

Б. Н. Гузанов, В. В. Бухаленков

B. N. Guzanov, V. V. Bukhalenkov

ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Екатеринбург

Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg

guzanov_bn@mail.ru, vbukhalenkov@mail.ru

МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

METHODOLOGY OF SELECTION OF CONSTRUCTION MATERIALS TO ENSURE THE QUALITY OF ENGINEERING PRODUCTS

***Аннотация.** В статье рассмотрена последовательность проведения оценочных действий для решения материаловедческой задачи по выбору конструкционной стали для конкретных условий эксплуатации и определены основные требования для обеспечения необходимой надёжности и долговечности машиностроительной продукции. Особое внимание уделено проблеме инжиниринга материала с целью получения гарантируемых и воспроизводимых показателей служебных свойств при взаимодействии с рабочей средой в условиях контактного нагружения.*

***Abstract.** The article discusses the sequence of assessment actions for solving the material science problem of choosing construction steel for specific operating conditions and identifies the main requirements to ensure the required reliability and durability of engineering products. Particular attention is paid to the problem of material engineering in order to obtain guaranteed and reproducible indicators of service properties when interacting with the workspace under conditions of contact loading.*

***Ключевые слова:** качество; машиностроительная продукция; рабочая среда; надёжность, долговечность конструктивная прочность; показатели свойств.*

***Keywords:** quality; engineering products; workspace; reliability; durability; structural strength; property indicators.*

В условиях глобализации и международного разделения труда одним из важнейших факторов роста эффективности машиностроительного производства можно считать улучшение качества выпускаемой продукции, которое следует рассматривать как совокупность свойств, показателей свойств и числовых значений этих показателей. В работе [1] отмечается, что с учётом специфики машиностроительного производства качество продукции в этом случае является многоаспектным понятием и в зависимости от назначения и предъявляемых к изделиям требований, как правило, не может быть охарактеризовано одним обобщающим показателем. В результате в широком смысле в содержание понятия качества машиностроительной продукции входят не

только функциональные потребительские свойства, но и различные технологические свойства, а также характеристики таких эксплуатационных свойств как надёжность, долговечность, безотказность, ремонтпригодность и др.

Все эти факторы совместно определяют номенклатуру показателей качества, однако на стадии проектирования изделия наиболее важной считается его потребительская сущность, выражаемая комплексом требуемых свойств, обеспечивающих способность этого изделия выполнять своё назначение на всех взаимосвязанных этапах жизненного цикла [2]. Среди них наиболее важными считаются в смысле обеспечения высокого качества такие показатели как физико-химические свойства используемых материалов и заготовок, совершенство технологического процесса, а также качество обработки и контроля. Другими словами, на этом этапе одной из основных задач обеспечения качества машиностроительной продукции является рациональный выбор материалов и технологий их обработки для изделий конкретного назначения.

Поиск следует начинать с оценки конструктивных параметров детали (формы и размеров), и условий её работы, и, в первую очередь, действующее на неё усилие в сочетании с возможным агрессивным воздействием внешней среды. Всё это определяется требуемым уровнем конструктивной прочности; технологичностью механической, термической и, при необходимости, химико-термической обработки; объёмом производства, дефицитностью и стоимостью материала; себестоимостью упрочняющей обработки. На рисунке 1 представлена схема, иллюстрирующая последовательность оценочных действий для решения материаловедческой задачи по выбору материала и технологии его получения и обработки.

Анализ схемы показывает, что изначально в зависимости от назначения и условий эксплуатации подбирается соответствующий материал по химическому составу, а также приемлемая технология его обработки. В результате этих действий формируется соответствующая структура, которая позволяет обеспечить требуемый комплекс свойств. Проведённый инжиниринг материала позволяет оценить его эксплуатационные возможности при взаимодействии с внешней средой и определяет специфику и тип будущего производства. Главным образом, на этом этапе происходит отработка требований к материалу, которая обычно включает в себя определение следующих показателей его качества, обеспечивающих надёжную работу изделия [3]:

- 1) определение вида силового внешнего воздействия (статическое, динамическое) и схемы напряжённого и деформированного состояния;
- 2) расчёт допустимых упругих деформаций и действующих, способных вызвать недопустимые деформации и разрушение детали;



Рисунок 1 – Последовательность оценочных действий для решения материаловедческой задачи по выбору материала и технологии его получения и обработки

3) оценку возможности нагрева детали при эксплуатации и его допустимую степень;

4) оценку возможности и величины разупрочнения на установленный ресурс детали;

5) определение допустимого порога хладноломкости;

6) оценку наличия и величины знакопеременных и истирающих нагрузок, способствующих преждевременному разрушению детали, с целью обеспечения требуемой надёжности и долговечности детали;

7) определение возможности и характера агрессивных воздействий рабочей (внешней) среды и необходимость обеспечения требуемой коррозионно-эрозионной стойкости;

8) оценку возможности появления каких-либо физических воздействий и определение их допустимого уровня (радиация, электромагнетизм, тепловые эффекты).

В соответствии с указанными показателями и с учётом возможных дефектов кристаллического строения и сплошности проводится сравнение за-

данного уровня служебных свойств с полученными результатами в процессе лабораторных и натурных испытаний, что позволяет сделать заключение о правильности произведённого выбора конструкционного материала с целью получения гарантированных и воспроизводимых служебных свойств, обеспечивающих надёжность и долговечность*³ материалов в изделии.

Конструкционными называют материалы, предназначенные для изготовления деталей машин, приборов и конструкций, которые в процессе эксплуатации подвергаются механическим нагрузкам. Эти детали отличаются разнообразием форм, размеров и условий эксплуатации. Они могут работать при статических, циклических и ударных нагрузках, при низких и высоких температурах, в контакте со средами различного агрегатного состояния и агрессивности. Эти факторы определяют требования к конструкционным материалам, основными из которых являются эксплуатационные, технологические и экономические.

Эксплуатационные требования имеют первостепенное значение. Для того, чтобы обеспечить работоспособность конкретных машин и изделий, материал должен иметь высокую конструкционную прочность, под которой понимают комплекс механических характеристик, обеспечивающих надёжность и длительную работу материала в условиях эксплуатации. Основные механические свойства материалов оцениваются по характеристикам, определённым при испытаниях на растяжение в соответствии с ГОСТ 1497–84 *Металлы. Методы испытаний на растяжение*, а именно: условному пределу текучести $\sigma_{0,2}$, пределу прочности (временному сопротивлению) σ_b , относительному удлинению δ , относительному сужению ψ . Эти характеристики входят во все справочники и являются исходными данными при предварительном выборе материала для конкретной детали или конструкции. Однако они недостаточны для полной оценки работы ответственных деталей в условиях эксплуатации, так как требуемые значения механических свойств зависят не только от силовых факторов, но и от воздействия на поверхность контакта в процессе эксплуатации рабочей среды и температуры.

Среда – жидкая, газообразная, ионизированная, радиационная, в которой работает материал, оказывает существенное и преимущественно отрица-

*Надёжность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния (невозможности его дальнейшей эксплуатации). Для металлов и сплавов надёжность и долговечность оцениваются на основе лабораторных испытаний до изготовления из них тех или других изделий. Понятие надёжность и долговечность металлических материалов при этом вводится с учётом вида эксплуатационного отказа изделий, изготовленных из этих материалов.

тельное влияние на его механические свойства, снижая работоспособность деталей. В частности, рабочая среда может вызвать повреждение поверхности вследствие коррозионного растрескивания, окисления и образования окалина, а также изменение химического состава поверхностного слоя в результате насыщения нежелательными элементами (например, водородом, вызывающим охрупчивание). Кроме того, разбухание и местное разрушение материала под действием ионизирующего и радиационного облучения. Для того чтобы противостоять рабочей среде материал должен обладать не только соответствующими механическими, но и определёнными физико-химическими свойствами: стойкостью к электрохимической коррозии, жаростойкостью (окалиностойкостью), радиационной стойкостью, влагостойкостью, способностью работать в условиях вакуума и др. Температурный диапазон работы современных материалов очень широк – от минус 269 до плюс 1000 °С, а в отдельных случаях до 2500 °С. Для обеспечения работоспособности при высокой температуре от материала требуется жаропрочность, а при низкой – хладостойкость. В некоторых случаях важно также требование определённых магнитных, электрических, тепловых свойств, повышенной стабильности размеров деталей (особенно при изготовлении высокоточных приборов).

Всё это позволяет заключить, что надёжность и долговечность деталей машин невозможно обеспечить только повышением запаса механической прочности, то есть снижением их номинальной напряжённости и увеличением сечения. Необходимо использовать более стойкие к воздействию внешней среды конструкционные материалы, совершенствовать конструктивные формы и технологии изготовления деталей, повышать требования к дефектоскопическому контролю на стадии изготовления машин и конструкций для отбраковки некачественного металла или некачественно изготовленных деталей.

Технологические требования (технологичность материала) направлены на обеспечение наименьшей трудоёмкости изготовления деталей и конструкций. Технологичность материала оценивается обрабатываемостью резанием, давлением, свариваемостью, литейными свойствами, а также прокаливаемостью, склонностью к деформации и короблению при термической обработке. Технологичность материала имеет важное значение, так как от неё зависят производительность и качество изготовления деталей, основным материалом для изготовления которых в машиностроении служат стали.

Экономические требования сводятся к тому, чтобы выбранный материал был, по возможности, дешевле, с учётом всех затрат, включающих не только стоимость стали, но и изготовление деталей и, наконец, их эксплуатационную стойкость в машинах, в которых они должны работать. В первую очередь нужно стремиться выбрать менее дорогую сталь, углеродистую или

низколегированную. Дорогие же легированные конструкционные стали, содержащие дефицитные Ni, Mo, W и другие элементы, следует применять лишь в тех случаях, когда более дешёвые стали не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к изделию. Легированные стали применяют, когда нужно обеспечить требуемую надёжность и долговечность (низкий порог хладноломкости, высокую прокаливаемость, сопротивление усталости, износостойкость и др.), получение особых свойств (коррозионной стойкости, жаропрочности, магнитных свойств и др.), улучшение технологических свойств (обработки резанием, штампуемости и т. д.), а также снизить расход металла на единицу готовой продукции или повысить мощность машины. Применение легированной стали должно быть технически и экономически целесообразно и оправданно в том случае, если оно даёт экономический эффект за счёт повышения долговечности деталей и уменьшения расхода запасных частей и, таким образом, экономии металлопроката.

Перечисленные общие требования к материалу нередко противоречивы. Так, например, более прочные материалы менее технологичны, труднее обрабатываются при резании, холодной объёмной штамповке, сварке и т. д. Решение по выбору материала обычно компромиссно между рассмотренными требованиями к сталям, поэтому в массовом машиностроении предпочитают упрощение технологии и снижение трудоёмкости в процессе изготовления детали при некоторой возможной потере свойств или увеличении массы детали. В специальных отраслях машиностроения, где проблема прочности (или проблема удельной прочности) играет решающую роль, выбор материала и последующая технология термической обработки должны рассматриваться из условия достижения только максимальных эксплуатационных свойств. Вместе с тем не следует стремиться к излишне высокой долговечности комплектующих деталей по отношению к долговечности самого изделия в сборе.

При решении вопроса о выборе стали для получения требуемых механических свойств и других характеристик также важно установить оптимальный вид объёмной термической или поверхностной химико-термической обработки. Вопросы выбора материала и технологии упрочняющих видов обработки следует рассматривать применительно к конкретным производственным условиям, так как один и тот же процесс термической обработки в различных производственных условиях может привести к разным экономическим результатам. На экономичность технологических процессов влияют тип продукции, использование соответствующих заготовок и энергоресурсов, возможность создания или применения специализированного оборудования и другие организационно-экономические условия, особенно в случае массового производства.

Обычно рассматривается возможность применения нескольких марок стали и способов упрочнения, что позволяет выбрать наиболее рациональный вариант, обеспечивающий наряду с высокими эксплуатационными свойствами также и хорошую технологичность на всех этапах маршрутной технологии её изготовления в соответствии с чертежом. Такой подход обозначает весьма практичный принцип совмещения необходимого с достаточным, когда возникает потребность сочетания в одном материале противоположных свойств, то есть достижение нормированного уровня необходимого свойства при обеспечении достаточного уровня других, менее важных свойств.

Перечень основных физико-механических, специальных (служебных), технологических свойств и экономических критериев, обеспечивающих эксплуатационные требования к деталям и узлам машин, можно представить в виде следующей схемы (рисунок 2).



Рисунок 2 – Основные критерии для рационального выбора конструкционного материала в машиностроении

Таким образом, после определения конструктивных параметров детали (форма и размеры) и условий её работы, в первую очередь действующих на деталь усилий, обоснованный подход к выбору материала с использованием принципа совмещения необходимого с достаточным должен осуществляться материаловедами, знающими особенности взаимосвязи состава, технологии получения и обработки, строения (структуры) и свойств материалов. Эти связи, экспериментально отработанные, и являются металлургической основой инженерных критериев выбора материалов и технологий, формирующих свойства материала в деталях (упрочняющая обработка).

Список литературы

1. *Гузанов Б. Н.* Основные принципы и методы оценки уровня качества машиностроительной продукции / Б. Н. Гузанов, В. В. Бухаленков // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве: сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции / ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет». Екатеринбург, 2018. С. 28-39.

2. *Протасов В. Н.* Качество машиностроительной продукции на различных стадиях уё жизненного цикла / В. Н. Протасов, О. А. Новиков, В. Г. Москва: Недра, 2012. 229 с.

3. *Филиппов М. А.* Методология выбора металлических сплавов и упрочняющих технологий в машиностроении: учебное пособие для студентов / М. А. Филиппов, В. Р. Бараз, М. А. Гервасьев. 2-е изд., испр. Екатеринбург: Изд-во УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. Т. 1: Стали и чугуны. 2013. 228 с.

УДК 006.86+006.91

Е. В. Кононенко, Е. В. Костикова, А. А. Санникова

E. V. Kononenko, E. V. Kostikova, A. A. Sannikova

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург*

*Ural Federal University named after the first
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg*

ekononenko51@mail.ru, liza.kost@mail.ru, sannikova.alena23@yandex.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

PRESENT PROBLEMS OF ENSURING THE QUALITY OF MEASUREMENTS

Аннотация. Качество измерений предполагает необходимость развития правовой и нормативной базы метрологической деятельности, постоянного обновления методов и используемых средств измерений, повышения уровня квалификации специалистов.