных блоков в диапазоне частот вращения привода 800–1000 об/мин.

При анализе динамических характеристик и расчете собственных частот была рассмотрена динамическая модель прокатного блока, построенная по известной методике [8]. Динамическая модель блока представлена системой из шести масс, соединенных между собой упругими связями (рис.4). Массы θ_1 и θ_2 соответствуют моментам инерции якорей приводных двигателей, массы θ_3 и θ_4 – моментам инерции мультипликатора и распределительного редуктора, θ_5 и θ_6 – интегральным моментам всех элементов трансмиссии соответственно горизонтальных и вертикальных клеток блока. Упругие связи C_{12} – C_{46} соответствуют жесткостям соединительных валов и передач.

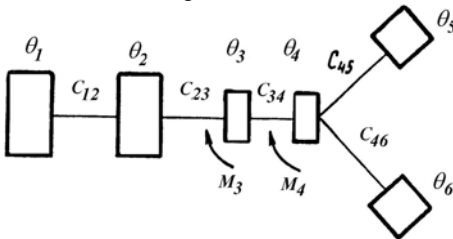


Рис. 4. Расчетная схема чистового прокатного блока

Параметры элементов динамической модели, полученные расчетным путем по конструктивным параметрам элементов приводной линии блока, равны:

$$\theta_1 - \theta_6 = 338; 345; 172; 169; 42; 59 \text{ кгм}^2;$$

$$C_{12} - C_{46} = 8,24; 6,49; 10,1; 2,53; 3,48 \text{ МНм}.$$

Внешние возмущения, обусловленные несоосностью соединений валов (двигателя и мультипликатора, мультипликатора и распределительного редуктора и т.д.) или нарушениями геометрии зацепления, представлены циклическими моментами M_3 и M_4 . Последние воздействуют с частотами вращения соответствующих валов и масс. По значениям моментов инерции масс и жесткостей связей определены частоты пяти форм собственных колебаний шестимассовой системы: $\omega_1 = 19,3$; $\omega_2 = 36,3$; $\omega_3 = 38,9$; $\omega_4 = 46,2$; $\omega_5 = 65,4$ Гц.

Для оценки реакции блока на циклические возмущения M_3 и M_4 с помощью передаточных функций построены его амплитудно-частотные характеристики. Поскольку наибольшую опасность вызывают колебания с частотой, близкой к низшей частоте, характеристики построены для участка приводной линии блока с наименьшей угловой скоростью – ведущего вала мультипликатора (на модели – участок C_{23}). Эти характеристики представлены на рис.5.

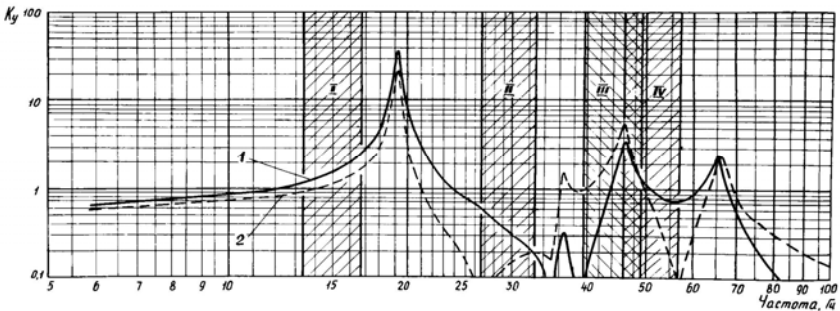


Рис. 5. Амплитудно-частотные характеристики чистового прокатного блока

Коэффициент K_y численно показывает, во сколько раз амплитуда циклической составляющей момента сил упругости, действующего в упругой связи C_{23} , больше величины соответствующего возмущения M_3 (кривая 1) или M_4 (кривая 2) на заданной частоте возмущения. На рисунке отмечены четыре зоны основных возможных частот приложения моментов M_3 и M_4 при эксплуатации блока с частотой вращения привода 800–1000 об/мин. Зона I (13,3–16,7 Гц) соответствует оборотной частоте вала привода, зона II (26,6–33,4 Гц) – полуоборотной частоте вала привода, зона III (39,0–48,7 Гц) – трансмиссионного вала горизонтальных клетей, зона IV (46,0–57,5 Гц) – трансмиссионного вала вертикальных клетей. Зона возможных частот возмущения от промежуточной ступени передач распределительного

редуктора не обозначена, т.к. составляет 42,5–53,2 Гц и укладывается в пределах зон III и IV.

Как видно по характеру изменения кривых I и 2, возмущения динамической системы единичными моментами M_3 и M_4 с частотами I зоны приводят к незначительному динамическому усилению момента в упругой связи C_{23} . Это объясняется тем, что эти частоты находятся вне резонансной зоны, ближайшая частота – низшая частота свободных колебаний системы (расчетная) составляет 19,3 Гц.

Следует заметить, что экспериментально установленная, фактическая низшая частота свободных колебаний составляет 20 Гц, т.е. еще более отдалена от I зоны вынужденных частот. Эта частота определена по затухающему колебанию момента сил упругости на моторном валу при торможении привода блока, находящегося в состоянии равномерного вращения на холостом ходу. Более высокие гармоники свободных колебаний при этом не проявились, по-видимому, из-за того, что недостаточно велико ускорение торможения привода.

Изменение величин K_y во II зоне частот показывает, что динамическая система нечувствительна ($K_y < 1$) к возмущениям с частотой, равной полуоборотной частоте ведущего вала. В диапазоне частот накладывающихся друг на друга зон III и IV имеет место увеличение K_y . Кривые I и 2 достигают максимума при частоте 46,0 Гц, являющейся собственной частотой 4-ой формы колебаний системы ($\omega_4 = 46,2$ Гц). Причем, больших значений K_y достигает при воздействии возмущений на массу θ_4 , т.е. на распределительный редуктор. Опасность совпадения ω_4 и частоты вынужденных колебаний, связанных с возмущением от трансмиссионного вала вертикальных клетей, может возникать только при частоте, соответствующей нижней границе исследованных частот привода блока, т.е. 800 об/мин. Увеличение динамического момента в упругой связи C_{23} , связанное с совпадением частоты ω_4 с частотой вынужденных колебаний трансмиссионного вала горизонтальных клетей, возможно только при частоте вращения привода около 950 об/мин. При увеличении или уменьшении частоты вращения привода блока влияние трансмиссионного вала горизонтальных клетей на динамику снижается. Видно, что работа блока предпочтительна в I и во II зонах, где возмущения динамической системы приводят к незначительному динамическому увеличению момента в упругой связи (с коэфф. K_y), т.к. спектр частот возможных наиболее вероятных возмущений находится вне резонансных зон.

С целью оценки возможности форсирования скоростного режима прокатки в чистовых блоках проведен сравнительный анализ нагрузок в их приводных линиях при различных частотах вращения приводов блоков. При этом режим нагрева заготовок в печи соответствовал технологической инструкции и в процессе исследования не изменялся. При увеличении частоты вращения привода блоков от 800 до 1000 об/мин момент на валу привода зона уменьшается соответственно на 10,6–14%. При одина-

ковом режиме нагрева заготовок в печи с увеличением частоты вращения привода блока от 800 до 1000 об/мин, т.е. при увеличении скорости прокатки и сокращении времени прохождения металла по линии стана температура раската перед блоком увеличилась на 30–40⁰С.

Изменение крутящего момента на валу привода (тихоходном валу мультипликатора) блоков характеризуется нарастанием момента за время заполнения блока металлом от величины, соответствующей моменту холостого хода, до некоторого уровня, соответствующего суммарной нагрузке (момент холостого хода плюс момент прокатки). Величина крутящего момента на протяжении цикла прокатки остается практически постоянной, не считая незначительного увеличения при прокатке концевых участков полос. Изменение крутящего момента на приводном валу характеризуется также наличием динамической составляющей (рис.3). На протяжении цикла прокатки в приводных линиях блоков имеет место незатухающий колебательный процесс. Циклическое изменение динамической составляющей момента является симметричным относительно статической нагрузки. При колебаниях в линиях блоков проявляется две частоты: оборотная вала привода 13–17 Гц, на которую наложена высокочастотная составляющая 45–65 Гц.

При исследовании установлена следующая закономерность – уменьшение амплитуды динамической составляющей крутящего момента с увеличением частоты вращения якоря привода. Так, при увеличении n от 800 до 1000 об/мин амплитуда уменьшается в 1,2–1,4 раза (блок № 24) и в 1,5–

1,6 раза (блок № 25). Установлено также, что величина $\frac{M_{\text{дин}} - M_{\text{ст}}}{M_{\text{ст}}}$ бло-

ка № 24 при прокатке в исследованных режимах в 2,4–3,6 раза превышает эту величину для блока № 25. Значительная величина амплитуды динамической составляющей момента в линиях обоих блоков при $n=800$ об/мин объясняется совпадением частоты вращения трансмиссионного вала вертикальных клетей с одной из собственных частот блока ω_4 . Это свидетельствует о том, что имеет место какое-то отклонение в установке этого вала, последней передачи распределительного редуктора или муфты, соединяющей трансмиссионный вал с выходным валом редуктора.

Существенно различный уровень динамической составляющей момента в линиях приводов блоков объясняется тем, что в период проведения исследований блок № 24 находился в технически неисправном состоянии (в зубчатой передаче мультипликатора разрушились два зуба), в связи с чем предусматривалась остановка для замены передачи. Это явилось причиной возбуждения незатухающих колебаний, так как каждый оборот приводного колеса мультипликатора сопровождается мгновенным разрывом и замыканием силового контакта в передаче. Динамическая составляющая крутящего момента в линии блока № 24, достигающая при указанных частотах вращения соответственно 87,5 и 74,0% величины ста-

тического момента, способствует прогрессирующему износу контактных поверхностей деталей линии передачи привода, прежде всего зубчатых колес. Циклическое изменение крутящего момента приводит к переменной нагрузке в зубчатых передачах и, следовательно, в опорах их валов, что может привести к разрушениям подшипниковых узлов, нарушению посадки подшипников на вал.

Сравнительный анализ изменения нагрузок в приводных линиях блоков, частотный анализ, в том числе определение скоростей вне резонансных зон с использованием лучевой диаграммы позволили сделать вывод о том, что интенсивность колебательных процессов в приводных линиях определяется не столько конструктивными параметрами блоков, сколько техническим состоянием элементов линии передачи момента привода прокатным шайбам.

На основании результатов исследований в реальных условиях с изменением крутящих моментов рекомендован рабочий диапазон частот вращения привода 850–950 об/мин (верхний уровень при шайбах диаметром 152 мм, нижний – 170 мм), что обеспечивает увеличение скорости прокатки катанки диаметром 5,5 мм до 55 м/с. Данный скоростной режим был реализован и использовался до реконструкции стана с установкой новых, более скоростных блоков.

Результаты исследований и анализа отказов узлов оборудования позволяют сформулировать следующие требования, исполнение которых должно стать обязательным при эксплуатации блоков – не допускать эксплуатацию зубчатых передач редукторов с нарушением зацепления, а также муфт со значительной выработкой, контролировать и устранять возможную несоосность валов мультипликатора и привода, мультипликатора и распределительного редуктора, а также валов распределительного редуктора и трансмиссионных валов блока. Кроме того, недопустимо применение в блоках деталей с отклонениями от проектных таких параметров, как геометрические размеры, жесткость и др.

Для обеспечения высокого уровня работоспособности блоков, уменьшения количества случайных отказов, затрат на ремонт оборудования необходимо в практику его технического обслуживания ввести вибродиагностическую технику. Существующая система профилактических (визуальных) осмотров и ППР не всегда обеспечивает требуемый уровень работоспособности оборудования, в том числе потому, что при этом не используются методы и средства технической диагностики. По нашему мнению, на базе диагностики эффективны не только оценка состояния оборудования в процессе эксплуатации и определение необходимых объемов ремонта, но не менее важна оценка качества ремонтных работ. Особое значение это имеет для таких высокотехнологичных агрегатов как прокатный блок, узлы и детали которого прецизионного изготовления по высокому классу точности.

Измерения крутящих моментов в линиях приводов блоков с целью оценки нагрузок – это по сути первый пример оценки также технического состояния оборудования. Однако телеметрическая аппаратура ИЧМ, предназначенная для исследований в течение относительно короткого отрезка времени, не может выполнять функции штатной техники при эксплуатации оборудования. Обслуживание оборудования на качественно новом современном уровне представляется возможным с применением стандартизированных специальных средств контроля и анализа его вибрационных полей. Для обоснования необходимости создания на БМК службы технической диагностики ИЧМ проведены факультативно предварительные измерения вибраций отдельных опор оборудования блока.

Анализ результатов измерений с учетом кинематических параметров привода позволил сделать следующее заключение. Блоки подвержены вибрациям (на холостом ходу и при прокатке), реальный спектр частот основных возможных возмущений при частоте вращения привода до 1000 об/мин – 15–12000 Гц, в низкочастотном диапазоне (до 500 Гц) вибрации имеют вид гармонических колебаний, при частотах более 500 Гц колебания имеют полигармонический характер.

В рамках специальной договорной НИР была сделана оценка технического состояния отдельных агрегатов блока не в период остановки, вскрытия трансмиссии и визуального осмотра, а в период работы по данным измерений параметров вибраций. Так, например, (по уровню и частоте вибраций) были идентифицированы дефекты (износ) шлицевого соединения муфты с валом и зуба на шестерне одной из редукторных кассет. Уровень вибрации (виброперемещение) опор после замены кассеты был уменьшен почти в 4 раза, с 90 до 25 мкм. Измерения вибраций, анализ спектрограмм осуществлен приборами – виброметром ВИП–2 и измерителем шума и вибраций ВШВ–003 и перестраиваемым полосовым фильтром (ППФ–1). Причем, ППФ–1 – прибор для анализа амплитудно-частотных спектров был разработан, изготовлен и поставлен БМК ИЧМ в объеме указанной работы. Данная работа явилась началом применения на БМК диагностики. Комплект указанной аппаратуры был использован нами на БМК также при исследовании канатных машин сигарного типа [15]. На основе установленных реальных спектров вскрыты причины высокого уровня вибраций опорных узлов и разработаны технические решения по снижению их уровня.

Опыт первых работ ИЧМ по диагностике на БМК был использован на других прокатных станах СНГ (ЧерМК, МолдМЗ, БМЗ). С учетом эффективности своевременного устранения причин вибраций на базе результатов их исследований ИЧМ рекомендовал БМК и МакМК – заказчикам нового оборудования приобретать прокатные блоки с комплектом диагностического оборудования для контроля вибраций, включающем приборы измерения параметров вибраций, например, пьезоэлектрические акселерометры, аппаратуру и программное обеспечение для спектрального ана-

лиза сигналов, что позволяет с высокой вероятностью предупредить отказы оборудования и осуществлять его ремонт по фактическому техническому состоянию.

Заключение. Таким образом, на базе результатов аналитических и промышленных исследований нагруженности оборудования проволочного стана, в том числе динамических и вибрационных процессов, а также анализа его технических характеристик выполнено следующее.

Установлены причины перегрузок и отказов оборудования 3-ей клетки блока. Показана эффективность использования вибродиагностики для идентификации дефектов и установления причин возникновения вибраций узлов оборудования.

Обоснована возможность по прочностным и энергетическим резервам оборудования:

- увеличения скорости прокатки на 10% (до 55 м/с) без изменения состава оборудования стана;
- увеличения скорости прокатки до 80 м/с при условии замены прокатных блоков, ножниц перед ними, трайбаппаратов и виткоукладчиков;
- реализации ресурсосберегающей технологии производства катанки низкоуглеродистых и канатных марок стали из заготовок с пониженным теплосодержанием.

Во избежание перегрузок отдельных черновых клетей установлен диапазон изменения температуры раската за 2-ой клетью стана при производстве проката из сталей с высоким сопротивлением деформации.

Рекомендованы скоростные режимы работы горизонтальных и вертикальных термофрезерных машин вне резонансных зон.

1. *Освоение проволочного стана 150* / В.А.Кулеша, Г.П.Борисенко, А.А.Горбанев и др. // *Сталь*. – 1984. – № 1. – С.42–46.
2. *Борисенко Г.П., Горбанев А.А., Юнаков А.М.* Внедрение эффективной технологии производства высококачественной катанки // *Ежегодник БСЭ*. – М.: БСЭ, 1988. – С.541–542.
3. *Совершенствование технологии производства катанки и режимов работы стана 150* / В.А.Кулеша, А.А.Горбанев, А.М.Юнаков и др. // *Сталь*. – 1998. – №8. – С.31–34.
4. *Технология производства катанки на стане 150 из заготовок с пониженными температурами нагрева* / А.А.Горбанев, А.М.Юнаков, В.К.Лихов и др. // *Сталь*. – 1992. – № 5. – С.52–54.
5. *Иводитов А.Н., Горбанев А.А.* Разработка и освоение технологии производства высококачественной катанки. – М.: *Металлургия*, 1989. – 255с.
6. *Комплекс исследований, выполненный при освоении, эксплуатации и усовершенствовании конструкции высокоскоростных проволочных блоков* / А.А.Горбанев, А.М.Юнаков, Е.А.Евтеев, А.Н.Кудлай // *Производство проката*. – 2004. – № 3. – С.15–18.

7. *Способ* прокатки коррозионнстойких сталей мартенситно–ферритного класса / Е.А.Евтеев, А.А.Горбанев, В.К.Лихов и др. // Патент РФ 1785448. Опубл.30.12.92. // Бюлл №48. – С.6 .
8. *Кожевников С.Н.* Динамика нестационарных процессов в машинах. – К.: Наукова думка, 1986 г. – 288 с.
9. *Юнаков А.М., Горбанев А.А., Евтеев Е.А.* Анализ статических и динамических нагрузок в линии приводов прокатных клетей и резервов оборудования – база реконструкции проволочного стана // Производство проката. – 2002. – №9. – С.22–26.
10. *Подольский Б.Г., Горбанев А.А., Юнаков А.М.* Теплотехническое оборудование и режимы новых технологий термообработки катанки в потоке стана // *Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов.* – Том 6. – НМетАУ. – 2002. – С.169–176.
11. *Зюзин В.И.* Освоение технологии воздушного патентирования катанки на стане 150. // *Сталь.* – 2001. – № 6. – С.84–87.
12. *Оптимизация режимов прокатки в высокоскоростных блоках стана 150 / В.С.Емченко, А.М.Юнаков, Д.А.Деркач и др.* // *Сталь.* – 1985. – №5. – С.52–54.
13. *Математическое моделирование процесса прокатки в чистовых блоках проволочных станов / Г.П.Борисенко, А.А.Горбанев, Б.Н.Колосов и др.* // *Деп. Черметинформация, ЗД/2778.* – № 5. – 1985. – 18с.
14. *Теоретическое исследование процесса непрерывной прокатки в чистовых проволочных блоках / А.А.Горбанев, Д.А.Деркач, А.П.Лохматов и др.* // *Деп. Черметинформация, ЗД/3373.* – № 7. – 1986. – С.10.
15. *Экспериментальные исследования уровня вибраций канатных машин сигарного типа / В.И.Большаков, А.М.Юнаков, Н.А.Бабкина и др.* // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1995. – № 1. – С.58–60.

*Статья рекомендована к печати:
Заместитель ответственного редактора
раздела «Металлургическое машиноведение»
канд.техн.наук В.В.Вернев*

В.І.Большаков, О.М.Юнаков, Е.А.Євтєєв

Дослідження навантаженості устаткування при освоєнні, експлуатації і розвитку дротяного стану

Метою дослідження є розробка і освоєння технології виробництва високоякісної катанки широкого марочного складу, дослідження та оптимізація режимів роботи сучасного устаткування, встановлення і використання його резервів. Представлено результати дослідження ліній приводів устаткування, зокрема динамічних і вібраційних процесів. Показано, що використання результатів даного дослідження при освоєнні, експлуатації і розвитку дротяного стану дозволило забезпечити випуск конкурентоздатної продукції.