



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-2-83-91>
УДК 543.39: 665.081

Поступила 05.02.2025
Received 05.02.2025

ПИЩЕВАЯ НЕРЖАВЕЮЩАЯ СТАЛЬ. ХАРАКТЕРИСТИКИ. СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

*Б. М. НЕМЕНЕНОК, Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: nemenenok@bntu.by*
*А. Р. ЦЫГАНОВ, ЧУВО «Институт управления и предпринимательства»,
г. Минск, Беларусь, ул. Славинского, 1/3*
*А. С. ПАНАСЮГИН, Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65*
*И. А. ПАНКОВЕЦ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,
г. Жлобин, Беларусь, ул. Промышленная, 37*
*Н. П. МАШЕРОВА, Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а. E-mail: Masherova.Nat@mail.ru*
*Н. Д. ПАВЛОВСКИЙ, Гродненский государственный медицинский университет,
г. Гродно, Беларусь, ул. Горького, 80*

Специфика приготовления пищи предусматривает целый ряд многократных санитарно-гигиенических мероприятий с использованием горячей воды, моющих и дезинфицирующих растворов различных pH, концентрации, температуры и времени воздействия, что может спровоцировать на некачественном оборудовании начало коррозионного процесса как на наружной, так и на внутренней поверхности. Тепловой режим эксплуатации кухонной посуды находится в пределах от -15°C (холодильник) до $+100^{\circ}\text{C}$ (при использовании в духовом шкафу до $+250^{\circ}\text{C}$). Все упомянутые марки сталей полностью отвечают требованиям по коррозионной стойкости, предъявляемым к посуде. Емкости из них ни при каких нормальных, оговоренных изготовителем условиях эксплуатации не могут быть подвержены коррозии. Главным критерием пригодности той или иной нержавеющей стали для пищевых целей является ее химическая инертность и допустимое количество миграции химических элементов, входящих в состав стали, из изделий в модельную среду.

Ключевые слова. Аналогии нержавеющей сталей, пищевые стали, сплавы.

Для цитирования. Немененок, Б. М. Пищевая нержавеющая сталь. Характеристики. Сферы применения / Б. М. Немененок, А. Р. Цыганов, А. С. Панасюгин, И. А. Панковец, Н. П. Машерова, Н. Д. Павловский // Литье и металлургия. 2025. № 2. С. 83–91. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-2-83-91>.

FOOD STAINLESS STEEL. CHARACTERISTICS. SPHERES OF APPLICATION

*B. M. NEMENENOK, Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: nemenenok@bntu.by*
*A. R. TSYGANOV, International Institute of Management and Entrepreneurship,
Minsk, Belarus, 1/3, Slavinskogo str.*
*A. S. PANASYUGIN, Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.*
*I. A. PANKOVETS, OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”,
Zhlobin, 37, Promyshlennaya str.*
*N. P. MASHEROVA, Belarusian State Technological University,
Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str. E-mail: Masherova.Nat@mail.ru*
N. D. PAVLOVSKY, Grodno State Medical University, Grodno, Belarus, 80, Gorky str.

Specificity of food preparation provides a number of repeated sanitary and hygienic measures with the use of hot water, washing and disinfecting solutions of different pH, concentration, temperature and time of exposure, which can provoke the beginning of corrosion process on poor-quality equipment, both on the external and internal surfaces of the equipment. The thermal operating temperature of cookware ranges from -15°C (refrigerator) to $+100^{\circ}\text{C}$ (up to $+250^{\circ}\text{C}$ when used in an oven). All the

above-mentioned steel grades fully meet the corrosion resistance requirements for cookware. Tanks made of these steels cannot be subject to corrosion under any normal operating conditions specified by the manufacturer. The main criterion for the suitability of a particular stainless steel for food applications is its chemical inertness and the permissible amounts of migration of the chemical elements that make up the steel from the products into the modelling medium.

Keywords. *Stainless steel analogues, food steel, alloys.*

For citation. *Nemenenok B. M., Tsyganov A. R., Panasyugin A. S., Pankovets I. A., Masherova N. P., Pavlovsky N. D. Food stainless steel. Characteristics. Spheres of application. Foundry production and metallurgy, 2025, no. 2, pp. 83–91. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-2-83-91>.*

Взаимодействие системы продукт – материал оценивается и регламентируется с точки зрения охраны здоровья потребителя. При этом для каждого вида продукта имеются материалы, разрешенные или запрещенные к применению. Например, медь запрещена в оборудовании молочных заводов и разрешена в кондитерском производстве; алюминий разрешен в молочной промышленности вообще, но запрещен при производстве молочных продуктов для детского питания.

Специфика условий пищевого производства (коррозионно-активные пищевые среды, моющие и дезинфицирующие растворы, повышенная температура, высокая скорость истечения рабочих сред, значительные перепады давления) определяет особые требования к выбору материалов при конструировании технологического оборудования. В связи этим материалы должны быть разрешены для производства конкретных пищевых продуктов [1, 2].

Наиболее распространенным материалом для изготовления оборудования пищевого производства является так называемая в обиходе нержавейка, т.е. нержавеющая сталь. Но, к сожалению, даже нержавеющее оборудование при изготовлении и в процессе эксплуатации подвергается коррозии различного вида. Поверхность покрывается темным налетом, появляются белесые, серые, темно-серые и даже фиолетовые разводы. Надо заметить, что такое поведение нержавейки в настоящее время стало встречаться все чаще, и иногда старое оборудование выглядит лучше, чем новое после непродолжительной эксплуатации.

Нержавеющие стали – это сложнолегированные стали, стойкие к коррозии в атмосфере и агрессивных средах. Химические элементы, специально вводимые в сталь для изменения ее строения и свойств, называются легирующими. Стали, содержащие легирующие элементы, называются легированными [2]. Основными легирующими элементами являются Cr, Ni, Mn, Si, W, Mo, V, Al, Cu, Ti, Nb, Zr, B. По их количеству различают низколегированные стали, содержащие до 2,5 % легирующих элементов, среднелегированные – от 2,5 до 10 % и высоколегированные – более 10 %. Введение в нержавеющие сплавы вышеуказанных легирующих элементов позволяет получить различные виды кристаллической решетки и соответственно необходимые свойства стали.

Нержавеющие стали, принадлежащие к средне- и высоколегированным группам, представляют собой хромосодержащие сплавы. Их коррозионная стойкость в значительной степени объясняется наличием хрома, обладающего способностью пассивироваться, тем самым создавать защитный слой на поверхности металла. Минимальное содержание хрома в стандартной нержавеющей стали не менее 10,5 %. С увеличением его количества возрастает коррозионная стойкость сплава. Для изготовления пищевого оборудования, например в виноделии, пивном, дрожжевом производстве, хлебопечении, рекомендуются стали с содержанием хрома не менее 17 %. Использование сталей с содержанием хрома 13–14 % для пищевых производств не рекомендуется из-за их низкой коррозионной стойкости. Такие стали во влажно-воздушной среде корродируют с образованием оксида железа. Хромистые сплавы устойчивы для тех сред, в которых они пассивируются и в которых не разрушается их защитная пленка. Для повышения коррозионных свойств в систему сплава железо – хром добавляют никель, во избежание межкристаллитной коррозии сварных швов и зоны нагрева в диапазоне 450–850 °C вводят титан, а для предотвращения точечной коррозии – молибден [3, 4].

Нержавеющие стали, кроме коррозионных свойств, должны обладать и другими специфическими свойствами – пластичностью, вязкостью, прочностью, гибкостью, хорошей пригодностью к сварке.

Наряду с введением легирующих элементов для изменения или стабилизации полученных свойств стали подвергают различного вида термическим обработкам, поскольку применение повышенных температур как в процессе изготовления, так и при эксплуатации оборудования может приводить к изменению свойств металла. В зависимости от введенных легирующих элементов и проведенных термообработок различают четыре основных вида нержавеющих сталей: аустенитные, ферритные, аустенитно-ферритные и мартенситные.

Аустенитная сталь является самым распространенным типом нержавеющей стали, применяемой при изготовлении пищевого оборудования. Она легируется никелем (не менее 7%), титаном, молибденом, марганцем, что придает ей пластичность, широкий спектр температурных режимов, немагнитные свойства и хорошую пригодность к сварке. Именно этот тип нержавеющей стали должен использоваться при изготовлении пищевого оборудования.

Разрушение металла под действием окружающей среды называется коррозией. Она обычно начинается с поверхности металла и при дальнейшем развитии распространяется вглубь, вызывая изменение состава металла и его свойств. Металл при этом частично или полностью разрушается либо же продукты коррозии могут образоваться в виде осадка на поверхности металла. Коррозия металлов в значительной степени зависит от характера действующей среды: по-разному протекает в кислых, щелочных и нейтральных средах, при повышении температуры активизируется. Одновременное воздействие агрессивной газовой (воздушной) среды и повышенных температур приводит к интенсивному образованию продуктов коррозии и соответственно изменению свойств металла и внешнего вида оборудования [5–7].

В зависимости от характера разрушения коррозия может быть равномерной (сплошной) или неравномерной, т.е. сосредоточенной на отдельных участках. Если коррозия вызывает разрушения только некоторых участков металла, а остальная часть поверхности остается незатронутой, то такой вид коррозии называют местной. Различают следующие виды местной коррозии:

- 1) коррозия пятнами – разрушения на отдельных участках распространяются в виде пятен на небольшую глубину; такое разрушение более близко к равномерной коррозии;
- 2) коррозия в виде язв – углубления в металле, сосредоточенные на сравнительно ограниченных участках;
- 3) точечная коррозия – глубокие местные разрушения в виде точек, которые могут перейти в сквозные;
- 4) подповерхностная коррозия – разрушения, которые начинаются на поверхности металла и затем переходят под поверхность; продукты коррозии сосредотачиваются под ней, вызывая вспучивание и расслоение металла;
- 5) избирательная коррозия – разрушает только одну структурную составляющую или один компонент сплава;
- 6) межкристаллитная коррозия – ее также можно отнести к избирательной, характеризующейся разрушением металла по границам кристаллитов;
- 7) транскристаллитная коррозия – коррозионные разрушения в отличие от межкристаллитной распространяются в глубь металла по телу кристаллитов;
- 8) коррозионное растрескивание.

Равномерная коррозия – один из наименее опасных видов, чаще всего не вызывает значительного разрушения металла, тем не менее может быть нежелательной по причине потускнения или изменения цвета металла. Различные виды местной коррозии происходят в случаях неполной пассивности металла, при неравномерной аэрации углублений, различной концентрации раствора в разных точках, при неоднородной обработке металла.

При точечной коррозии на отдельных участках конструкций или оборудования могут образовываться раковины и сквозные отверстия. Такое разрушение особенно типично для пассивирующихся металлов (хром, алюминий, хромоникелевые стали) и возникает в результате нарушений в отдельных участках пассивирующего слоя, который покрывает поверхность стали и предотвращает возникновение коррозии. Точечную коррозию стали также могут вызывать компоненты сталелитейного процесса металлургического производства – сульфиды. Исследования показали, что причиной такой коррозии является сера, которая имеет более низкую температуру плавления, чем сталь, и во время литья в течение короткого времени после того, как сталь укрепилась, попадает в структуру поверхности металлических листов прокатной стали. Эти частицы примеси всасывают хром из структуры стали, создавая области (точки) слабости на поверхности нержавеющей стали. Как только подобные соединения достигают внешней поверхности металла, эта область может быть подвержена коррозии точно так же, как и железо. Именно поэтому нержавеющая сталь – не столь идеальная, как принято считать.

Существенное влияние на скорость развития точечной коррозии оказывают также степень чистоты металла и повышение температуры. Межкристаллитная коррозия очень опасна вследствие разрушения металла по границам кристаллитов. Часто она не изменяет внешнего вида металла, и разрушение оборудования или детали может произойти неожиданно. При сварке высоколегированных сталей в ряде

случаев наблюдается так называемая ножевая коррозия. Опасность ее возникновения особенно велика в зонах сварного шва. Режим сварки нержавеющей стали должен быть таким, чтобы участки стали у шва не попадали в область действия опасных температур 450–850 °С, так как в этом интервале и при последующем медленном охлаждении происходит обеднение пограничных участков зерен хромом, возникает процесс депассивации, в результате чего коррозионная стойкость резко снижается. Неправильный режим термической обработки в процессе изготовления оборудования или термическое воздействие в опасном интервале (сварка, гибка с подогревом и т.д.) вызывает снижение коррозионной стойкости и появление склонности к межкристаллитной коррозии. Ее может вызывать также повышенное содержание углерода в сплаве и отсутствие титана. Чтобы предотвратить такую коррозию и повысить общую коррозионную стойкость, в сталь вводят присадку титана в количестве, в 6–7 раз превосходящем содержание углерода.

Сварке нержавеющей стали во всех странах уделяется много внимания, поскольку сварные швы и околошовная зона являются наиболее уязвимыми для коррозии участками. При соблюдении определенных условий удастся производить сварку с сохранением коррозионной стойкости указанных участков. Сварку следует осуществлять в среде инертного газа, шов должен быть ровный, без зазоров, свищей и расслоений, сам шов и околошовная зона – иметь только цвета побежалости. Наличие черно-красной окалины говорит о выгорании легирующих элементов и исчезновении коррозионной стойкости. В таких случаях необходимо произвести зачистку сварной зоны и шва и восстановить пассивную пленку химическим путем специальными растворами или пастами. Часто приходится видеть отечественное оборудование из нержавеющей стали со следами коррозии по сварным швам, зонам зачистки швов и различными дефектами поверхности металла (царапины, вмятины). Это значит, что в процессе зачистки сняли пассивный слой, а восстановить его забыли или просто не знали, как работать с нержавеющей сталью.

В пищевой промышленности поверхности оборудования подвергаются различному воздействию. Специфика пищевого производства предусматривает целый ряд многократных санитарно-гигиенических мероприятий с использованием горячей воды, моющих и дезинфицирующих растворов различных pH, концентрации, температуры и времени воздействия, что может спровоцировать на некачественном оборудовании начало коррозионного процесса как на наружной, так и на внутренней поверхности оборудования. При подборе моющих и дезинфицирующих средств обязательно должны учитываться материал оборудования и его физическое состояние (срок эксплуатации, износ и механические повреждения поверхности металла). Необходимо обратить особое внимание на такой фактор, как промывочная вода. Коррозия сталей может возникать в любой чистой, сверхчистой, очищенной питьевой или неочищенной технической воде, паре. Умягчение воды не удаляет анионы, такие как карбонаты, бикарбонаты, хлориды и подобное, а только обеспечивает обмен с катионами, такими как кальций и магний, с содой и калием. Даже кратковременное воздействие хлорсодержащих реагентов может стать отправной стадией появления коррозии, в особенности если поверхность нержавеющей стали шероховатая. Полированная стальная поверхность обладает повышенной коррозионной устойчивостью, но такие повреждения, как царапины, риски, чистка абразивным материалом или металлическими щетками, приводят к возникновению коррозии [8–11].

Механически полированные поверхности имеют более низкую коррозионную стойкость, нежели электрополированные, так как при полировальных операциях остаются микроскопические изъявления. Электрополировка удаляет их и производит пассивирующий слой с более высоким соотношением хром – железо. Изъявления образуют элементы коррозии, где могут концентрироваться растворы хлоридов и продолжать реагировать, даже если система в целом оснащена промывкой с высокой жесткостью воды. Использование сильнодействующих ПАВ в растворе промывки будет способствовать удалению хлоридов. Черная, но не бурая коррозия образуется в присутствии пара и горячей воды, близкой к температуре пара. При первоначальном образовании она синяя, а затем становится черной, поскольку нарастает до предельной толщины, предупреждающей дальнейшее проникновение кислорода. На электрополированных поверхностях нержавеющей стали такая коррозия блестяще черная, а на непассивированных механически полированных может быть матово-черной. Анализ с использованием фотоэлектронной спектроскопии показывает, что этот слой является полутонким оксидом железа, обычно именуемым магнитным железняком. Он удаляется не обычной чисткой, а химическими средствами или шлифованием. Если коррозия является блестяще черной, то ее можно оставить, так как она достаточно стабильна. Матовый слой коррозии может потребовать чистки, после чего поверхность должна быть химически запассивирована, но при последующей эксплуатации оборудования поверхность может снова потемнеть [12–14].

Требования к эксплуатации оборудования

Несмотря на высокую коррозионную стойкость нержавеющей сталей, для обеспечения долговечно-сти изготовленного из них оборудования необходимо выполнять следующие требования:

- не допускать контакта разнородных металлов (а в случае конструктивной необходимости такого контакта разъединять металлы изолирующими прокладками);
- аппараты не должны иметь острых углов, щелей, труднодоступных углублений, способствующих оседанию твердых частиц и застыванию сред; по этой же причине следует избегать нахлесточных сварных соединений;
- избегать контакта нержавеющей оборудования с пористыми материалами, имеющими свойство впитывать среды;
- избегать длительного контакта с горячими концентрированными растворами, содержащими хлористый натрий (поваренная соль), с кислыми растворами на основе соляной кислоты при любых температурах, дезинфицирующими средствами с содержанием хлора;
- не допускать засыхания пищевых сред как кислого, так и нейтрального характера на поверхности металла (нейтральная среда имеет свойство прокисать);
- при промывке оборудования особенно с полированной поверхностью применять не горячую, а теплую воду (25–50 °C);
- подбирать моющие и дезинфицирующие средства для санитарных обработок оборудования следует с учетом их коррозионного воздействия на металл (подробную характеристику препаратов, а также технологию их применения обязан предоставить завод-изготовитель);
- по окончании санитарных обработок необходимо обеспечивать полноту смываемости используемых растворов;
- при обработке технологий санитарной мойки применять минимально допустимую концентрацию препаратов и минимально требуемую температуру растворов.

Легированные (нержавеющие) стали являются сегодня практически незаменимым материалом для изготовления пищевого оборудования. Технологическая и санитарно-гигиеническая оценка нержавеющей сталей, контактирующих с продуктами виноделия как с наиболее коррозионно-активными, позволила выявить марки нержавеющей сталей, допущенных к контакту с пищевыми продуктами [15].

Детали и узлы, длительно контактирующие с суслом, вином, коньячным спиртом, продуктами переработки отходов виноделия (в свеклосахарном, ликероводочном, хлебопекарном, кондитерском производствах), необходимо изготавливать из сталей марок 12X18H9T, 12X18H10T, 08X21H6M2T, 12X21H5T, 10X14Г14Н4Т, 08X17T, 08X21H5T, 08X18Г8Н2Т, в состав которых входят хром, никель, титан, детали и узлы, непродолжительно контактирующие с суслом и вином, – из сталей 12X13, 20X13, 30X13, 12X17, 14X17H2, детали машин, аппаратов и цистерн для перевозки и хранения вина, коньячного спирта, молочных продуктов – из сталей 08X18Г8Н2М2Т, 08X23H28M2T, 40X25H.

В настоящее время предприятиям, изготавливающим оборудование, все чаще предлагаются импортные нержавеющей стали, маркировка которых указывается в соответствии с зарубежными стандартами, чаще всего Германия – DIN, США – AISI. Самыми распространенными сейчас являются стали марок AISI 304, AISI 304L, AISI430, AISI316, AISI316Ti, AISI321, которые часто рекламируются как аналоги стали 08X18H10T, 12X18H10T, X18H9T.

Действительно, все эти стали относятся к легированным нержавеющей, но стали марок AISI304, AISI430, AISI316 не стабилизированы титаном, а значит, подвержены межкристаллитной коррозии и снижению коррозионной стойкости в зонах нагрева – сварки, пайки, гибки. Эти зоны необходимо после механической зачистки подвергать обязательной химической пассивации специальными пастами или растворами. Различные термические, механические и химические воздействия на эти стали как в процессе изготовления, так и при эксплуатации оборудования меняют структуру поверхности стали, что делает ее уязвимой к воздействию различных рабочих сред пищевого производства и средств санитарно-гигиенической обработки. В связи с этим при изготовлении или эксплуатации оборудования из сталей этих марок необходимо выполнять указанные выше рекомендации.

Классификация пищевых нержавеющей сталей

Металлурги создали огромное количество марок нержавеющей сталей – оно исчисляется сотнями. Такое многообразие нуждается в строгой классификации. Один из критериев деления нержавеющей на виды – ее структура.

- Ферритные стали. Отличаются не только исключительной стойкостью к коррозии, но и хорошей намагничиваемостью, имеют невысокую стоимость (например, сталь 02X18M2БТ).
- Аустенитные марки. Характеризуются особой прочностью и пластичностью, благодаря которым получили широкое распространение (08X18H9).
- Мартенситные стали. Имеют игольчатую углеродную структуру. Отличаются повышенной износостойкостью. Изделия из них могут использоваться при высоких температурах (10X13).
- Материалы с комбинированной структурой – аустенитно-ферритные (например, 03X23H6), аустенитно-мартенситные (07X16H6) и ферритно-мартенситные (12X13). Объединяют свойства и достоинства перечисленных выше видов нержавеющей стали.

Еще один критерий классификации – физико-механические свойства материала.

- Коррозионно-стойкие стали. Основное их достоинство – максимальная устойчивость к коррозии.
- Жаростойкие марки. Сохраняют коррозионную стойкость даже при очень высоких температурах и активном воздействии агрессивных соединений.
- Жаропрочные разновидности. Нержавеющие стали этой группы сохраняют механическую прочность при высоких температурах.

В табл. 1 приведены сравнительные показатели сталей AISI 304 и AISI 430.

Т а б л и ц а 1

Показатель	AISI 304	AISI 430
Химический состав, %	$C \leq 0,08$, $Cr\ 18-20$, $Ni\ 8-10,5$, $Mn \leq 2$, $Si \leq 0,75$, $P \leq 0,045$, $S \leq 0,003$, $N \leq 0,1$	$C \leq 0,12$, $Cr\ 16-18$, $Ni \leq 0,5$, $Mn \leq 1$, $Si \leq 1$, $P \leq 0,04$, $S \leq 0,03$
Коррозионная стойкость	Высокая в кислых и щелочных средах	Высокая в среде с высоким содержанием хлоридов
Предел текучести, МПа	205–515	205–450
Предел прочности, МПа	515–860	450–600
Ударная вязкость, Дж/м ²	40–200	10–50
Твердость по Бринеллю, НВ	123–230	183–280
Магнитные свойства	Немагнитная при комнатной температуре	Магнитная при любой температуре

Тема безопасности посуды является предметом постоянных споров как в профессиональной среде, так и среди конечных потребителей. Острота подобных дискуссий очевидна – нахлынувший поток импортной посуды и несовершенство контроля за тем, соответствует ли она действующим санитарным нормам, приводит к тому, что на полках магазинов нередко можно встретить продукцию весьма сомнительного качества.

С другой стороны, часто возникают и такие ситуации, когда предметом обсуждения являются не данные научных исследований, а мифы о вреде или пользе того или иного материала, распространяемые в рамках конкурентной борьбы между некоторыми производителями или дистрибьюторами. В обоих случаях разобраться в спорных вопросах способны помочь лишь дополнительные знания о тех или иных аспектах производства посуды.

Выбор материалов для изготовления современных кастрюль из нержавеющей стали обусловлен их конструктивными особенностями (глубокая, цельнотянутая емкость с присоединенным теплораспределительным слоем и покрывающей капсулой дна), а также коррозионной стойкостью материала и его соответствием гигиеническим нормам [16, 17]. Химический состав некоторых наиболее распространенных марок нержавеющей стали, используемых в настоящее время для изготовления посуды и столовых приборов, приведен в табл. 2.

С производственной точки зрения лучше всего для глубокой вытяжки подходят хромоникелевые стали марок 304 и 316. Для изготовителя важно, чтобы при глубокой вытяжке был минимальный процент брака и при дальнейшей обработке сталь хорошо поддавалась полировке, а для заказчика – чтобы посуда стояла как можно меньше, но при этом сохраняла определенный уровень качества. На хrome, легирующем элементе, который определяет коррозионную стойкость стали, сэкономить не получится (минимальный уровень легирования коррозионностойких сталей 15–17%), а вот на никеле очень даже можно. Высокая стоимость никеля в последние годы (и соответственно хромоникелевых сталей) заставляет изготовителей применять при производстве посуды альтернативные, более дешевые марки сталей, например, такие как 202 и NTK D11, в которых дорогой никель частично замещен более дешевым марганцем.

Таблица 2

Марка стали	Элемент, %										
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Nb	Ti	N
Аустенитные											
AISI 304	≤0,08	≤1,0	≤2,0	≤0,045	≤0,030	8,0–10,5	18,0–20,0	–	–	–	–
AISI 321	≤0,08	≤1,0	≤2,0	≤0,045	≤0,030	9,0–12,0	17,0–19,0	–	–	≤0,7	–
AISI 202	≤0,12	≤0,75	≤8,5–10,5	≤0,060	≤0,030	1,0–1,5	14,0–16,5	≤2,0	–	–	≤0,020
AISI 201	≤0,08	≤0,75	≤7,0–8,0	≤0,060	≤0,010	4,0–5,0	15,0–17,5	≤1,5	–	–	≤0,010
NTK D11	≤0,10	≤1,0	≤5,5–7,5	≤0,045	≤0,015	3,5–5,5	17,0–18,0	1,5–3,5	–	–	–
Ферритные											
AISI 430	≤0,12	≤0,75	≤1,0	≤0,040	≤0,030	–	16,0–18,0	–	–	–	–
SUS 430J1L	≤0,025	≤1,0	≤1,0	≤0,040	≤0,030	–	16,0–20,0	0,3–0,8	0,1	–	≤0,025
JYH21CN (21Cr-Ti)	≤0,015	≤1,0	≤1,0	≤0,040	≤0,030	–	20,0–23,0	≤0,43	–	≤0,3	≤0,015
NSSC180	≤0,02	≤1,0	≤1,0	≤0,040	≤0,006	≤0,60	19,0–21,0	0,30–0,60	0,3–0,8	–	≤0,025
Мартенситные											
SS420J1	0,16–0,25	≤1,0	≤1,5	≤0,040	≤0,010	–	12,0–14,0	–	–	–	–
SS420J2	0,36–0,42	≤1,0	≤1,0	≤0,040	≤0,010	–	12,5–14,5	–	–	–	–

Пластичность этих сталей не уступает маркам 304 и 316, они имеют аустенитную структуру, но по выходу годных емкостей после глубокой вытяжки менее эффективны. Еще более дешевый вариант – безникелевые стали ферритного класса типа 430, JYH21CT, NSSC 180. Марку 430, как правило, не используют для изготовления емкостей, поскольку эта сталь имеет меньшую коррозионную стойкость по сравнению с другими и плохо поддается полировке. Из нее делают покрывающую капсулу теплораспределительного дна. Это не только удешевляет изделие в целом, но и позволяет использовать емкости, сделанные из аустенитных марок сталей, на индукционной плите. Марки JYH21CT, NSSC 180 и аналогичные им в последнее время все чаще используются для изготовления цельнотянутых емкостей. Эти стали обладают неплохой пластичностью и способностью к глубокой вытяжке, но трудозатраты на полировку емкостей из этих сталей заметно больше, чем, например, емкостей из стали 304. Как правило, эти материалы используют для изготовления крупных (профессиональных) емкостей. На малых размерах увеличение стоимости полировки практически сводит на нет выигрыш от уменьшения стоимости самого материала [18–21].

Как показывает практика, некоторые марки нержавеющей стали, в частности производимые в материковом Китае и Индии, могут не соответствовать гигиеническим нормам по марганцу. Как правило, это марки 201 и 202, в которых повышено содержание марганца (до 10,5%). Несмотря на то что марка 202 производится во многих странах мира, качество стали и, в частности, миграция марганца в окружающую среду зависят от того, какое предприятие является изготовителем.

Для изготовления столовых приборов (ложки, вилки) используются те же марки стали, что и для кастрюль, – 430, 304 и 202, для столовых ножей – марку 420. Исходным сырьем для изготовления кастрюль и столовых приборов является холоднокатаный полированный лист (рулоны) с отделкой поверхности 2В. Для изготовления кастрюль применяется лист толщиной 0,5–1,0 мм, для скороварок – толщиной 0,8–1,2 мм. Для изготовления теплораспределительного слоя кастрюль и сковород из нержавеющей стали используется алюминиевый лист марки А5 (или аналоги) толщиной 3,0–10,0 мм, для изготовления столовых приборов – лист толщиной 2,0–4,0 мм. Столовые ножи изготавливают, как правило, из прутка диаметром 12–20 мм. К большому сожалению, наша металлургическая промышленность не имеет оборудования для производства качественного исходного материала (холоднокатаного, полированного, нержавеющей листа с отделкой поверхности 2В), поэтому отечественные производители вынуждены использовать для производства посуды и столовых приборов исключительно импортную нержавеющую сталь [22–24].

Выводы

Выбор материала заказчиком и изготовителем при производстве посуды в значительной степени зависит от мировых цен на никель и обусловлен больше экономическими соображениями, нежели механическими свойствами конкретной марки стали. С точки зрения коррозионной стойкости к посуде применимы далеко не самые жесткие требования, так как в быту для приготовления пищи не используются

сильные кислоты или другие агрессивные среды. Тепловой режим эксплуатации кухонной посуды находится в пределах от -15°C (холодильник) до $+100^{\circ}\text{C}$ (при использовании в духовом шкафу до $+250^{\circ}\text{C}$). Все упомянутые марки сталей полностью отвечают требованиям по коррозионной стойкости, предъявляемым к посуде. Емкости из них ни при каких нормальных, оговоренных изготовителем условиях эксплуатации не могут быть подвержены коррозии. Главным критерием для пригодности той или иной нержавеющей стали для пищевых целей является ее химическая инертность и допустимое количество миграции химических элементов, входящих в состав стали, из изделий в модельную среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности микроструктуры, фазового состава и возможности упрочнения нержавеющей сталей с 13–17% Cr / Д. А. Пумпянский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2022. – Т. 65, № 9. – С. 644–653.
2. Effect of modification of oxide layer on NiTi stent corrosion resistance / C. Trépanier [et al.] // Journal of biomedical materials research. – 1998. – P. 433–440.
3. Эволюция микроструктуры при моделировании сварки ферритной/мартенситной стали, модифицированной бором / М. Ахтар [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2019. – Т. 120, № 7. – С. 731–745.
4. Дергач, Т. А. Влияние бора на микроструктуру и свойства труб из низкоуглеродистой аустенитной хромоникелевой стали // Вопросы атомной науки и техники. – 2005. – № 5. – С. 80–86.
5. Effect of boron distribution on the intergranular corrosion resistance of UNS S32506 duplex stainless steels / Takayuki Takei [et al.] // Journal of the electrochemical society. – 2019. – Vol. 166, iss. 16. – P. 375–381.
6. Electrochemical corrosion behavior of spray-formed boron-modified supermartensitic stainless steel / G. Zepon [et al.] // Metall. Mater. Trans. A. – 2017. – Vol. 48. – P. 2077–2089.
7. Wang, H. A. Comparative study of high boron alloys with 2.0 wt% B based on 304 and 316 stainless steels / H. A. Wang, T. Wang // Materials Letters. – 2021. – Vol. 285.
8. Design of wear resistant boron-modified supermartensitic stainless steel by spray forming process / G. Zepon [et al.] // Materials & Design. – 2015. – Vol. 83. – P. 214–223.
9. Cetin, M. Effect of boron added corrosion behavior of cast 304 stainless steel / M. Cetin // Protection of metals and physical chemistry of surfac. – 2019. – Vol. 55. – P. 1217–1225.
10. Березовская, В. В. Система легирования высокоазотистых аустенитных сталей, структура, механические и коррозионные свойства / В. В. Березовская // Инновации в материаловедении и металлургии: материалы I Междунар. интеракт. НПК, 13–19 дек. 2011 г., Екатеринбург. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2012. – Ч. 1. – С. 257–266.
11. Банных, О. А. Азот как легирующий элемент в сплавах на основе железа / О. А. Банных, В. М. Блинов, М. В. Костина // Фазовые и структурные превращения в сталях: труды школы-семинара. Вып. 3. – Магнитогорск: Дом печати, 2003. – С. 157–192.
12. Приданцев, М. В. Высокопрочные аустенитные стали / М. В. Приданцев, Н. П. Талов, Ф. М. Левин. – М.: Металлургия, 1969. – 247 с.
13. Костина, М. В. Особенности сталей, легированных азотом / М. В. Костина, О. А. Банных, В. М. Блинов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2000. – № 12. – С. 3–6.
14. Nakamura, N. Effect of structural factors of the mechanical properties on the high nitrogen austenitic steels / N. Nakamura, T. Tsuchiyama, S. Takaki // Materials Science Forum. – 1999. – Vol. 318–320. – P. 209–214.
15. Шпайдель, М. О. Новые азотсодержащие аустенитные нержавеющие стали с высокими прочностью и пластичностью / М. О. Шпайдель // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – № 11. – С. 9–13.
16. Влияние термической обработки на структурные превращения и свойства высокоазотистых сталей / В. М. Блинов [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2000. – № 6. – С. 19–24.
17. Влияние режимов горячей прокатки и термической обработки на структуру, механические и технологические свойства аустенитной азотсодержащей стали 05X22AG15N8M2Ф-Ш / О. А. Банных [и др.] // Металлы. – 2006. – № 4. – С. 33–41.
18. Структура и коррозия металлов и сплавов: атлас. Справ. изд. / И. Я. Сокол [и др.]. М.: Металлургия, 1989.
19. Гуляев, Б. Б. Синтез сплавов / Б. Б. Гуляев. – М.: Металлургия, 1984.
20. Браун, М. П. Микролегирование стали / М. П. Браун. – Киев: Наукова думка, 1982.
21. Браун, М. П. Аналитический расчет поверхностной активности ниобия, циркония и лантана / М. П. Браун, Н. И. Матюшенко // Редкоземельные металлы и сплавы. – М.: Наука, 1971. – С. 73–75.
22. Stanley, J. T. Magnetic properties of irradiated austenitic stainless steel / J. T. Stanley // J. Nucl. Mater. – 1979. – Vol. 85–86. – P. 787–91.
23. An experimental study of the martensite nucleation and growth in 18/8 stainless steel / T. Suzuki [et al.] // Technical Report of ISSR, Ser. A. – 1976. – № 793. – 37 p.
24. Рубан, С. В. Новые результаты низкотемпературных механических испытаний образцов стали 12X18H10T, необлученных и облученных быстрыми нейтронами / С. В. Рубан, М. Н. Гусев, С. В. Рыбин // Ядерный потенциал Казахстана: сб. ст. 6-го семинара. – Алматы, 2009.

REFERENCES

1. Pumpyanskii D. A., Pyshmintsev I. Yu., Bitjukov S. M., Gervas'ev M. A., Gusev A. A. Osobennosti mikrostruktury, fazovogo sostava i vozmozhnosti uprochneniya nerzhavayushchih stalej s 13–17% Cr [Features of microstructure, phase composition and strengthening capability of stainless steels with 13–17% Cr]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*, 2022, vol. 65, no. 9, pp. 644–653.
2. Trépanier C. [et al.] Effect of modification of oxide layer on NiTi stent corrosion resistance. *Journal of biomedical materials research*, 1998, pp. 433–440.

3. **Modassir Akhtar, Akhil Khajuria, Kumar V.S.** [et al.] Evolyuciya mikrostruktury pri modelirovanii svarki ferritnoj/martenitnoj stali, modifitsirovannoj borom [Evolution of microstructure during welding simulation of boron modified P91 steel]. *Fizika metall-ov i metallovedenie = Phys. Metals Metallogr.*, 2019, vol. 120, 672–685.
4. **Dergach T.A.** Vliyanie bora na mikrostrukturu i svoystva trub iz nizkouglerodistoj austenitnoj hromonikelevoj stali [Effect of boron on the microstructure and properties of pipes made of low-carbon austenitic chromium-nickel steel]. *Voprosy atomnoj nauki i tekhniki = Issues of atomic science and technology*, 2005, no. 5, pp. 80–86.
5. **Takayuki Takei, Murotsune Yabe, Azusa Ooi, Eiji Tada.** Effect of boron distribution on the intergranular corrosion resistance of UNS S32506 duplex stainless steels. *Journal of the electrochemical society*, 2019, vol. 166, iss. 16, pp. 375–381.
6. **Zepon G., Nogueira R.P., Kiminami C.S.** [et al.] Electrochemical corrosion behavior of spray-formed boron-modified supermartensitic stainless steel. *Metall. Mater. Trans. A*, 2017, vol. 48, pp. 2077–2089.
7. **Wang H.A., Wang T.** Comparative study of high boron alloys with 2.0 wt% B based on 304 and 316 stainless steels. *Materials Letters*, 2021, vol. 285.
8. **Zepon G., Nascimento A.R. C., Kasama A.H.** Design of wear resistant boron-modified supermartensitic stainless steel by spray forming process. *Materials & Design*, 2015, vol. 83, pp. 214–223.
9. **Cetin M.** Effect of boron added corrosion behavior of cast 304 stainless steel. *Protection of metals and physical chemistry of surface*, 2019, vol. 55, pp. 1217–1225.
10. **Berezovskaya V.V.** Sistema legirovaniya vysokoazotistyh austenitnyh stalej, struktura, mekhanicheskie i korrozionnye svoystva [Alloying system of high-nitrogen austenitic steels, structure, mechanical and corrosion properties]. *Innovacii v materialovedenii i metallurgii: materialy I Mezhdunar. interakt. NPK, 13–19 dek. 2011 g. = Innovations in materials science and metallurgy: proc. i intern. interactive scientific and practical conference, december 13–19, 2011.* Ekaterinburg, Publishing house of the Ural University, 2012, part 1, pp. 257–266.
11. **Bannykh O.A., Blinov V.M., Kostina M.V.** Azot kak legiruyushchij element v splavah na osnove zheleza [Nitrogen as an alloying element in iron-based alloys]. *Fazovye i strukturnye prevrashcheniya v stalyah: trudy shkoly-seminara. Vyp. 3 = Phase and structural transformations in steels: works of the school-seminar. Iss. 3.* Magnitogorsk, Dom pečhati Publ., 2003, pp. 157–192.
12. **Pridancev M.V., Talov N.P., Levin F.M.** *Vysokoprochnye austenitnye stali* [High-strength austenitic steels]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1969, 247 p.
13. **Kostina M.V., Bannykh O.A., Blinov V.M.** Osobennosti stalej, legirovannyh azotom [Features of steels alloyed with nitrogen]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov = Metal science and heat treatment of metals*, 2000, no. 12, pp. 3–6.
14. **Nakamura N., Tsuchiyama T., Takaki S.** Effect of structural factors of the mechanical properties on the high nitrogen austenitic steels. *Materials Science Forum*, 1999, vol. 318–320, pp. 209–214.
15. **Shpaydel M.O.** Novye azotsoderzhashchie austenitnye nerzhavayushchie stali s vysokimi prochnost'yu i plastichnost'yu [New nitrogen-containing austenitic stainless steels with high strength and ductility]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov = Metal science and heat treatment of metals*, 2005, no. 11, pp. 9–13.
16. **Blinov V.M., Elistratov A.V., Morozova E.I.** [et al.] Vliyanie termicheskoy obrabotki na strukturnye prevrashcheniya i svoystva vysokoazotistyh stalej [Effect of heat treatment on structural transformations and properties of high-nitrogen steels]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov = Metal science and heat treatment of metals*, 2000, no. 6, pp. 19–24.
17. **Bannykh O.A., Blinov V.M., Kostina M.V.** [et al.] Vliyanie rezhimov goryachej prokatki i termicheskoy obrabotki na strukturu, mekhanicheskie i tekhnologicheskie svoystva austenitnoj azotsoderzhashchej stali 05H22AG15N8M2F-Sh [Influence of hot rolling and heat treatment modes on the structure, mechanical and technological properties of austenitic nitrogen-containing steel 05Kh22AG-15N8M2F-Sh]. *Metally = Metals*, 2006, no. 4, pp. 33–41.
18. **Sokol I.Ya., Ulyanin E.A., Feldgandler E.G.** [et al.]. *Struktura i korroziya metallov i splavov: atlas. Sprav. izd.* [Structure and corrosion of metals and alloys: atlas. Reference ed.]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1989.
19. **Gulyaev B.B.** *Sintez splavov* [Synthesis of alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984.
20. **Brown M.P.** Mikrolegirovanie stali [Microalloying of steel]. Kyiv: Naukova dumka Publ., 1982.
21. **Braun M.P., Matyuvenko N.I.** Analiticheskij raschet poverhnostnoj aktivnosti niobiya, cirkoniya i lantana [Analytical calculation of the surface activity of niobium, zirconium and lanthanum]. *Redkozemel'nye metally i splavy = Rare earth metals and alloys.* Moscow, Nauka Publ., 1971, pp. 73–75.
22. **Stanley J.T.** Magnetic properties of irradiated austenitic stainless steel. *J. Nucl. Mater.*, 1979, vol. 85–86, pp. 787–91.
23. **Suzuki T., Kojima H., Suzuki K.** An experimental study of the martensite nucleation and growth in 18/8 stainless steel. *Technical Report of ISSR, Ser. A*, 1976, no. 793, 37 p.
24. **Ruban S.V., Gusev M.N., Rybin S.V.** Novye rezul'taty nizkoterperaturnyh mekhanicheskikh ispytaniy obrazcov stali 12H18N10T, neobluchennyh i obluchennyh bystryimi nejtronami [New results of low-temperature mechanical tests of 12X18N10T steel samples, unirradiated and irradiated with fast neutrons]. *Yadernyj potentsial Kazakhstana: sb. st. 6-go seminar = Nuclear potential of Kazakhstan: collection of articles from the 6th seminar.* Almaty, 2009.