

УДК 621.934

Петров Александр Александрович, аспирант,
ФГБОУ ВО «Донбасский государственный технический университет»,
г. Алчевск, Луганская народная республика, РФ

Петров Максим Павлович, магистрант,
ФГБОУ ВО «Донбасский государственный технический университет»,
г. Алчевск, Луганская народная республика, РФ

Научный руководитель:
Петров Павел Александрович,
канд. тех. наук, доцент кафедры машин металлургического комплекса,
ФГБОУ ВО «Донбасский государственный технический университет»,
г. Алчевск, Луганская народная республика, РФ

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДИСКОВЫХ ПИЛ ГОРЯЧЕЙ РЕЗКИ СОРТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА

Аннотация: Особенности эксплуатации дисковых пил, работающих в условиях высоких температур и интенсивных нагрузок, требуют тщательного обоснования параметров режущего инструмента для обеспечения высокой производительности процесса резки, точности реза и повышения износоустойчивости зубьев диска.

Ключевые слова: пила дисковая, горячая резка простых сортовых и фасонных профилей, сортовой металлопрокат, износ зубьев, форма зуба, режущая периферия диска, стойкость диска, качество реза, реставрация диска, переточка диска.

Задача, связанная с повышением экономической эффективности действующих производств (например, производства сортового металлопроката) путем снижения себестоимости выпуска продукции и экономии ресурсов, в том числе расходных материалов для изготовления режущего инструмента ножниц и дисковых пил, является актуальной и обладает определённой инвестиционной привлекательностью.

Анализ способов поперечного разделения сортового металлопроката позволяет выделить из достаточно обширной совокупности две основные группы применяемых в металлургическом производстве разделительных установок – это сортовые ножницы и дисковые пилы. Преимуществом последних являются: производительность процесса резки (возможность пакетной обработки заготовок); простота конструкции разделительной установки и дешевизна режущего инструмента (для изготовления дисков пил используются обычные конструкционные стали – сталь 50, 50Г, 65Г); изготовление дисков пил и восстановление их режущей периферии производится силами ремонтных цехов (участков) предприятия.

Кроме того, особый вид резки сложнопрофильного металлопроката быстровращающимся диском – термофрикционное резание – показал свою эффективность и зачатую безальтернативность в случае разделения на мерные длины замкнутых профилей металлопроката, когда высокопроизводительные методы резания (рубка на ножницах, холодная ломка, резка в штампах) неприемлемы из-за сминания сечения металлопроката [1].

В свою очередь эффективность использования разделительной установки во многом определяется стойкостью режущего инструмента – техническим ресурсом дисков до заточки, управляемым в резах или в единицах площади разрезанных сечений, которая выше у сортовых ножниц и роторных пил, но оставляет желать лучшего в случае применения рычажных,



салазковых, маятниковых и четырехзвенных дисковых пил горячей резки, характеризующихся низкими скоростями подачи ($0,01 \div 0,3$ м/с) [2,3]. Подобными типами дисковых пил укомплектованы сортопрокатные станы нашего региона, например, на участке резки сортопрокатного стана 550 Енакиевского металлургического завода ООО «ЮГМК» эксплуатируются салазковые пилы с номинальными диаметром диска 1000 мм, толщиной 6 мм, в состав крупносортового полунепрерывного стана 600 Алчевского металлургического комбината ООО «ЮГМК» входит участок резки оборудованный четырехзвенными дисковыми пилами номинальными диаметром диска 1800 мм, толщиной 9 мм.

Основная причина выхода из строя дисков пил, работающих при скоростях подачи $0,01 \div 0,3$ м/с – это затупление или износ зубьев [2,4]. Диски с затупившимися зубьями отправляют на заточку, число заточек зубьев по данным [3,4] составляет от 2 до 4 раз.

Восстановление зубьев происходит в два этапа: 1) собственно заточка на специальном станке: абразивный круг, имеющий треугольный профиль, обрабатывает одну сторону зубьев, а затем диск разворачивают и производят обработку второй стороны; 2) термообработка вершин зубьев токами высокой частоты.

Если высота зуба становится менее допустимой диск отправляют на реставрацию (в литературе также встречается понятие переточка [3]). Реставрации подлежат диски пил, имеющие износ зуба по высоте более допустимого (например, для четырехзвенных дисковых пил стана 600 АМК ООО «ЮГМК» не допускается износ вершины зуба более 5 мм), а также диски пил, имеющие сколы или поломку хотя бы одного зуба. Реставрация диска производится по следующему плану: 1) переход на следующий ремонтный размер (размеры) предельная величина которого определяется как $1,1 \div 1,2$ минимального наружного диаметра диска, определяемого из условия перекрытия свободным полем диска сечения разрезаемого проката при движении центра диска по траектории заданной механизмом подачи; 2) нарезка зубьев на зубофрезерном станке специальной червячной фрезой; 3) правка и балансировка дисков; 4) контроль качества дисков и 5) упрочнение зубьев [5].

На основании исследований, в которые вошли данные о количестве заточек новых (162 шт.) и реставрированных (328 шт.) дисков участка резки стана 600 АМК ООО «ЮГМК» установлено, что количество заточек зубьев диска с вероятностью 95% укладывается в интервал от 2,98 до 3,31 (в среднем 3 раза), а максимальное количество заточек зубьев одного диска – составило 7 раз (5% от общего количества), что не следует считать статистически значимым результатом.

По данным [2] каждый ремонт (заточка) изношенных дисков пил металлургического предприятия расходует около 5% средств, идущих на их изготовление. При этом если на диске не появились неустраняемые дефекты (диски в которых образовались трещины – выбраковываются и реставрации не подлежат) увеличение количества заточек следует считать экономически обоснованным, так они при минимальных затратах $10 \div 20\%$ ($2 \div 4$ заточки зубьев) позволяют полностью восстановить функциональность инструмента.

Получить комплексное решение проблемы стойкости дисков пил горячей резки весьма затруднительно ввиду необходимости учета множества аспектов: конструктивных параметров режущего инструмента, технологических и эксплуатационных показателей процесса резки, а также характеристик выбранного типа дисковой пилы. Поэтому в рамках представленной работы во внимание взяты только конструктивные параметры диска пил горячей резки, работающих при пониженных скоростях подачи.

Известны исследования [1,2,6], посвященные влиянию конструктивных параметров пильного диска на его технический ресурс до заточки, из анализа которых следует, что для снижения скорости износа вершин зубьев, рациональным является: уменьшение диаметра



пильного диска; увеличение толщины диска; применение зубьев с профилем в виде равнобедренного треугольника при порезке мелко- и среднесортного проката несплошных сечений.

Увеличение толщины диска – очевидный путь повышения прочности диска, снижения его торцевого биения, помимо этого, увеличение толщины диска положительно отражается на износостойкости зубьев. Однако, рациональным это решение считать нельзя, так как с увеличением толщины диска возрастает его масса, увеличивается сопротивление резу и ширина пропила в заготовке.

Треугольная форма зуба, в виде равнобедренного треугольника с углом при вершине 60° , нарезаемая по периметру диска (несмотря на нерациональное – отрицательное значение переднего угла), позволяет упростить процесс изготовления и восстановления режущих поверхностей зубьев диска, а также исключает необходимость согласования направления вращения диска с нарезкой зубьев (при установке на вал пилы диск можно развернуть). Однако, существенное увеличение износостойкости режущих поверхностей зубьев дисков пил горячей резки достигается за счет: 1) усложнения конструкции диска, например, состоящего из закрепленных по его периметру зубчатых сегментов (ГОСТ 4047-82 «Пилы сегментные дисковые для металла») или диска, толщина которого уменьшается от периферии к центру [7]; 2) использования напайных и сменных твердосплавных пластин; 3) усложнения формы и геометрии зуба [1,2,7] (например, волчий или мышиный зуб, paroot toof и пр.), 4) упрочнения функциональных поверхностей инструмента (термическими, химико-термическими методами, путем нанесения износостойкого покрытия и применением поверхностного пластического деформирования); 5) комбинации представленных способов.

В основном, все из перечисленных способов требуют существенной доработки технологии изготовления дисков, закупки дополнительного оборудования для восстановления, упрочнения и термической обработки рабочих поверхностей зубьев, а также повышения компетентности ремонтного и эксплуатационного персонала.

Поэтому из перечисленных ранее конструктивных параметров пильного диска для повышения его технического ресурса наиболее рациональным следует считать уменьшение его диаметра.

Положительным моментом следует считать, что по мере уменьшения диаметра диска пилы его прочность и устойчивость (минимальное торцевое биение) в пропиле разрезаемой заготовки возрастают. Отрицательный аспект заключается в том, что периметр диска сокращается, а, следовательно, уменьшается количество зубьев, нарезаемых по его контуру. В этой связи актуальным становится задача рационального выбора минимального диаметра диска.

Целью представленной работы является обоснование конструктивных параметров режущего инструмента дисков салазковых и рычажных пил горячей резки сортового металлопроката.

Рациональным решением следует считать увеличение количества ремонтных размеров диска. Очевидно, что реставрация диска менее затратная в сравнении с изготовлением нового режущего инструмента, при этом сокращаются расходы на производство заготовки для диска и обработку его посадочного отверстия. С учетом вышеизложенного общее количество сессий использования диска на пиле возрастет по схеме $1+p$, где p – количество реставраций диска, а срок службы режущей периферии диска (с учётом возможных $2\div 4$ заточек зубьев диска текущего диаметра) увеличится и составит $(2\div 4)(1+p)$.

Для этого следует рассмотреть вариант увеличения количества ремонтных размеров (переточек) восстанавливаемого диска и выделить критерии для определения минимального наружного диаметра диска (с помощью чертежей или моделированием движения диска через заготовку).



Как правило, номинальный диаметр диска определяется выбранным типом пилы и зависит от максимальной высотой разрезаемого сечения проката, высоты пильного вала над стеллажом резки и ширины свободного поля диска, а минимальный – обусловлен условием перекрытия свободным полем диска сечения разрезаемого проката при движении центра диска по траектории заданной механизмом подачи.

Для анализа влияния диаметра диска на технологические параметры процесса резки удобно использовать математические модели, например, модель, описывающую кинематические и энергосиловые параметры процесса резки сложнопрофильного металлопроката дисковыми пилами [8] или программные продукты, разработанные для облегчения выбора параметров режущего инструмента, например, представленные на сайте компании Lennartz [7]. На рисунке 1 представлены графики, обуславливающие изменение количества зубьев в зависимости от диаметра диска и размера разрезаемой заготовки.

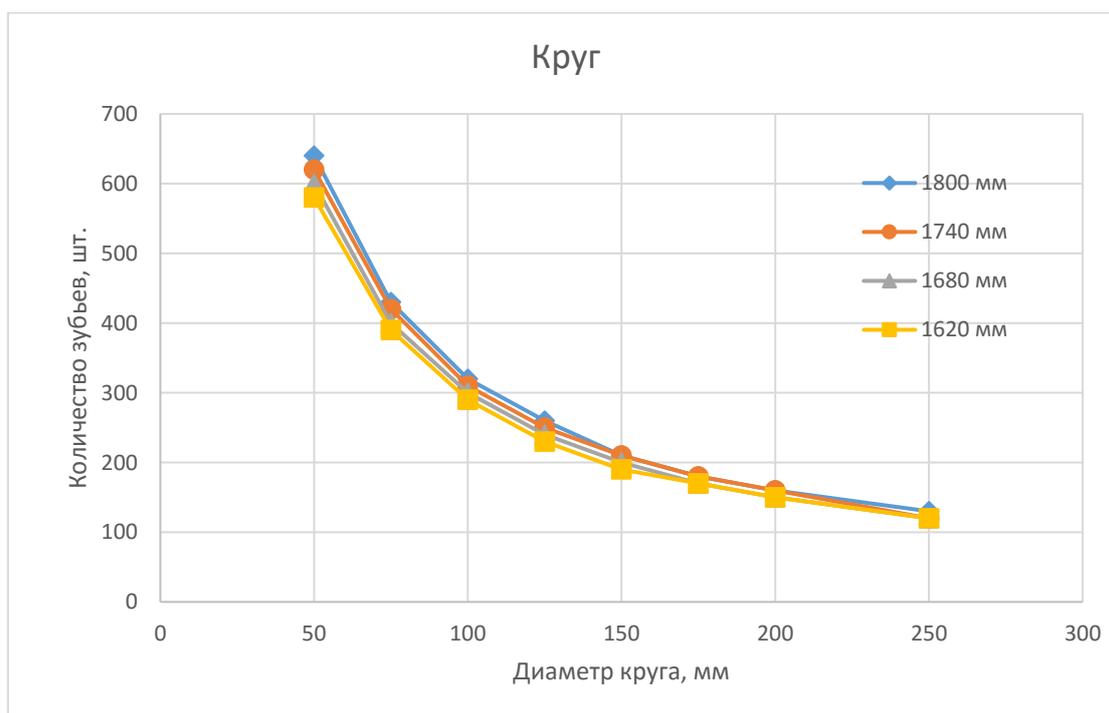


Рис. 1. Зависимость числа зубьев от номинального диаметра диска и размера разрезаемой заготовки

Из представленных зависимостей следует (рис. 1), что с увеличением площади поперечного сечения разрезаемой заготовки количество зубьев снижается (при этом форма зубьев сохраняется, а размеры зубьев увеличиваются). В этом случае, уменьшение диаметра диска с $\text{Ø}1800$ мм до $\text{Ø}1620$ мм не оказывает значительного воздействия на технологические показатели процесса резки, так при разделении круга $\text{Ø}250$ мм максимальное и минимальное количество нарезаемых зубьев отличается на 7,69%, а при разделении круга $\text{Ø}50$ мм – отклонение составляет 9,38%. Следовательно, можно ожидать, что уменьшение диаметра диска существенно не отразится на эксплуатационных показателях разделительного процесса.

Отдельно моделировали процесс реза квадратной заготовки одинакового поперечного сечения пилой с максимальным ($\text{Ø}1800$ мм) и минимальным ($\text{Ø}1620$ мм) диаметром диска, причем шаг нарезки, форма и размеры зубьев были идентичны. Расчетный алгоритм был реализован на базе математической модели резки сложнопрофильного металлопроката салазковыми дисковыми пилами [8]. Результаты моделирования приведены в таблице 1.



Результаты моделирования резки квадратной заготовки
салазковой дисковой пилой

Наименование параметра	Диаметр диска, мм		Откл.
	1800	1620	%
Время собственно резания, с	3,021	2,898	4,07
Перемещение центра диска во время резания, мм	302,1	289,81	4,09
Время цикла (50% – рабочий ход, 50% – холостой ход), с	25,00	24,99	0,03
Максимальная величина прорези в заготовке, мм	115,33	117,02	-1,46
Средняя длина дуги резания (по всем срезаемым слоям заготовки), мм	74,90	74,32	0,77
Средняя толщина среза, мм	0,0090	0,0105	-16,69
Суммарное количество вхождений зубьев в заготовку, шт	14687	12687	13,62
Максимальное усилие резания на все зубья, находящиеся в контакте с заготовкой, Н	2917,07	3266,79	-11,99
Суммарная работа резания, Нм	478562	461737	3,52
Скорость подачи (средняя), мм/с	100	100	0,00

В этом случае уменьшение диаметра диска с максимально до минимального значения приводит к увеличению (на 13,62%) суммарного количества вхождений зубьев в заготовку, что связано с увеличением толщины среза слоя металла одним зубом и повышает удельную нагрузку на последние. Однако, суммарная работа резки при этом изменяется незначительно (3,52%). Следовательно, как и в предыдущем случае, уменьшение диаметра диска пилы значительного влияния на стойкость режущей периферии диска не оказывает.

Выводы. Обобщен опыт применения и проанализирован ряд конструктивных параметров дисковых пил для резки сортового проката на мерные длины. С целью снижения эксплуатационных затрат и повышения стойкости зубьев диска, обосновано уменьшение диаметра режущего инструмента пил, работающих при пониженных скоростях подачи.

Список литературы:

1. Совершенствование процесса резания горячего металлопроката дисковыми пилами на основе управления теплофизическими явлениями в контактной зоне: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: специальность 05.02.07 Технология и оборудование механической и физико-механической обработки / Банников Александр Иванович. – Волгоград, 2018. – 31 с..
2. Ищенко, А. А. Пилы горячей резки проката. Конструкции и расчет: монография / А. А. Ищенко, Е. А. Лоза. – ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». – Мариуполь : ГВУЗ «ПГТУ», 2012. – 251 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия. В 40 томах. Раздел IV. Расчет и конструирование машин. Т. IV-5. Машины и агрегаты металлургического производства. / Н. В. Пасечник [и др.]; Под общ. ред. В. М. Синицкого, Н. В. Пасечника. – М. : Машиностроение, 2000. – 912 с., ил.
4. Петров, П. А. Оценка основных причин замены дисков пил горячей резки. Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск : ДонГТУ, 2006. – Вып. 22. – С. 173–179.
5. Технологическая инструкция ТИМ 229-ГМ-017-65-2005 «Изготовление дисков пил горячей резки СПЦ» / ОАО «Алчевский металлургический комбинат». – 2005. – 11 с.



6. Филиппов П. В. Исследование и разработка путей повышения стойкости и долговечности дисков металлургических пил и улучшение качества реза : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.05.08 машины для металлургического производства / П. В. Филиппов. – Днепропетровск, 1980. – 16 с.

7. Carbide-tipped circular saw blades : official site. URL : <https://www.lennartz.de/en/products/carbide-tipped-circular-saw-blades> / (дата обращения 20.05.2025).

8. Шпаков, В. А. Математическая модель дисковой пилы горячей резки / В. А. Шпаков, П. А. Петров // Сборник научных трудов ДГМИ. – Алчевск : ДГМИ, 2003. – № 17. – С. 292–298.

