

УДК 621.9

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТУРНОГО ТОЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕСНЫХ ПАР НОВЫМИ ПЛАСТИНАМИ LNMX

© 2013 С.В. Михайлов, Н.Ю. Ковеленов, С.В. Болотских

ООО «Вириал», г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 24.03.2013

Изложена методология создания новых сложнопрофильных тангенциальных пластин с повышенными технологическими свойствами для контурного точения колесных пар.

Ключевые слова: *резание, металлорежущий инструмент, стружкодробление, восстановление, колесная пара*

Эффективность современного машиностроительного производства в значительной степени определяется техническим уровнем инструментального оснащения механической обработки. Характерными проблемами, возникающими при организации процесса резания труднообрабатываемых пластичных материалов, являются проблемы повышения надежности режущего инструмента и стабильности получения благоприятной формы стружки (БФС). Серьезные трудности возникают при выборе геометрии инструмента, предназначенного для точения фасонных заготовок. В результате изменения направления подачи меняются кинематические углы резания и размеры сечения срезаемого слоя. В этих условиях режущие пластины со стандартной геометрией являются, как правило, малоэффективными. К таким операциям относится восстановление профилей изношенных железнодорожных колес подвижного состава. В зависимости от степени и характера износа восстанавливаемые колеса подразделяют на мягкие и твердые. Мягкие колеса не имеют видимых поверхностных дефектов. Их твердость не превышает 330 НВ. Твердые характеризуются наличием упрочненных зон (так называемых «ползунов»), возникающих при трении колес о рельсы в моменты торможения. Такие колеса имеют повышенную поверхностную твердость, содержат включения песка, камней, имеют дефекты в виде поверхностных трещин. Восстановление изношенных колесных пар производится на

специальных двухсуппортовых станках с ЧПУ. Обработка профиля обода колеса включает в себя обточку фаски под углом 45° к оси колеса, продольную обточку поверхности катания и контурное точение реборды колеса (выступающей части обода, служащей направляющей при движении колеса по рельсам). Обработка ведется с глубинами резания $t=5-7$ мм, подачами $s=0,7-1,2$ мм/об, скоростями резания $v=0,5-0,8$ м/с. Диапазон диаметров обрабатываемых колес подвижного состава составляет 750-1050 мм. В качестве режущего инструмента применяются правые и левые сборные резцы с тангенциальной схемой крепления сменных режущих пластин.

Основные проблемы при обработке и восстановлении колесных пар заключаются в низкой стойкости режущих пластин и образовании в процессе резания неуправляемой сливной стружки. При этом проблема удаления стружки из зоны резания является не менее значимой, чем повышение работоспособности инструмента. Хронометраж операции показывает, что в 80-90% всех случаев вмешательства оператора в процесс обработки связано с получением неблагоприятной формы стружки для текущего поддержания работы металлорежущего оборудования. Длинная лентообразная стружка наматывается на элементы станка, инструмент и деталь, царапает обработанную поверхность колеса, загромаждает рабочее место оператора (рис. 1). По этой причине обработка осуществляется под постоянным контролем оператора, и организовать многостаночное обслуживание не удастся. Наличие проблемы получения БФС ставит под сомнение эффективное использование автоматизированных станочных комплексов нового поколения, предназначенных для безлюдного изготовления и ремонта железнодорожных пар.

Михайлов Станислав Васильевич, доктор технических наук, профессор, ведущий специалист. E-mail: michsv@yandex.ru

Ковеленов Николай Юрьевич, кандидат технических наук, главный технолог. E-mail: kov@virial.ru

Болотских Сергей Викторович, начальник технологического бюро механической обработки. E-mail: BolotskihSV@virial.ru

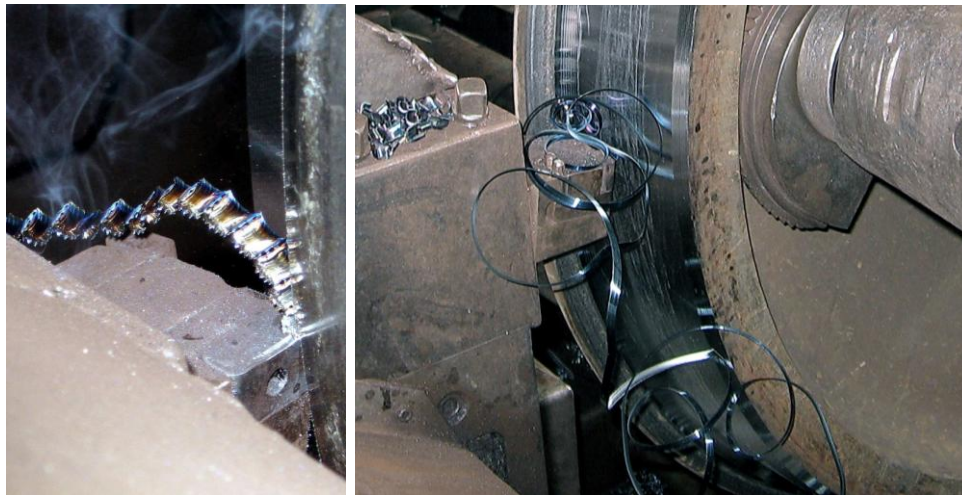


Рис. 1. Характерный вид стружки при продольном точении поверхности катания и обработке гребня колеса

Низкая стойкость режущих пластин связана с наличием «ползунов» на поверхностях изношенных колес. При резании твердых колес с «ползунами» резко увеличивается вероятность выкрашивания режущих кромок и поломки сменных пластин. В условиях массового производства колес железнодорожного состава решение задач повышения работоспособности инструмента и получения благоприятной формы стружки имеет большое практическое значение.

Выбор способов стружкодробления для данной операции ограничен мощностью резания и производительностью обработки. Кинематическое дробление стружки существенно увеличивает время обработки, а повышение подачи при переходе к точению реборды колеса с целью улучшения условий формирования стружки приводит к увеличению мощности резания. Наиболее эффективным путем решения проблемы является оптимизация конструкции режущего инструмента с учетом предъявляемых к ней требований по стойкости и надежности стружкодробления. Сложность создания такого инструмента связана с переменными условиями стружкообразования. При контурном точении обода колеса ширина срезаемого слоя изменяется до 2,5 раз, толщина – более 3-х раз. Твердость «ползунов» по сравнению с исходной твердостью материала возрастает до 1,5 раз. Все эти особенности операции должны быть учтены при конструировании режущей пластины с расширенными функциональными свойствами.

В настоящее время работы по созданию таких пластин продолжаются. На основе многочисленных опытно-промышленных исследований ведущими фирмами предложена целая гамма конструкций. Среди отечественных разработок распространение получили пластины с выполненной вдоль режущей кромки по всему

периметру широкой отрицательной фаской и двухгранной стружкозавивающей поверхностью. Недостатком пластины является формирование неуправляемой путаной стружки на большей части профиля колеса. Из числа зарубежных пластин с тангенциальной схемой закрепления можно выделить разработки фирм Sandvik Coromant, ISCAR, Pramet. Специалистам этих фирм удалось существенно расширить диапазон стружкодробления за счет усложнения формы режущих кромок и передних поверхностей. Однако полностью проблема не решена. Общими недостатками всех конструкций являются неблагоприятные условия схода стружки с резца. Анализ механики резания показывает, что при обработке фаски и реборды колеса толщина срезаемого слоя a_1 меньше ширины отрицательной фаски, поэтому стружка, минуя канавку, сходит с резца в виде ленты (рис. 2). При точении поверхности катания участок пластического контакта стружки выходит на заднюю стенку стружкозавивающей канавки, вызывая избыточную деформацию изгиба стружки в плоскости схода, увеличение сил и температуры резания. Данные выводы подтверждаются характером износа передней поверхности пластины. Лунка износа образуется не на передней поверхности пластины, а на стружкозавивающем уступе. Сформированный завиток стружки упирается свободным концом в поверхность резания, изгибается до появления трещины на свободной поверхности, но не ломается, а остается связанным с вновь образующимся элементом стружки. В результате стружка принимает вид прочно соединенных между собой полуколец. Разделение такой стружки на части происходит по мере ее дальнейшего взаимодействия с вращающимися деталями станка. Максимальный износ пластины приходится на участок ее взаимодействия с

упрочненными слоями «ползуна». В этом же месте зарождаются трещины, вызывающие выкрашивание или поломку пластины (рис. 3).



Рис. 2. Профиль поверхности железнодорожного колеса и схемы стружкообразования при продольном точении поверхности катания (сплошная линия) и торца гребня (пунктирная линия) стандартной пластиной: схема построена для средних значений толщины срезаемого слоя



а)



б)



в)

Рис. 3. Виды износа тангенциальных режущих пластин: а – лунка на передней поверхности; б – выкрашивание режущей кромки; в – скол

Анализ состояния проблемы механической обработки железнодорожных колес показал, что эмпирический путь поиска оптимальной конструкции тангенциальной сменной режущей пластины без учета причинно-следственных связей процессов механики образования, завивания и дробления стружки, не позволил выработать приемлемое для практики решение. Задача получения БФС с учетом повышенных требований к стойкости режущих пластин может быть решена на основе моделирования и управления пространственным формированием стружки. При проектировании режущей пластины использован системный подход. Инструмент рассматривался как множество закономерно связанных друг с другом конструктивных и функциональных элементов, образующих единую целостность. Применение системного подхода дает возможность рационально разделить задачу проектирования инструмента на части и принять оптимальное решение. С целью учета совокупности функциональных и структурных свойств инструмента выделялись характерные участки колеса, при обработке которых условия резания существенно отличались друг от друга. Определялись наиболее благоприятные условия схода стружки для каждого из этих участков. Рассчитывались геометрические параметры передних поверхностей пластины. Для лезвий, работающих с переменными условиями резания, находились

компромиссные решения по стружкодроблению, прочности и износостойкости инструмента. Оценка степени влияния конструктивных параметров режущей пластины на формирование и дробление стружки проводилась с использованием полученных в работе [1] зависимостей.

В результате моделирования процесса обработки профиля железнодорожного колеса установлен характер и величина изменения кинематических углов в плане инструмента и параметров сечения срезаемого слоя обрабатываемого материала (рис. 4). Можно выделить три характерных участка колеса, условия обработки которых, существенно отличаются друг от друга: обработка фаски, поверхности катания и реборды. При неизменном припуске обработки и постоянной подаче резца значения кинематических углов в плане φ_k изменяются на этих участках в 4,1 раза, средней толщины и ширины срезаемого слоя в 2,5 и в 2,4 раза соответственно. При снятии фаски с углом $\varphi_k = 40^\circ$ длина активной режущей кромки равна 11,1 мм, а толщина срезаемого слоя 0,7 мм. В процессе обточки дорожки качения длина режущей кромки уменьшается до 7,8 мм, а толщина среза увеличивается до 1 мм. Наибольшая длина кромки 18,9 мм приходится на обработку реборды колеса с толщиной срезаемого слоя 0,4 мм.

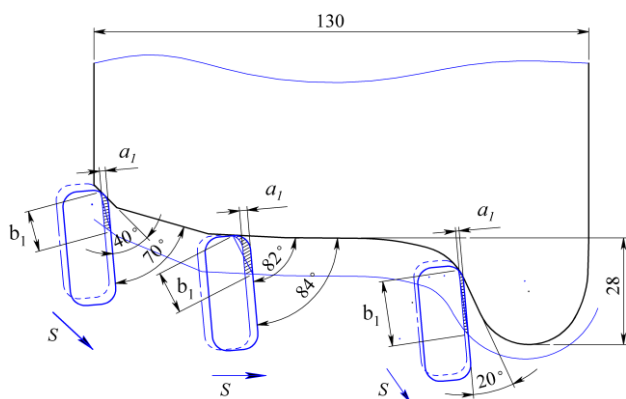


Рис. 4. Схема обработки профиля поверхности обода железнодорожного колеса

Таким образом, с учетом условий резания длина режущей кромки пластины в плане может быть разбита на 3 части: привершинный участок, включающий радиус при вершине; центральный и периферийный участки. Поскольку глубина резания при восстановлении изношенных колес может изменяться, разбиение пластины на части следует считать приближенным. При проектировании пластины колебания ширины срезаемого слоя учитывались путем ввода переходных участков с плавным изменением геометрических параметров рабочих поверхностей. Для эффективного завивания и дробления стружки размеры

упрочняющих фасок и геометрические параметры передней поверхности на трех основных участках пластины должны быть различными по величине. Согласно расчетам, для завивания стружки в нормальной к режущей кромке плоскости, средняя ширина упрочняющей фаски режущей пластины при врезании в колесо должна быть равна 0,6 мм, при обработке поверхности катания и вершины гребня находиться в пределах 0,7-0,8 мм, торцевой поверхности реборды 0,3-0,4 мм. Обеспечить оптимальные размеры упрочняющих фасок и стружкозавивающих канавок возможно только на третьем периферийном участке пластины, однако величина фаски на этом участке должна быть почти в 3 раза меньше, чем на сопрягающейся с ним центральной части пластины. В связи с условностью границ участков размеры фасок менее 0,4 мм не обеспечивают достаточную прочность пластины.

Наиболее проблемными являются центральный и привершинный участки режущей пластины, работающие с переменными сечениями среза. При выборе геометрии пластины на этих участках необходимо учитывать неоднородное распределение силовой нагрузки, действующей на режущие кромки инструмента. Максимальные усилия приходятся на центральный участок пластины, взаимодействующий с упрочненной наружной поверхностью колеса. Поэтому ширина упрочняющей фаски на этой части пластины рассчитывается по максимальной толщине среза, равной 1,3 мм. Привершинные поверхности пластины нагружены в меньшей степени и их режущие кромки могут быть упрочнены в меньшей степени. Для завивания стружки при врезании в колесо ширина упрочняющей фаски на радиусном участке пластины должна составлять величину не более 0,5 мм. Уменьшение ширины упрочняющей фаски на привершинном участке пластины не приведет к уменьшению ее прочности. Характер изменения ширины фаски должен соответствовать изменению длины контакта стружки с резцом. Для режущих кромок, работающих с переменными сечениями среза целесообразно применение двугранной фаски. Сохранение прочности кромки обеспечивается ее округлением до величины 70 мкм.

Разные условия резания вдоль режущей кромки пластины предполагают создание переменных параметров, как упрочняющих фасок, так и примыкающих к ним стружкозавивающих поверхностей [1]. Расчетные значения параметров зоны резания и радиуса кривизны стружки при обработке разных участков обода колеса представлены в таблице 1.

Таблица 1. Влияние кинематического угла в плане φ_k на параметры зоны резания ($v=0,75$ м/с, $s=1,2$ мм/об, $t=6$ мм, $\lambda=6^\circ$, сталь марки 1)

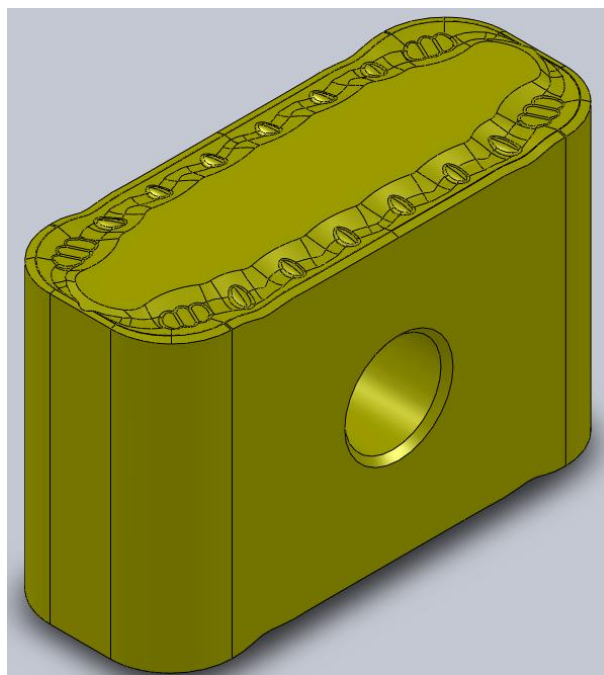
Участки колеса	Кинематический угол в плане $\varphi_k, ^\circ$	Толщина срезаемого слоя $a_{ср}, \text{мм}$	Коэффициент утолщения стружки k_a	Длина контакта стружки с резцом $l, \text{мм}$	Угол схода стружки $\eta, ^\circ$	Оптимальный радиус стружки $R_u^{\min}, \text{мм}$
фаска	40	0,7	1,77	1,9	49,8	6,7
поверхность катания; вершина гребня	82-84	0,9-1	1,62	2,55-2,6	26,9-26,2	8
торцовая поверхность гребня	40-20	0,7-0,4	1,74-1,99	1,98-1,35	49,8-65,9	6,7-5,1

Анализ расчетных данных показывает, что для обеспечения благоприятного стружкообразования радиус кривизны стружки в главной секущей плоскости должен быть больше, чем образующийся при резании стандартными пластинами. Для уменьшения кривизны стружки опорная часть пластины должна быть либо значительно уменьшена по ширине, либо располагаться ниже уровня режущих кромок. Оба варианта конструкции снижают надежность базирования пластины в кассете. С целью преодоления указанного противоречия задняя стенка стружкозавивающей канавки выполнена волнообразной с циклическим изменением угла наклона к основной плоскости пластины.

Для повышения эффективности стружкодробления и повышения прочности режущей пластины на стружкозавивающей поверхности, примыкающей к привершинной части выполнено желобообразное углубление, выходящее на режущую кромку. Данное конструктивное решение позволяет повысить жесткость стружки и, следовательно, вероятность дробления, а также улучшить условия врезания кромки в упрочненные слои материала «ползунов». Дополнительное увеличение жесткости стружки обеспечено за счет ее поперечного завивания. С этой целью передняя поверхность пластины выполнялась с переменной кривизной и увеличивающимся в направлении вершины резца передним углом. Форма стружкозавивающей поверхности изменялась от выпуклой вблизи вершины резца до вогнутой в середине пластины. Завивание стружки в трех координатных плоскостях способствовало возникновению дополнительного изгибающего момента при ее взаимодействии с препятствиями, повышая, тем самым, вероятность дробления при формировании широких и тонких стружек. Напряжения в стружке и надежность дробления увеличиваются при наличии на передней поверхности пластины вблизи режущей кромки стружкодеформирующих выступов.

Создание выпукло-вогнутой положительной геометрии передней поверхности пластины

с оптимально расположенными вдоль режущей кромки стружкозавивающими элементами благоприятно сказывается на работоспособности инструмента. Стойкость резца увеличивается благодаря уменьшению площади контакта стружки с резцом и температуры на передней поверхности. Переменный угол λ совместно с переменным γ оказывают положительное влияние на условия врезания инструмента в «ползун». Нагрузка на инструмент нарастает не мгновенно, а постепенно. За счет увеличения длины криволинейного участка режущей кромки уменьшается удельная нагрузка на инструмент. Изложенные принципы проектирования режущей пластины были реализованы в конструкции LNMX 301940-CB, показанной на рис. 5.

**Рис. 5.** Конструкция тангенциальной режущей пластины LNMX 301940-CB с расширенными функциональными возможностями

Особенностью конструкции является оптимальное расположение (с точки зрения механики резания) стружкозавивающих и деформирующих выступов на передней поверхности

пластины, наличие винтовой выпукло-вогнутой стружкозавивающей поверхности, увеличенных значений переднего угла на радиусном участке пластины, переменного вдоль режущей кромки угла наклона стружкозавивающего уступа, упорочняющей фаски переменной ширины, криволинейной режущей кромки и углубления передней поверхности вблизи вершины резца.

Пластина LNMХ 301940-СВ включена в новый ассортимент инструментов для восстановления железнодорожных колес ООО «Вириал» (г. Санкт-Петербург). С учетом специфических условий механической обработки колес на предприятии разработан новый состав твердого сплава VHS55, обладающий высокой прочностью, как при стабильных условиях резания, так и при точении с ударом. Усовершенствованная технология изготовления пластин включает нанесение на них уникальных по структуре износостойких покрытий. Оптимально подобранные конструкция и материал твердого сплава делают режущие пластины универсальными и позволяют их эффективно применять при обработке мягких и твердых колес с глубиной резания $t=2$ -

12 мм, подачей $s=0,5-2,0$ мм/об, скоростями резания $v=0,5-0,8$ м/с. Производственные испытания новых конструкций пластин показали их повышенные эксплуатационные свойства. Стойкость пластин составила в среднем 12-16 колес на одну режущую кромку.

Выводы: повышенные технологические свойства разработанных в ООО «Вириал» сложнопрофильных пластин LNMХ 301940-СВ позволяют рекомендовать их к широкому внедрению на операции восстановления железнодорожных пар. Оптимизация геометрии и технологии изготовления тангенциальных пластин позволили повысить прочность инструмента, его износостойкость и стабильность стружкодробления при контурном точении железнодорожных колес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Михайлов, С.В. Компьютерное прогнозирование и системный анализ причинно-следственных связей процессов образования, завивания и дробления сливной стружки. – Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2009. 159 с.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF CONTOURED TURNING THE RAILWAY WHEEL SETS BY NEW LNMХ PLATES

© 2013 S.V. Mikhaylov, N.Yu. Kovelenov, C.B. Bolotskih

JSC “Virial”, St. Petersburg

The methodology of creation the new figurine tangential plates with improved technological properties for contoured turning the wheel sets is stated.

Key words: cutting, metal-cutting tool, chip crushing, restoration, wheel set

Stanislav Mikhaylov, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Leading Specialist. E-mail: michsv@yandex.ru

Nikolay Kovelenov, Candidate of technical Sciences, Chief
Technologist. E-mail: kov@virial.ru

Sergey Bolotskih, Head of the Technological Bureau of
Mechanical Processing. E-mail: BolotskihSV@virial.ru