

УДК 621.9

В.Д. Ковалев, д.т.н., проф.

С.А. Гаков, ассист.

*Донбасская государственная машиностроительная академия*

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ С НЕРАВНОМЕРНЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

*В статье произведено исследование режимов резания и видов износа режущего инструмента при обработке колесных пар подвижного состава. Исследования производились при обработке колесных пар двух видов: бездефектных и имеющих различного рода дефекты на поверхности катания колеса.*

**Введение.** Как известно, основным путем повышения производительности колесотокарных станков является сокращение машинного и вспомогательного времени на обработку колесной пары [1, 5].

Сокращение машинного времени можно осуществить за счет повышения скорости резания, увеличения снимаемого припуска, применения рациональной геометрии режущей части инструмента и различных сочетаний инструмента. Важную роль при этом играет жесткость крепления резцов в резцедержке и жесткость самой резцедержки на суппорте.

Сокращение вспомогательного времени может быть осуществлено за счет сокращения времени на установку и снятие колесной пары и времени на ориентацию копиров относительно колесной пары (по кругу катания и внутренней поверхности бандажа), а также на выставку резцов на один диаметр обеих колес после поломок резцов и, вследствие этого, деформации или сдвигов оправки.

Однако сокращение машинного времени за счет повышения скорости резания ограничено стойкостью режущего инструмента и состоянием поверхности обрабатываемого бандажа [2, 3]. Под «состоянием поверхности обрабатываемого бандажа» [4] следует понимать: наклеп (рис. 1, а) и накатка (рис. 1, б) поверхности, «ползуны» (рис. 1, в), которые появляются в результате экстренного торможения, когда бандаж «клинится» тормозными колодками вплоть до остановки вращения. В это время поверхность бандажа нагревается от трения скольжения, появляющиеся прямолинейные участки на круговой поверхности зачастую приклеиваются от резкой разницы

температур нагетого бандажа и холодного рельса, появляются абразивные включения от использования песка при торможении (рис. 1, з). Сокращение машинного времени за счет увеличения подачи (глубина примерно постоянная, в зависимости от принятой величины "проката" бандажа) ограничено прочностью на изгиб и хрупкостью режущей части резца.

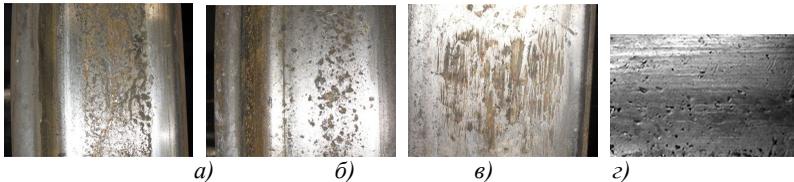


Рис. 1. Дефекты на поверхности катания колесной пары

**Цель работы.** Целью данной работы является определение преимуществ и недостатков обработки многолезвийным инструментом бандажей колесных пар подвижного состава железнодорожного транспорта, исследование процесса стружкообразования при точении данным инструментом, определение условий схода стружки при прямом резании, определение критериев износа и поломки инструмента при обработке колесных пар с дефектами.

**Основная часть.** В настоящее время обработка профиля бандажа колесной пары ведется двумя видами резцов: чашечными резцами и двухпластинными резами с тангенциальным креплением режущих пластин (рис. 2).

Эти резцы хорошо обрабатывают новые бандажи без упрочнения; хуже работают с колесами, упрочненными обкаткой по рельсам, и значительно хуже – при обработке пар с "ползунами" (особенно чашечные резцы).

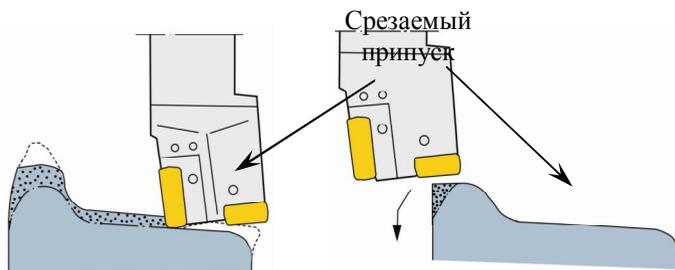


Рис. 2. Схема работы реза  
с тангенциальным креплением пластин

Во многих случаях режущая часть выкрашивается или происходит скол (на прокатанном слое и в большей степени – на ползунах), что приводит к необходимости поворота или замены пластины и повторного прохода. Раньше для срезки ползунов использовались специальные отогнутые проходные резцы. Стойкость у таких резцов при обработке ползунов выше, однако смена резцов и выставка на диаметр занимают много времени. Поэтому в настоящее время широкое распространение получили резцы со сменными вставками, на которых режущие пластины закрепляются тангенциально.

Испытания проводились на станке мод. КЖ1836М.10 производства ОАО «КЗТС» для колесных пар с профилем по ГОСТ 9036-88, материал колесной пары – R2N (C55GW-N-A) по ГОСТ 380-94 ( $HB248\pm 20$ ,  $\sigma_s=880-1080$  МПа). Режущий инструмент: резцовый блок с двумя тангенциальными пластинами – фирмы "Sandvik Coromant" (Швеция) либо пластины фирмы «КЗТС» Россия. Пластины "Sandvik Coromant": типоразмер – LNMX 301940-23, LNUX 301940-PF, S-RCMT 25 07 M0-R1; материал – MM2, как с покрытием так и без. Пластины «КЗТС»: типоразмер – LNUX 301940 TN 02; материал – MC221 либо T14K8; без покрытия.

Исследование проводилось в два этапа.

1 этап – экспериментальное исследование резцов известных конструкций на различных режимах при обработке колесных пар двух видов: не имеющих дефектов и имеющих дефекты в виде «ползунов» на поверхности катания колеса.

2 этап – наблюдение процесса обработки с целью сбора статистических данных о видах поломок режущего инструмента и режимной части обработки.

**Этап 1.** Вначале обрабатывалась ранее проточенная колесная пара

без "ползунов". Обработка производилась одним правым суппортом; пластины «КЗТС»: LNUX 301940 TN 02, материал – T14K8, без покрытия. Для определения силовых параметров (момента и мощности резания) привода главного движения производились замеры электрических характеристик двигателя (напряжения на якоре –  $U_{я}$  и тока якоря –  $I_{я}$ ), результаты занесены в таблицу 1.

Таблица 1

Замеры параметров электродвигателя главного привода

$n_{шт}$ , об/мин.	$n_{об}$ , об/мин.	$U_{я}$ (напряжение на якоре), В	$I$ (ток возбуждения), А	$U$ (напряжение возбуждения), В
3,15	280	85	6	160
4	356	100	6,2	165
4,5	400	110	6,2	165
5,5	490	130	6,2	165
6,5	580	160	6,2	165
8	712	190	6,2	165
10	890	215	6,2	165
12	1070	255	6,2	165
14,5	1290	300	6,2	165
16	1420	325	6,2	165
17	1510	350	6,2	165
20	1780	380	6	140
20,5	1840	390	5,5	120
22,5	2000	390	4,5	110
25	2220	390	4	105

Для обеспечения хорошей производительности обработки используют верхний диапазон частот вращения шпинделя (10-25 об/мин). Поэтому исследования проводился при частоте вращения шпинделя –  $n_1=14,5$  об/мин и  $n_2=25$  об/мин, это соответствует соответственно средней и максимальной скорости резания. Подача варьировалась в широких пределах. Результаты режимов обработки и электрические характеристик двигателя приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты измерения электрических параметров электродвигателя при обработке бездефектной колесной пары

№ п.п.	Режимы резания			Параметры двигателя	
	$t$ , мм	$S$ , мм/об	$n$ , об/мин	$U_{я}$ , В	$I_{я}$ , А

1	5	1,4	14,5	300	42
2	5	0,63	14,5	300	25
3*	5	1,51	14,5	300	–
4	5	1,4	14,5	300	40
5	5	1	25	350	40
6**	1	2	25	390	40

\* –  $I_{я}$  не зафіксовано, т. к. при таких режимах была остановка электродвигателя.

\*\* – произошла поломка режущей кромки.

Проанализируем режимы резания (табл. 2, п.п. 1):

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 1000 \cdot 14,5}{1000} \approx 45 \text{ м/мин.}$$

$$N = U_{я} \cdot I_{я} \cdot \eta = 300 \cdot 42 \cdot 0,7 = 8820 \text{ Ватт} \approx 8,8 \text{ кВт.}$$

$$M_{кр} = 9750 \frac{N}{n} \approx 5900 \text{ Н·м, } P_z = \frac{2M_{кр}}{D} \approx 11800 \text{ Н.}$$

$$P_z = q \cdot t \cdot S,$$

где  $q$  – удельное давление срезаемого слоя,  $t$  – глубина резания.

$$q = \frac{P_z}{t \cdot S} = \frac{11800}{5 \cdot 1,4} \approx 1680 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Из расчетов видно, что при обработке бандажа колесной пары удельное давление срезаемого слоя велико и соответствует высокопрочной стали  $\sigma_s \geq 750 \text{ МПа}$ .

Проанализируем режимы резания (табл. 2, п. 6).

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 1000 \cdot 25}{1000} = 78,5 \text{ м/мин.}$$

При  $V = 78,5 \text{ м/мин.}$  произошла поломка режущей кромки, хотя скорость резания не так уж велика для данных режимов ( $t = 1 \text{ мм}$ ;  $S = 2 \text{ мм/об.}$ ). Вероятно, сыграла свою роль прочность бандажа  $q = 1680 \text{ Н/мм}^2$  (для среднеуглеродистых сталей  $\sigma_s = 750 \text{ МПа}$ ,  $q \leq 1500 \text{ Н/мм}^2$ ).

Далее была произведена обработка неремонтированной после эксплуатации колесной пары с ползунами (рис. 1, в) на установленных режимах:  $t = 7 \text{ мм}$ ;  $S = 1,4 \text{ мм/об.}$ ;  $n = 14 \text{ об./мин.}$

Обработка велась только правым суппортом, как и в предыдущем эксперименте. На обоих бандажах имелись незначительные ползуны, а также на одном из них имелась вырубка зубилом для обнаружения глубины трещины. Процесс резания сразу же пошел «напряженно», появились



заметные вибрации и на вырубке режущая кромка почти полностью выкрошилась.

После смены пластины повернули бандаж и производили обработку на тех же режимах. Процесс точения шел тяжело, на ползуне резец начал крошиться, появился уступ, процесс резания прекратили. Присутствует выкрашивание режущей кромки (рис. 3), т.е. появилась необходимость повторного прохода.

**Этап 2.** Статистический сбор данных производился в Вагоноремонтном депо г. Дебальцево, обработка колес на станках мод. КЖ1836М.10 производства ОАО «КЗТС» двумя типами резцов: чашечными и резцами с тангенциальным креплением режущих пластин. Обрабатывались колесные пары с профилем по ГОСТ 9036-88, материал колесных пар не определялся. Режущий инструмент: чашечный резец конструкции стандартного исполнения, оснащенный круглыми пластинами фирмы "Sandvik Coromant" (Швеция) – S-RCMT 25 07 M0-R1, материал – MM2; резцами с тангенциальным креплением режущих пластин фирмы "Sandvik Coromant" (Швеция) типоразмера – LNMX 301940-23, LNUX 301940-PF материал – MM2 и фирмы «КЗТС» (Россия) типоразмера – LNUX 301940 TN 02, материал – T14K8, без покрытия.

Обработка производилась в полуавтоматическом режиме. После настройки станка включается гидрокопировальное устройство, которое управляет формообразующими движениями инструмента, а также задает скорость подачи. В процессе обработки станочник имеет возможность корректировать частоту вращения шпинделя и подачи двух независимых суппортов.

Глубина резания при данной обработке – величина переменная, и определяется величиной допустимого «проката» бандажа (по нормам МПС на бандаже – не более 7 мм): около середины поверхности катания определяется величиной снятия дефектного слоя и может быть 2–3 мм, а на участках, близких к фаске или к  $R = 28$  мм (ввиду наплывов и меньшего износа), может быть 10–15 мм. Подача практически задается до 2 мм/об.

В таблице 3 приведена выборка результатов наблюдений только для колесных пар с дефектами. Под номером резца в таблице 3 подразумевается тип и номер пластины. Первая цифра кодирует тип пластины (1 – чашечная с покрытием «Sandvik Coromant», 2 – тангенциальная «КЗТС», 3 – тангенциальная «Sandvik Coromant» с покрытием, 4 – тангенциальная «Sandvik Coromant» без покрытия), вторая – цифра номер пластины.

Обработка ползуна происходит следующим образом: на время подхода к «ползунам» станочник уменьшает обороты главного привода, уменьшая скорость резания в 2 и более раз, зачастую не уменьшая дросселем величину минутной подачи (иногда, чтобы «подорвать» твердую корку «ползуна»). Это, соответственно, пропорционально увеличивает «оборотную» подачу.

Если учесть, что при обработке бездефектных колесных пар  $q \leq 2000 \text{ Н/мм}^2$ , а на «ползунах» – до  $2500 \text{ Н/мм}^2$  и выше, тогда  $P_z$  возрастает до 15 кН, что ведет к увеличению нагрузки на рабочую часть пластины и к выходу ее из строя. Основные типы поломок инструмента при обработке колесных пар с «ползунами» показаны на рис. 4.

Таблиця 3

Результаты наблюдений при обработке колесных пар  
с естественными ползунами

№ п.п.	№ колесной пары	№ реза	Режимы резания			Примечание
			$n$ , об/мин	$S$ , мм/об	$t$ , мм	
1	1	1-1	25	2	3	Чашечная пластина сломалась при касании ползуна
2	1	1-2	12	0,5	3	Скол режущей кромки в момент касания ползуна. Пластинка повернута
3	1	1-2	12	0,5	3	-//-
4	1	1-2	30	0,9	3	-//-
5	1	1-3	15	0,9	3	-//-
6	1	1-3	15	0,5	3	-//-
7	1	1-3	10	0,5	3	Пластинка сломалась
8	2	1-4	9	0,9	3	Скол при касании ползуна. Галтель обработана
9	2	1-4	9	0,9	3	Уклон 1:20 обработан. Ползун срезан. Скол режущей кромки.
10	3	2-1	20	0,5	7	Небольшой скол после прохода 15 мм.
11	3	2-1	12	0,8	7	Ползун срезан
12	3	2-2	12	0,5	8	Скол
13	3	2-2	12	0,5	6	Скол при касании ползуна
14	3	3-1	10	0,5	3	Скол. Пластинка повернута
15	3	3-1	18	0,5	3	-//-
16	3	3-1	6	0,5	3	Пластинка сломалась
17	3	3-2	12	0,5	8	Сломался при проходе 10 мм.
18	3	4-1	12	0,5	6	Скол при касании ползуна
19	3	4-1	12	0,5	6	-//-
20	3	4-1			6	-//-
21	3	4-2	6	0,5	10	Скол после прохода 5 мм
22	3	4-3	6	0,5	10	Крупный скол. Требуется замена.

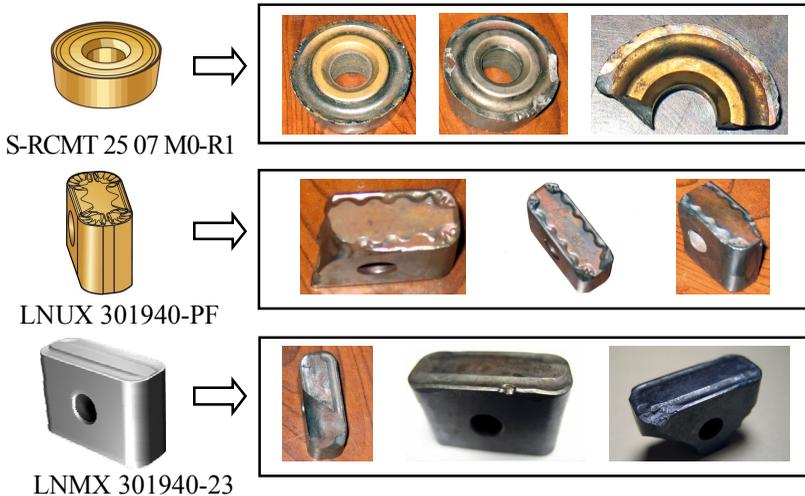


Рис. 4. Види износа твердосплавных пластин при обработке на копировальном колесотокарном станке

Опробовалось точение «прямым» резанием. Отличий от традиционного «обратного» точения нет, но гораздо опаснее сход сливной стружки. Если при «обратном» точении сливная стружка уходит под резец, то при «прямом» – по резцу на станочника.

В настоящее время единственным методом, позволяющим избежать поломку инструмента при обработке колесной пары с «ползунами», является занижение режимов резания, т. е. уменьшение подачи  $S$  и скорости резания  $V$ , что, в свою очередь, отрицательно сказывается на производительности обработки. При обработке на копировальном колесотокарном станке, станочнику приходится постоянно отслеживать положение ползуна на ободу колеса, и в момент входа резца в зону ползуна скорректировать  $S$  и  $V$ . Если учесть, что обработка осуществляется в условиях непрерывного производственного процесса, то станочнику довольно сложно постоянно отслеживать наличие ползуна, а тем более своевременно и верно скорректировать режимы резания. Поэтому единственным вариантом является применение таких систем управления, которые позволяют в автоматическом режиме идентифицировать местонахождения дефекта и его тип, и автоматически изменять параметры обработки, например адаптивная система процессом обработки. Однако применение адаптивных систем на гидрокопировальных станках не даст необходимого эффекта, т. к.

необходимо учитывать, помимо нестационарности процесса обработки, нелинейность в гидроприводе суппорта станка, а это значительно усложняет модель работы адаптивной системы.

#### **Выводы:**

1. Увеличение производительности станка при применении сборных резцов за счет предполагавшегося увеличения стойкости не обнаружено. Так же, как и в случае с чашечным резцом, при ударной нагрузке резец ломается, при обработке ползунов – выкрашивается и «садится».

2. Установлено, что при обработке колесных пар с «ползунами» необходимым условием работоспособности режущего инструмента является изменение режимов резания в процессе обработки.

3. Процесс стружкообразования ничем не отличается от чашечных резцов. При исследовании точения колесных пар удалось определить диапазон подач, при котором стружка дробилась или становилась сливной. Дробленая стружка появляется при подаче  $S > 1,5$  мм/об., при  $S < 1$  мм/об. гарантирована сливная стружка.

4. Основными видами износа является абразивный износ по передней поверхности, мелкие сколы на кромках пластины, а также разрушение пластины. В зонах с незначительными дефектами (небольшими раковинами и т. п.) наблюдается абразивный износ, вызванный абразивными включениями в материал колеса (песок, оксиды), на выщербинах наблюдаются мелкие сколы на режущей кромке, а в зонах ползунов, наваров происходит критический износ и разрушение режущей пластины.

5. Для уменьшения износа инструмента и предотвращения его поломки необходимо применять адаптивное управление процессом резания [2], которое позволит своевременно, до вхождения инструмента в зону дефекта, скорректировать режимы резания.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Ковалев В.Д., Гаков С.А. Ветчинова Ю.Е. Исследование процесса обработки при ремонте колесных пар на колесотокарных станках // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Вип. 21. – Краматорськ: ДДМА, 2007. – С. 122–128.
2. Марков Д.П. Типы катастрофического изнашивания, возникающие на колесно-рельсовых сталях // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – № 2. – С. 30–35.

3. Богданов В.М. Снижение интенсивности износа гребней колес и бокового износа рельс // Железнодорожный транспорт. – 1992. – № 12. – С. 30–34.
4. Ларин Т.В., Девяткин В.П. О механизме износа железнодорожных колес // Трение и износ в машинах. – № XI. – М.: АН СССР, 1956. – С. 238–263.
5. Ковалев В.Д., Гаков С.А. Применение адаптивных систем при обработке сложного профиля на колесных станках // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Вип. 20. – Краматорськ: ДДМА, 2006. – С. 85–89.

КОВАЛЕВ Виктор Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой металорезальных станков и инструментов Донбасской государственной машиностроительной академии, г. Краматорск, Украина.

Научные интересы:

- повышение качества, точности и трудоспособности технологических систем, создание новых видов станочного оборудования;
- разработка систем адаптивного управления технологическими системами;
- исследование и разработка опор и передач жидкого трения для станков и машин;
- создание технологий и оборудования для сложнопрофильной обработки;
- разработка технологий и оборудования для укрепления инструмента, деталей и материалов.

ГАКОВ Сергей Александрович – ассистент кафедры металорезальных станков и инструментов Донбасской государственной машиностроительной академии, г. Краматорск, Украина.

Научные интересы:

- сложнопрофильная обработка на тяжелых станках;
- адаптивные системы.

Т.: 8-0626-414782.

E-mail [msi@dgma.donetsk.ua](mailto:msi@dgma.donetsk.ua)

Подано 25.09.2007