

УДК 629.71.5:620.17.8.3.

СТРУКТУРЫ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ САМОСВАЛОВ М-200 (США), ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

© 2015 Л.В. Москвитина, С.Г. Москвитин

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН,
г. Якутск

Поступила в редакцию 20.03.2015

В зимний период в угольном карьере Якутии систематически происходят разрушения ходовых частей, деталей рам большегрузных самосвалов. Исследованием структур деформации и изломов выявлены механизмы накопления поврежденности усталостного типа и однократных разрушений в зимнее время. Впервые зафиксированы при эксплуатационном разрушении структурные формы усталостной деформации металла на микроуровне. Даны рекомендации по регламенту профилактических осмотров деталей ходовых частей, рам, самосвалов работающих при низких температурах.

Ключевые слова: *обод, колесо, вентильное отверстие, знакопеременные нагрузки, усталость, структура, пластическая деформация, разрушение*

Зона Севера занимает более половины территории Российской Федерации. Здесь сосредоточены богатейшие запасы природных ресурсов, имеющих важное значение для экономики страны. Сложные климатические условия, специфичность способов добычи, транспортирования обуславливают необходимость особого подхода при выборе и формировании парка машин и его технического обслуживания. Результаты многочисленных исследований эффективности использования техники на Севере [1] показывают следующие показатели работоспособности: поток отказов ряда деталей, узлов машин и металлоконструкций увеличивается в 2-3 раза, фактический срок службы сокращается в 2-3 раза. Так, при карьерной добыче алмазов на трубке Удачная по данным Удачинской АТП наблюдались поломки поперечины №3 из стали 40Х большегрузных самосвалов Белаз-549. Первые поломки регистрировались после пробега 19000-20000 км. Очагом разрушения служили усталостные трещины, зародившиеся на границе основного металла и зоны термического влияния (ЗТВ) сварки. По данным ОАО «Якутуголь» в

зимнее время наблюдались систематические поломки ходовых частей и деталей рам большегрузных самосвалов М-200 (США). После пробега 5000 км и температуре воздуха -40°C и ниже начинали появляться трещины следующих деталей рамы из стали С 70/60: 1 – по ЗТВ сварки крепления кронштейнов к лонжеронам и соединения их поперечными балками; 2 – по ЗТВ сварки стойки подрамника; 3 – трещины главной рамы в месте крепления передних и задних подвесок, 4 – трещины поперечин №1, 2, 3 по ЗТВ сварки. Анализ эксплуатационных разрушений показал однотипный характер разрушений: появление усталостных трещин в зоне концентраторов напряжений, расположенных в ЗТВ сварки и однократное разрушение при низких температурах воздуха. Наиболее систематический характер имеют поломки ободьев колес, самосвала М-200 (США), которые фиксируются после пробега 15000-20000 км.

Знание процессов деформирования металла ходовых частей большегрузных самосвалов на микроуровне позволит целенаправленно разрабатывать состав стали, подбирать условия термообработки, правильно анализировать состояние детали при профилактических осмотрах.

Цель работы: изучение механизмов усталостного разрушения ходовых частей большегрузных самосвалов, работающих в условиях Севера, путем анализа структурных форм деформации и разрушения на разных уровнях увеличения.

Москвитина Людмила Викторовна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела физикохимии новых материалов и технологий. E-mail: Horo48@yandex.ru;

Москвитин Степан Григорьевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник отдела физикохимии новых материалов и технологий. E-mail: smoskvit@yandex.ru

Материалы и методика исследований.

Обод колеса 150-тонного самосвала М-200 состоит из двух частей, соединенных сваркой – цилиндрической и конусной. Они изготовлены из стали с ферритно-перлитной структурой следующего химического состава: С – 0,11%; Мп – 0,38%; Si – 0,06%; Sr, Ni – 0,30%. Твердость по Бринеллю 136 кг/мм². Механические свойства металла обода при температуре испытания + 20⁰ С составляла: $\sigma_{0,2}$ =141 МПа, σ_b =350 МПа, δ =35,62%, ψ =60,66%.

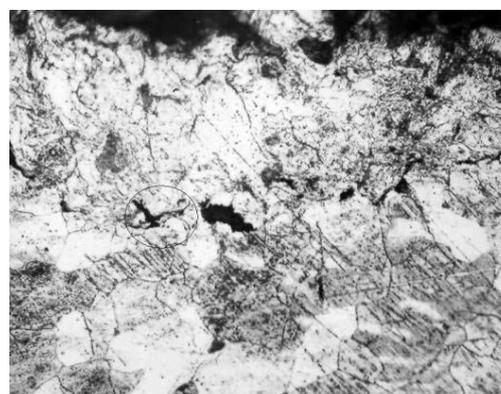
В сочленении цилиндрической и конусной частей обода колеса просверлено отверстие для вентиля резиновой камеры, обозначаемое как вентиляльное отверстие. Для изучения деформационных структур вырезались шлифы по профилю излома, по зонам первичной поврежденности и другим зонам разрушения, выделяемым по макроскопическим признакам. Электронно-микроскопические снимки микроструктур и изломов получены методом двухступенчатых целлулоидно-угольных реплик на просвечивающем микроскопе ПРЭМ-200. Подготовленные шлифы подвергали специальному травлению для выявления структур пластической деформации на разных уровнях увеличения.

Результаты исследования и обсуждение.

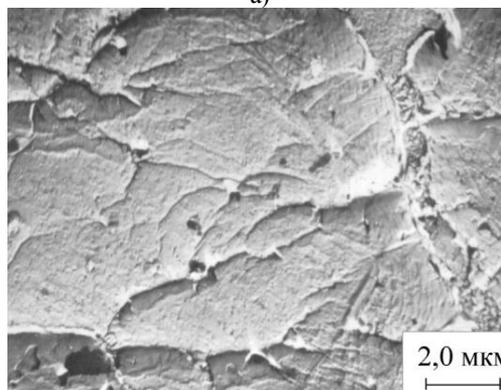
Структуры деформации и разрушения в инкубационном периоде усталости. Рассматриваемый случай разрушения обода произошел при выезде груженого самосвала из карьера при температуре воздуха -40⁰С. Обод колеса груженого самосвала подвергается знакопеременному нагружению высоких степеней интенсивности, поэтому процессы деформации в нем можно отнести к сильновозбужденным системам. Макроскопический осмотр обода колеса показал, что очагом разрушения явилось устье вентиляльного отверстия. Вентиляльное отверстие является концентратором напряжения. По окружности приустьевой части обнаружены небольшие каверны и инициированные ими радиальные трещины. Образование каверн проходило в течение длительного времени и делится на разные стадии развития. Для изучения первичной поврежденности рассмотрена пластическая зона под неглубокой каверной (рис. 1а).

Электронно-микроскопическое изображение отмеченной области показывает гетерогенное распределение деформаций между отдельными зернами. Сильно деформированные зерна по краю пластической зоны покрыты тонкими линиями внутриверных сдвигов. Приграничные зерна наклонены в сторону менее деформированных зерен и разделены сдвиговыми полосами на отдельные разориентированные фрагменты. В центре картины крупное зерно феррита,

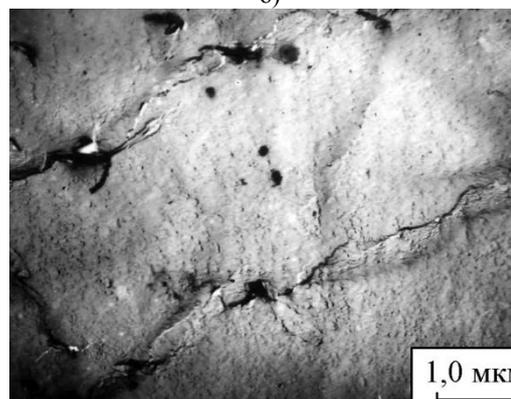
поверхность которого разбита на фрагменты, контуры истинных границ размыты. Стрелкой показано направление наклона зерна. Границы слабдеформированных выпуклые (рис. 1б). Выпуклость границ зерен обусловлена зернограничной миграцией (рис. 1в). Миграция границ присуща к ранним стадиям пластического деформирования [2]. Это указывает на большой градиент деформации между центральными и приграничными зернами пластической зоны. В работе [3] показано, что подобная неоднородность деформаций приводит к реализации больших эффектов экструзии-интрузии в приграничных активных зернах, реализуется движение зерен как целого путем их сдвигов по границам и поворотов макробъемов кристалла. По характерным признакам можно утверждать, что повороты зерен, так и их макробъемов, имеют место в металле устья вентиляльного отверстия.



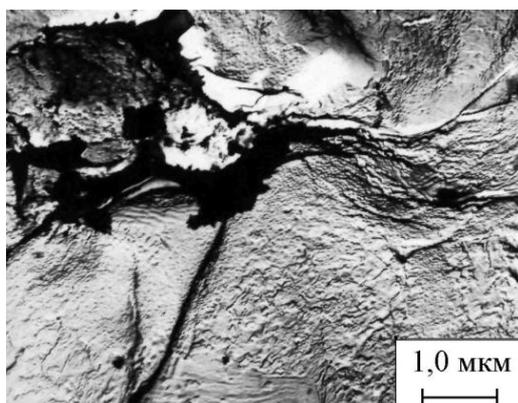
а)



б)



в)



г)

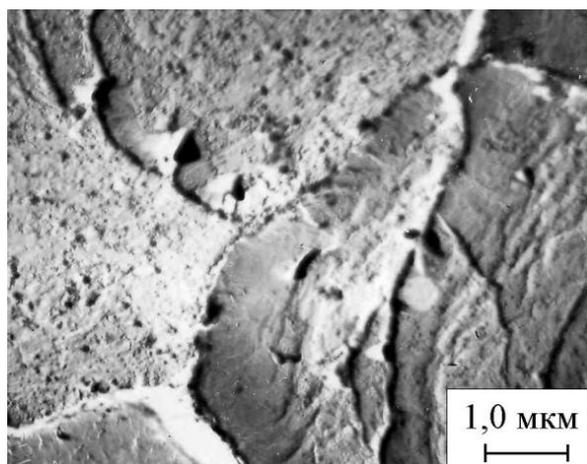
Рис. 1. Структуры деформации в инкубационном периоде:

а) пластическая зона под каверной, (оптическая микроскопия, х 156); б) структура деформаций в пластической зоне под каверной (ПЭМ); в) перемещение границ зерен (ПЭМ); г) поверхность каверны (ПЭМ)

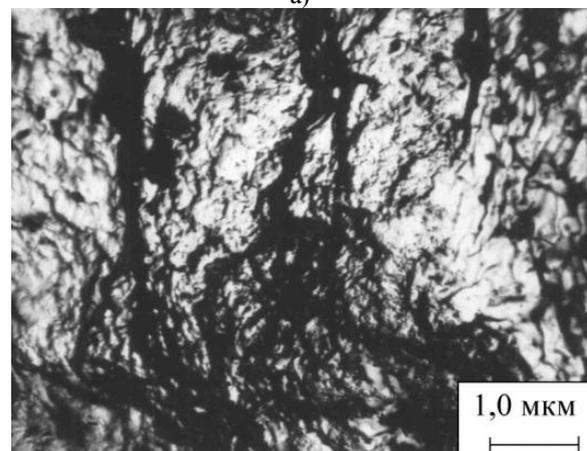
При ротационных процессах вытянутые вдоль деформированных ферритных зерен перлитные зерна дробятся и постепенно выкрашиваясь, образуют крупные поры. Наличие сегрегаций вызывает образование зернограничных микротрещин. В зимнее время подрастание каверн, по всей вероятности, происходит за счет выкрашивания передробленного перлита, подрастания и слияния зернограничных микротрещин. Поверхность разрушения в кавернах межзеренная (рис. 1г). Микрофрактограмма показывает, что раскрытие межзеренных трещин происходило путем экструзии-интрузии по границам зерен. Появление и углубление каверн в зоне концентратора произошли в результате самоорганизации деформационных структур от миграции границ зерен до фрагментации и поворотов сильнодеформированных ферритных зерен низкоуглеродистой стали обода. Известно, что целенаправленным легированием можно добиться снижения ротационных процессов и тем самым повысить циклическую долговечность объекта [2]. Немаловажное значение имеет величина зерна и однородность микромеханических свойств. В данном случае вентиляное отверстие расположено в зоне старения ЗТВ сварки, которое усилило гетерогенность микромеханических свойств металла обода. Рекомендуется внимательно следить за тем, чтобы в сварных конструкциях концентраторы напряжений были расположены вне зоны термического влияния сварки.

Структуры деформации и разрушения в усталостной зоне. Электронно-микроскопическое исследование микроструктуры гладкой усталостной зоны показало изменение структур деформации. В начале усталостной трещины в теле деформированных зерен появляются

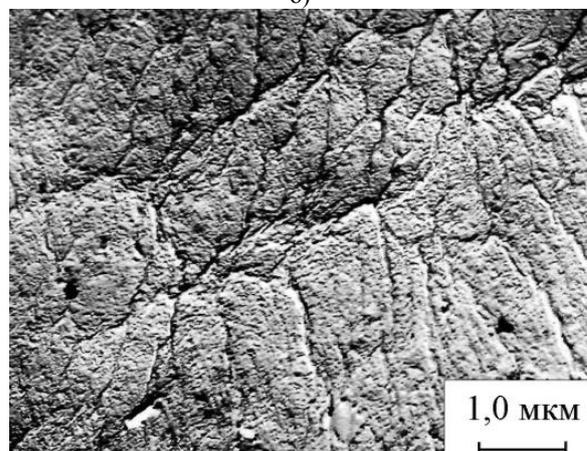
более рельефные и переплетенные полосы скольжения, по которым наблюдается экструзия металла (рис. 2а). Излом по таким структурам состоит из чередования квазифасеток и ветвящихся усталостных бороздок (рис. 2б). В зоне стабильного роста трещины, в ослабленных зернах формируется разориентированная ячеистая структура, стенки которой представлены сплетенной системой дислокаций (рис. 2в). Усталостное разрушение по ячеистой структуре происходит расщеплением по плоскостям скольжения с редкими остановками трещины с образованием прерывистых усталостных бороздок (рис. 2г).



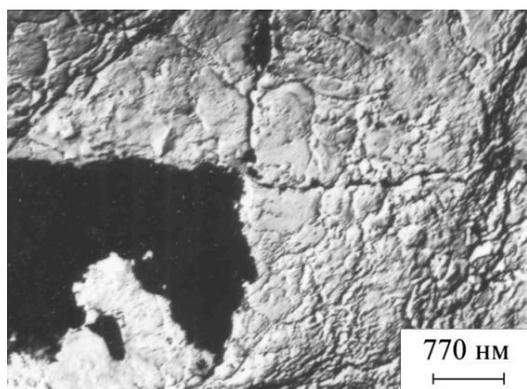
а)



б)



в)



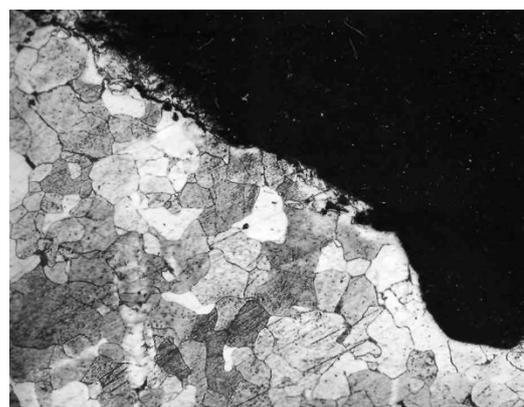
г)

Рис. 2. Структуры деформации и разрушения в зоне стабильного роста усталостной трещины (ПЭМ):

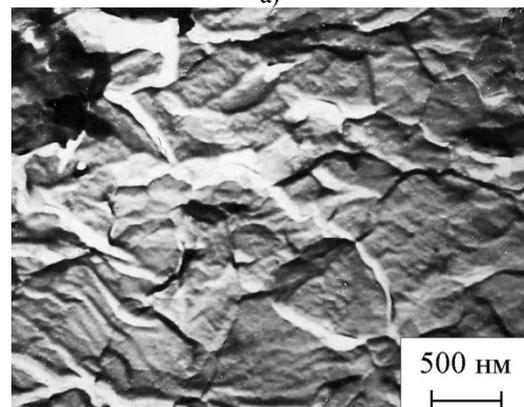
а) полосовые структуры в деформированном зерне; б) поверхность разрушения по полосовым структурам; в) ячеистая структура в деформированных зернах; г) поверхность разрушения по ячеистой структуре

По мере углубления от поверхности вентиляльного отверстия в металл зернограницное проскальзывание сменяется внутризерненным. Излом преимущественно внутризеренный. По классификации, приведенной в работе [3], ячеистая структура относится к неразориентированным субструктурам дислокационного типа. Полосовая структура относится к разориентированным дислокационно-дисклинационным образованиям. Судя по распространенности только в середине зерен и отсутствию их в стыках зерен [4], можно предположить о низкотемпературном характере деформаций в усталостной зоне. Продвижение трещины расщеплением по полосовым и ячеистым структурам, прерывистость усталостных бороздок указывает на малоцикловый характер разрушения под действием высокой интенсивности знакопеременного нагружения.

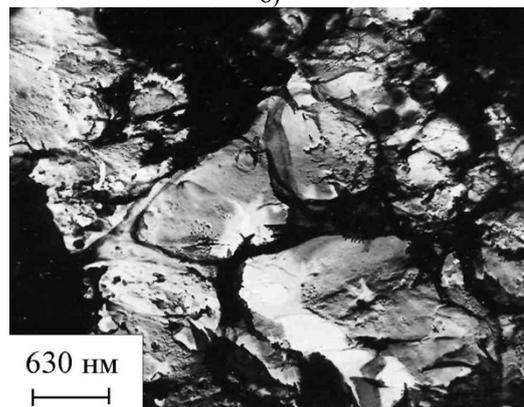
Ускоренное развитие трещины. Макроскопическое строение излома показывает, что самосвал М-200 прекратил движение только после окончательного катастрофического разрушения обода. Это означает, что ускоренное развитие трещины проходило при температуре -40°C под влиянием знакопеременных напряжений высокой интенсивности. При оптическом увеличении видно, что при ускоренном развитии трещины пластическая деформация образует конгломераты деформированных зерен (рис. 3а). Трещина прошла по границе конгломератов путем отрыва и проскальзывания по плоскостям скольжения. На электронно-микроскопических снимках микроструктуры металла данной зоны отчетливо выявляется разворот субзерен относительно друг друга, и по их границам появляются микротрещины (рис. 3б). Первичные субзерна делятся на множество мелких субзерен, которые также разориентированы относительно друг друга.



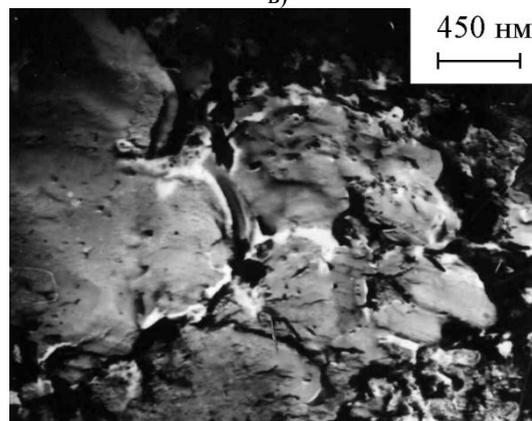
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Структуры деформации и разрушения в зоне ускоренного развития трещины: а) микроструктура профиля излома (оптическая микроскопия, $\times 100$); б) фрагментация в деформированном зерне (ПЭМ); в) межзеренные фасетки по первичным субзернам (ПЭМ); г) фасетки расщепления по полосовым структурам (ПЭМ)

На некоторых первичных субзернах видны полосовые структуры деформации. По границам первичных субзерен и полосовых структур наблюдаются микротрещины. На микрофрактограммах излом зоны ускоренного развития трещины состоит из мелких рельефных фасеток, соразмерных с размерами первичных субзерен, межзеренных фасеток и плоских квазифасеток расщепления по полосовым структурам. (рис.3 в, г).

Впервые на эксплуатационном разрушении показаны формы фрагментации на разных структурных уровнях, начиная от наноразмерных блоков, первичных субзерен, отдельных зерен и конгломератов зерен. Все они были вовлечены в ротационный процесс деформации, что привело к ускоренному развитию магистральной трещины, переходящее в предлавиное разрушение и долом. Общепринято [2, 4, 5], что ротационные процессы на всех структурных уровнях являются характерными для высокотемпературной деформации. В данном случае, некристаллографические повороты произошли при температуре -40°C . Разрушение металла на всех структурных уровнях, возможно, является особенностью низкотемпературного ротационного процесса при высоких знакопеременных напряжениях.

Выводы:

1. Интенсивные знакопеременные нагрузки в сочетании с динамическими ударами при низких температурах обусловили в ободе колеса резкую смену структурных уровней деформации в стали, таких как перемещение границ зерен, ячеистая и фрагментированные субзеренные структуры.

2. Появление в элементах-концентраторах напряжений (вентильные отверстия в ободе колеса автомобилей) четко очерченных вмятин или небольших каверн происходит под влиянием знакопеременных напряжений, которые сопровождаются некристаллографическими поворотами.

3. Особенностью низкотемпературного разрушения металла обода в стадии ускоренного развития трещины являются некристаллографические повороты на всех структурных уровнях, включая макроскопический поворот конгломератов зерен.

4. Задача разработчиков ободов большегрузных самосвалов: подобрать состав стали с системой легирования, которая могла бы тормозить ротационные процессы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кузьмин, В.Р. Прогнозирование хладостойкости конструкций и работоспособности техники на Севере / В.Р. Кузьмин, А.М. Ишков. – М.: Машиностроение, 1996. 303 с.
2. Елсукова, Т.Ф. Структурные уровни деформации и разрушения поликристаллов при разных видах нагружения / Т.Ф. Елсукова, К.П. Жукова, О.В. Веселова и др. // Известия ВУЗ-ов. Физика. 1990. № 2. С. 69-88.
3. Конева, Н.А. Физическая природа стадийности пластической деформации / Н.А. Конева, Э.В. Козлов // Известия ВУЗ-ов. Физика. 1990. № 2. С. 89-104
4. Панин, В.Е. Структурные уровни пластической деформации и разрушения. – Новосибирск: Наука, 1990. 251 с.
5. Панин, В.Е. Механизмы деформации и массоперенос в сильнонеравновесных поликристаллах при знакопеременном изгибе / В.Е. Панин, Т.Ф. Елсукова, В.Е. Егорушкин и др. // Деформация и разрушение материалов. 2009. №6. С. 2-12.

STRUCTURES OF DEFORMATION AND DESTRUCTION OF HEAVY-LOAD M-200 DUMP TRUCKS (USA) RUNNING GEARS WHICH ARE OPERATED IN THE CONDITIONS OF LOW TEMPERATURES

© 2015 L.V. Moskvitina, S.G. Moskvitin

Institute of Physical and Technological Problems of the North named after V.P. Larionov
SB RAS, Yakutsk

During the winter period in Yakutia coal opencast systematically there are destructions of running gears, details of frames of heavy-load dump trucks. By research the deformation structures and breaks it was revealed mechanisms of accumulation the damage of fatigue type and single destructions in winter time. For the first time it was recorded at operational destruction structural forms of fatigue deformation of metal at the microlevel. Recommendations about regulations the routine inspections of details of the running gears, frames of dump trucks working at low temperatures are made.

Key words: rim, wheel, valve opening, sign-variable loadings, fatigue, structure, plastic deformation, destruction

Lyudmila Moskvitina, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow at the Department of Physical Chemistry of New Materials and Technologies. E-mail: Horo48@yandex.ru; Stepan Moskvitin, Candidate of Geography and Mineralogy, Senior Research Fellow at the Department of Physical Chemistry of New Materials and Technologies. E-mail: smoskvit@yandex.ru