

УДК 621.771.29

ШТОДА М. Н.¹, к.т.н., доцент
МЕЛЬНИК С. Н.², к.т.н., главн. калибровщик
РОВКОВ В. Л.², нач. вальцетокарного отделения

¹ Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина

² ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат», г. Каменское, Украина

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШАРОПРОКАТНЫХ СТАНОВ ПАО «ДМК»

Введение. Мелющие шары находят применение в размольно-дробильном оборудовании в качестве измельчающей среды. В горнорудной, цементной, энергетической, золотодобывающей и других областях промышленности во всем мире ежегодно измельчается более 2 млрд. т сырья. Один из основных видов оборудования для измельчения сырья – мельницы барабанного типа, в которых мелющими телами являются, в зависимости от стадии измельчения и вида измельчаемого сырья: катаные, кованные или штампованные стальные стержни, шары, цилиндровые или литые (стальные и чугунные) мелющие тела шаровидной, параболической или эллипсоидной формы [1].

Используемые сегодня в мире мелющие шары делятся по способу производства на катаные и литые [2]. Катаные стальные шары в основном получают пластической деформацией на станах поперечно-винтовой прокатки, а также методом штамповки иковки.

Из-за постепенного истощения сырьевой базы для извлечения полезного компонента при обработке полезных ископаемых приходится перерабатывать все большие объемы сопутствующей породы и измельчать руду до все более мелкой фракции. Кроме того, в процессе работы мелющий шар практически полностью изнашивается (износ до 0,5–2,0 кг/т) и расходы на их приобретение составляют по разным оценкам от 15 до 35 % от общих технологических затрат [3]. В связи с этим производство шаров малых диаметров (15–40 мм), увеличение производительности их производства и повышение их стойкости к износу становится все более актуальным в мировой практике [2].

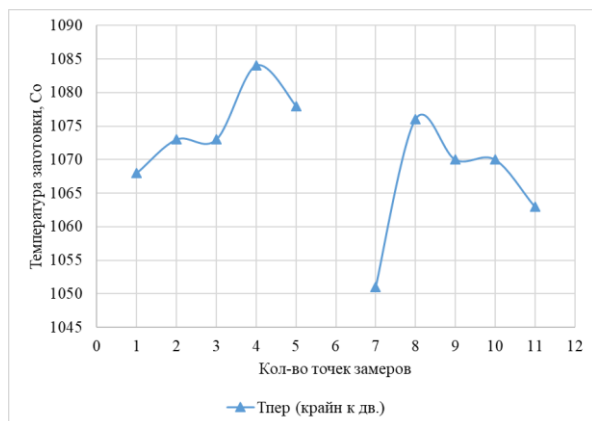
Постановка задачи. По данным рекламной статьи, выполненной для компании «Энергостил» в феврале 2017 года (источник <http://energosteel.com/ukrainian-grinding-media-producers/>), объем Украинского рынка мелющих тел составляет порядка 180–200 тыс. тонн. При этом, частично потребность закрывается импортом, который составляет примерно до 2 %. Остальная часть производится украинскими предприятиями. На сегодня, в Украине насчитывают пять производителей мелющих тел, которых можно считать активными участниками рынка. Согласно исследованиям специалистов ООО «ПРМ Партнерс» основные производственные мощности украинских производителей (шаров) распределены среди четырех компаний рис. 1 [4].

Исследователи из ООО «ПРМ Партнерс» отмечают, что устаревшие технологии, поддерживаемые относительной изоляцией Украины, создают предпосылки к импорту качественной шаровой продукции. Технологические ограничения повышения групп твердости и повышения износостойкости шаров не позволяют в настоящее время быстро повысить их качество. Но здесь же отмечается, что при условии повышения качества готовой продукции может появиться возможность развития экспортных продаж шаров в страны дальнего зарубежья [4]. В связи с этим наиболее актуальны следующие пути развития технологии производства шаров в Украине: повышение износостойкости за счёт использования новых марок сталей и способов закалки, повышение производительности существующего оборудования, а также наращивание мощностей производства. Данная статья направлена на изучение возможности повышения производительности существующих шаропрокатных станков ПАО «ДМК» при производстве шаров условным диаметром 40 мм по требованиям ДСТУ 8538:2015.

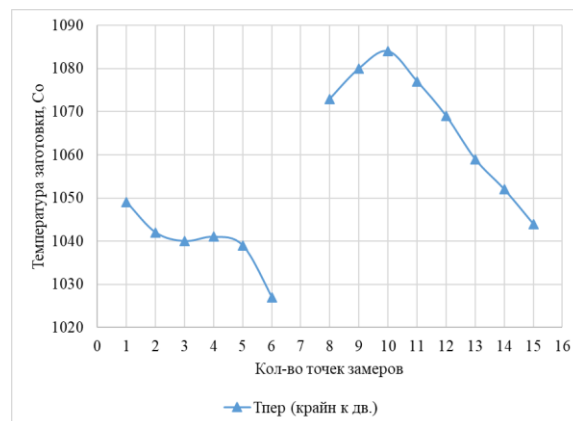


Рисунок 1 – Структура объёмов производства стальных шаров Украины 2015 год

Результаты работы. В ходе исследований выполнены измерения температуры по длине, на выходе из печи исходных заготовок длиной $5,8 \div 6$ м. Измерения производили при помощи ручного высокотемпературного пирометра, результаты представлены на рис. 2–4.



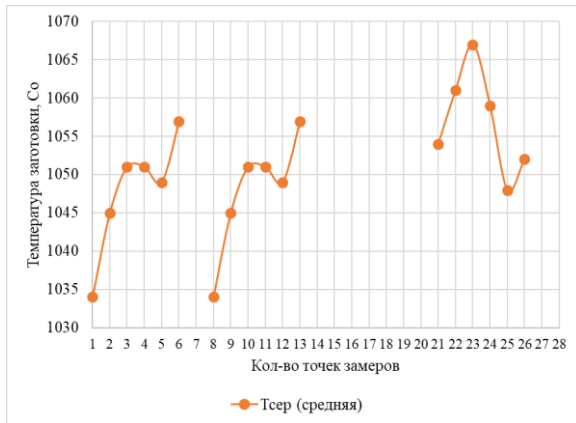
П-1 (ШПС-1)



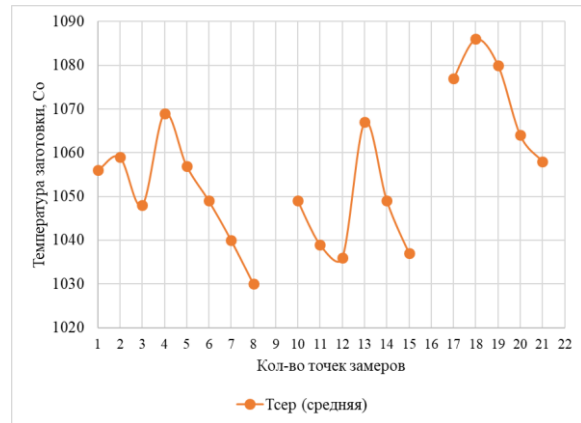
П-2 (ШПС-2)

Рисунок 2 – Температуры заготовки по длине на выходе из печей П-1 (ШПС-1) и П-2 (ШПС-2) для ближнего к двигателю ряда

Как видно из рис. 2–4, температура заготовок на выходе из печей П-1 и П-2 различна. Заготовки, выходящие из печи П-2 имели более высокую температуру по сравнению с заготовками, выходящими из печи П-1. Это объясняется различием конструкции и режимов работы по зонам печей (расход газа и воздуха в печи П-2 был выше, чем в печи П-1).

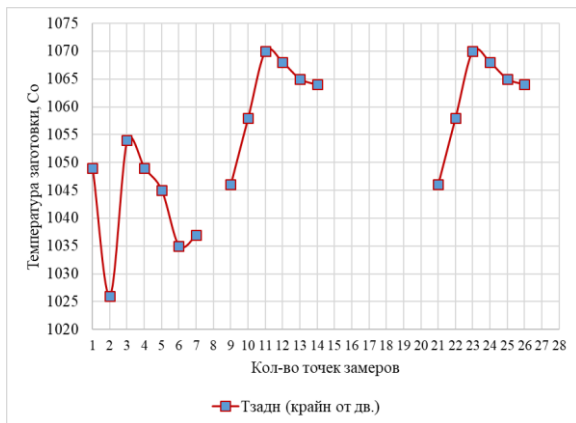


П-1 (ШПС-1)

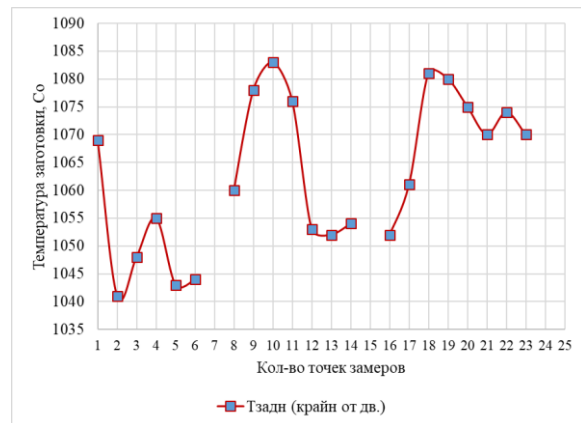


П-2 (ШПС-2)

Рисунок 3 – Температури заготовки по длине на выходе из печей П-1 (ШПС-1) и П-2 (ШПС-2) для среднего ряда



П-1 (ШПС-1)



П-2 (ШПС-2)

Рисунок 4 – Сопоставление температуры заготовки по длине на выходе из печей П-1 (ШПС-1) и П-2 (ШПС-2) для дальнего от двигателя ряда

Как видно из рис. 2–4, температура заготовок на выходе из печи зависит не только от конструкции и режима нагрева в зонах печи, но и от положения на роликах печного рольганга. Наиболее горячие заготовки, выходящие из печи П-1, находятся у стены ближней к двигателю главного привода стана. Для печи П-2 с этой стороны выходили самые холодные заготовки.

В ходе исследований параметров работы станов определяли также обороты двигателя каждого шаропрокатного стана. От этого параметра с одной стороны зависит производительность стана, а с другой стороны энергосиловые параметры, возникающие во время прокатки. Кроме того, данные измерений температуры заготовки и частоты вращения необходимы для расчётов энергосиловых параметров.

Как видно из результатов измерений (рис. 5 и 6), до повышения скорости прокатки обороты двигателя каждого шаропрокатного стана во время холостого хода составляли около 930 об./мин. При этом под нагрузкой обороты двигателя ШПС-1 падали до 890 об./мин., а двигателя ШПС-2 – до 865 об./мин. Подняв обороты двигателя до максимально допустимого значения, частота вращения без нагрузки составила – 943 об./мин. и 960 об./мин., а под нагрузкой – 915 об./мин. и 885 об./мин., на ШПС-1 и ШПС-2 соответственно.

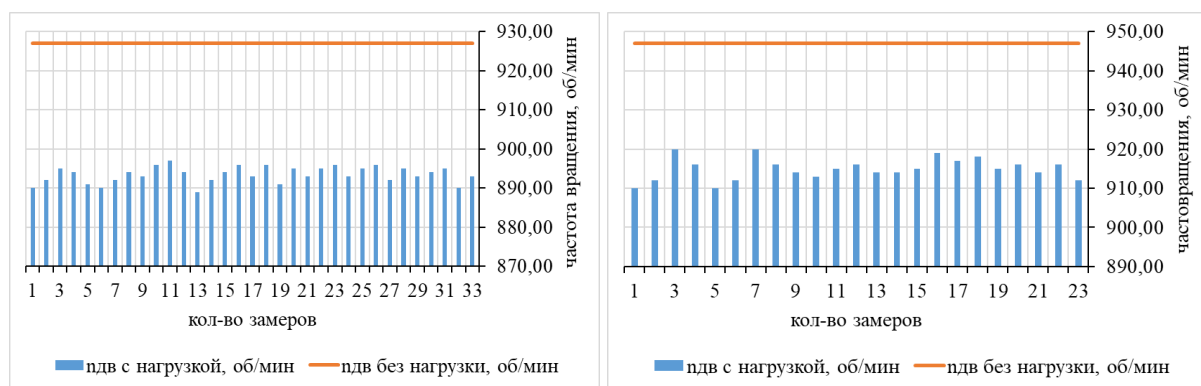


Рисунок 5 – Обороты двигателя на стане ШПС-1 до (слева) и после повышения (справа)

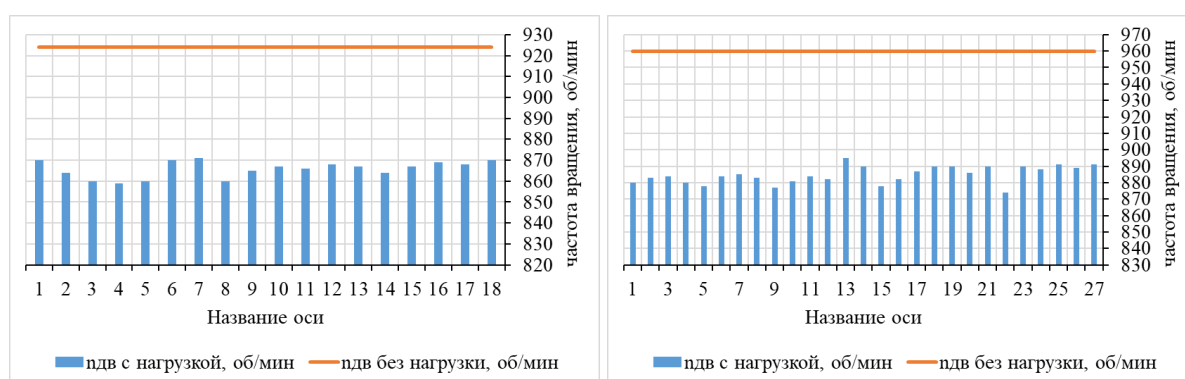


Рисунок 6 – Обороты двигателя на стане ШПС-2 до (слева) и после повышения (справа)

Совместно специалистами ПАО «ДМК» и кафедры ОМД ДГТУ была разработана математическая модель энергосиловых параметров процесса прокатки шаров при многозаходной калибровке валков поперечно-винтового стана. Предлагаемый способ расчета энергосиловых параметров основан на известной методике, описанной в [5].

Результаты расчетов и экспериментальные значения энергосиловых параметров сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Сравнение экспериментальных и расчетных технологических параметров прокатки для ШПС-1

№	Экспериментальные значения						Расчётные значения при температуре металла		
	$n_{\text{дв}}$, об./мин.		I , А	Температура металла, °С			1070 °С	1055 °С	1200 °С
	нагрузка	без нагрузки		(ближний к двигат.)	(средняя)	(дальний от двигат.)	I_{1070} , А	I_{1055} , А	I_{1200} , А
1	893,45	927,00	370,40	1070,60	1054,67	1054,58	566,6	591,28	400,76
2	914,96	943,60	370,00				582,15	607,51	411,76

Как видно из табл. 1 и 2, если в исходных данных для расчета выбрать термомеханические коэффициенты для стали 60Г, а температуру начала прокатки – на 150 °С больше, чем температура выходящей из печи заготовки, то значения расчетных и фактических токовых нагрузок на главном приводе стана практически совпадают. Ошибка расчета составляет менее 5 %. Разница между температурой металла измеренной экспериментально и используемой в расчётах имеет физическое объяснение: так как на станах измеряли температуру поверхности заготовки, а не металла внутри заготовки, реальная температура которого больше измеряемой величины. Итак, модель адекватно рассчитывает энергосиловые параметры прокатки шаров.

Таблица 2 – Сравнение экспериментальных и расчетных технологических параметров прокатки для ШПС – 2

№	Экспериментальные значения						Расчетные значения при температуре металла		
	$n_{дв}$, об./мин.		I , А	Температура металла, °С			1055°С	1063°С	1200°С
	нагрузка	без нагрузки		(ближний к двигат.)	(средняя)	(дальний от двигат.)	I_{1055} , А	I_{1063} , А	I_{1200} , А
1	866,33	934,00	355,38	1055,43	1055,26	1062,81	540,28	529,59	366,19
2	884,89	959,00	365,22				562,13	543,16	375,58

Предложенная методика позволила проанализировать влияние технологических параметров прокатки (частота вращения двигателя, температура прокатки) на энергосиловые параметры при прокатке шара условным диаметром 40 мм по существующей четырёхзаходной калибровке валков и при использовании пятизаходной калибровки.

Теоретический анализ условий работы валков с четырьмя заходами ручьев при производстве шаров условным диаметром 40 мм, в зависимости от температуры металла и частоты вращения главного двигателя показывает, что ограничивающим параметром является сила прокатки. В исследуемом диапазоне температуры нагрева заготовки и частоты вращения двигателя расчётные значения силы тока, мощности двигателя и момента прокатки не достигают допустимых значений. При температуре нагрева заготовки 1030 °С сила прокатки в исследуемом диапазоне частот вращения двигателя не достигает 700 кН, что меньше допустимого значения 735,5 кН. При температуре заготовки 1000°С, при частоте вращения двигателя 1100 об./мин. сила прокатки менее 700 кН, что так же меньше допустимого значения. Расчеты показали, что при дальнейшем снижении температуры для безаварийной прокатки шаров необходимо снижать скорость вращения двигателя главного привода стана. Таким образом, повышение производительности стана за счёт повышения частоты вращения валков при производстве шара условным диаметром 40 мм возможно при сохранении температуры нагрева заготовки (не менее 1000÷1030 °С).

С целью определения возможности увеличения производительности шаропрокатных станов за счёт увеличения количества заходов ручьев на валках построили зависимость силы прокатки от частоты вращения двигателя рис. 7.

Как видно из рис. 7, если в валки шаропрокатных станов добавить еще один заход, оставив при этом длину формирующего и отделочного участков, форму реборд и шаг нарезки винтового ручья такими же, как и для валков с четырьмя заходами, то при температур заготовки 1100 °С, допустимая частота вращения двигателя составляет 600 об./мин. Увеличение частоты вращения двигателя выше указанного значения приводит к превышению допустимой силы прокатки.

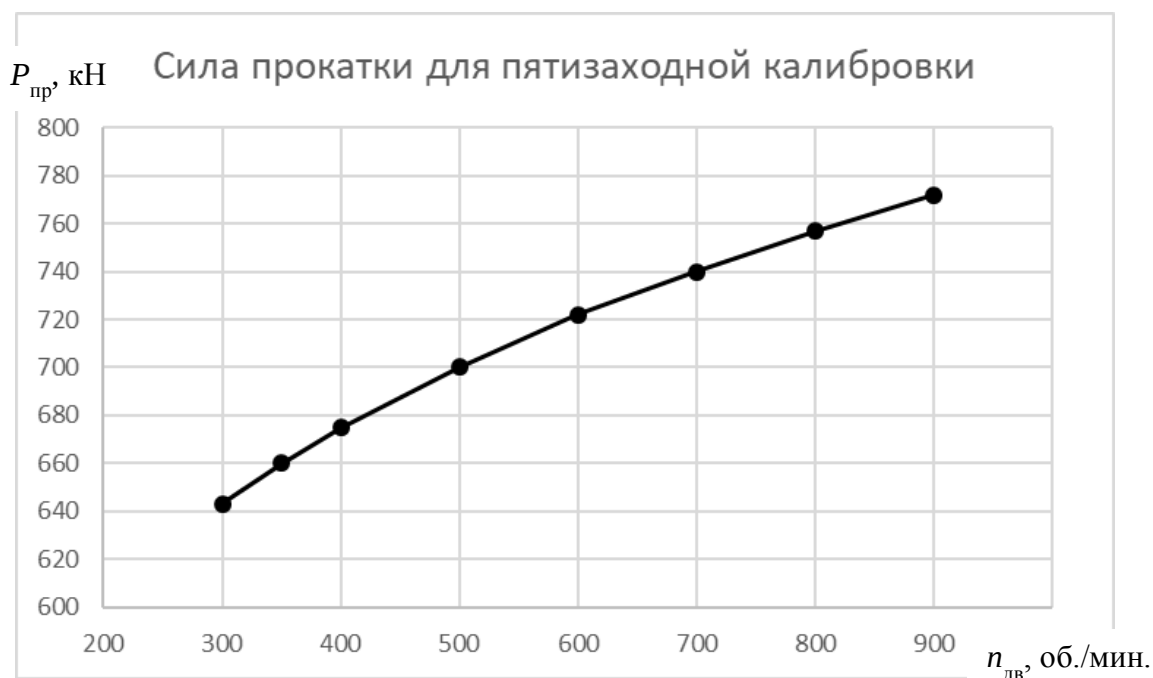


Рисунок 7 – Влияние частоты вращения двигателя на силу прокатки при допустимом значении 735,5 кН (температура заготовки на выходе из печи 1100 °С)

Выводы.

1. Измерения технологических параметров и расчёты энергосиловых параметров процесса прокатки шаров условным диаметром 40 мм показали, что при существующем состоянии оборудования увеличить производительность шаропрокатных станов ПАО «ДМК» можно выполнив ряд мероприятий:

- уменьшить разницу частоты вращения двигателя во время холостого хода и под нагрузкой (во время исследований эта разница на ШПС-1 составила 29–34 об./мин., а на ШПС-2 – 68–74 об./мин.);

- поднять частоту вращения двигателя до допустимого значения 975 об./мин. (при этом система управления двигателем должна обеспечить частоту вращения под нагрузкой не менее 945 об./мин.);

- при увеличении скорости прокатки необходимо обеспечить температуру заготовки на выходе из печи не менее 1030 °С.

Эти мероприятия, при сохранении всех остальных условий, позволят поднять производительность станов до $Q_{\text{час}} = 4,6 \text{ т/час}$, с $Q_{\text{час}} = 4,45 \text{ т/час}$ (ШПС-1), и $Q_{\text{час}} = 4,38 \text{ т/час}$ (ШПС-2). То есть, прирост производительности может составить 150 кг/час для ШПС-1 и 220 кг/час. для ШПС-2.

2. Расчёт силы прокатки шара условным диаметром 40 мм показал, что если в валках шаропрокатного стана добавить еще один заход, оставив при этом длину формирующего и отделочного участков, форму реборд и шаг нарезки винтового ручья такими же, как и для валков с четырьмя заходами, то при нагреве заготовки до температуры 1100 °С, допустимая частота вращения двигателя составит 600 об/мин. Дальнейшее увеличение частоты вращения двигателя приводит к превышению допустимой силы прокатки.

3. Увеличение числа заходов с четырёх до пяти, без изменения условий формирования шаров, вместо ожидаемого увеличения производительности стана приводит к её снижению до 4,02 т/час, так как темп прокатки увеличивается до 51,4 с, что больше максимального темпа прокатки при использовании валков с четырёхзаходной калибровкой (47,2 с).

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор рынка стальных помольных (мельющих) шаров и оборудования для их производства в СНГ (4 издание) // ООО «Инфолайн». – Москва, май. – 2016.
2. Ефременко В. Г. Экономические предпосылки использования мельющих тел повышенного качества и технологические аспекты их производства / В. Г. Ефременко, Ф. К. Ткаченко, А. В. Вознюк, Е. С. Танчак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 1/3(25). – С. 25–28.
3. Стеблов А. Б. Литые чугунные шары для помола материалов / А. Б. Стеблов, С. Н. Березов, А. А. Козлов // Литье и металлургия. – 2012. – № 3(66). – С. 45–49
4. Анализ и прогноз рынка мельющих шаров / © ООО «ПРМ Партнерс», 2015, marketing@prmpartners.ru (Источник: <http://docplayer.ru/60697384-Analiz-i-prognoz-rynka-melyushchih-sharov.html>)
5. Целиков А.И. Специальные прокатные станы / А. И. Целиков, М. В. Барбарич. – М. : Металлургия, 1971. – 336 с.