

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР

**В статье рассмотрен вопрос повышения эффективности операции механической обработки поверхности катания колесных пар повышенной твердости и качества. Проанализированы данные статистики, показано, что наиболее слабым местом технологического процесса ремонта колесных пар повышенной твердости и качества является механическая обработка по профилю катания. Предложена новая конструкция токарного инструмента для выполнения обточки. Резец имеет три режущие пластины, две из которых предназначены для выполнения обточки по поверхности катания. При обточке использован эффект разделения припуска и выделение тепла в зоне резания. Выполнен анализ напряжений, возникающих в твердосплавных пластинах при обточке.**

**Ключевые слова:** резец, токарная обработка, колесная пара, режимы резания, твердый сплав, напряжение, разрушение, износ.

На сети железных дорог России активно применяются колесные пары повышенной твердости и качества. Внедрение колесных пар данной конструкции было продиктовано стремлением повысить эксплуатационные характеристики колеса, уменьшить износ и увеличить его ресурс [1–4]. Изношенные колесные пары восстанавливают механической обработкой — обточкой по кругу катания. При этом необходимо обеспечить прежнюю конфигурацию поверхности катания и гребня колеса.

Возникающие в процессе эксплуатации дефекты поверхности катания колесных пар условно можно разделить на две большие группы. Локальные дефекты, такие как ползуны и выщербины, возникают чаще всего вследствие движения колеса с рельсом при торможении или при ударном взаимодействии со стыком рельса. Трение вызывает значительное повышение температуры, а ударное воздействие обуславливает наклеп. Таким образом на поверхности образуется участок, значительно отличающийся по механическим свойствам от окружающего металла. Распределенные дефекты, такие как накат и тонкий гребень, возникают в результате долговременного взаимодействия колеса с рельсом в процессе эксплуатации. Это нарушает общую геометрию профиля колеса и относительно равномерное повышение твердости.

До внедрения колесных пар повышенной твердости и качества преобладали дефекты распределенного характера. Собственно за счет новых колес и предполагалось снизить объем деповского ремонта, связанного с механической обработкой поверхности катания. Во многом данная цель была достигнута. Статистика показала, что количество

дефектов распределенного характера значительно снизилось (рис. 1) [5].

Однако, несмотря на наблюдающееся снижение повреждаемости колесных пар, стали преобладать дефекты локального характера (ползуны и выщербины). При этом, как правило, локальные дефекты у колес повышенной твердости характеризуются большей глубиной, а термомеханические повреждения — большей твердостью.

С повышением механических характеристик колеса объем ремонта уменьшился, но сам ремонт значительно усложнился. В особенности это коснулось инструментального обеспечения операции восстановления профиля колеса обточкой.

При обточке используются специальные двухсторонние твердосплавные пластины и державки. Сама обточка и относится к операциям тяжелого точения и производится на специальных колесоточкарных станках. Пластины допускают четыре перестановки в кассете резца, что в принципе позволяет значительно продлить их ресурс и более полно использовать возможности инструмента.

При обточке колесных пар повышенной твердости с термомеханическими повреждениями на поверхности катания происходят значительные скачки силы резания, которые фактически эквивалентны ударам по передней поверхности твердосплавной пластины. В работе [6, с. 3] показано, что возникающие при этом значения напряжений близки к пределу прочности отечественных и зарубежных марок твердых сплавов.

Расчеты, проведенные согласно методике, изложенной в [7], показывают, что при обработке колес повышенной твердости на рекомендуемых режимах (табл. 1) при отсутствии на поверхности

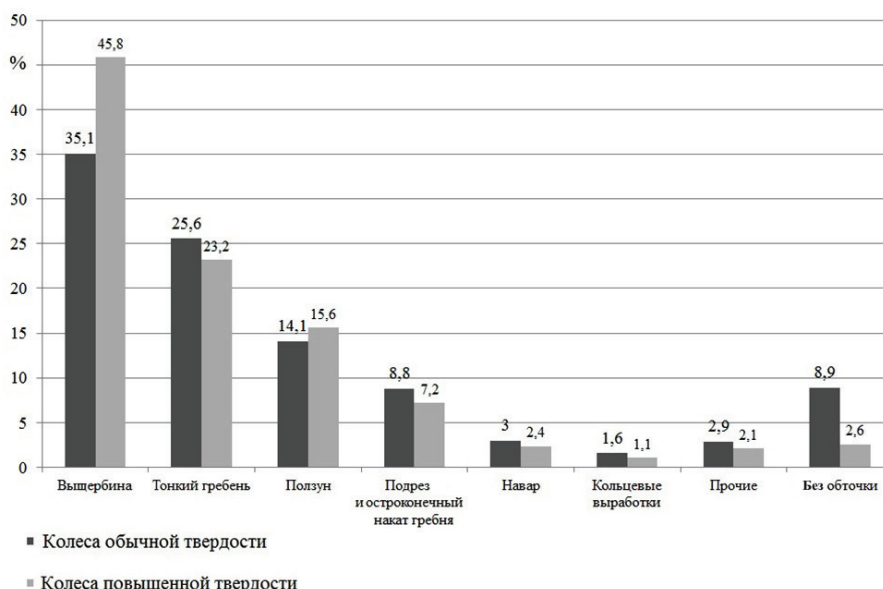


Рис. 1. Сравнение статистики эксплуатационных дефектов колес обычной и повышенной твердости

Таблица 1

Режимы резания при обточке поверхности катания колес

Обработка	Частота, об/мин	Глубина резания, мм	Подача, мм/об
Черновая	9–10	5–6	2–3
Чистовая	16–17	2–3	2–3

катания термомеханических повреждений сила резания составляет порядка 16–17 кН. При обточке с ползунами твердостью 650 HV сила резания увеличивается до 17–18 кН.

В работе [6, с. 11] приведена зависимость напряжения, возникающего на передней поверхности твердосплавной пластины в момент ударного взаимодействия с дефектом, от напряжения при стабильном резании:

$$\sigma_{yg} = \sigma_{cm} \cdot \mu, \quad (1)$$

где  $\sigma_{yg}$  — напряжения, возникающие при ударе, МПа;  $\sigma_{cm}$  — напряжения при стабильном резании, МПа.

$$\mu = k_j \cdot (0,84 + 0,026 \cdot V_{рез}), \quad (2)$$

где  $k_j$  — поправочный коэффициент, учитывающий момент инерции технологической системы;  $V_{рез}$  — скорость резания, м/мин.

$$k_j = 0,0035 \cdot V_{рез} + 1,02. \quad (3)$$

Конечно-элементный анализ, выполненный в программе Autodesk Inventor (рис. 2), показал, что при использовании стандартного инструмента максимальные напряжения в твердосплавной пластине составляют порядка 520 МПа.

При этом ударные напряжения, рассчитанные согласно формулам (1), (2) и (3), составляют 947,7 МПа.

Эта величина не превышает предела прочности твердых сплавов, однако периодическое повторение ударного воздействия в процессе обточки колеса приводит к образованию сколов на режущей кромке пластины и, как следствие, к потере ее работоспособности. Кроме того, в отдельных случаях твердость термомеханических повреждений на поверхности колеса может достигать 800 и даже 1000 HV. Взаимодействие с такими дефектами приводит к возникновению напряжений, сравнимых с пределом прочности и превышающим его. В конечном счете это приводит к разрушению пластины.

В результате значительно увеличивается расход дорогостоящих твердосплавных пластин. Частично данную проблему позволила решить технология переточки. Данная технология заключается в восстановлении лезвия и передней поверхности пластины, поврежденной в результате ее взаимодействия с термомеханическими повреждениями с помощью алмазного шлифования при обильном охлаждении. Использование данной технологии возможно, только если после обточки на лезвии пластины имеются лишь относительно небольшие выкрашивания. Однако при обточке колесных пар повышенной твердости и качества излом пластины обычно носит фатальный характер. Разрушается не только режущая кромка, находящаяся в работе, но и другие кромки. Пластина уже не подлежит восстановлению, ресурс инструмента резко падает. На особо сложных ползунах, отличающихся особенно высокой твердостью, может быть испорчено несколько твердосплавных

пластин, поэтому стоимость обточки увеличивается, удорожается ремонт.

В рабочей среде установлено негласное правило. Если при обточке колесной пары были разрушены три пластины, обточка такого колеса прекращается, и оно откладывается. В результате выросло количество незавершенного ремонта, уменьшились полезные площади механического цеха.

Предлагалось множество способов решения данной проблемы. Например, плазменный нагрев обрабатываемой поверхности обеспечивает снижение сил резания и повышение стойкости инструмента при наличии самых сложных, с точки зрения ремонта, повреждений. Однако использование высокотемпературной плазмы приводит к общему снижению твердости колеса и снижению его эксплуатационных характеристик. Другим способом является вышлифовка особо сложных термомеханических повреждений с последующей обточкой. Это приводит к выравниванию твердости металла колеса, но скачки силы резания остаются из-за образующейся сильной неравномерности припуска. Ударное воздействие на инструмент сохраняется. Выдвигались также предложения заполнить выщербины на поверхности колеса специальными твердеющими составами и выровнять припуск.

В любом случае все предлагавшиеся методики требуют использования специального оборудования (плазмотрон, установка для вышлифовки), значительно снижают производительность ремонта и требуют введения новых операций в технологический процесс.

Для решения данной проблемы предлагается новая конструкция резца для обточки колесных пар повышенной твердости, которая представлена на рис. 3.

Схема работы резца представлена на рис. 4.

При обработке используется способ разделения припуска, который заключается в распределении общей глубины резания между несколькими режущими элементами [8, 9]. Данный способ активно используется при протягивании, а в последнее время все чаще применяется при фрезеровании.

Во время обработки обе режущие пластины, предназначенные для обточки поверхности катания, делят между собой срезаемый припуск. Верхняя пластина воспринимает треть срезаемого припуска, оставшиеся две трети срезают нижняя пластина.

Главный и вспомогательный углы в плане верхней пластины позволяют ей работать «под дефект», что также существенно разгружает пластину. Вместе с тем верхняя пластина придает срезаемому слою форму клина, которая удобна для срезания нижней пластиной и замедляет отвод образующегося при резании тепла в тело детали. Тепловой поток от обеих пластин разупрочняет металл и снижает силы резания [10].

Таким образом, использование резца данной конструкции имеет следующие преимущества:

1. Твердосплавные пластины срезают припуск совместно и делят между собой нагрузку.

2. При резании двумя пластинами выделяется существенно больше тепла, что приводит к разупрочнению металла.

3. Верхняя пластина работает «под дефект» и обеспечивает форму срезаемого слоя в виде клина, что облегчает работу нижней пластине.

4. Пластины для нового резца могут изготавливаться перешлифовкой из стандартных пластин с выкошенными режущими кромками.

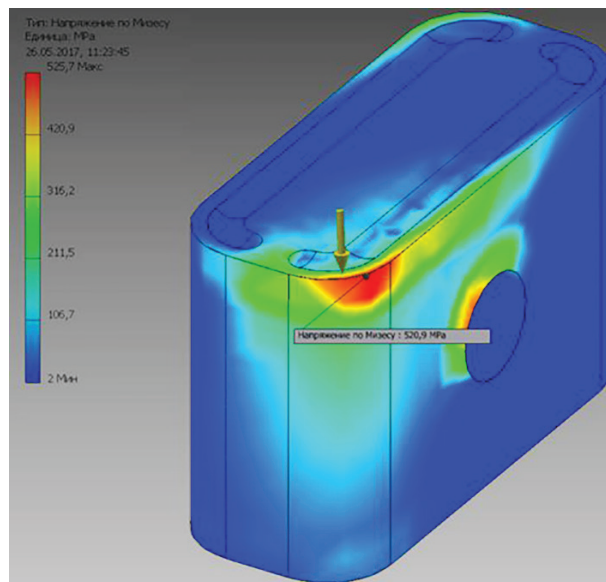


Рис. 2. Анализ напряжений, возникающих во время резания на твердосплавной пластине при использовании инструмента стандартной конструкции

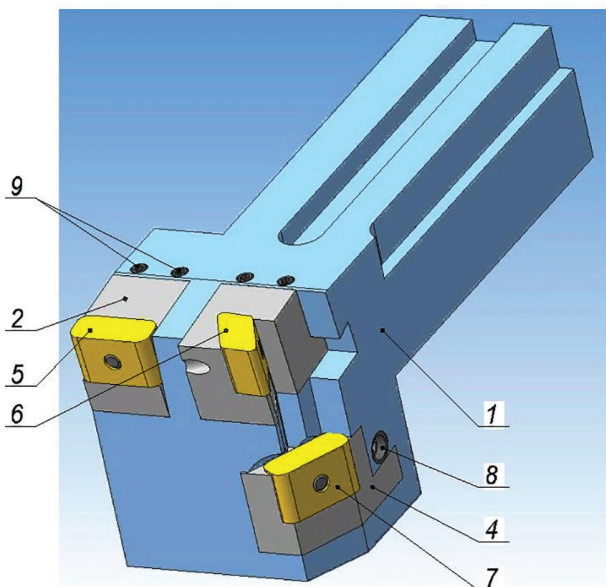


Рис. 3. Предлагаемая конструкция резца для обточки колесных пар повышенной твердости:

- 1 — державка; 2 — кассета для обработки гребня;
- 3 — кассета для верхней пластины;
- 4 — кассета для нижней пластины;
- 5 — пластина для обработки гребня; 6 — верхняя пластина;
- 7 — нижняя пластина; 8 — фиксирующий клин;
- 9 — крепежные винты

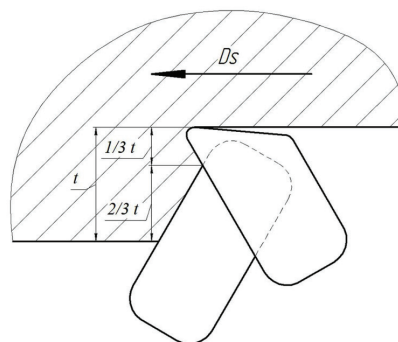


Рис. 4. Схема работы резца

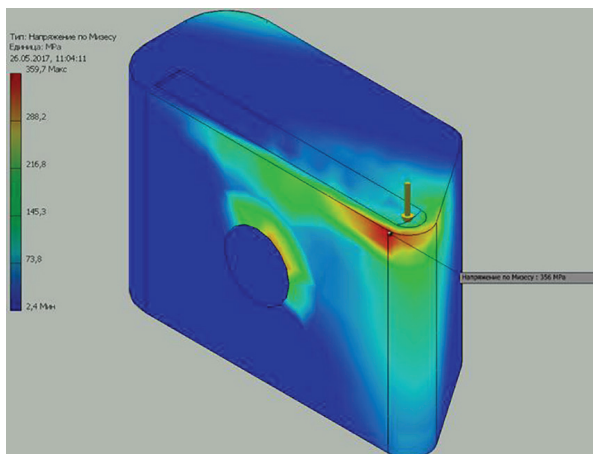


Рис. 5. Анализ напряжений, возникающих во время резания на верхней пластине

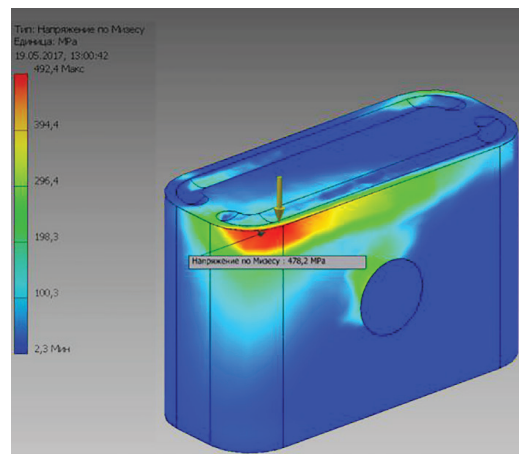


Рис. 6. Анализ напряжений, возникающих во время резания на нижней пластине

Аналогичный расчет в программе Autodesk Inventor был выполнен для предлагаемой конструкции (рис. 5, 6).

Ударные напряжения для обеих пластин составляют:

- для верхней пластины: 648 МПа;
- для нижней пластины: 872 МПа.

Рассчитанные ударные напряжения существенно ниже полученных ранее значений для реза стандартной конструкции.

Приведенные расчеты показывают, что предлагаемая конструкция токарного инструмента является вполне работоспособной и может быть использована на операции обточки колесных пар повышенной твердости и качества.

Предложенное решение не вызывает необходимости существенно менять конструкцию используемого в ремонтных депо оборудования. Обработка может производиться на стандартных колесотокарных станках. Изменения потребуют только режимы резания. В частности, для обеспечения эффективного разделения припуска понадобится увеличить глубину резания до 10–12 мм, что вполне допустимо по мощности для используемого оборудования.

#### Библиографический список

1. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса колесных пар тягового подвижного состава: моногр. М.: УМЦ ЖДТ, 2010. 224 с.
2. Самме Г. В. Фрикционное взаимодействие колесных пар локомотива с рельсами: моногр. М.: УМЦ ЖДТ, 2005. 80 с.
3. Самме Г. В. Фрикционное взаимодействие колесных пар локомотива с рельсами. Теория и практика сцепления локомотива: моногр. М.: УМЦ ЖДТ, 2014. 104 с.
4. Гура Г. С. Механика и трибология движения колесной пары в рельсовой колее: моногр. М.: УМЦ ЖДТ, 2013. 528 с.
5. Ражковский А. А., Бунькова Т. Г., Петракова А. Г. [и др.]. Оптимизация соотношения твердости пары трения «колесо — рельс» // Трение и износ. 2015. Т. 36, № 4. С. 433–442.
6. Обрывакин А. В. Обеспечение работоспособности цельнокатаных колес повышенной твердости, поступающих в ремонт с термомеханическими повреждениями: автореф. дис. ... кан. техн. наук. Омск, 2010. 17 с.

7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. / Под ред.: А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985. Т. 2. 496 с.

8. Григорьев С. Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента. М.: Машиностроение, 2009. 368 с. ISBN 978-5-94275-429-7.

9. Кожевников Д. В., Кирсанов С. В. Резание материалов / под общ. ред. С. В. Кирсанова. 2-е изд., доп. М.: Машиностроение, 2012. 304 с.

10. Старков В. К. Физика и оптимизация резания материалов. М.: Машиностроение, 2009. 640 с. ISBN 978-5-94275-460-0.

**АВЕРКОВ Константин Васильевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

Адрес для переписки: averok@yandex.ru

**БУНЬКОВА Тамара Геннадьевна**, преподаватель кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

Адрес для переписки: bunkovatg@mail.ru

**БИСЕРИКАН Михаил Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

Адрес для переписки: RadenXG@mail.ru

**ПЕТРОЧЕНКО Сергей Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава».

Адрес для переписки: s.o.r.d.8477@gmail.com

#### Для цитирования

Аверков К. В., Бунькова Т. Г., Бисерикан М. И., Петроченко С. В. Оптимизация технологического процесса ремонта колесных пар // Омский научный вестник. 2018. № 1 (157). С. 19–22. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-157-19-22.

Статья поступила в редакцию 12.01.2018 г.

© К. В. Аверков, Т. Г. Бунькова, М. И. Бисерикан, С. В. Петроченко