

Ilmukhin R.R., leading design engineer, KAMAZ PTC.

ON THE ISSUE OF FUNCTIONAL SAFETY OF VEHICLES

Abstract: Electric buses are a promising and environmentally friendly type of public transport that is being actively implemented in different countries of the world. This study is devoted to the problems of bringing electric buses to the market, the need to evaluate the functions of automatic protection. A functional safety assessment plan has been developed for the launch of an electric vehicle on the market.

Keywords: functional safety, electric bus, risks, GOST R ISO 262.

УДК 621.9.019

Панфилов Э.В., зав. кафедрой «Материалы, технологии и качество» кандидат технических наук, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

Сафаров Д.Т., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

Швейёва Т.В., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ИМПОРТЗАМЕЩЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Аннотация: Исследовано состояние микроструктуры различных сталей в процессе эксплуатации деталей машин. Проведен химический анализ исследуемых образцов, выявлен размер зерна, определена твердость поверхности деталей. По результатам исследований аналог имеет намного ниже показатели надежности, чем оригинал, что и говорит о его преимуществе.

Ключевые слова: детали машин, микроструктура, безуглеродистый слой, износ, импортзамещение

В настоящее время успехи металловедения, открывающие возможности исследования физического состояния и свойств слоев металла, изменяющихся в процессе изготовления и изнашивания деталей машин, обеспечили получение исключительно важных экспериментальных данных. Существование различных видов износа подтверждается практикой эксплуатации и изнашивания деталей

машин. Эти различия наблюдаются в темпах и внешних признаках износа деталей, работающих в разных условиях и т.п.[1].

Любая работающая деталь может иметь несколько видов износа; это объясняется прежде всего тем, что поверхности трения в пределах одной детали нагружены неравномерно. Вполне определенный и отчетливо выраженный вид износа лимитирует износостойкость всей детали и определяет характер и темп износа. Классификация видов и стадий развития износа деталей машин охватывает виды трения и износа подавляющего большинства деталей современных машин.

Номенклатура и количество машин и механизмов, ежегодно выпускаемых промышленностью, непрерывно увеличивается. Одним из основных качеств машины являются прочность, надежность и долговечность работы ее основных деталей. Повышение точности изготовления, прочности и износостойкости деталей и, следовательно, машин сопряжено с решением ряда сложных технических проблем. Прогресс науки и техники значительно расширил возможности дальнейшего повышения долговечности машин.

Стали, поставляемые металлургической промышленностью машиностроительным заводам, обычно находятся в отожженном состоянии. Если структурное состояние и механические свойства сталей в состоянии поставки не удовлетворяют требованиям изготовления из них качественных деталей, то эти стали подвергаются промежуточной термообработке с целью улучшить их структурное состояние и механические свойства. После промежуточной термообработки твердость и предел прочности улучшенной конструкционной стали возрастают в среднем на 40% по сравнению с аналогичными параметрами в состоянии поставки. Благодаря промежуточной термообработке существенно повышается качество обработанных поверхностей на деталях. В связи с изменением механических свойств использование термической обработки приводит к изменению обрабатываемости резанием одной и той же марки конструкционной стали.

Исследование микроструктуры на оптическом микроскопе позволяет определить фазовый состав сплава, размер и форму зерен, выявить наличие

пережога, обезуглероживание поверхности в стальных изделиях, вид и распределение неметаллических включений, микротрещин и т. д.

Исследование образцов, изготовленных из деталей – скобы сельхозоборудования проводили в лабораторных условиях (рис.1, рис. 2). Химический состав используемых сталей приведен в таблице. Выявлено, что состав стали согласно ГОСТ 1050-2013 соответствовал стали 35Г2 на детали оригинал и стали 35 на детали – аналоге.

Таблица 1 - Химический состав материала деталей

№	Наименование химического элемента	Содержание элемента, мас. % Деталь №1 оригинал	Содержание элемента, мас. % Деталь №2 аналог
1.	Углерод (C)	0,354	0,347
2.	Кремний (Si)	0,301	0,249
3.	Марганец (Mn)	1,3677	0,518
4.	Хром (Cr)	0,132	0,044
5.	Никель (Ni)	0,0994	0,022
6.	Молибден (Mo)	0,043	0,014
7.	Ванадий (V)	0,025	0,06
8.	Медь (Cu)	0,222	0,20
9.	Титан (Ti)	0,003	0,003
10.	Магний (Mg)	0,001	0,001
11.	Алюминий (Al)	0,006	0,024
12.	Мышьяк (As)	0,003	0,001
13.	Бор (B)	0,001	0,001
14.	Кобальт (Co)	0,006	0,004
15.	Ниобий (Nb)	0,005	0,005
16.	Свинец (Pb)	0,006	0,012
17.	Вольфрам (W)	0,002	0,002
18.	Сера (S)	0,016	0,002
19.	Фосфор (P)	0,013	0,014
20.	Железо (Fe)	остальное	остальное

Исследование микроструктуры проводилось на микроскопе OLYMPUS GX53 при увеличениях $\times 100$, $\times 500$, $\times 1000$ на продольном и поперечном микрошлифах (рис. 1). Установлено, что загрязненность металла неметаллическими включениями соответствует 1 баллу по сульфидам. Известно, что в сплавах на основе железа объемная доля сульфидных включений равна или больше объемной доли оксидов.



Рис. 1 Неметаллические включения в плоскости микрошлифа, $\times 100$

Дефекты (неметаллические включения) - примеси, не растворимые в расплавленном металле и присутствующие в нем в виде посторонних включений относительно небольшого размера. Неметаллические включения бывают экзогенными, т.е. попадающие в металл извне (частицы шлака, огнеупора, графита, песка и т.д.) и эндогенными, т.е. образующиеся внутри металла при его раскислении в процессе плавки и окислении при разливке (оксиды, сульфиды, нитриды). Неметаллические включения могут быть хрупкими, разрушающиеся при деформации и располагающиеся в виде строчек – оксиды или пластичными, принимающие при деформации металла нитевидную форму – сульфиды.

С помощью электронного микроскопа, дающего увеличение до 1,0 млн раз, расширяются сведения об особенностях тонкой структуры, данные о дислокационной структуре сталей и сплавов, дисперсных структурах, характере вязкого или хрупкого излома и т. д. Электронная микроскопия позволяет определять параметры кристаллической решетки (размеры элементарной ячейки) и внутренние

напряжения в исследуемых образцах. Подобные результаты исследований могут быть получены и методом рентгеноструктурного анализа.

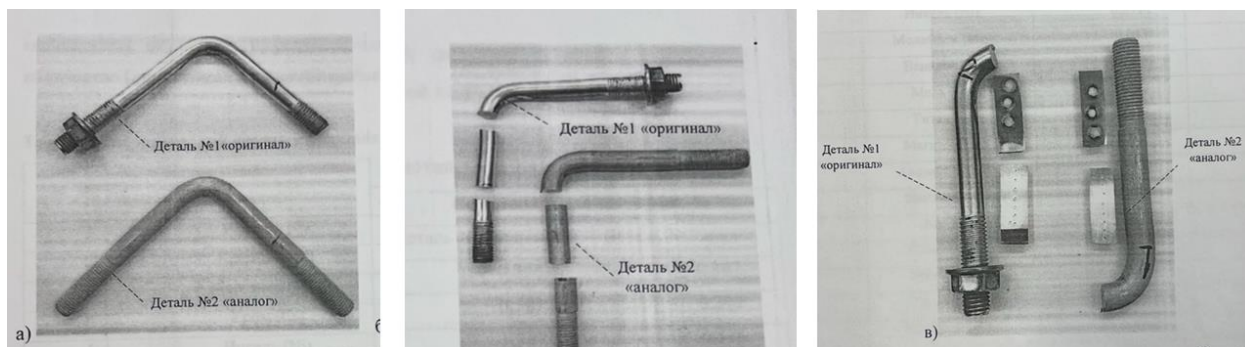


Рис. 2 Детали №5304005, шпилька: а) исходное состояние, б) после резки, в) после определение химического состава и твердости

Результаты исследования показали, что деталь «оригинал» изготовлена из стали 35Г2 (ГОСТ 1050-2013), а деталь «аналог» из стали 35 (ГОСТ 1050-2013). Определение твердости выполнено в продольном сечении центральной части образцов и установлено, что деталь оригинал имеет твердость 263-269НВ, а аналог 144-155НВ. Контроль твердости проводился по методу Бринелля с использованием нагрузки 187,5 кг и стального шарика с $\varnothing 2,5$ мм.

Основная микроструктура стали в деталях «феррит + перлит», перлит имеет мелкозернистое строение (рис. 3, рис. 4), наличие обезуглероженного слоя не выявлено.

Деталь – оригинал изготовлена из термически улучшенной стали, а деталь – аналог из отожженной стали.

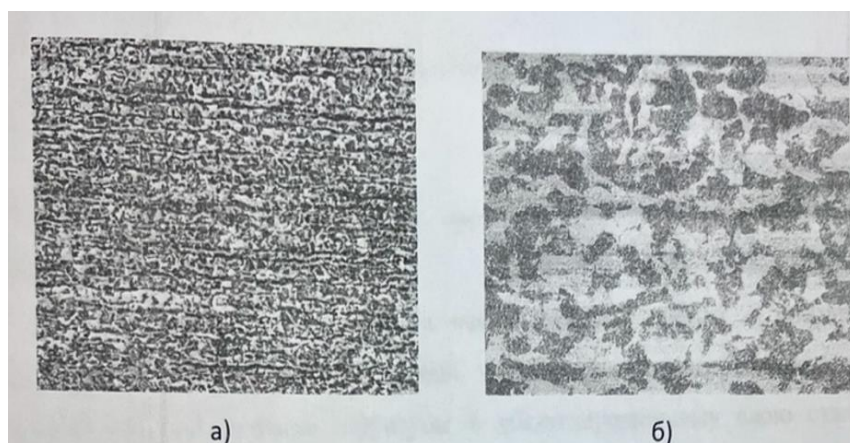


Рис. 3 Микроструктура детали аналог при увеличении а)х100 б)х500

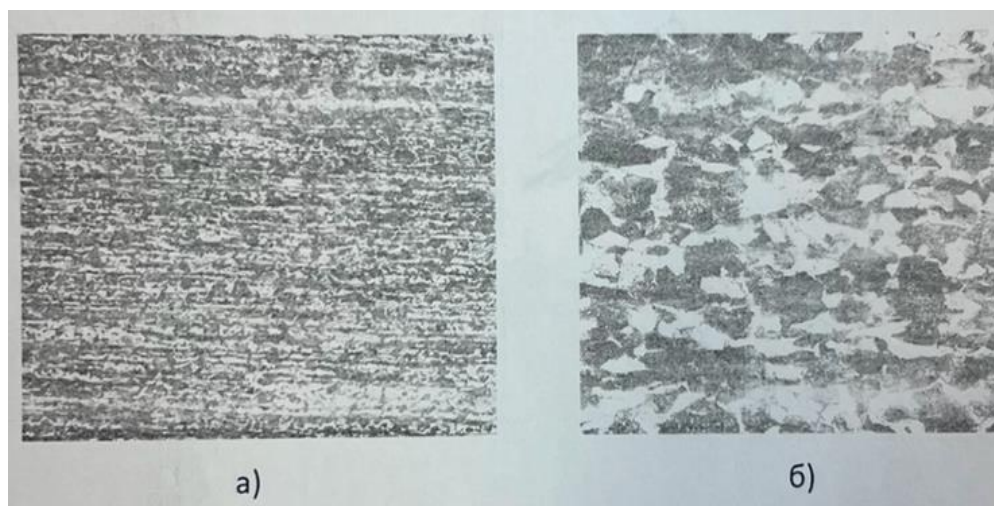


Рис. 4 Микроструктура детали оригинал при увеличении а)х100 б) х500

Вывод

1. Состав и качество использованных сталей для изготовления деталей соответствуют требованиям НТД.
2. Выявлено, что твердость у детали (оригинал) выше, чем у аналога ~ на 120НВ, и бесспорно будет выдерживать большие нагрузки в эксплуатации.
3. Рекомендовано для детали аналога использовать прокат после термической обработки или детали подвергать термическому улучшению (закалка с 880°С в воде и отпуск при 600°С) для получения твердости в пределах 250-285НВ.

Список использованных источников

1. Зубарев Ю. М. Технологическое обеспечение надежности эксплуатации машин: учебное пособие / Ю. М. Зубарев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. -320с.— ISBN 978-5-8114-2100-8.

2. Зубарев, Ю. М. Специальные методы обработки заготовок в машиностроении: учебное пособие / Ю. М. Зубарев. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. -400с. — ISBN 978-5-8114-1856-5.

3. Астащенко В.И. Формирование микроструктуры в неоднородно-деформированных сечениях стальных изделий при термической обработке/ В.И. Астащенко, Т.В. Швейова, Н.Н. Запандова, О.К. Абдуллина, Е.А. Запандова// Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева-2017, т.23, №4-С. 37-44.

4. [Использование современных высокопрочных сталей с покрытием в автомобилестроении](#)/Бодя Р., Мейер М., Шауманн Т.В., Вернеке В.//[Черные металлы](#). 2005. [№ 1](#). С. 18-24.

5. Гетьман, А. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов : учебник для вузов / А. А. Гетьман. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2025. — ISBN 978-5-507-50509-8.

Panfilov E.V. candidate of technic Sciences, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

Safarov D.T. candidate of technic Sciences, assistant professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

Shveyova T.V. candidate of technic Sciences, assistant professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

ENSURING RELIABILITY IN THE OPERATION OF IMPORTED MACHINE PARTS

Abstract: The state of the microstructure of various steels during the operation of machine parts is investigated. A chemical analysis of the studied samples was carried out, the grain size was revealed, and the hardness of the surface of the parts was determined. According to the research results, the analog has much lower performance than the original, which indicates its significant wear.

Key words: machine parts, microstructure, decarbonized layer, wear, import substitution