

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГЛАВНЫХ ЛИНИЙ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Вопросы совершенствования конструкции главных линий прокатных станов для повышения их эксплуатационной надежности имеет в современных условиях первостепенное значение.

Главные линии прокатных станов относятся к сложным машинным агрегатам с развитой механической частью, с приводными электродвигателями большой единичной мощности, сложной автоматической системой управления, регулирования и защиты. Технологические процессы, осуществляемые главными линиями, характеризуются высокими скоростями, большой массой прокатываемых заготовок и высокими требованиями к качеству и точности прокатываемого металла. Детали главных линий подвержены значительным крутильным упругим колебаниям, определяющим высокий уровень динамической нагруженности в момент захвата металла валками [1]. Надежность деталей главных линий определяет эксплуатационную надежность главных линий рабочих клетей и всего прокатного стана в целом. Чтобы повысить эксплуатационную надежность прокатного стана необходимо, в первую очередь, снизить уровень динамической нагруженности главных линий.

Прокатные станы могут включать несколько главных линий, например, станы для прокатки листовой продукции, а обжимные станы, например блюминг, состоит только из одной главной линии. Состав оборудования главных линий в зависимости от назначения и типа прокатных станов может быть разным, но в перечень составных частей могут включаться: рабочие и опорные валки, шпиндели, устройства для смены рабочих и опорных валков, шестерённая клеть, становой редуктор, муфты соединительные, промежуточные валы, маховики, муфты моторные, электродвигатели привода системы питания и управления [2].

В связи с тенденцией роста таких параметров, как силы и момента прокатки, необходимого для вращения рабочих валков при заданной скорости прокатки, значительно выросли устанавливаемые мощности электрических машин.

Так, на полосовом стане горячей прокатки 2000, установленная мощность синхронных двигателей в линиях черновых клетей №№ 3,4,5 выросла до 10000 кВт. На полосовом стане 2000 меткомбината «Северсталь» [3] черновые горизонтальные клетки №№ 1,2, как и на предыдущем стане, приводятся от синхронных двигателей мощностью 5000 кВт, а черновые клетки №№ 3,4,5, объединенные в непрерывную группу, оснащены двигателями постоянного тока, так же, как и клетки чистовой непрерывной группы с установленной мощностью, соответственно, 6300 кВт, 6300 кВт, 2х6000 кВт. Синхронные двигатели постоянного тока по сравнению с двигателями постоянного тока той же мощности имеют значительно больший момент инерции ротора.

Созданы новые конструктивные решения с роликами шарнирами, направленные в одних случаях на передачу значительных крутящих моментов при малых скоростях вращения, в других случаях, на работу в условиях высоких динамических нагрузок [6, 7, 8, 9, 10]. Новые конструктивные решения роликовых шарниров потребовали новых технологических приемов и способов обработки их деталей, которые позволили получить детали шарниров с высокой точностью по шагу полуцилиндрических пазов [11]. Оригинальный способ обработки силовых деталей для внешнего и внутреннего зацепления позволил получить детали не только с высокой точностью по шагу [12], но и соосности, что обеспечивает практически идеальный шарнир [13, 14].

Необходимо отметить, что универсальные роликовые шарниры обеспечивают выбор зазоров между силовыми деталями шарниров и исключают

ударное замыкание механизмов, а жесткость универсальных роликовых шарниров меняется от максимальной в период приработки до минимальной в период нормального износа, что способствует росту их эксплуатационной надежности и наработки, которая по сравнению с зубчатыми шарнирами, возрастает более чем в 10 раз. Этому способствует и демпфирующая способность роликовых шпинделей [15] по уменьшению величины момента сил упругости в нагруженном валопроводе.

Отметим так же, что нами проработаны конструктивные решения по замене муфт зубчатых и муфт зубчатых с промежуточными валами муфтами роликовыми и муфтами роликовыми с промежуточными валами. Причем такая замена дает значительный рост эксплуатационной надежности без увеличения трудоемкости изготовления, при этом допустимый угол перекоса соединяемых валов может быть увеличен с 30' для зубчатого варианта до 3° и более для варианта роликовой муфты.

При создании упругой муфты с нелинейной характеристикой приняли во внимание опыт использования в главных линиях прокатных станов муфт со змеевидными пружинами, известных, как муфт Бибби [16]. Зубья этих муфт имеют криволинейное очертание рабочей поверхности. Радиусы этих поверхностей выбираются таким образом, чтобы при увеличении крутящего момента происходило смещение места начала контакта зуба с пружиной по длине зуба, что определяет нелинейность характеристики - рост жесткости опережает рост крутящего момента т.е. в начале нагружения имеет место небольшая жесткость, а в конце нагружения - жесткость максимальная. Нелинейные муфты имеют преимущество при разгоне машины и во время выбега при ее остановке – так как при снятии нагрузки критическая частота вращения привода с нелинейной муфтой лежит близко к нулю. Однако рассматриваемая муфта имеет сложную конструкцию, ее детали, особенно, пружины нетехнологичны в изготовлении, а при износе зубьев жесткая характеристика меняется. Упругие муфта со стальными стержнями, изготавливаемые прокаткой, проще в обслуживании, а изготовление деталей технологичнее. При создании упругой муфты с нелинейной жесткостной характеристикой остановились на стержневом варианте упругих элементов Рис. 1 [17].

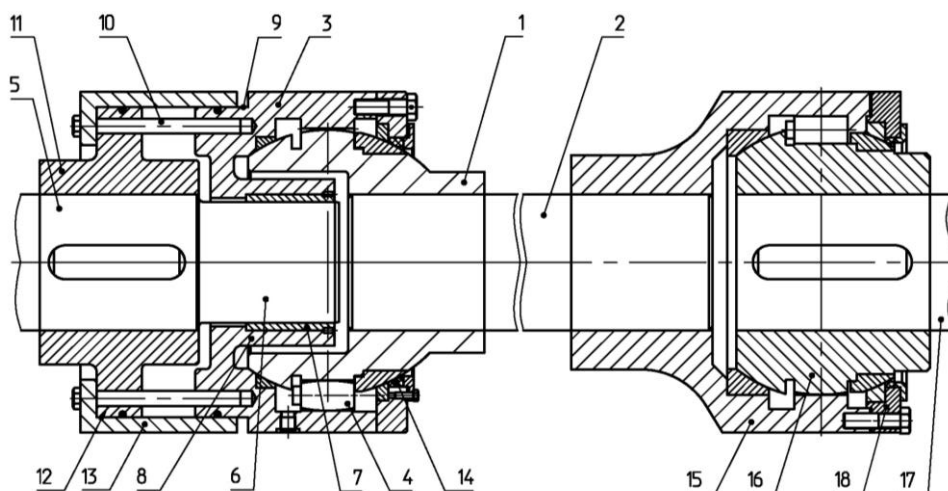


Рисунок 1 - Базовая конструкция упругой муфты с роликовыми шарнирами

1 - головка; 2 - вал; 3 - обойма; 4 - ролик; 5 - ведомый вал; 6 - цапфа; 7- втулка; 8 - центрирующая ступица; 9 - диск обоймы; 10 - упругие стержни; 11 - ведомая муфта; 12 - фланец ведомой муфты; 13 - кожух; 14 - узел уплотнения упругой муфты; 15 - обойма ведущей муфты; 16 - головка ведущего шарнира; 17 - ведущий вал; 18 - узел уплотнения ведущей муфты.

Известно, что моменты упругости, действующие в деталях главных линий, определяются по зависимости [15]:

$$M_{YII} = M_{CT} + I \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где M_{CT} - статический крутящий момент, определяемый технологическим режимом нагружения; I - приведенный к валу машины момент инерции валопровода; $\frac{d\omega}{dt} = \varepsilon$ - угловое ускорение деталей валопровода; $d\omega$ - приращение угловой скорости; dt - время, за которое происходит приращение угловой скорости.

В начале захвата металла валками прокатных станов статический крутящий момент (M_{CT}) близок к 0, а упругий момент в валопроводе практически мгновенно достигает максимальной величины, поэтому зависимость (5) упрощается до вида:

$$M_{YII} = I \frac{d\omega}{dt}, \quad (2)$$

Эффективность упругих муфт, установленных в главных линиях, удобно оценивать при помощи коэффициента демпфирования момента сил упругости в главной линии с упругой муфтой по сравнению с моментом сил упругости без упругой муфты:

$$d_{YII} = \frac{M'_{YII} - M''_{YII}}{M'_{YII}}, \quad (3)$$

где M'_{YII} - первоначальный момент упругости главной линии до включения в ее состав упругой муфты;

M''_{YII} - момент сил упругости главной линии с упругой муфтой.

Демпфирующая способность главной линии с упругой муфтой (dM_{YII}) определяется по зависимости:

$$dM_{YII} = d_{YII} \cdot M'_{YII} = M'_{YII} - M''_{YII}, \quad (4)$$

В конце переходного процесса после захвата металла валками, когда по (1) величина $I \frac{d\omega}{dt} \rightarrow 0$, а $M_{YII} = M_{CT}$, величина dM_{YII} по (4) стремится к 0. Такое условие может обеспечить только упругая муфта с переменной (нелинейной) жесткой характеристикой [18].

$$C_i = \frac{dM_{KP}}{d\Psi}, \quad (5)$$

Переменная жесткость упругой муфты в начале нагружения должна быть минимальной, а с увеличением нагрузки жесткость должна возрасти до максимальной величины. Типовая конструкция упругой муфты представлена на рисунке 1, но расчетные параметры по переменной жесткости индивидуальны для каждой главной линии. Типовая расчетная схема упругого стержня представлена на рисунке 2 [16]. В качестве материала стержней принята Сталь 60С2А с модулем упругости $E = 2100 \text{ МПа}$, пределом текучести $[\sigma_T] = 1200 \text{ МПа}$, временным сопротивлением $[\sigma_B] = 1300 \text{ МПа}$.

Практика проектирования муфт упругих показала, что радиусы кривизны гнезд для установки упругих стержней необходимо принимать дискретными и

определять при этом величину изгибающих напряжений на границах участков гнезда по зависимости [16].

$$\rho = \frac{Ed}{2\sigma_{и}}, \quad (6)$$

где d – диаметр стержня; E – модуль упругости; $\sigma_{и}$ – допустимое напряжение изгиба материала стержней.

Конструирование упругой муфты для установки в главной линии четырехвалковой клети ТЛС рассмотрим для варианта привода от индивидуальных синхронных двигателей мощностью 4600KW, с частотой вращения 50/120 1/мин. Момент инерции вращающихся масс каждого двигателя составляет 5200 кг·м².

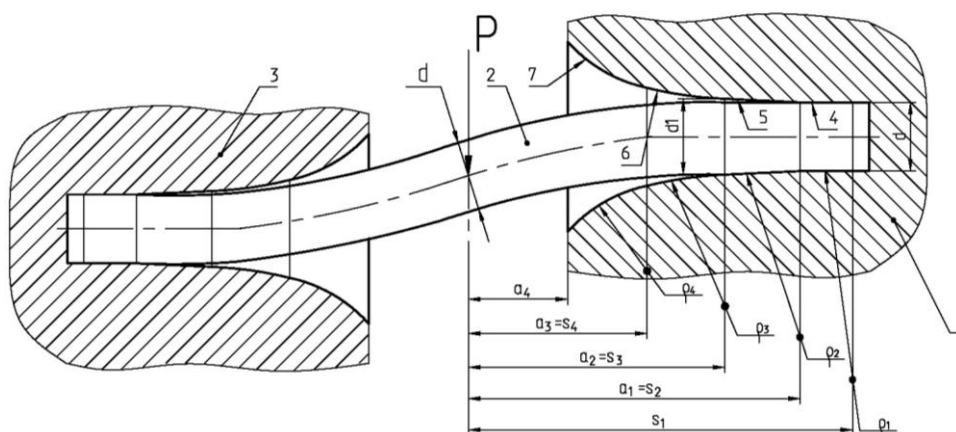


Рисунок 2 - Расчетная схема упругого стержня

1 - диск обоймы; 2 - упругий стержень; 3 - фланец ведомой муфты; 4 - цилиндрический участок гнезда; 5 - конический участок гнезда; 6 - криволинейный участок гнезда с ρ_3 ; 7 - криволинейный участок гнезда с ρ_4 .

Статический момент передаваемый как верхним так и нижним валопроводом равен 75 тм (750 кНм). Суммарный момент прокатки с учетом моментов трения составляет 150 тм (1500 кНм). Предельный момент, передаваемый упругими стержнями муфты ($M_{пред. уп.}$) должен быть больше момента статического приводной линии.

$$M_{пред. уп.} \geq 1,2 \dots 1,3 M_{ст}, \quad (7)$$

Принимаем:

$$M_{пред. уп.} = 1,28 \cdot 750 = 960 \text{ кНм.}$$

Имея в виду габариты вращающихся деталей верхнего и нижнего валопроводов, принимаем, что упругие стержни будут установлены в дисках обоймы роликового шарнира в гнездах, расположенных по окружности $D = 1200$ мм. Количество роликов, из опыта проектирования, выбираем равным $n=32$ шт. Тогда на один стержень действует сила P (Рис.2) равная:

$$P = \frac{2M_{пр.уп.}}{Dz} = 50 \text{ кН.}$$

По опыту создания стержневых упругих муфт радиусы кривизны ρ_i участков нагружения и допускаемые при этом напряжения изгиба $\sigma_{и}$ стержней взаимосогласуются по зависимости (6). Расчетные данные сведены в таблицу 1.

Угол закручивания на первом участке нагружения определяется по зависимости [16].

$$\Psi_i = \frac{8 \cdot S^3 \cdot M_{\text{УПР}}}{3E \cdot I \cdot Z \cdot D^2} \quad (8)$$

где S – полудлина стержня, участвующая в деформации, упругодеформируемого, $S=0,29$ м;

$M_{\text{УПР}}$ - момент упругий на участке, $M_{\text{УПР}} = 86,0$ кНм;

E - модуль упругости первого рода $E=2.1 \cdot 10$ МПа;

I -момент инерции стержня $I=0,1256 \cdot 10^{-6}$ м⁴ ;

Z -число стержней, $Z=32$;

D - диаметр окружности расположения стержней, $D=1,2$ м.

В нашем примере $\Psi_1 = 0,00295$ рад

Угол поворота полумуфт Ψ на нелинейных участках нагружения в зависимости от упругого момента определяется выражением [16]:

$$\Psi = \frac{2(S^2 - a^2)}{\rho D} + \frac{8M_{\text{УПР}}a^3}{3EI \cdot ZD^2} \quad (9)$$

где S - полудлина стержня, участвующая в деформации,

a - полудлина стержня предельно-упруго деформируемая.

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчётов

ρ	$[\sigma_{\text{н}}]$	d	$W \times \frac{1}{10^6}$	$I \times \frac{1}{10^6}$	a_i	P	M	∂M	$\psi \times \frac{1}{10^3}$	$\partial \psi \times \frac{1}{10^3}$	$C \times 10^3$
м	МПа	мм	м ³	м ⁴	м	кН	кНм	кНм	рад	рад	кНм/рад
600d	175	40	6,4	0,1256	0,25	4,48	86,0	86,0	2,95	2,95	29,15
300d	350	40	6,4	0,1256	0,21	10,66	204,8	118,8	6,72	3,77	31,51
160d	656	40	6,4	0,1256	0,17	24,70	474,35	269,75	9,07	2,35	114,787
106d	985	40	6,4	0,1256	0,13	50	960,0	485,65	9,325	0,255	1904,51

Выводы.

1. Расчетные параметры муфты упругой удовлетворяют требованиям рассматриваемой главной линии, а именно, момент предельный на четвертом участке нагружения равный 960 кНм и превышает в 1,28 раза статический момент, равный 750 кНм.

2. Крутильная жесткость совокупности упругих элементов увеличивается от 29152,5 кНм/рад на первом участке нагружения до 190451 кНм/рад, на четвертом участке нагружения, обеспечивая увеличение жесткости в 65 раз.

Перечень ссылок

1. Ларин, В.Б. Проблемы динамики прокатных станов (обзор). / В.Б. Ларин, Е.Я. Антонюк, И.А.Бобух, В.В.Веренеев и др.//Международный научный журнал «Прикладная механика» 1997 Т33,№3 Институт механики НАН Укрины: Киев., с3...27.
2. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М.и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т.3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. М. Металлургия. 1988, 680с.
3. Фомин Г.Г., Дубейковский А.В., Гринчук П.С. Механизация и автоматизация широкополостных станов горячей прокатки. М. Металлургия. 1979, 232с.
4. Потапкин В.Ф. Новый метод регистрации крутящих моментов в приводах

- прокатных станов / *В.Ф. Потанин, В.Ф. Дудко, И.А.Бобух* и др./ Известия вузов. Черная металлургия, 1974, №2, с100...103.
5. *Коцарь С.Л.* Выбор параметров приводных линий прокатного стана / *С.Л. Коцарь, М.Я. Ройзен* /НИИинформтяжмаш. Металлургическое оборудование. Оборудование для прокатного производства. 1-75-9/М. 1975 с. 16...109.
 6. *Бобух И.А.* Снижение динамической нагруженности рабочих клетей / *Бобух И.А., Бобух В.И.*/ Тематичний збірник наукових праць Донбаської держ. маш. академії/ „Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні” – Краматорськ, 2007 с.439...444.
 7. Пат.21908 А. Україна МПК В21 В35/14. Роликова муфта. *І.О.Бобух, О.Д.Коновалов, В.Д.Плахтін* и др. Ново-Краматорський маш. завод. Україна №93006909 Заяв:03.12.93. Оpub.30.04.98. Бюл.№2.
 8. Пат.21946 Україна МПК В21 В35/14. Шарнір універсального шпінделя. *І.О. Бобух, В.І. Бобух, К.Л. Ростовский, Е.Я. Антонюк.* Ново-Краматорський маш. завод. Україна №U2006 11348 Заяв:27.10.2006. Оpub.10.04.2007. Бюл.№4.
 9. Пат.23486 Україна МПК В21 В35/14. Шарнір універсального шпінделя. *І.О. Бобух, В.І. Бобух, В.М. Голінко, Л.А. Нечаева.* Ново-Краматорський маш. завод. Україна №U2007 00438 Заяв:16.01.2007. Оpub.25.05.2007. Бюл.№7.
 10. Пат.21410 Україна МПК В21 В35/14. Шарнір універсального шпінделя. *І.О. Бобух, В.І. Бобух, А.Ф. Гончаренко, Т.А. Шульга.* Ново-Краматорський маш. завод. Україна №U2006 10186 Заяв:25.09.2006. Оpub.15.03.2007. Бюл.№3.
 11. А.С. 1811443 СССР МПК В23F9/00. Способ обработки зубчатых деталей для внешнего и внутреннего зацепления. *А.Д. Коновалов, И.А. Бобух, В.Д. Плахтин.* Ново-Краматорський маш. завод. Україна №486894/08 Заяв:27.12.1990. Оpub.23.04.19993 Бюл.№15.
 12. Пат.27500 Україна МПК В23F5/12. Спосіб нарізування зубчастих виробів з зовнішнім та внутрішнім невольвентним зачепленням. *І.О. Бобух, О.Д. Коновалов, В.Д. Плахтін.* Ново-Краматорський маш. завод. Україна №95020741 Заяв:20.02.1995. Оpub.15.09.2000. Бюл.№4.
 13. Пат.63729 А. Україна МПК В21 В35/14. Роликова муфта. *І.О. Бобух, В.І. Бобух, А.Ф. Гончаренко* и др. Ново-Краматорський маш. завод. Україна №2003065219 Заяв:06.06.2003. Оpub.15.01.2004. Бюл.№1.
 14. *Антонюк Е.Я.* Исследование роликовых шарниров с завышенными углами перекося./ *Е.Я. Антонюк, В.И. Бобух, А.Ф. Гончаренко*/ Тематичний збірник наукових праць Донбаської держ. маш. академії/ „Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні” - Краматорськ, 2004 с.626...632.
 15. *Бобух И.А.* Исследование демпфирующей способности роликовых шпинделей./ *И.А. Бобух, В.И. Бобух, Л.А. Нечаева*./ Металлургические процессы и оборудование №3 (13) 2008 с.6...11.
 16. *Поляков В.С.* Справочник по муфтам. \ *В.С. Поляков, И.Д. Барабаш, О.А. Ряховский*\ Л. Машиностроение. 1974, 352с.
 17. Пат.37353 Україна МПК В21 В35/00. Шарнір універсального шпінделя. *І.О. Бобух, В.І. Бобух, В.М. Голінко* т др. Ново-Краматорський маш. завод. Україна №U200807798 Заяв: 09.06. 2008. Оpub.25.11.2008. Бюл.№22.
 18. *Кожевников С.Н.* Динамика машин с упругими звеньями: Киев. Изд-во АН УССР, 1961 160с.

Сведения об авторах

1. Бобух Иван Алексеевич г.Краматорск, ДГМА, кафедра АММ, доцент,
тел.раб.80626414681, дом 80626455386
2. Бобух Всеволод Иванович г.Краматорск, ЗАО НКМЗ, ОМ ПМО,
тел.раб.80626469591, дом 80626432973

РЕФЕРАТ

Бобух И.А., Бобух В.И. Совершенствование конструкции главных линий прокатных станов// Защита металлургических машин от поломок - Мариуполь, 2009.- Вып. -. С.

Рассмотрены технические решения, обеспечивающие повышение работоспособности оборудования главных линий прокатных станов.

РЕФЕРАТ

Бобух І.О., Бобух В.І. Удосконалення конструкції головних ліній прокатних станів// Захист металургійних машин від поломок - Маріуполь, 2009.- Вип. -. С.

Розглянуто технічні рішення, що забезпечують підвищення працездатності устаткування головних ліній прокатних станів.

REFERATE

Bobuh I.A., Bobuh V.I. Perfection of a design of the main lines of rolling mills//Protection of metallurgical equipment against breakages - Mariupol, 2009. - Вып.-. With.

The technical decisions providing increase of working capacity of the equipment of the main lines of rolling mills are considered.

Bobuh I.A., Bobuh V.I. Sovershenstvovaniye der Konstruktion der Hauptlinien der Walzstraßen//der Schutz der metallurgischen Maschinen vor den Brüchen - Mariupol, 2009. - Вып.-. С

Es sind die technischen Lösungen, die die Erhöhung der Arbeitsfähigkeit der Ausrüstung der Hauptlinien der Walzstraßen gewährleisten betrachtet