

УДК 620:178.3

**ОБЗОР И АНАЛИЗ
СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГРЕБНЫХ ВАЛОВ**

А.В. Коноплёв

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Машиноведение»

О.Н. Кононова

старший преподаватель кафедры «Машиноведение»

Н.И. Чередарчук

начальник отдела лицензирования, аккредитации
и мониторинга качества образования

В.О. Сологуб

аспирант кафедры «Машиноведение»

Е.К. Рожко

ассистент кафедры «Теоретическая и прикладная механика»

Одесский национальный морской университет

***Аннотация.** Проведен анализ ряда литературных источников с целью обобщения основных факторов, влияющих на усталостную прочность восстановленных гребных валов, а также путей её повышения.*

В результате установлено, что главными причинами снижения характеристик сопротивления усталости являются шлаковые включения и горячие трещины. Основную роль в повышении предела выносливости восстановленных гребных валов играет твёрдость наплавленного металла. Для достижения долговечности наплавленных валов необходимо в качестве финишной технологической операции применять упрочнение наплавленного слоя.

***Ключевые слова:** гребной вал, наплавка, предел выносливости.*

УДК 620:178.3

**ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ
СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ ГРЕБНИХ ВАЛІВ**

А.В. Конопльов

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машинознавство»

О.М. Кононова

старший викладач кафедри «Машинознавство»

Н.І. Чередарчук

начальник відділу ліцензування, акредитації
та моніторингу якості освіти

В.О. Сологуб

аспірант кафедри «Машинознавство»

О.К. Рожко

асистент кафедри «Теоретична та прикладна механіка»

Одеський національний морський університет

© Коноплёв А.В., Кононова О.Н., Чередарчук Н.И., Сологуб В.О., Рожко Е.К.

Анотація. Проведено аналіз ряду літературних джерел з метою узагальнення основних факторів, що впливають на втомну міцність відроджених гребних валів, а також шляхів її підвищення.

В результаті встановлено, що головними причинами зниження характеристик опору втоми є шлакові включення і гарячі тріщини. Основну роль в підвищенні границі витривалості відроджених гребних валів грає твердість наплавленого металу. Для досягнення довговічності наплавлених валів, необхідно в якості фінішної технологічної операції застосовувати зміцнення наплавленого шару.

Ключові слова: гребний вал, наплавка, межа витривалості.

UDC 620:178.3

REVIEW AND ANALYSIS WAYS OF RESTORATION OF COMING SHAFTS

A.V. Konoplyov

Doctor of Technical Sciences, Professor Head of the Department
of «Machine Science»

O.H. Kononova

Senior Lecturer, Department of «Machine Science»

N.I. Cheredarchuk

Head of Licensing, Accreditation
and monitoring the quality of education

W.O. Sologub

Postgraduate student of the department «Machine Science»

E.K. Rozhko

Assistant of the Department «Theoretical and Applied Mechanics»

Odessa National Maritime University

Abstract. A number of literature sources have been analyzed to generalize the main factors affecting the fatigue strength of the restored propeller shafts, as well as ways to increase it.

As a result, it was revealed that the main reasons for reducing the fatigue resistance characteristics are slag inclusions and hot cracks. The main role in increasing the endurance limit of the restored propeller shafts is played by the hardness of the weld metal. To achieve the durability of welded shafts, close to new ones, it is necessary to apply hardening of the welded layer as the finishing technological operation.

Keywords: propeller shaft, surfacing, limit of endurance.

Постановка проблеми. Совершенствование судоремонтного производства предполагает сокращение продолжительности, повышение качества и снижение стоимости ремонта судов. Намечившаяся общемировая тенденция к ресурсосбережению заставляет по-новому посмотреть на

проблему обеспечения судовых машин и механизмов запасными деталями, которые можно периодически восстанавливать. В первую очередь это требование относится к гребным валам, которые являются ответственными и дорогими деталями.

Гребной вал в процессе эксплуатации подвергается циклическому нагружению, изнашивается в результате трения в подшипниках, а из-за неуравновешенности масс испытывает дополнительные изгибающие моменты, вызванные крутильными колебаниями.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является обзор и анализ существующих способов восстановления гребных валов, а также влияние различных факторов на их сопротивление усталости.

Основной материал исследования. Для изготовления гребных валов транспортных, промысловых, специализированных судов, а также судов технического и портового флота используются углеродистые и легированные стали с пределом текучести $\sigma_T=250-800$ МПа и для скоростных судов с $\sigma_T=550-750$ МПа. Это в первую очередь стали марок: 35, 40, 45, 40X, 35XM, 34XMA, 38XBA, 38XHBA, 20X13. У гребных валов, изготовленных из коррозионностойких сталей, предел выносливости с учётом масштабного фактора может достигать 100...150 МПа, а при использовании конструкционных сталей – 40...70 МПа [1]. Для скоростных судов чаще всего применяют аустенитно-мартенситные стали марок: 09X17H6T, 0X15H5D2T, 1X16H4B, 0X17H4D2, 09X17H7Ю [2].

Гребные валы крупнотоннажных судов изготавливают с бронзовыми или биметаллическими облицовками для защиты от морской воды (рисунок), а валы мало- и среднетоннажных судов не имеют облицовок и работают в контакте с морской водой.

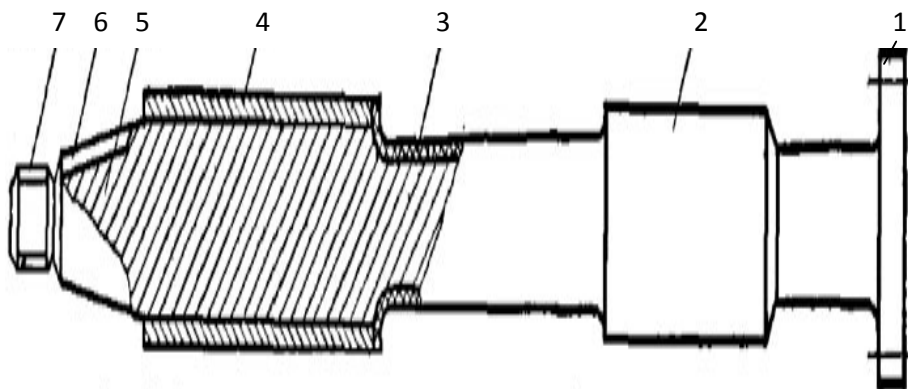


Рисунок. Гребной вал с облицовкой:

- 1 – присоединительный фланец; 2,4 – бронзовые облицовки;
3 – предохранительное покрытие; 5 – конус гребного вала;
6 – ложкообразный шпоночный паз; 7 – резьба под гайку гребного винта

Бронзовые облицовки не обеспечивают должной защиты вала от коррозии и на практике не редки случаи, когда ослабевает посадка облицовки и вода, попадая в подоблицовочное пространство, выступает как дополнительный случайный фактор, способствующий усталостному разрушению вала [3].

Наиболее распространённым способом восстановления гребных валов является наплавка электродной проволокой под флюсом по винтовой траектории с постоянным шагом [4]. Благодаря простоте данный способ легко механизуется и обеспечивает высокое качество наплавки. Более производительным является способ широкослойной наплавки электродной лентой [5]. Этот способ отличается малой глубиной проплавления основного металла, что благоприятно влияет на его структуру в околошовной зоне.

Плазменный способ наплавки токоведущей проволокой, который используется для изготовления новых валов, пока не нашёл широкого применения при их ремонте. Основной причиной тому – невысокая производительность данного способа (4-8 кг/час [6]).

Другие, способы восстановления изношенных деталей, в частности, электроконтактная, вибродуговая, импульсно-дуговая и электрошлаковая наплавки, детонационное напыление, твёрдое осталивание и различные гальванические покрытия пока не нашли применения при восстановлении гребных валов.

На усталостную прочность восстановленных гребных валов кроме основных факторов, влияют также дополнительные, связанные со свойствами наплавленного материала, дефектами сварки и остаточными напряжениями. Наиболее опасными являются сварочные дефекты, которые могут стать источником возникновения и развития усталостных трещин. Эти дефекты представляют собой непровары, горячие трещины и шлаковые включения, которые располагаются у границ сплавления. Предел выносливости валов с такими дефектами может снижаться до 32 % [7].

Граница сплавления является ответственным участком за начало разрушения, поскольку она имеет низкие механические характеристики. Вследствие этого разрушение начинается под наплавленным слоем, а не на поверхности, как у ненаплавленных. Установлено, что влияние дефектов проявляется в большей степени, когда они сконцентрированы в месте растягивающих напряжений и, наоборот, снижается, когда дефекты локализованы в зоне сжатия. При этом, если наплавленный металл обладает высокой твёрдостью, то влияние сжимающих напряжений при наличии сварочных дефектов невелико [8].

Место расположения сварочного дефекта также оказывает влияние на сопротивление усталости, в частности, наиболее удалённые от поверхности сварочные дефекты влияют в меньшей степени [9].

Размеры восстановленных валов, имеющих сварочные дефекты, оказывают заметное влияние на их сопротивление усталости. Масштабный фактор таких валов проявляется в большей степени, чем без них [2].

Остаточные напряжения обусловлены неоднородностью пластических деформаций и структурными превращениями, происходящими в наплавленном металле и околошовной зоне. Они могут быть как растягивающими, так и сжимающими. Величина растягивающих напряжений может достигать 500 МПа [10]. Несмотря на столь значительную величину, они не оказывают существенного влияния на сопротивление усталости, поскольку способны релаксировать под действием циклических нагрузок. Для быстрого снятия остаточных растягивающих напряжений иногда применяют локальное пластическое деформирование, ультразвуковую и вибрационную обработку [5].

В случае наличия остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое, включая границу сплавления, предел выносливости увеличивается на 6-20 % [10]. Авторы указанной работы считают, что это обусловлено остаточными напряжениями сжатия, которые препятствуют распространению трещин.

О влиянии свойств наплавленного металла на сопротивление усталости восстановленных гребных валов существуют различные мнения. Существует точка зрения, что пластичность основного и наплавленного металла должна быть одинаковой для обеспечения равнопрочности, однако это не является обязательным условием повышения сопротивления усталости [11]. Исследования, проведенные в работе [12], показывают, что основную роль в повышении сопротивления усталости играет твердость наплавленного металла, хотя и не является радикальным средством.

Толщина наплавленного слоя не оказывает заметного влияния на характеристики сопротивления усталости валов. Более существенное влияние оказывает зона термического влияния. Существует устойчивая точка зрения, что главной причиной ослабления околошовной зоны является химическая неоднородность, которая обусловлена высокой температурой [5].

Все вышеприведенные исследования относятся к валам, наплавленным перлитными сталями. В ряде работ приводятся результаты исследований усталостной прочности валов, наплавленных хромоникелевыми сталями [13; 14]. Оценивая эти результаты, заметим, что до настоящего времени не найден способ, который может обеспечить наплавку без существенного снижения характеристик сопротивления усталости. Испытания образцов показали, что наплавка хромоникелевыми сталями снижает предел выносливости на 26-67 % [5]. Основной причиной его понижения авторы считают сварочные дефекты, в частности шлаковые включения и горячие трещины.

Выводы

1. Облицовки гребного вала не обеспечивают должной защиты вала от коррозии, что заставляет учитывать коррозионный фактор при оценке их циклической долговечности.
2. Основными причинами понижения характеристик сопротивления усталости считают шлаковые включения и горячие трещины.
3. Пределы выносливости валов, восстановленных наплавкой, определяются на базах, превышающих 10^7 циклов.
4. Основную роль в повышении предела выносливости восстановленных гребных валов играет твердость наплавленного металла.
5. Предел выносливости восстановленных гребных валов, как правило, ниже чем у новых, поэтому после наплавки необходимо предусмотреть операцию их упрочнения.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Стальниченко О.И., Иоргачёв Д.В., Иоргачёв В.Д. Восстановление деталей судов. – К.: ДП НВЦ «Приоритет», 2014. – 324 с.*
2. *Кравцов Т.Г. Сопротивление усталости валов, наплавленных электродной лентой // Автоматическая сварка. – 1985. – 2. – С. 46-50.*
3. *Балацкий Л.Т. Ремонт гребных валов. – Одесса: Маяк, 1970. – 58 с.*
4. *Кравцов Т.Г., Волков Г.С. Широкойслоная наплавка судовых валов ленточным электродом // Сборник «Передовой опыт сварки и наплавки в судоремонте». – ЦБНТИ ММФ. – 1977. – С. 44-46.*
5. *Кравцов Т.Г., Стальниченко О.И., Олейник Н.В. Восстановление деталей наплавкой и оценка их прочности. – К.: Вища школа, 1994. – 251 с.*
6. *Сютъев А.Н., Вайнерман А.Е., Веселков В.Д. Опыт промышленного применения наплавки плазменной струёй с токоведущей присадочной проволокой медных сплавов и нержавеющей сталей. – Л.: ЛДНТП, 1973. – 20 с.*
7. *Кравцов Т.Г., Сторожев В.П. Восстановление деталей при ремонте судов. – М.: Транспорт, 1981. – 120 с.*
8. *Кравцов Т.Г. Влияние свойств литой структуры поверхностного слоя и остаточных напряжений на усталостную прочность // Сварочное производство. – 1981. – № 6. – С. 29-31.*

9. *Curney T.R., Smith G.S., Fatigue test on 1,5 in thick transverse bult welds containing slag inclusion // British Welding Journal. – 1987. – V. 14. – № 1. – P. 17-38.*
10. *Шадричев В.А., Смирнов М.А., Сидоркин В.Н. Исследование внутренних остаточных напряжений в образцах из стали 45, наплавленных в углекислом газе проволокой 2Х13 // Сварочное производство. – 1973. – № 5. – С. 32-33.*
11. *Масумото Исао, Томаки Корэаки, Иинума Кацухино. The effect of the weld deposited layer on the fatigue strength of a medium carbon steel // Есецу гаккайси. – 1970. – V. 39. – № 5. – P. 127-137.*
12. *Ибрагимов В.С. Повышение усталостной прочности при восстановлении деталей автоматической наплавкой в углекислом газ. // Сварочное производство. – 1982. – № 5. – С. 13-16.*
13. *Плишкин Н.Н. Автоматическая наплавка судовых гребных валов. – Л.: ЛДНТП, 1970. – 20 с.*
14. *Лисевич В.И. Гребные валы с облицовками, наплавленными нержавеющей сталью // Судоремонт флота рыбной промышленности. – 1970. – № 13. – С. 19-25.*

Стаття надійшла до редакції 25.12.2018

Рецензенти:

кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри «Технічне обслуговування та ремонт суден» Одеського національного морського університету **Ю.О. Никифоров**

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технологія матеріалів» Одеського національного морського університету **О.В. Кобзарук**