

УДК 691.714

УСТАЛОСТНЫЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ, МИКРОЛЕГИРОВАННОЙ КОМПЛЕКСОМ Al – Ti – N

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, *д. т. н., проф.*,
УЗЛОВ О. В.^{2*}, *к. т. н., доц.*,
ДРОЖЕВСКАЯ А. В.³, *ассист.*
КУЛИК В. В.⁴, *к. т. н., асист.*

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: oleg.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576

^{3*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: anna.drozhevskaya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X

⁴ Кафедра прикладного материаловедения и обработки материалов, Национальный университет “Львовская политехника”, ул. Устияновича, 5, Львов, 79013, Украина, тел. +38 (032) 258-25-13, e-mail: kulykvolodymyrvolodymyrovych@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5999-3551

Аннотация. *Постановка проблемы.* Определить предел выносливости сталей, микролегированных комплексом Al – Ti – N, и базовой вагоностроительной стали 09Г2Д путем проведения усталостных испытаний. Оценить уровень усталостных характеристик в зависимости от структурного состояния исследуемых сталей. *Методика.* Усталостные испытания проводились согласно ГОСТ 25.502-79 «Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость». Основной показатель усталости исследуемых сталей, определяемый во время испытаний, – предел выносливости σ_{-1} . Испытания проводились при знакопеременном симметричном нагружении с помощью испытательной машины УБМ. Тип нагрузки во время испытаний – изгиб при вращении. На основании полученных результатов были построены диаграммы усталости исследуемых сталей. *Результаты.* Определен показатель предела выносливости исследуемых сталей, микролегированных алюминием, титаном и азотом в термоупрочненном и горячекатаном состояниях по сравнению с базовой вагоностроительной сталью 09Г2Д в горячекатаном состоянии. *Научная новизна.* Установлено, что сталь, микролегированная алюминием, титаном и азотом, имеет уровень предела выносливости, соответствующий требованиям к материалам для вагоностроения. *Практическая значимость.* На сегодняшний день на рынке Украины возникла потребность в недорогом высокопрочном прокате ($\sigma_{-1} \geq 420$ МПа), в частности, для потребностей вагоностроения. Без применения новых высокопрочных материалов для деталей вагонов удовлетворить эти требования невозможно. Одним из таких перспективных материалов, на наш взгляд, являются высокопрочные стали типа 20АТЮ. Прочностные и пластические свойства данных сталей были изучены ранее и соответствуют уровню свойств вагоностроительных сталей. Однако усталостные свойства сталей типа 20АТЮ ранее не изучались, поэтому проведение испытаний на определение предела выносливости весьма актуально.

Ключевые слова: предел выносливости; усталостные свойства; высокопрочные стали, микролегированные алюминием, титаном и азотом; симметричное знакопеременное нагружение; диаграмма усталости; испытательная машина УБМ

ВТОМНІ ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОМЦНОЇ СТАЛІ, МІКРОЛЕГОВАНОЇ КОМПЛЕКСОМ Al – Ti – N

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, *д. т. н., проф.*,
УЗЛОВ О. В.^{2*}, *к. т. н., доц.*,
ДРОЖЕВСЬКА Г. В.³, *асист.*
КУЛИК В. В.⁴, *к. т. н., асист.*

¹Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: oleg.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576

³ Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: anna.drozhevskaya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X

⁴ Кафедра прикладного матеріалознавства та обробки матеріалів, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. Устияновича, 5, Львів, 79013, Україна, тел. +38 (032) 258-25-13, e-mail: kulykvolodymyrvolodymyrovych@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5999-3551

Анотація. Постановка проблеми. Визначити межу витривалості сталей, мікролегованих комплексом Al – Ti – N, та базової вагонобудівної сталі 09Г2Д шляхом проведення випробувань на втомлюваність. Оцінити рівень втомних характеристик залежно від структурного стану досліджуваних сталей. **Методика.** Випробування на втомність проводились згідно з ГОСТ 25.502-79 «Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость». Показником втомлюваності досліджуваних сталей, що визначали під час випробувань, була межа витривалості σ_{-1} . Випробування проводилися за знакозмінного симетричного навантаження за допомогою випробувальної машини УБМ. Тип навантаження під час випробувань – вигин при обертанні. На підставі отриманих результатів побудовано діаграми втоми досліджуваних сталей. **Результати.** Визначено показник межі витривалості досліджуваних сталей, мікролегованих алюмінієм, титаном та азотом у термічнозміцненному та гарячекатаному станах порівняно з базовою вагонобудівною сталлю 09Г2Д в гарячекатаному стані. **Наукова новизна.** Встановлено, що сталь, легована алюмінієм, титаном та азотом, має рівень межі витривалості, що відповідає вимогам до матеріалів для вагонобудування. **Практична значимість.** Наразі на ринку України виникла потреба в недорогому високоміцному прокаті ($\sigma_T \geq 420$ МПа), зокрема, для потреб вагонобудування. Без застосування нових високоміцних матеріалів для деталей вагонів задовольнити ці вимоги неможливо. Одним із таких перспективних матеріалів, на наш погляд, є високоміцні сталі типу 20АТЮ. Міцнісні і пластичні властивості цих сталей були вивчені раніше і відповідають рівню властивостей вагонобудівних сталей. Проте втомні властивості сталей типу 20АТЮ раніше не вивчалися, тому проведення випробувань на визначення межі витривалості вельми актуальне.

Ключові слова: межа витривалості; втомні властивості; високоміцні сталі, мікролеговані алюмінієм, титаном та азотом; симетричне знакозмінне навантаження; діаграма втоми; випробувальна машина УБМ

FATIGUE PROPERTIES OF HIGH STRENGTH STEELS MICROALLOYED BY COMPLEX Al–Ti–N

BOL'SHAKOV V. I.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

UZLOV O.V.^{2*}, *Ph. D., Ass. Prof.*,

DROZHEVSKAYA H.V.³, *assistant*

KULYK V.V.⁴, *Ph. D., assistant*

¹ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskogo str., 24-a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskogo str., 24-a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: oleg.uzlov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1329-5576

³ Department of Materials Science, State Higher Educational Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskogo str., 24-a, Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-39-45, e-mail: anna.drozhevskaya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5781-285X

⁴ Department of Applied Materials Science and Materials Engineering, National University “Lviv'ska Politechnika”, Ustyianovych str., 5, Lviv, 79013, Ukraine, tel. +38 (032) 258-25-13, e-mail: kulykvolodymyrvolodymyrovych@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5999-3551

Abstract. Purpose of the study. To determine the endurance limit of steels, microalloyed by complex Al–Ti–N, and basic car-building steel 09Mn2Cu by carrying fatigue tests. To assess the level of fatigue characteristics, depending on the structural condition of the investigated steels. **Methodology.** Fatigue tests were carried out according to State Standard 25.502-79. The main fatigue value of investigated steels, determined during tests, endurance limit σ_{-1} . Tests were carried out with condition symmetrical alternating loading by a testing machine UBM. The type of load during the experiment is a rotating bending load. It were constructed fatigue graphs of investigated steels based on the obtained results. **Results.** It has been identified the endurance limit value investigated steels microalloyed by aluminum, titanium and nitrogen in thermostrengthening and hot-rolled conditions as compared to the base car-building 09Mn2Cu steel in hot-rolled condition. **Scientific novelty.** It was found that the steel, micro-alloyed by aluminum, titanium and nitrogen, has a level of endurance limit corresponding to the requirements of materials for car building. **Practical significance.** Today there was a demand for low-cost high-strength rolled steel in Ukraine ($\sigma_T \geq 420$ МПа), in particular for car-building needs. It is impossible to meet these requirements without the use of new high performance materials for the components of cars. One of these advanced materials, in our opinion, is a high-strength type 20TiAlN steels. The strength and plastic properties of

these steels have been studied previously, and correspond to the level of properties of railroad car. However, the fatigue properties of 20TiAlN type steels have not previously been studied, so the tests to determine the fatigue strength is very important.

Keywords: endurance limit; fatigue properties; high strength steel; microalloyed by aluminum; titanium and nitrogen; symmetrical alternating loading; fatigue graphs; testing machine UBM

Постановка проблемы

Надежность металлоконструкций ответственного назначения, работающих в сложных условиях статического и динамического воздействия, определяется главным образом способностью материала сопротивляться переменным нагрузкам. Важнейшей характеристикой, определяющей возможность использования фасонного проката в конструкциях, работающих в сложных условиях динамических нагрузок, является предел выносливости. Основная опасность усталостного разрушения заключается в том, что оно наступает при напряжениях значительно меньших, чем значения напряжений предела прочности (σ_b) и предела текучести (σ_t). Предел выносливости при изгибе с симметричным циклом нагружения (σ_{-1}) для стали в несколько раз меньше предела прочности (в частности, для углеродистой стали $\sigma_{-1} = 0,43 \sigma_b$) [1].

В 1843 г. при проведении анализа причин разрушения паровозных осей В. Маккоурн Рэнкин делает вывод, что усталостное разрушение происходит не из-за изменения структуры материала при переменных нагрузках, а в результате зарождения и развития трещин [2]. Усталостные трещины имеют тенденцию к накоплению в материале со временем в процессе эксплуатации. Таким образом, усталостное разрушение крайне опасно, в первую очередь, для старых объектов инфраструктуры, работающих в условиях периодических и знакопеременных нагрузок.

Наиболее критичной опасностью хрупкого разрушения является для объектов транспорта (авиа-, авто- и особенно железнодорожный транспорт) и объектов инфраструктуры (мосты, металлические конструкции и высотные здания ответственного назначения). К сожалению, в настоящее время в Украине высокая степень износа объектов инфраструктуры. Так, например, по данным ПАО «Укрзалізниця» (УЗ), износ парка грузовых вагонов в Украине достиг 78...80 %, т. е. лишь каждый четвертый грузовой вагон не превысил свои крайние сроки эксплуатации.

Данная ситуация опасна тем, что в Украине пассажирские и грузовые составы курсируют по сети общего пользования и в случае усталостного разрушения деталей вагона могут пострадать люди. Сложившиеся обстоятельства привели к тому, что к 2010–2012 гг. наметился резкий рост спроса на грузовые вагоны в связи с выводом из эксплуатации отслуживших свой срок. Вагоностроительная отрасль оказалась не готова к такому развитию событий. ОАО «Российские железные дороги» (РЖД) и ПАО

«Укрзалізниця» выдвинули новые требования по повышению грузоподъемности вагонов за счет увеличения нагрузки на ось. Увеличение осевых нагрузок требовало повышенного комплекса свойств.

Производители пошли наиболее простым путем – увеличение площади сечения изделий. Это позволяло обеспечивать необходимый комплекс свойств в условиях увеличенных осевых нагрузок. Однако при этом существенно увеличивался вес детали и вагона в целом.

Таким образом повышалась масса тары вагона и грузоподъемность увеличивалась лишь незначительно при существенном увеличении нагрузки на ось, что в дальнейшем приводило к усталостным разрушениям деталей вагонов. Перед производителями возникла проблема поиска материала, который обеспечил бы повышенный комплекс механических (предел прочности σ_b не менее 550 Н/мм², предел текучести σ_t не менее 350 Н/мм²) и эксплуатационных характеристик (высокая усталостная прочность). Без разработки новых высокопрочных материалов для деталей вагонов удовлетворить эти требования невозможно.

Одним из таких перспективных материалов, на наш взгляд, является высокопрочная сталь, микролегированная алюминием, титаном и азотом (стали типа 15Г2САТЮ, 15ХГСАТЮ, 20АТЮ). Прочностные и пластические свойства данных сталей были изучены ранее [3] и удовлетворяют требованиям ПАО «Укрзалізниця».

Характеристики усталостной прочности не нормируются нормативной документацией на производство и поставку продукции, в связи с чем требуется их прямое сопоставление с базовыми материалами. Поэтому в качестве сравнительного материала для проведения усталостных испытаний была взята базовая вагоностроительная сталь 09Г2Д.

Результаты исследований

Для определения усталостных характеристик испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 25.502-79 «Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость» [4]. Основной определяемой характеристикой являлся предел выносливости σ_{-1} при коэффициенте асимметрии $R = -1$, т. е. при знакопеременном симметричном нагружении. Цикл нагружения при проведении испытания показан на рисунке 1.

Усталостные испытания проводились на образцах из сталей, микролегированных алюминием, титаном

и азотом (стали типа 15Г2САТЮ, 15ХГСАТЮ, 20АТЮ) в сравнении с низколегированной сталью 09Г2Д. Химический состав исследуемых сталей представлен в таблице 1.

Образцы из сталей 15Г2САТЮ, 15ХГСАТЮ испытывались в горячекатаном (г. к.) состоянии. При этом структура сталей мелкозернистая ферритно-перлитная, что объясняется комплексным микролегированием стали алюминием, титаном и азотом. Данные элементы являются эффективными карбидо- и нитридообразователями. Экспериментально подтверждено, что при концентрации азота и титана $\geq 0,01$ % массы каждого в жидкой стали образуются нитриды титана, которые при нагреве сплава под прокатку сдерживают рост зерен, чем обеспечивают мелкозернистую структуру [5; 6]. Образцы из стали типа 20АТЮ были подвержены усталостным испытаниям в термоупрочненном (т. у.) состоянии. Структура исследуемой стали в т. у. состоянии – интрагранулярный игольчатый феррит.

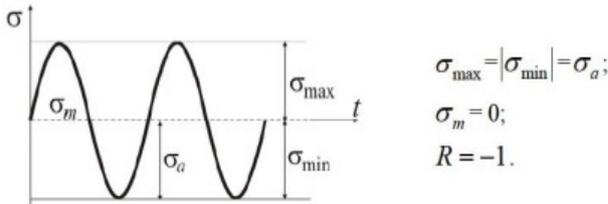


Рис. 1. Цикл симметричного знакопеременного нагружения: σ_{\max} , σ_{\min} – соответственно максимальное и минимальное напряжения цикла; σ_m , σ_a – соответственно среднее (постоянное) и амплитудное (переменное) напряжения цикла; t – время нагружения; R – коэффициент асимметрии / Fig. 1. The cycle of alternating symmetrical loading: σ_{\max} , σ_{\min} – the maximum and minimum cycle stresses respectively; σ_m , σ_a – the average and amplitude cycle stresses respectively; t – time of loading; R – coefficient of skewness

Механизм образования и кинетика роста игольчатого феррита во многом сходна с механизмом образования и кинетикой превращения бейнита. Однако, в отличие от бейнита, рейки игольчатого феррита не растут в виде пакета со сходной кристаллографической ориентировкой реек внутри пакета, а зарождаются на карбонитридах титана и нитридах алюминия внутри аустенитного зерна и растут в произвольном хаотичном направлении [7; 8]. Образцы из стали 09Г2Д испытывались в г. к. состоянии, структура стали – ферритно-перлитная.

Испытаниям подвергали гладкие стандартные образцы типа II согласно ГОСТ 25.502-79 на базе $1 \cdot 10^7$ циклов, не допуская саморазогрева образцов выше 50 °С (рис. 2). Для каждой марки стали испытывали по 15 образцов.

Испытания проводились в одинаковых условиях на испытательной машине УВМ (циклические нагрузки 0...120 кН с погрешностью ± 1 %). УВМ – специализированная машина, предназначенная для

испытаний на изгиб с вращением. Схема нагружения представлена на рисунке 3.

Результатом проведенных испытаний является построение диаграммы усталости. При этом значения как минимум двух из испытываемых образцов от одной марки стали должны лежать на прямолинейном участке диаграммы усталости. На рисунке 4 показана диаграмма усталости для исследуемых сталей 15Г2САТЮ и 15ХГСАТЮ (г. к.) и сравнительной базовой стали 09Г2Д (г. к.).

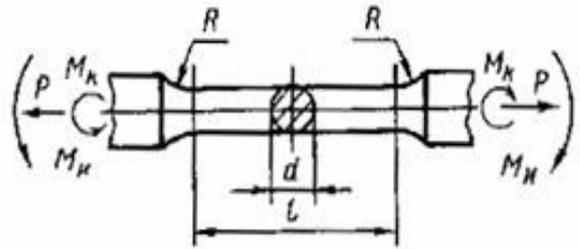


Рис. 2. Рабочая часть образца типа II согласно ГОСТ 25.502-79: $d = 5$ мм, $R = 5$ мм, $l = 25$ мм / Fig. 2. The working part of the sample of type II according to GOST 25.502-79: $d = 5$ мм, $R = 5$ мм, $l = 25$ мм

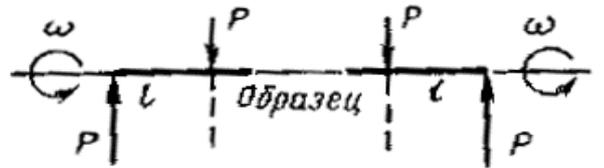


Рис.3. Схема нагружения образцов во время испытания: чистый изгиб при вращении / Fig. 3. The scheme of loading the samples during the test, pure bending at rotation

Согласно данным диаграммы усталости (рис. 4), предел выносливости сталей 15Г2САТЮ и 15ХГСАТЮ находится на одном уровне и составляет 330 Н/мм². Предел выносливости базовой вагоностроительной стали 09Г2Д составляет 260 Н/мм². Представленные результаты свидетельствуют о том, что комплексное карбонитридное упрочнение алюминием, титаном и азотом обеспечивает повышение предела выносливости проката на ~ 2 %, по сравнению с аналогичной характеристикой проката из базовой стали 09Г2Д.

На рисунке 5 представлена диаграмма усталости для исследуемой стали 20АТЮ в термоупрочненном состоянии.

Предел выносливости высокопрочной термически упрочненной микролегированной стали 20АТЮ составляет 400 Н/мм², что на 35 % превышает предел выносливости базовой вагоностроительной стали 09Г2Д. Как и следовало ожидать, формирование при термической обработке микролегированной стали 20АТЮ структурного состояния игольчатого

феррита, характеризуючогося підвищеною ступенню розорієнтовки структурних складових, різко збільшує енергетичні витрати на зародження і

розвиток усталостних тріщин, чим пояснюється високий рівень усталостної міцності.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваних сталей / Chemical composition of investigated steels

Марка сталі	Содержание, % по массе										
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Ti	Al	N
20АТЮ	0,19	0,63	0,28	0,014	0,015	≤ 0,18	≤ 0,13	≤ 0,20	0,003	0,029	0,019
15Г2САТЮ	0,17	1,55	0,91	0,034	0,027	0,04	Н.д.	0,32	0,019	0,058	0,014
15ХГСАТЮ	0,13	0,77	1,12	0,026	0,024	0,51	Н.д.	0,3	0,027	0,067	0,015
09Г2Д	0,12	1,4–1,8	0,17–0,37	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,3	0,15–0,3	Н. д.	Н. д.	Н. д.

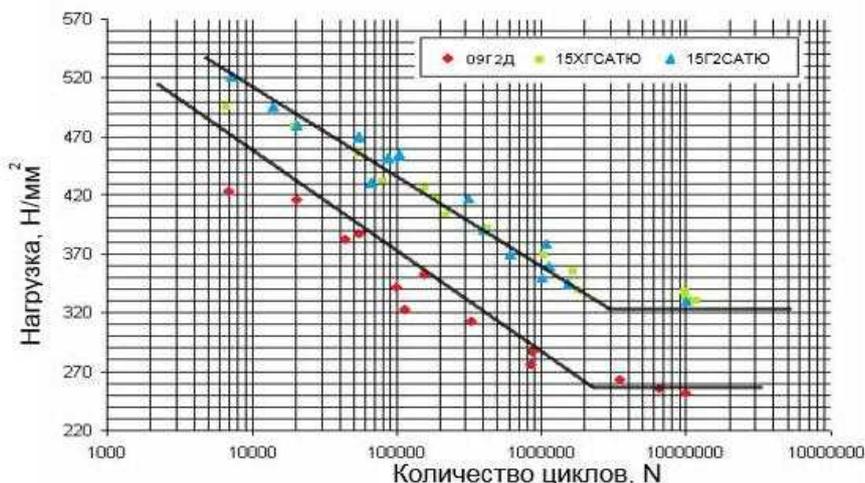


Рис. 4. Усталостные диаграммы исследуемых сталей 15Г2САТЮ и 15ХГСАТЮ (г. к.) и сравнительной стали 09Г2Д (г.к.) / Fig. 4. Fatigue diagrams 15ХГСАТЮ, 15Г2САТЮ investigated steels (hot-rolled), and comparative steel 09Г2Д (hot-rolled)

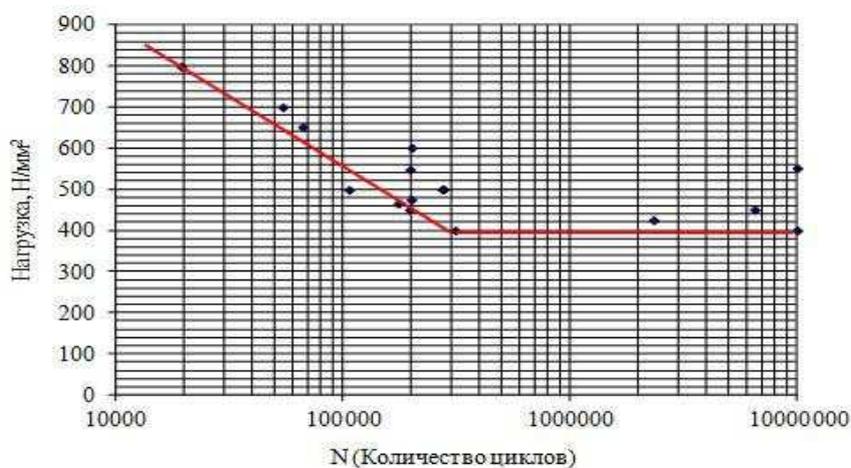


Рис. 5. Усталостная диаграмма исследуемой стали 20АТЮ (т. у.) / Fig. 5. Fatigue diagrams 20АТЮ investigated steels (heat-strengthened)

Выводы

1. Результаты усталостных испытаний показывают, что, при равных условиях испытаний, показатель предела выносливости сталей 15Г2САТЮ и 15ХГСАТЮ находится на одном уровне и составляет 330 Н/мм², что на 20 % выше показателя базовой вагоностроительной стали 09Г2Д (г. к.), который составляет 260 Н/мм². Повышение усталостных характеристик сталей, микролегированных комплексом Al – Ti – N, объясняется более мелкодисперсной ферритно-перлитной структурой. Измельчение зеренной структуры объясняется наличием в стали карбонитридов титана Ti (C, N) и нитридов алюминия AlN, которые сдерживают интенсивный рост зерен.

2. Согласно результатам усталостных испытаний, показатель предела выносливости стали 20АТЮ (т. у.) составляет 400 Н/мм², что на 35 % выше показателя вагоностроительной стали 09Г2Д (г. к.). Повышенный показатель предела выносливости стали 20АТЮ можно объяснить ее структурным состоянием. После термического упрочнения структура стали 20АТЮ – игольчатый феррит имеет высокую степень хаотичности, что является препятствием при динамических нагрузках зарождению и распространению усталостных трещин.

3. Полученные результаты усталостных характеристик для сталей, микролегированных комплексом Al – Ti – N, соответствуют показателям базовых вагоностроительных сталей на примере стали 09Г2Д.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сопrotивление материалов : монография / [А. В. Дарков, Г. С. Шпиро]. – Москва : Высшая школа, 1975. – 569 с. – Режим доступа : <http://dwg.ru/dnl/2022>
2. Тимошенко С. П. История науки о сопротивлении материалов : монография / С. П. Тимошенко. – Москва : Изд-во технико-теоретической литературы, 1951. – 538 с.
3. Большаков В. И. Термическая обработка экономно легированных конструкционных сталей как возможность получения недорогого проката / В. И. Большаков, О. В. Узлов, Ю. А. Ключник, Д. С. Зотов, Л. В. Узлова // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – Днепропетровск : ГВУЗ ПГАСА. – № 2–3. – 2006. – С. 27–32.
4. ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. – Режим доступа : <http://www.metalgost.ru/gosts/GOST%2025.502-79.pdf>
5. Проїдак Ю. С. Разработка состава и технологии производства проката и литья из сталей с карбонитридным упрочнением для вагонов нового поколения / Ю. С. Проїдак, А. В. Рабинович, Г. Н. Трегубенко, А. В. Пучиков // *Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. – № 38. – 2011. – С. 225–228. – Режим доступа : <http://stp.diit.edu.ua/article/viewFile/6845/5873>
6. Рабинович А. В. Влияние микродобавок титана на структуру и свойства литых электросталей / А. В. Рабинович, Г. Н. Трегубенко, А. В. Пучиков и др. // *Теория и практика металлургии*. – Днепропетровск. – 2010. – № 5–6. – С. 60–64.
7. Uzlov O. V. Investigation of acicular ferrite structure and properties of C – Mn – Al – Ti – N steels / O. V. Uzlov, A. Malchere, V. I. Bolshakov, C. Esnouf // *Advanced Materials Research*. – Switzerland: Trans Tech Publ. – Vol. 23. – 2007. – Pp. 209–212. – Режим доступа : <http://www.scientific.net/AMR.23.209>
8. H.K.D.H. Bhadeshia Bainite in Steels. – The University Press, Cambridge. – 2001. – Pp.124–125. – Режим доступа : <http://cml.postech.ac.kr/z/personal.pdf>

REFERENCES

1. Darkov A.V. and Shpiro G.S. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Moscow : Higher School Publ., 1975, 569 p. (in Russian).
2. Timoshenko S.P. *Istoriya nauki o soprotivlenii materialov* [History of science about resistance of materials]. Moscow : Publication of technik-teoretical literature, 1951, 538 p. (in Russian).
3. Bolshakov V.I., Uzlov O.V., Klushnik U.A., Zotov D.S. and Uzlova L.V. *Termicheskaya obrabotka ekonomno legirovannih konstruktsionnih staley kak vozmozhnost polucheniya nedorogogo prokata* [Heat treatment sparingly alloyed construction steels as the possibility of obtaining low-cost rolled metal]. [Metallurgy and heat treatment of metals]. Dnipropetrovsk : SHEI PSACEA Publ., no. 2–3, 2006, pp. 27–32. (in Russian).
4. GOST 25.502-79. *Rascheti i ispitaniya na prochnost v mashinostroenii. Metodi mehanicheskikh ispitaniy metallov. Metodi ispitaniy na ustalost*. [Calculations and tests of strength in mechanical engineering. Methods of mechanical testing of metals. Methods of fatigue test]. (in Russian).
5. Proidak U.S., Rabinovich A.V., Tregubenko G.N. and Puchikov A.V. *Razrabotka sostava i technologii proizvodstva prokata i litya iz staley s karbonitridnim uprochneniem dlia vagonov novogo pokoleniya* [Development of composition and technology of production of rolled and casting steels with carbonitride hardening for a railroad car of new generation]. *Vestnik Dnepropetrovskogo nacional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport]. No. 38, 2011, pp. 225–228. (in Russian).
6. Rabinovich A.V., Tregubenko G.N. and Puchikov A.V. *Vliyanie mikrodoavok titana na strukturu i svoystva litih elektrostaley* [Influence of Titanium microadditives on the structure and properties of cast electrosteel]. *Teoriya i praktika metallurgii* [Theory and practice of metallurgy]. Dnipropetrovsk, 2010, no. 5–6, pp. 60–64. (in Russian).
7. Uzlov O. V., Malchere A., Bolshakov V.I. and Esnouf C. Investigation of acicular ferrite structure and properties of C–Mn–Al–Ti–N steels. *Advanced Materials Research*. Switzerland : Trans Tech Publ., vol. 23, 2007, pp. 209–212.
8. H.K.D.H. Bhadeshia Bainite in Steels. The University Press, Cambridge, 2001, pp.124–125.

Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, с. н. с. А. И. Бабаченко (Украина); д-ром техн. наук, проф. В. С. Вахрушевой (Украина).

Поступила в редколлегию 19.07.2016

Принята к печати 10.08.2016

УДК 519.21

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

БОЛЬШАКОВ В. И.¹, д. т. н., проф.,
ВОЛЧУК В. Н.^{2*}, д. т. н., доц.,
ДУБРОВ Ю. И.³, д. т. н., проф.

¹ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: bolshakov@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-0790-6473

^{2*} Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: volchuky@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8717-6786

³ Кафедра материаловедения и обработки материалов, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 47-39-56, e-mail: mom@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3213-4893

Аннотация. Постановка проблемы. Недостаточное обеспечение жильем населения Украины (обеспеченность жильем составляет ~ 23 %) инициирует модернизацию и разработку новых методов восстановления жилищного фонда. Решение данной проблемы требует применения комплексного системного подхода, который включает использование баз знаний (БЗ), баз данных (БД), экспертной информации, что приводит к удешевлению человеческих и материальных затрат. **Цель работы.** Поиск путей применения системного подхода при реконструкции жилых зданий. **Результаты и их обсуждение.** Для возможности сравнения уровня организованности различных систем управления, базирующихся на БД и БЗ, применялся известный в кибернетике закон «необходимого разнообразия» У. Р. Эшби. Согласно этому закону, степень организованности системы управления должна соответствовать степени сложности среды, в которой данная система функционирует, т. е. управление объектом будет адекватным тогда и только тогда, когда разнообразие состояний системы управления будет больше либо равно разнообразию состояний объекта управления, при условии, что разнообразие состояний системы управления включает в себя все возможные значения управляющих воздействий, адекватных всем возможным состояниям объекта управления. Поскольку прямым следствием разнообразия состояний конкретного объекта является степень его неопределенности, продуцируемая соответствующими БД и БЗ, постольку этим показателем может являться их информационная энтропия. Приведен пример схемы управления реконструкцией жилых зданий с применением БД и БЗ и на основании анализа экспертной информации по конкретной проблеме (статистические данные, уравнения и т. д.) и правил – набора инструкций, применяя которые к известным фактам можно получать новые факты. При этом сформулирована общая постановка задачи, базирующаяся на решении задач с большим числом переменных, сильно взаимосвязанных между собой. **Выводы.** Часто наблюдаемые попытки построения для каждого отдельно выбранного частного критерия отдельной, не связанной с иными показателями блок-схемы, как правило, приводят не только к неэффективности решения поставленной задачи, но и к методологической ошибочности этого решения.

Ключевые слова: системный подход; реконструкция; база данных; база знаний; экспертная информация

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

БОЛЬШАКОВ В. І.¹, д. т. н., проф.,
ВОЛЧУК В. М.^{2*}, д. т. н., доц.,
ДУБРОВ Ю. І.³, д. т. н., проф.