



Влияние реализации скоростного грузового движения на тепловые нагрузки ЦКК при торможении



Андрей САВРУХИН
Andrey V. SAVRUKHIN

Алексей НЕКЛЮДОВ
Aleksei N. NEKLYUDOV



*Саврухин Андрей Викторович – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.
Неклюдов Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.*

Impact of High Speed Freight Traffic on Thermal Loading of Wrought Wheels at Braking

(текст статьи на англ.яз. –
English text of the article – p. 60)

Продолжая тему моделирования тепловых нагрузений цельнокатаных железнодорожных колёс (см. «МТ», 2014, № 5), авторы статьи на основе созданной с их участием методики расчета интенсивности выделения тепла в системе «колесо–тормозная колодка» уточняют особенности влияния высоких скоростей движения вагона по рельсам на значения максимальных температур на поверхности колёс в процессе торможения. Во внимание берутся весь комплекс механических характеристик, кинетика структур, условия для образования трещин, выкрашивания металла и прочих дефектов, создающих угрозу эксплуатации подвижного состава.

Ключевые слова: железная дорога, рельсовое полотно, подвижной состав, цельнокатаное колесо, тормозная колодка, высокие скорости движения, торможение, кинетика, тепловые нагрузки.

Системы торможения на современных грузовых вагонах действуют в своеобразном трибологическом треугольнике колодка–колесо–рельс: кинетическая энергия, накопленная вагоном в процессе движения, при торможении за счет трения преобразуется в тепло, которое распределяется между тормозной колодкой и колесом. Распределение тепла между колодкой и колесом зависит от типа тормозной колодки. Многочисленные исследования в предыдущие годы доказали, что в колесо выделяется до 60% тепла при использовании чугунных колодок и до 95% при композиционных. В процессе эксплуатации материал колеса подвергается тепловым воздействиям, интенсивность которых непосредственно зависит от режимов торможения и параметров движения подвижного состава. Многократно повторяющиеся нагрев и охлаждение цельнокатаных колес (ЦКК) оказывают существенное влияние на кинетику их напряженно-деформированного состояния (НДС).

Кинетика напряженно-деформированного состояния в эксплуатации определяется схемой и уровнем остаточных напряжений, сформировавшихся в процессе термообработки колеса при изготовлении, а также напря-

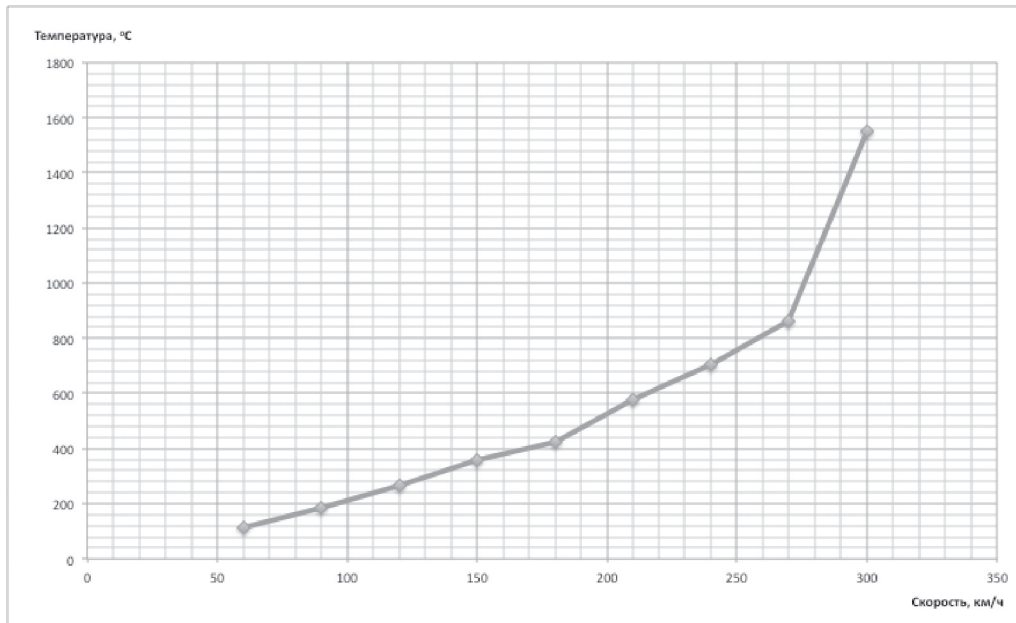


Рис. 1. Зависимость максимальной температуры нагрева обода колеса от скорости в момент окончания нагрева.

жениями и деформациями, связанными с механическими и тепловыми нагрузками. Уровень остаточных технологических напряжений в колесе, с которыми оно вступает в эксплуатацию, в ряде случаев является одним из основных показателей качества, надежности и долговечности. Сочетание напряженно-деформированного состояния с остаточными технологическими напряжениями при неблагоприятных условиях, например, пониженной температуре, наличии микродефекта или локальных отклонений в формировании микроструктуры, может привести к образованию трещин в диске или хрупкому излому колеса, что неоднократно подтверждалось результатами экспертиз.

Разработанные в МИИТ методы и программное обеспечение позволяют осуществлять компьютерное моделирование кинетики тепловых, деформационных и термомеханических процессов в нелинейной нестационарной постановке с учетом кинетики структурного состояния на каждом шаге решения, что дает возможность провести анализ текущего состояния элемента конструкции с использованием широкого спектра технологических и эксплуатационных нагрузений в течение всего жизненного цикла.

Как известно, внедрение скоростного грузового движения при реализации системы торможения приводит к увеличению уровня тепловых нагрузок на колесо.

В МИИТ проведены исследования, включающие анализ распределения температур по сечению обода колеса и оценку влияния скорости движения вагона в начале экстренного торможения на значение максимальной температуры на поверхности катания [1]. При моделировании учитывались параметры грузового вагона, а количество тепла, выделяемого при торможении, определялось в соответствии с методикой, изложенной в [2].

Результаты расчетов по определению максимальной температуры на поверхности катания колеса в диапазоне скоростей 60–300 км/ч представлены на рис. 1.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что при начальной скорости торможения 150 км/ч максимальная температура на поверхности катания колеса в момент окончания торможения составляет 380°C, при 250 км/ч — 702°C, 270 км/ч — 820°C, 300 км/ч — 1552°C. То есть уже при скоростях 150–200 км/ч максимальная температура на поверхности способствует снижению комплекса прочностных свойств в зоне нагрева в два и более раза [3].

На рис. 2–3 представлено распределение температур в сечении обода колеса в момент окончания торможения со скорости 270 км/ч и после его охлаждения.

Ситуация с распределением температур в момент окончания торможения говорит



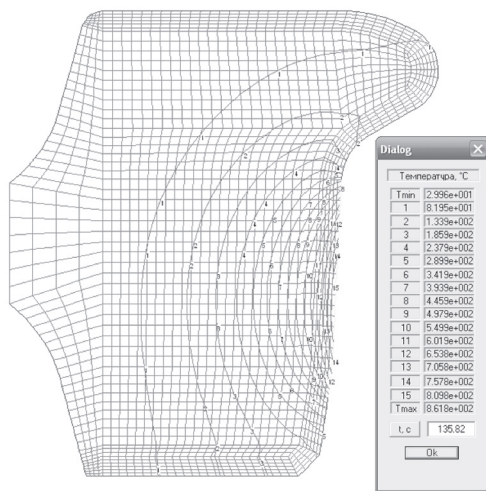


Рис. 2. Распределение температур в ободе колеса в момент окончания торможения со скорости 270 км/ч.

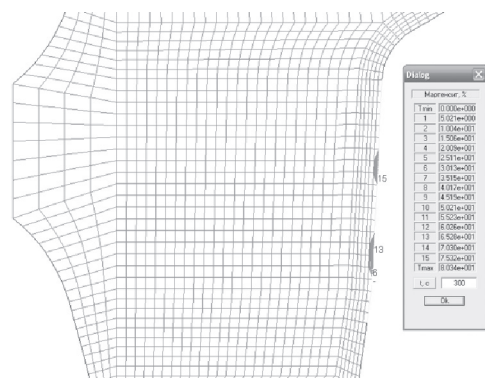


Рис. 4. Распределение мартенсита в ободе колеса после окончания торможения со скорости 270 км/ч и охлаждения.

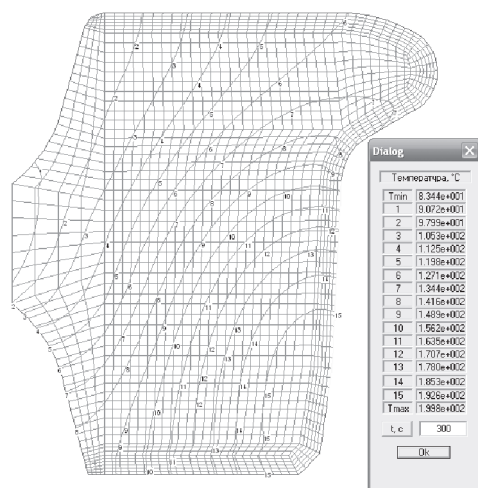


Рис. 3. Распределение температур в ободе колеса после окончания торможения со скорости 270 км/ч и охлаждения.

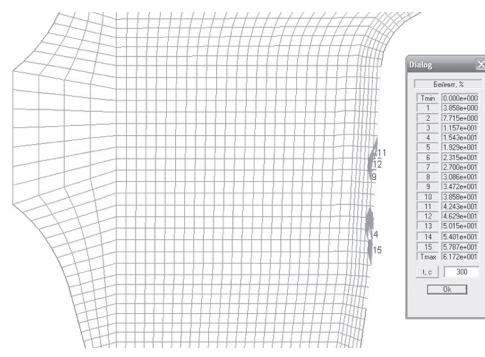


Рис. 5. Распределение бейнита в ободе колеса после окончания торможения со скорости 270 км/ч и охлаждения.

о высокой концентрации максимальных температур в приповерхностных слоях и значительном градиенте по сечению. Следует подчеркнуть, в тонком приповерхностном слое в момент окончания торможения отмечается аустенизация структуры металла на глубину до 2 мм, что является основанием для формирования закалочных структур после охлаждения.

Результаты анализа кинетики структуры материала колеса после охлаждения представлены на рис. 4–5.

Очевидно, что аустенизация структуры металла на этапе нагрева привела после охлаждения в отдельных областях поверхности катания к образованию мартенсита с концен-

трацией до 80% и бейнита с концентрацией до 62%. Образование подобных закалочных структур на практике в сочетании с динамическими нагружениями, связанными с прохождением вагоном рельсовых стыков и стрелочных переводов, приводит к появлению трещин и выкрашиванию металла, что многократно подтверждалось осмотрами ЦКК в эксплуатации.

На рис. 6–7 дается распределение температур в ободе колеса в момент окончания торможения со скорости 300 км/ч и после его охлаждения.

На рис. 8–9 показано распределение структурных составляющих мартенсита и бейнита в ободе колеса после его охлаждения. Как

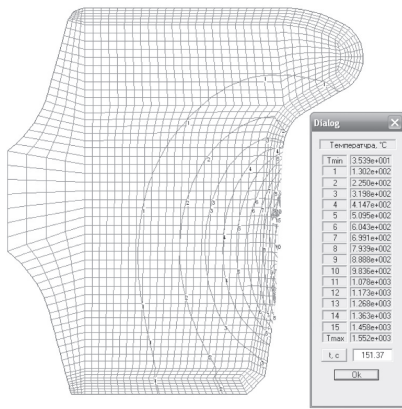


Рис. 6. Распределение температур в ободе колеса в момент окончания торможения со скорости 300 км/ч.

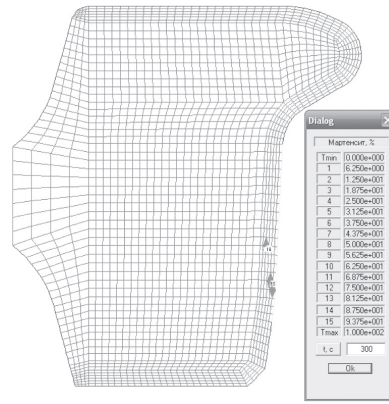


Рис. 8. Распределение мартенсита в ободе колеса после окончания торможения со скорости 300 км/ч и охлаждения.

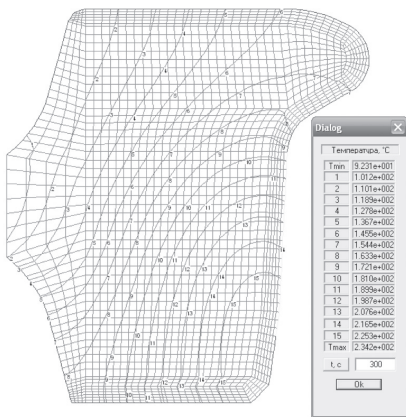


Рис. 7. Распределение температур в ободе колеса после окончания торможения со скорости 300 км/ч и охлаждения.

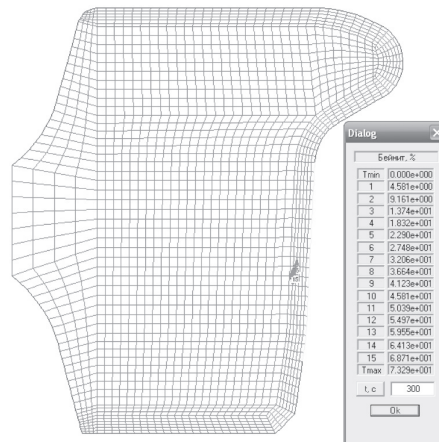


Рис. 9. Распределение бейнита в ободе колеса после окончания торможения со скорости 300 км/ч и охлаждения.

явствует из этих данных, на поверхности катания колеса в локальных зонах приповерхностного слоя образуется до 100% мартенсита и 73% бейнита, что в сочетании с динамическими нагружениями опять же приводит к появлению трещин и выкрашиванию металла колеса.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили теоретически обоснованные предположения, что повышение скоростей движения существенно влияет на значения максимальных температур на поверхности цельноката-

ного колеса в момент окончания торможения, комплекс механических характеристик, кинетику структур и создание условий для образования трещин и выкрашивания металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саврухин А. В., Неклюдов А. Н., Ефимов Р. А. Моделирование тепловых нагрузений цельнокатанных колёс // Мир транспорта. — 2014. — № 5. — С. 22–37.
2. Иноземцев В. Г., Казаринов В. М. Автоматические тормоза: Учебник. — М., 1981. — 464 с.
3. Цельнокатанные железнодорожные колёса. Изготовление, эксплуатация, восстановление, обеспечение надёжности / Под общ. ред. С. Н. Киселёва. — М.: Печать-Сервис-XXI век, 2009. — 265 с.

Координаты авторов: Саврухин А. В. – SAV_AV@mail.ru, Неклюдов А. Н. – alexis-skin@mail.ru. Статья поступила в редакцию 31.10.2014, принята к публикации 17.01.2015.

Статья подготовлена на основе материалов, представленных авторами на Международной научно-практической конференции «Конструкция, динамика и прочность подвижного состава», посвященной 75-летию со дня рождения В. Д. Хусидова (МИИТ, 20–21 марта 2014 года).

