

ПОДБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

С.С. Гулов, Дж.Н. Алиев

Статья описывает порядок осуществления аналитических процедур для решения задачи выбора конструкционной стали с учетом условий её эксплуатации. Выделены основные критерии, обеспечивающие прочность и долговечность машиностроительных изделий. Особое внимание уделено инженерному подходу к разработке материала, гарантирующего стабильные эксплуатационные характеристики при взаимодействии с рабочей средой в условиях механических нагрузок.

Ключевые слова: качество продукции машиностроения, эксплуатационные характеристики, условия производства, надежность конструкции, долговечность изделия, конструктивная долговечность, физико-механические свойства, эксплуатационные показатели.

ИНТИХОБИ МАСОЛЕҲҶО БАРОИ ТАЪМИНИ МАСНУОТИ МОШИНСОЗИИ БАЛАНДИСИФАТ

С.С. Гулов, Ҷ.Н. Алиев

Мақола тартиби амалигардии расму қоидаи таҳлилиро барои ҳалли масъалаи интихоби пӯлоди конструксиониро бо дарназардошти шартҳои истифодабарии он тавсиф менамояд. Меъёрҳои асосии таъмини мустақамӣ ва устувории маснуоти мошинсозӣ қайд карда шудааст. Ба нуқтаи назари муҳандисии қоркарди масолеҳе, ки тавсифи устувори истифодабариро ҳангоми таъсири мутақобила бо муҳити қорӣ дар шароити қори механикӣ қафолат медиҳад, диққати махсус дода мешавад.

Калидвожаҳо: сифати маснуоти мошинсозӣ, ҳосиятҳои истифодабарӣ, муҳити истеҳсолӣ, эътимоднокии конструксия, пойдоҳии маснуот, устувории конструктивӣ, тавсифҳои физикии механикӣ, нишондиҳандаҳои ҳосиятҳои истифодабарӣ.

SELECTION OF MATERIALS TO ENSURE HIGH-QUALITY ENGINEERING PRODUCTS

S.S. Gulov, J.N. Aliev

This article describes the analytical procedures for selecting structural steel based on its operating conditions. Key criteria for ensuring the strength and durability of mechanical engineering products are identified. Particular attention is paid to the engineering approach to developing a material that guarantees stable performance characteristics when interacting with the working environment under mechanical loads.

Keywords: quality of engineering products, operational properties, production environment, design reliability, product durability, structural strength, physical and mechanical characteristics, performance indicators.

Введение

Повышение эффективности машиностроительного производства через совершенствование качества продукции в условиях глобальной экономики является актуальным.

В условиях глобализации и международного разделения труда одним из ключевых факторов повышения производительности машиностроительных предприятий является улучшение качества выпускаемых изделий. Качество в данном контексте рассматривается как совокупность характеристик, включающих, как сами свойства изделий, так и их количественные показатели, которые определяют способность продукции соответствовать заданным требованиям. В работе [1] понятие качества продукции в машиностроении многогранно, поскольку не современное машино- и приборостроение предъявляет высокие требования к конструкционным материалам, в связи с резким повышением многих параметров работы механизмов: давлений, скоростей, температур и т.д. Широкое использование металлов в современной технике связано с тем, что они обладают замечательным комплексом механических свойств: высокая прочность, твердость и упругость сочетаются у них с хорошей пластичностью, вязкостью. При этом в настоящее время уровень этих свойств резко возрос: разработаны металлические материалы, которые можно использовать и в условиях глубокого холода-вблизи абсолютного нуля – и при очень высоких температурах, при которых другие материалы служить не могут. Несмотря на то, что изучение природы механических свойств металлов привело к серьезным успехам, многое в этой области еще предстоит сделать.

Эти факторы в совокупности формируют перечень показателей качества, которые необходимо учитывать на всех этапах жизненного цикла изделия — от проектирования до эксплуатации и утилизации. На стадии разработки конструкции особое значение приобретает потребительская ценность изделия, выраженная через набор характеристик, гарантирующих выполнение его функций в различных условиях [2]. Ключевыми факторами, обеспечивающими высокое качество определяется физико-химическими свойствами обрабатываемых материалов и деталей, эффективностью и точностью технологических процессов, а также строгостью обработки и контроля качества. Например, при изготовлении деталей для авиационных двигателей выбор материала, такого как жаропрочные никелевые сплавы, необходимо учитывать их способность выдерживать высокие температуры и коррозионные воздействия, в то время как для массового производства автомобильных компонентов, таких как шасси, предпочтение может быть отдано углеродистым сталям, которые обеспечивают баланс между прочностью и экономичностью. Таким образом, одной из центральных задач на поэтапном выборе конструкции предполагает рациональный выбор материалов и технологий обработки, соответствующих целевому продукту.

Экспериментальная часть

Процесс выбора материала начинается с комплексного анализа конструктивных характеристик детали, включая геометрические параметры (форму и размеры), а также условия эксплуатации. Особое внимание уделяется механическим нагрузкам, действующим на детали, и потенциально агрессивным факторам окружающей среды, таким как коррозия, высокая влажность или экстремальные температуры. Например, при проектировании валов для судовых двигателей, работающих в морской воде, требуется учитывать не только механическую прочность, но и коррозионную стойкость, что может привести к выбору нержавеющей стали с дополнительной защитной обработкой. Эти факторы определяют требования к конструктивной прочности изделия, технологичности процессов механической, термической или химико-термической обработки, а также к экономическим аспектам, включая доступность материала, его стоимость и затраты на упрочняющую обработку. Кроме того, учитывается объем производства: для мелкосерийного выпуска высокотехнологичных компонентов, таких как элементы турбин, могут использоваться дорогостоящие легированные стали, тогда как для крупносерийного производства предпочтительны более доступные материалы с оптимизированными технологиями обработки.

На рисунке 1 представлена схема уровня служебных свойств и этапов анализа для решения задачи выбора материала. Процесс представляет следующие этапы: определение химического состава, технологические параметры, эксплуатационные условия, производство материала и определение некоторых параметров свойств, как физический, химический и механический, а также анализ экономической целесообразности. Такой подход позволяет не только обеспечить высокое качество машиностроительной продукции, но и оптимизировать производственные затраты, что имеет решающее значение в условиях глобальной конкуренции. Например, при производстве деталей для сельскохозяйственной техники, таких как плуги, выбор углеродистой стали с последующей закалкой позволяет достичь необходимой износостойкости при минимальных затратах, тогда как для высоконагруженных компонентов, таких как зубчатые колеса в редукторах, может потребоваться использование легированных сталей с цементацией для повышения усталостной прочности.

Эффективный выбор материалов и технологий также требует учета современных тенденций в машиностроении, таких как минимизация экологического воздействия и повышение энергоэффективности производства. Например, использование материалов с высокой перерабатываемостью или технологий, снижающих энергопотребление, может быть важным фактором для компаний, стремящихся соответствовать международным стандартам устойчивого развития. Кроме того, на этапе проектирования важно учитывать возможность автоматизации производственных процессов, что особенно актуально для крупносерийного производства, где оптимизация технологий обработки может значительно снизить себестоимость продукции. Такой комплексный подход позволяет машиностроительным предприятиям не только обеспечивать высокое качество изделий, но и укреплять свои позиции на глобальном рынке.

Анализ предложенной схемы демонстрирует, что подбор материала и обработки по технологии на первом этапе выполняется с учетом точного назначения изделия и условий его эксплуатации. На основе этих факторов подбирается материал с определённым химическим составом и соответствующей технологией обработки, которые обеспечивают формирование необходимой структуры материала. В данном случае первоочередная задача сосредотачивается на разработке требований к материалу, в которые входят такие показатели качества, обеспечивающие надёжную и долговечную работу изделия [3]. Эти показатели охватывают следующие аспекты:

1. Классификация внешнего воздействия: устанавливается тип нагрузки (статическая или динамическая) и схема напряжённо-деформированного состояния. Например, для вала двигателя внутреннего сгорания важно учитывать циклические нагрузки, вызывающие усталость материала;

2. Расчёт допустимых деформаций: определяются пределы упругих деформаций и нагрузок, которые могут привести к недопустимым изменениям формы или разрушению детали. Например, при проектировании мостовых балок рассчитываются нагрузки, обеспечивающие устойчивость без пластических деформаций;

3. Оценка нагрева в процессе эксплуатации: анализируется возможность повышения температуры детали и её допустимый уровень. Например, для турбинных лопаток, работающих в условиях высоких температур, требуется материал с высокой жаропрочностью, такой как никелевые сплавы;

4. Анализ разупрочнения: оценивается потенциальная потеря прочности материала в течение заданного ресурса эксплуатации. Например, для зубчатых колёс редукторов важно учитывать износ при длительной работе под нагрузкой;

5. Установление порога хладноломкости: определяется минимальная температура, при которой материал сохраняет пластичность и не становится хрупким. Это особенно важно для конструкций, эксплуатируемых в условиях низких температур, таких как трубопроводы в арктических регионах;

6. Оценка знакопеременных и истирающих нагрузок: изучаются циклические нагрузки и износ, которые могут привести к преждевременному разрушению детали. Например, для подшипников в машиностроении требуется высокая износостойкость, достигаемая за счёт термообработки или нанесения покрытий;



Рисунок 1 - Аналитические процедуры выбора материалов и алгоритмы технологий производства и переработки материалов

7. Анализ агрессивного воздействия внешней среды: определяется характер и степень влияния рабочей среды, например, коррозии или эрозии, и необходимость обеспечения устойчивости материала к этим факторам. Для судовых деталей, работающих в морской воде, применяются коррозионностойкие стали или защитные покрытия;

8. Оценка физических воздействий: рассматриваются возможные воздействия, такие как радиация, электромагнитные поля или термические эффекты, и устанавливаются их допустимые уровни. Например, в ядерной энергетике материалы для реакторов должны быть устойчивы к радиационному воздействию.

Эти шаги позволяют разработать материал, который соответствует эксплуатационным требованиям, обеспечивая высокую надёжность и долговечность изделия. Например, при проектировании компонентов для авиационной промышленности, таких как шасси самолёта, выбор высокопрочных алюминиевых сплавов с последующей термообработкой позволяет достичь оптимального баланса между прочностью и весом, минимизируя риск разрушения под нагрузкой. Такой подход к инжинирингу материалов не только гарантирует качество продукции, но и оптимизирует производственные процессы, снижая затраты и повышая конкурентоспособность на рынке.

На основе анализа заданных показателей качества, с учётом возможных дефектов кристаллической структуры и сплошности материала, проводится сравнение требуемых эксплуатационных характеристик с результатами лабораторных и натурных испытаний. Это позволяет сделать вывод о правильности выбора конструкционного материала, обеспечивающего стабильные и воспроизводимые свойства, необходимые для

надёжной и долговечной работы изделия [3]. Такой подход гарантирует, что материал будет соответствовать условиям эксплуатации, включая воздействие внешней среды и механические нагрузки.

Конструкционные материалы и их назначение

Конструкционные материалы должны иметь высокие механические свойства. т.е. сочетать высокую прочность ($\sigma_b = 80 - 130 \text{ кг/мм}^2$), хорошую пластичность ($\delta=50\%$, $\psi=13-17\%$), ударную вязкость ($a_k=10-14 \text{ кгм/см}^2$) и обладать высоким пределом усталости ($\sigma_{0,2} = 50-55 \text{ кг/мм}^2$). Конструкционные материалы отвечающие вышеуказанным требованиям, содержат от 0,1 до 0,55% С и не выше 6% в сумме легирующих элементов, так как при большом содержании углерода и легирующих элементов резко падают вязкость и пластичность металла.

Конструкционные материалы используют для получения некоторых деталей машин, механизмов и конструкций, которые в процессе эксплуатации подаются разным наружным нагрузкам. Такие машиностроительные детали отличаются по многообразным формам, размерам и условиям работы, таких как статические, циклические или ударные нагрузки, высокие или низкие температуры, а также воздействие сред различной природы (жидких, газообразных, агрессивных). Например, валы турбин в энергетическом машиностроении должны выдерживать циклические нагрузки, а детали судовых конструкций — воздействие морской воды.

Эксплуатационные требования

Эксплуатационные свойства металлов является основным характеристикам, так как они определяют выносливость материала которое обеспечивает способность детали в машиностроение. Основным требованием это высокое конструктивная прочность, которое является механических характеристики обеспечивающихся надёжности и длительное использование детали.

Увеличение прочность металла повышает надёжность и долговечность машин (конструкции) и понижает расход металла на их изготовление вследствие уменьшения сечение деталей машин, что имеет важное народнохозяйственное значение. К основным параметрам механического свойства по ГОСТу 1497-84 относится текучесть ($\sigma_{0,2}$), сопротивление при временное разрыв (σ_b), относительное удлинение (δ) и сужение металла (ψ). К этому примеру можно указывать получение внутренние детали редукторов, которые изготовлено из сталей с высоким прочностью, что обеспечивает устойчивость к усталостным нагрузкам. Указание параметры в некоторых случаях не может обеспечивать работоспособности основных деталей связи тем, что их свойства зависят от его условия использования, включая зависимости от используемой среды и температуры. Интервалы нагрева используемых материалов начинается от самых низких температур (-269°C , например, для криогенных установок) до высших точек нагрева (до 1000°C , а в некоторых деталях авиастроению до 2500°C). Деталей работающих на высоких температурах выбирается жаропрочные сталь, а при низких температурах — хладостойкие стали [4].

Обеспечение надёжности и долговечности деталей не рассчитывается на увеличения запаса прочности, примером, уменьшение формальных напряжений или увеличения сечения. Обязательно используется деталей с высокой устойчивостью к внешним воздействиям и совершенствовать технологии производства.

Основным критериями технологичности материала охватывает уменьшение трудоёмкости направленного на снижение трудоёмкости производства деталей и конструкций. К этим относится обрабатываемость резанием, способность к обработке давлением, свариваемость, литейные свойства, а также поведение материала при термической обработке (прокаливаемость, склонность к деформациям или короблению). Примером этих материалов можно привести, углеродистые стали, широко используемые в машиностроении для получения корпусов машин, обладают хорошей свариваемостью и обрабатываемостью, что повышает производительность и качество изготовления. Технологичность напрямую влияет на эффективность производственного процесса и конечное качество продукции.

Экономические аспекты подразумевают выбор материала, который обеспечивает минимальные затраты с учётом всех этапов — от стоимости сырья до эксплуатации готового изделия. Приоритет отдаётся более доступным материалам, таким как углеродистые или низколегированные стали, которые обеспечивают достаточные эксплуатационные характеристики при меньших затратах. Например, для массового производства автомобильных компонентов, таких как рамы, углеродистые стали предпочтительны из-за их низкой стоимости. Например, применение легированных сталей с цементацией для зубчатых колёс увеличивает их срок службы, снижая затраты на ремонт и замену.

Таблица 1 отражает ключевые показатели качества, упомянутые в тексте (конструктивная прочность, коррозионная стойкость, технологичность, экономичность), и включает примеры применения материалов в машиностроении, что соответствует обсуждаемым требованиям.

Таблица 1 - Ключевые показатели качества конструкционных материалов в машиностроении

Показатель качества	Описание	Пример применения	Тип материала	Условия эксплуатации
Конструктивная прочность	Совокупность механических характеристик ($\sigma_{0.2}$, σ_B , δ , ψ), обеспечивающих устойчивость к нагрузкам.	Зубчатые колёса редукторов, выдерживающие циклические нагрузки.	Легированная сталь (40X, 30XГСА) с термообработкой.	Высокие циклические нагрузки, температуры до 200°C.
Коррозионная стойкость	Способность материала противостоять разрушению от воздействия агрессивной среды (например, морской воды).	Детали судовых конструкций (валы, винты).	Нержавеющая сталь (12X18H10T).	Морская вода, влажность, температура 0–50 °C.
Жаропрочность	Устойчивость к высоким температурам без потери прочности.	Лопатки турбин в авиационных двигателях.	Никелевые сплавы (ХН77ТЮР).	Температуры до 1000°C, высокие нагрузки.
Хладостойкость	Сохранение пластичности при низких температурах.	Трубопроводы в арктических условиях.	Хладостойкая сталь (09Г2С).	Температуры до –60°C, статические нагрузки.
Износостойкость	Способность противостоять истиранию и усталостным нагрузкам.	Подшипники в машиностроении.	Высокоуглеродистая сталь (ШХ15) с цементацией.	Циклические нагрузки, трение, температуры до 150°C.
Технологичность (свариваемость)	Лёгкость обработки сваркой без дефектов.	Корпуса машин в автомобилестроении.	Углеродистая сталь (Ст3).	Сварка, умеренные нагрузки, температура 0–100°C.
Экономичность	Минимизация затрат на материал и обработку при сохранении свойств.	Рамы автомобилей в массовом производстве.	Низкоуглеродистая сталь (08кп).	Умеренные нагрузки, низкая стоимость.

Требования, предъявляемые к конструкционным материалам, часто вступают в противоречие друг с другом. Например, материалы с высокой прочностью, как правило, обладают меньшей технологичностью, что затрудняет их обработку методами резания, холодной штамповки или сварки. При выборе материала в машиностроении приходится искать компромисс между различными характеристиками. В массовом производстве приоритет часто отдается упрощению технологических процессов и снижению трудоёмкости изготовления деталей, даже если это связано с некоторым снижением эксплуатационных свойств или увеличением массы изделия. Например, для автомобильных рам могут использоваться углеродистые стали, которые проще в обработке, несмотря на их меньшую прочность по сравнению с легированными сталями.

В специализированных отраслях машиностроения, таких как авиастроение или энергетика, где ключевое значение имеет конструктивная прочность или удельная прочность (отношение прочности к массе), выбор материала и технологии его упрочнения ориентирован исключительно на достижение максимальных эксплуатационных характеристик. Например, для лопаток турбин применяются жаропрочные никелевые сплавы, подвергаемые сложной термической обработке для обеспечения работы при температурах до 1000°C. Однако при этом важно избегать избыточной долговечности отдельных компонентов, если она превышает срок службы всего изделия в сборе, чтобы не увеличивать затраты без необходимости [5].

При выборе стали для достижения требуемых механических и других свойств особое внимание уделяется подбору оптимального вида упрочняющей обработки — объёмной термической или поверхностной химико-термической. Решение о выборе материала и технологии упрочнения должно учитывать конкретные производственные условия, поскольку один и тот же процесс обработки, например закалка, может давать разные экономические результаты в зависимости от оборудования, масштаба производства и доступных ресурсов. Экономическая эффективность зависит от таких факторов, как тип продукции, выбор заготовок, энергопотребление, возможность применения специализированного оборудования и организационные особенности. Например, в массовом производстве автомобильных деталей использование автоматизированных линий для термообработки может существенно снизить затраты, тогда как в мелкосерийном производстве уникальных компонентов, таких как детали для аэрокосмической отрасли, требуется дорогостоящее оборудование для прецизионной обработки [5].

Как правило, рассматривается несколько вариантов марок стали и методов упрочнения, чтобы определить оптимальное сочетание, которое обеспечивает высокие эксплуатационные свойства и технологичность на всех этапах производственного процесса в соответствии с чертежами изделия. Этот подход отражает принцип сочетания необходимого и достаточного, когда требуется достичь заданного уровня ключевого свойства (например, прочности) при сохранении приемлемого уровня других характеристик, таких как свариваемость или обрабатываемость. Например, для производства зубчатых колёс редукторов может быть выбрана легированная сталь 40X с цементацией, обеспечивающая высокую износостойкость поверхности при сохранении пластичности сердцевины, что отвечает требованиям как эксплуатации, так и технологичности.

Перечень основных физико-механических, эксплуатационных, технологических и экономических характеристик, обеспечивающих соответствие деталей и узлов машин требованиям эксплуатации, представлен в виде схемы (см. рисунок 2). Эта схема иллюстрирует взаимосвязь между различными свойствами материала и их влиянием на качество готового изделия, подчеркивая необходимость комплексного подхода к выбору материала и технологии его обработки. Например, для деталей, работающих в условиях агрессивной среды, таких как судовые валы, схема может включать требования к коррозионной стойкости, достигаемой за счёт нанесения защитных покрытий, и одновременно учитывать экономическую целесообразность выбранного решения.



Рисунок 2 – Ключевые факторы для обоснованного подбора материала в машиностроительной отрасли

Заключение

Таким образом, после установления конструктивных характеристик детали (ее формы и размеров) и анализа условий эксплуатации, включая основные нагрузки, воздействующие на деталь, оптимальный выбор материала должен проводиться специалистами по материаловедению, опирающимися на принцип баланса между необходимым и достаточным. Этот подход предполагает глубокое понимание взаимосвязей между химическим составом материала, технологией его производства и обработки, а также его структурой и свойствами. Эти взаимосвязи, подтвержденные экспериментальными исследованиями, служат основой металловедческих принципов, лежащих в основе инженерных критериев подбора материалов и технологий, которые формируют эксплуатационные характеристики деталей через процессы упрочняющей обработки.

Рецензент: А.Э. Бердиев — д.т.н., профессор кафедры «Химии и биологии» РПИСУ.

Литература

1. Гузанов, Б. Н. Методология выбора конструкционных материалов для обеспечения качества машиностроительной продукции / Б. Н. Гузанов, В. В. Бухаленков // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве : сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Екатеринбург, 23 мая 2019 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2019. – С. 116-123. – EDN KAWXWS.

2. Витязя, П. А. Выбор и применение материалов: учебное пособие / П. А. Витязя, Н. А. Свидуновича и др. – Минск : Изд-во “Беларуская навука”, 2018.- с. 28-39. – 100экз.-Том 1,2,3,4 - ISBN:978-985-08-2204-8; 978-985-08-2531-5 (т.4),

3. Чудина, О.В. Выбор материалов и методов упрочнения деталей транспортного машиностроения: учеб. пособие / О.В. Чудина, Г.В. Гладова. – М.: Изд-во МАДИ, 2015. – 120 с.-100экз - ISBN: 978-5-7962-0209-8

4. Протасов, В. Н. Качество машиностроительной продукции на различных стадиях её жизненного цикла / В. Н. Протасов, О. А. Новиков, Москва: Недра, 2012.- 229 с.- ISBN 978-5-8365-0389-5

5. 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.- ISBN 978-5-7996-0917-7

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Гулов Саломидин Садридинович	Гулов Саломидин Садридинович	Gulov Salomidin Sadridinovich
н.н.т., дотсент	к.т.н., доцент	candidate of technical sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: gulovsalomidin@gmail.com		
TJ	RU	EN
Алиев Ҷамшед Насридинович	Алиев Джамшед Насридинович	Aliev Jamshed Nasridinovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	candidate of technical sciences, Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E- mail: Jamshdaliev0672@gmail.com		