

Г. В. Бергеман

ЧАО «ЕВРАЗ Днепропетровский Металлургический Завод», Днепр

Повышение износостойкости и эффективности использования дисковых пил горячей резки в условиях современного рельсобалочного стана

Для условий прокатного передела ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ» разработан комплекс технических решений, направленный на совершенствование конструкции маятниковых отрезных дисковых пил горячей резки, используемых в процессе раскроя на заданные длины крупногабаритных фасонных и сортовых прокатных профилей. Повышение износостойкости элементов режущей части и эффективности использования дисковых пил горячей резки достигается за счет изменения конфигурации вершин режущих зубьев, геометрической формы и размеров режущих кромок зубьев, а также рационального размещения – компоновки модернизированных зубьев цельнометаллического пильного диска.

Ключевые слова: рельсобалочный стан «800», крупногабаритный фасонный и сортовой металлопрокат, отрезная дисковая пила, призматические режущие зубья, угол наклона вершин зубьев, корень заусенца, удлиненные режущие кромки зубьев, чистота реза.

Постановка проблемы. В настоящее время ЧАО «ЕВРАЗ Днепропетровский металлургический завод» проводит активную инновационную техническую политику, направленную на модернизацию своего прокатного передела, что обеспечивает повышение качества и конкурентоспособности производимого готового продукта [1].

Традиционным технологическим оборудованием, применяемым на рельсобалочных и сортопрокатных станах для раскроя на заданные длины фасонного и сортового металлопроката в широком диапазоне его поперечных сечений, являются отрезные дисковые пилы горячей резки (ПГР) маятникового, салазкового или роторного типа. Отрезные дисковые пилы широко используют в современном прокатном производстве, и при этом они обладают как техническими преимуществами, так и определенными недостатками.

В частности, к их основным достоинствам можно отнести обеспечение стабильно высокого качества торцевых поверхностей разрезаемого металлопроката. Одним из недостатков ПГР считается низкая стойкость к износу элементов режущей части основного инструмента – режущего диска, проявляющаяся при порезке фасонного металлопроката, изготовленного, например, из труднообрабатываемых марок стали с чередующимися сплошными участками и пустотами в плоскости реза, или разновидностей сортового металлопроката с большим сплошным поперечным сечением [2].

За период 2013-2016 гг., в прокатном переделе «ЧАО ЕВРАЗ ДМЗ», на линейном трехклетевом рельсобалочном стане «800» проведено освоение и внедрение в производство нескольких видов крупногабаритных фасонных профилей: П-образного профиля для крепления подземных горных выработок СВП-33 (ГОСТ 18662-83), горячекатаного швеллера 27П (ТУ 27.1-31632138-1381-2010), широко параметрического ряда (пинеики) швеллеров U-220, U-240, U-260, U-280 и U-300, производимых

согласно требований группы европейских стандартов EN 10025-1:2004, EN 10026-2:2004, EN 1026-1:2004.

При этом необходимо отметить, что перечисленные нормативно-технические документы (ГОСТ, ДСТУ, ТУ и т. п.) устанавливают весьма жесткие требования к точности геометрических размеров поперечных сечений готовых прокатных профилей, особенно предназначенных для отправки на экспорт. В частности, при операциях отделки-раскрое прокатных профилей, должны быть сведены к минимуму такие производственные дефекты как: низкое качество поверхности (чистоты) реза, косина (отклонение от вертикальной плоскости) торцов разрезаемых штанг, наличие заусенцев [3].

В процессе освоения данной группы прокатных профилей выявлено, что отрезные дисковые пилы маятникового типа стана «800», в которых используются пильные диски с зубчатой режущей кромкой с призматическими треугольными зубьями, расположенными с шагом 13-21 мм, а усеченные вершины представляют собой плоскую прямоугольную площадку, не всегда обеспечивают высокое качество порезки (раскроя на заданные длины) рассматриваемой группы крупногабаритных фасонных прокатных профилей (рис. 1) по причине низкой стойкости к износу своих режущих кромок.

Постановка задачи. Непродолжительный срок службы зубьев пильного диска и образование поверхностных дефектов на торцах проката при порезке пилами с затупленными призматическими зубьями, при раскрое горячего металла на рельсобалочном стане «800», обусловили необходимость усовершенствования конфигурации режущей кромки диска маятниковой пилы для повышения ее износостойкости.

Повышение эффективности использования дисковой пилы горячей резки, в том числе за счет увеличения износостойкости элементов режущей части, достигается при реализации предлагаемых технических решений: изменении геометрической формы и

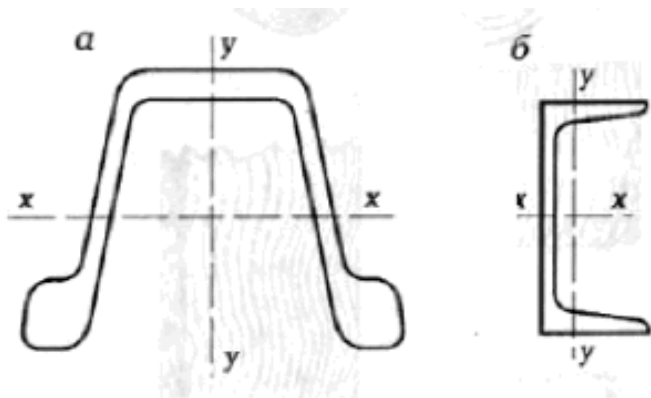


Рис. 1. Прокатный профиль СВП-33 (а) и профиль крупных номеров швеллеров линейки U (б), освоённые на линейном рельсобалочном стане «800» ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ»

размеров режущих кромок вершин зубьев, оптимизации конфигурации вершин режущих зубьев и компоновки модернизированных режущих зубьев по контуру цельнометаллического пильного диска [4].

Данная инновация позволит добиться повышения количества порезанного проката до предельного затупления диска за счет увеличения стойкости режущей кромки. При этом экономическая эффективность порезки освоённых видов горячего металлопроката крупных сечений, произведенного из труднообрабатываемых углеродистых и легированных марок сталей, достигается повышением качества реза и сокращением операций доотделки, благодаря уменьшению количества производственных дефектов и общего снижению уровня фактических затрат на процесс резания.

Анализ проведенных исследований и публикаций. Одной из главных характеристик работы высокоскоростных дисковых пил горячей резки является показатель их стойкости к износу – способности в процессе резания противостоять воздействию обрабатываемого металла.

Проведенные исследования [5, 6, 7] показали, что стойкость зубьев ПГР зависит от следующих 7-и факторов:

- формы сечения и температуры разрезаемого металла, его механических свойств;
- жесткости крепления диска пилы и разрезаемого изделия;
- условий охлаждения пильного диска, скорости его вращения;
- геометрических параметров, числа и показателя твердости режущих зубьев;
- величины торцевого биения и подачи;
- марки материала полотна диска;
- явления наростообразования на режущих зубьях и во впадинах между ними, сопровождающего процесс резания.

Интенсивное истирание режущих зубьев дисковых пил горячей резки и нежелательное пластическое течение их вершин происходит благодаря конструктивному несовершенству геометрической формы применяемых зубьев, а также благодаря их неправильной термической обработке [8].

Зубчатый венец диска пилы выполняется фрезеровкой внешнего края цельного диска. Рассматрива-

емый обособленно режущий зуб представляет собой в плане прямую призму с основанием в виде фигуры, называемой профилем зуба, и высотой, равной толщине полотна диска. Фрезерованный профиль зуба может представлять собой треугольник или четырехугольник, в частном случае – трапецию. Далее, для обобщения вводится термин «квазитрапеция», потому, что приходится оперировать понятием стороны и основания профиля зуба, причем сами основания зачастую не параллельны, а нижнее вообще является условным, так как зуб неразрывно связан с телом диска, а сама квазитрапеция является основанием пространственной формы (призмы) зуба.

Для порезки проката больших сечений применяют, как правило, именно квазитрапецидальные зубья, равнобедренные или неравнобедренные с передним углом $5-30^\circ$ (α) и задним углом $30-60^\circ$ (γ), с плоскими задней и передней гранью в плане (рис. 2).

В процессе резания в образовании паза пропила участвуют все грани и ребра призмы зуба. При длительной эксплуатации пильного диска, ребра передней грани испытывают циклическое ударно-истирающее воздействие от контакта с горячим разрезаемым металлом. Причем при вершине зуба износ более интенсивный. Форма изношенной режущей кромки при вершине приобретает вид дуги, с краями, заоваленными книзу в направлении боковых поверхностей

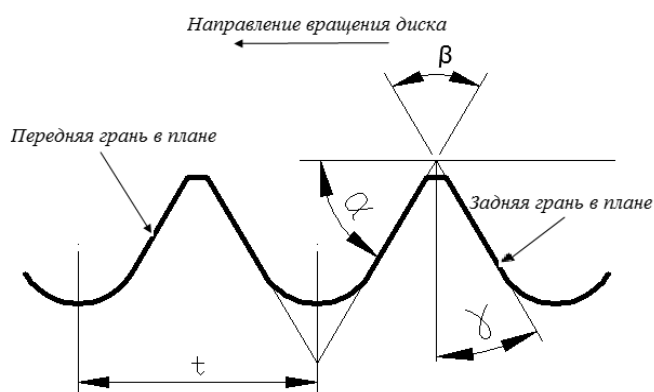


Рис. 2. Режущие углы зуба дисковой пилы: α – передний угол; β – угол заострения; γ – задний угол; t – шаг зубьев

диска.

Форма вершины зуба в его плоскости (плоскости основания призмы) также заоваливается, тем сильнее, чем острее был зуб изначально. Вершина зуба принимает неправильную куполообразную форму, режущие свойства его снижаются, и вместо подрезки краев пропила в конце процесса резки (выходе диска за нижнюю плоскость проката), происходит фрикционный разогрев с выдавливанием перегретого металла проката и образованием облоя и заусенцев.

С учетом специфики процесса резания горячего металла [9], применительно к условиям прокатного цеха № 1 ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ» была разработана новая пространственная конфигурация вершин режущих зубьев дисковой пилы. На вершинах зубьев новой формы предусматриваются наклонные площадки, оптимальные ориентация и размеры которых зависят от условий резания и соответствуют кон-

клетному размеру и форме сечения проката. Данная отличительная особенность обуславливает «растягивание» периода приработки зубьев – длительный промежуток времени режущие зубья сохраняют «скошенную вершину», что не дает возможности быстро потерять их исходную геометрию и режущую способность.

Результаты проведенной работы. Действующая технология производства металлопроката на рельсобалочном стане «800» ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ» предусматривает возможность одновременного раскроя на заданные длины сортамента прокатных профилей стана «800» в 2-х (правом и левом) отделочных технологических потоках. Для проведения данной технологической операции используют четыре дисковые пилы горячей резки маятникового типа, с одинаковыми техническими характеристиками. При этом левая сторона стана «800» имеет одну ПГР, правая сторона оснащена 3-мя ПГР. Первая маятниковая ПГР правого технологического потока расположена на расстоянии 78160 мм от оси стана. Учитывая тот факт, что правый технологический поток стана «800» предназначен для резки и отделки непосредственно товарного металлопроката – фасонных и сортовых прокатных профилей, расстояние между 1-й и 2-й ПГР составляет 9130 мм, а расстояние между 2-й и 3-ей ПГР – 8120 мм.

Техническая характеристика отрезных дисковых ПГР маятникового типа, используемых на рельсобалочном стане «800» ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ», приведена в таблице.

Согласно технологии прокатного производства, принятой на ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ», после выхода из последнего чистового калибра заготовочной и чистовой клетей реверсивного стана «800», горячие раскаты прокатных профилей, имеющие температуру нагрева более 900°C, по транспортным рольгангам правого и левого технологических потоков подаются к пилам горячей резки, которые и нарезают прокат на заданные длины.

Пильные диски в зоне реза охлаждаются направленной струей воды под давлением 8-10 атмосфер, при этом работа пил без охлаждения не допускается. После окончания порезки горячих раскатов на заданные длины, образовавшиеся штанги прокатных профилей мерных и немерных длин для остывания подаются на секции холодильников стана «800». Уборка технологической обрезки – ме-

таллических обрезков, образующихся после работы пил, производится специальными скребковыми транспортерами.

Остывший металлопрокат проходит правку на 2-х роликоправильных машинах и принимается контролерами участка отдела технического контроля (ОТК). Согласно нормативно-технической документации (ГОСТ, ДСТУ и технические условия) на прокат или по требованию заказчика, работники участка отделки ПЦ-1 проводят проверку и дополнительную обработку торцовых поверхностей прокатных штанг в случае обнаружения на них удалимых поверхностных дефектов.

Разработанная новая конструкция дисковой пилы, предназначенная для порезки крупногабаритных фасонных и сортовых прокатных профилей на рельсобалочном стане «800» (рис. 3-5), имеет цельнометаллический корпус 1, толщиной (S_k) и диаметром (D_n), выполненный в виде диска, с сегментарно сконфигурированными по его контуру группами призматических режущих зубьев 2, образующими с корпусом 1 неразъемное соединение.

Призматические режущие зубья 2 в плоскости диска пилы (рис. 4) имеют форму равнобедренных треугольников, с наклонными к боковым сторонам диска усеченными вершинами 3.

Плоская площадка [ABCD], формирующая вершины 3 призматических квазитрапециальных режущих зубьев (рис. 5), выполнена в форме равнобедренной трапеции и наклонена нижним основанием трапеции [AD] к боковой стороне зуба (основанию

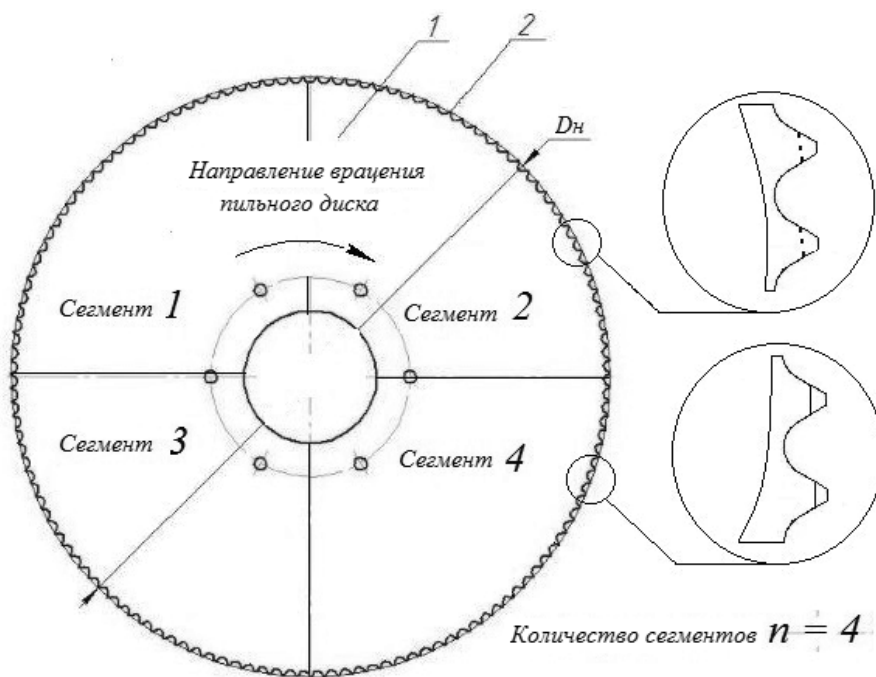


Рис. 3. Дисковая пила стана «800» для порезки крупногабаритных фасонных и сортовых прокатных профилей с сегментарной компоновкой групп режущих зубьев, общий вид: 1 – корпус; 2 – призматические режущие зубья

Общее кол-во ПГР (штук)	Диаметр диска пилы (мм)	Толщ. S диска пилы (мм)	Макс. сечение разрезаемого проката (см ²)	Радиальное биение диска пилы (мм)	Боковое биение диска пилы (мм)	Система подачи диска пилы (тип)	Число оборотов диска пилы (об/мин)	Окружная скорость пилы (м/с)
4	1650-1850	8-10	400	не более 0,5	не более 1	гидравлическая	1035	36,5

призмы зуба) под углом (ϕ), величина которого может находиться в диапазоне 10-50°.

При этом боковые стороны [AB] и [CD] данной трапецевидной площадки фактически являются удлиненными режущими кромками 4 и 5 передней и задней режущих граней зубьев 2 разработанной конструкции дисковой пилы.

Принятое фактическое значение угла наклона ϕ одинаково для всех зубьев диска, а направление наклона постоянно для непрерывных групп зубьев внутри сегментов зубчатого венца, полученных путем условного деления венца на четное число n – равных участков по его периметру, где $n = (4-10)$,

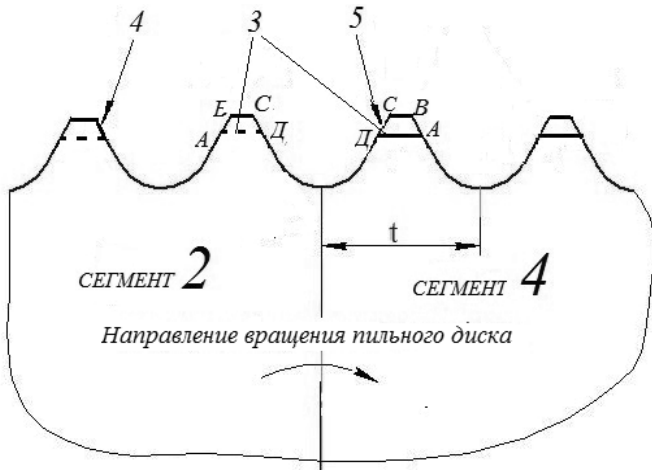


Рис. 4. Вид сегментарно расположенных призматических режущих зубьев в плоскости пильного диска: 3 – площадка при вершине зуба; 4 – передняя грань зуба в плане; 5 – задняя грань

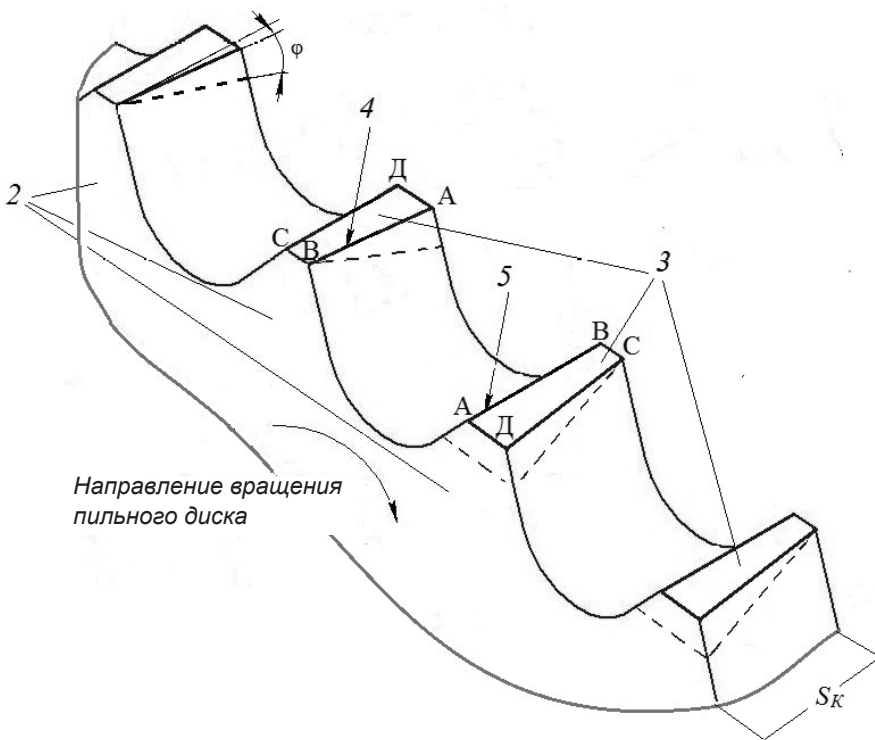


Рис. 5. Вид в изометрической проекции призматических квазитрапецевидальных режущих зубьев, расположенных в 2-х соседних сегментах дисковой пилы, с наклоненными под углом ϕ , вершинами и с удлиненными кромками передней и задней режущих граней: 3 – площадка при вершине зуба; 4 – передняя грань зуба в плане; 5 – задняя грань

при этом угол наклона ϕ чередуется, изменяясь на зеркально противоположный в каждом последующем сегменте зубчатого венца пильного диска.

В процессе проведения производственных испытаний разработанного инструмента в условиях рельсобалочного стана «800» ЧАО ЕВРАЗ ДМЗ, экспериментально установлено, что выполнение призматических квазитрапецевидальных режущих зубьев 2 с наклонными усеченными вершинами 3, и с удлиненными режущими кромками 4 и 5 передней и задней режущих граней, сегментарно сгруппированных по углу наклона вершинных площадок, создает «эффект разводки» зубьев пилы горячей резки, что позволяет изменить профиль контакта зуба с горячим разрезаемым металлом.

По мере затупления зуба 2 при эксплуатации пильного диска – истирания возвышенной части его вершины 3, в работу резания все активнее вовлекаются пологие участки зуба, разница высот уменьшается, и зуб продолжает работать до своего допустимого затупления. Окончанием периода эксплуатации пильного диска будет считаться ухудшение качества реза или образование заусенцев. После этого пильный диск выводится из эксплуатации, и при условии целостности полотна передается в ремонт (переточку).

Благодаря наклону площадок при вершинах 3 зуба 2, происходит перераспределение во времени и пространстве истирающих усилий и повышается ресурс каждого зуба, его срок службы до предельного затупления. За счет сегментарной компоновки зубьев 2 дисковой пилы, в зоне резания происходит активный циклический контакт вершин 3 зубьев разной высоты с корнем заусенца с обеих сторон пропила, устраняется результат фрикционного разогрева и выдавливания горячего металла в зоне реза.

При этом происходит подрыв, подрезание корня и последующий отрыв формирующихся заусенцев. Чистота реза на торцах разрезанных штанг проката по обе стороны пропила получается удовлетворительной.

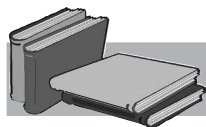
Такие ключевые технологические аспекты предложенного технического решения, как сочетание фрикционной резки и резки зубчатыми дисками, удлиненная режущая кромка вершины зуба и чередующиеся острые и пологие участки зуба, создающие «эффект разводки», проявляющиеся при горячей резке крупногабаритных «массивных» прокатных профилей, произведенных из «крепких» марок стали, гарантируют невозможность образования крупных или трудноудаляемых заусенцев на обеих торцевых поверхностях разрезаемых на заданные длины штанг прокатных профилей, обеспечивают требуемую чистоту реза и качество порезки горячего металлопроката.

Выводы

Для совершенствования технологии порезки горячего крупногабаритного фасонного и сортового металлопроката в первом прокатном переделе ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ», разработана новая конструкция дисковой пилы горячей резки. Данное техническое устройство обладает режущими зубьями со скошенными вершинами, сформированными удлинненными передними и задними режущими кромками и сегмен-

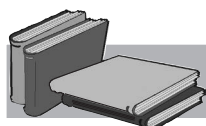
тарным размещением (компоновкой) групп режущих зубьев по контуру пильного диска.

Применение новой конструкции отрезной дисковой пилы горячей резки маятникового типа в производственных условиях линейного рельсобалочного стана «800» позволит повысить стойкость режущих зубьев пильных дисков, сократить время процесса резки горячего металла и снизить фактические энергозатраты на процесс резания.



ЛИТЕРАТУРА

1. Бергеман Г. В., Заспенко А. С., Чмырков К. Ф. Некоторые технологические итоги работы ПАО «ЕВРАЗ-ДМЗ им. Петровского» // *Металл и литье Украины*. – 2014. – № 5-6. – С. 4-7.
2. Ротов И. С. Создание высокопроизводительных роторных пил для разрезания горячего проката // *Сталь*. – 2011. – № 12. – С. 39-40.
3. Ищенко А. А., Лоза Е. А. Пилы горячей резки проката. Конструкции и расчет: Монография // ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2012. – 251 с.
4. Аршавский В. З., Филиппов П. В., Курилов А. И., Указова Л. П., Чередниченко А. Л. Повышение эффективности работы пил горячей резки // *Сталь*. – 1976. – № 3. – С. 250-251.
5. Крылов Н. И., Шиленко Б. П., Попов Б. В., Голубенко Н. И. и др. Ударные пилы для резки горячего проката // *Ин-т «Черметинформация»*. – М: ЦИИНЧМ, 1972. – ЭИ. Сер. 7. Прокатное производство. Выпуск № 8. – 9 с.
6. Ким Ю. Е. Создание и развитие высокопроизводительных пил горячей резки // *Акад. А. И. Целиков. Очерки. Воспоминания. Избранные статьи*. – Наука, 2003. – С. 295-298.
7. Попов Б. Е. Пилы металлургических цехов // *Энциклопедия. Том 4-5. Машины и агрегаты металлургического производства*. – Москва: Машиностроение, 2004. – С. 797-813.
8. Уманский В. Б., Костенко А. А., Худик Ю. Т. Упрочнение деталей металлургического оборудования. – Москва: Металлургия, 1991. – 176 с.
9. Борисов Б. Я., Ещенко Г. Д. Износ и рациональная форма зубьев пил прокатных станов // *Сталь*. – 1965. – № 10. – С. 927-929.



REFERENCES

1. Bergeman G. V., Zaspenco A. S., Chmyrkov K. F. (2014). Nekotorye tekhnologicheskie itogi raboty PAO «EVRAZ-DMZ im. Petrovskogo». [Some technological results of work of PJSC «EVRAZ-DMZ nam. Petrovsky»]. *Metall i lit'e Ukrainy*, no. 5-6, pp. 4-7. [in Russian].
2. Rotov I. S. (2011). Sozdanie vysokoproizvoditel'nykh rotornykh pil dlia razrezaniia goriachego prokata. [Creating high rotary saws for cutting hot rolled steel]. *Stal'*, no. 12, pp. 39-40. [in Russian].
3. Ishchenko A. A., Loza E. A. (2012). Pily goriachei rezki prokata. Konstrukcii i raschet: Monografiia. [Saws cutting hot rolled. Construction and calculation: Monograph]. Mariupol': GVUZ «PGTU», 251 p. [in Russian].
4. Arshavskii V. Z., Filippov P. V., Kurilov A. I., Ukazova L. P., Cherednichenko A. L. (1976). Povyshenie effektivnosti raboty pil goriachej rezki. [Improving the efficiency of drinking hot cutting saws]. *Stal'*, no. 3, pp. 250-251. [in Russian].
5. Krylov N. I., Shilenko B. P., Popov B. V., Golubenko N. I. et al. (1972). Udarnye pily dlia rezki goriachego prokata. [Impact saws for cutting hot rolled products]. *Inst. «Chermetinformatsiia», Moscow: TSIIINCHM, EI. Ser. 7, Prokatnoe proizvodstvo*, no. 8, P. 9. [in Russian].
6. Kim Yu. E. (2003). Sozdanie i razvitie vysokoproizvoditel'nykh pil goriachej rezki. *Akad. A. I. Tselikov. Ocherki. Vospominaniia. Izbrannye stat'i*. [Creation and development of high-performance saws of hot cutting. Acad. A. I. Tselikov. Essays. Memories. Selected articles]. *Nauka*, pp. 295-298. [in Russian].
7. Popov B. E. (2004). Pily metallurgicheskikh tsekhov. *Enciklopedia. Tom 4-5. Mashiny i agregaty metallurgicheskogo proizvodstva*. [Saws of metallurgical shops. Encyclopedia. Volume 4-5. Machines and equipment for steel making]. *Moscow: Mashinostroenie*, pp. 797-813. [in Russian].
8. Umanski V. B., Kostenko A. A., Khudik Yu. T. (1991). Uprochnenie detalei metallurgicheskogo oborudovaniia. [Hardening of the details of metallurgical equipment]. *Moscow: Metallurgiiia*, P. 176. [in Russian].
9. Borisov B. Ya., Eshchenko G. D. (1965). Iznos i racional'naia forma zub'ev pil prokatnykh stanov. [Depreciation and rational form of teeth saws of rolling mills]. *Stal'*, no. 10, pp. 927-929. [in Russian].

Анотація

Бергеман Г. В.

Підвищення зносостійкості і ефективності використання дискових пилок гарячого різання в умовах сучасного рейкобалкового стану

Для умов прокатного переділу ПРАТ «ЄВРАЗ ДМЗ» розроблено комплекс технічних рішень, спрямований на вдосконалення конструкції маятникових відрізних дискових пилок гарячого різання, які використовуються в процесі розкрою на задані довжини великогабаритних фасонних і сортових прокатних профілів. Підвищення зносостійкості і ефективності використання дискових пилок гарячого різання досягається за рахунок зміни конфігурації вершин ріжучих зубів, зміни геометричної форми і розмірів ріжучих крайок вершин зубів, а також раціонального розміщення – компонування модернізованих ріжучих зубів цільнометалевого пилового диска.

Ключові слова

Рейкобалковий стан «800», великогабаритний фасонний і сортовий металопрокат, відрізна дискова пила, призматичні ріжучі зуби, кут нахилу вершин зубів, корінь задирки, подовжені ріжучі крайки зубів, чистота різ.

Summary

Bergeman G.

Increased durability and efficiency of the use of circular hot saws in a modern rolling mill

In terms of rolling redistribution of PJSC «EVRAZ DMP» it has been developed a set of technical solutions aimed at the mobile design improvement of cutting circular saws of cutting hot, used in the process of cutting a predetermined length of large-sized and high-grade fittings rolled sections. Increased durability and efficiency of the use of circular hot saws is achieved by optimizing the configuration of the vertices of the cutting teeth, changing the geometric shape and size of the cutting edges of tooth top and rational accommodation – layout of modernized cutting teeth of the all-metal saw blade.

Keywords

Rolling mill «800», large-sized, shaped and profiled metal, cut saw blade, prismatic cutting teeth, tooth top angle, burr root, elongated cutting edge of the teeth, purity of the cut.

Поступила 25.01.17