

УДК 691.714

## ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ



## INFLUENCE OF IMPURITIES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL

**Панченко Лидия Александровна**студентка,  
Кубанский государственный аграрный университет  
lidapanchenko3000@icloud.com**Panchenko Lidiya Aleksandrovna**Student,  
Kuban State Agrarian University  
lidapanchenko3000@icloud.com**Пигарева Ксения Николаевна**студентка,  
Кубанский государственный аграрный университет  
kseniyaigareva@icloud.com**Pigareva Ksenia Nikolaevna**Student,  
Kuban State Agrarian University  
kseniyaigareva@icloud.com**Аннотация.** В данной статье рассматриваются реакции различных элементов-примесей в составе стали. Подробно разобрано влияние некоторых первичных, вторичных легирующих и остаточных элементов.**Annotation.** This article discusses the reactions of various impurity elements in the composition of steel. The influence of some primary, secondary alloying and residual elements is analyzed in detail.**Ключевые слова:** примеси, сталь, сплавы, легирующие и остаточные элементы, углерод, охрупчивание.**Keywords:** impurities, steel, alloys, alloying and residual elements, carbon, embrittlement.

**В** настоящее время применение сталей наблюдается повсеместно, начиная от деталей для автомобилей и заканчивая каркасами для инженерно-строительных конструкций. Настолько широкое применение обусловлено сбалансированным сочетанием их механических, физических, химических и других свойств. Примеси оказывают влияние на механические и технологические свойства стали.

Примеси в стали можно разделить на три различные категории:

1. Первичное легирование.
2. Вторичное легирование.
3. Остаточные элементы.

Легирующие элементы добавляются в стали с целью положительного влияния на их свойства. Первичные легирующие элементы включают в себя углерод, марганец и кремний; вторичные легирующие элементы – медь, никель, хром, молибден, алюминий, ванадий, ниобий, бор, кобальт и вольфрам. По определению, остаточные элементы классифицируются как элементы, которые включены в металл, но не имеют минимальной концентрации, указанной для марки изготавливаемой стали. В некоторых случаях максимальная концентрация для конкретного остаточного элемента указана в спецификации стали [1]. Однако основное различие между вторичным легированием и остаточными элементами заключается исключительно в том, что последние могут оказывать как положительное, так и, что наиболее важно, отрицательное воздействие на свойства стали. Остаточные не служат полезной цели в печи и в основном находятся в шлаке и атмосфере печи. Если они присутствуют в большом количестве, то могут внедряться в металл и приводить к ухудшению свойств. Как правило, к таким элементам относятся: сера, фосфор, свинец, олово, сурьма, цинк, кадмий и ртуть.

Рассмотрим подробнее некоторые первичные легирующие элементы. Углерод является наиболее важным элементом в производстве стали, поскольку он отвечает за обеспечение ее твердости за счет образования осадка карбида железа ( $Fe_3C$ ). Когда сталь охлаждается до температуры перехода, гамма-железо (аустенит) превращается в альфа-железо (феррит) и  $Fe_3C$ . Из-за осаждения частиц  $Fe_3C$  прочность материала на растяжение увеличивается, поскольку частицы действуют как дислокационные барьеры. Однако существует обратная зависимость между концентрацией углерода и пластичностью, что может нанести ущерб промышленным сталям. Следует отметить, что пластичность материала может быть повышена при надлежащей термической обработке [2]. В дополнение к прочности на растяжение и пластичности, на свариваемость стали обратно пропорционально влияет повышение содержания углерода.

В металлургии марганец известен, прежде всего, как стабилизатор  $Fe_3C$ . В производственных условиях карбид железа может диссоциировать на металлическое же-

лезо + графит. Данный процесс называется графитизация. Однако известно, что добавление марганца, гарантирует, что графитизация не произойдет. Марганец также предотвращает разрыв стали во время горячей прокатки иликовки, что известно как 'горячая короткость'. Короткое замыкание при нагревании является распространенным явлением в сталях, содержащих серу, поскольку она соединяется с железом с образованием сульфида железа (FeS), очень низкой температуры плавления и хрупкого включения. Наличие примесей FeS приводит к потере прочности металла в локализованных областях, особенно при горячей прокатке, из-за его хрупкости [3]. Однако добавление марганца способствует образованию сульфида марганца (MnS), а не FeS. Включения MnS обычно рассеяны по всей площади стали и достаточно пластичны, чтобы деформироваться. Соотношение марганца к сере 8 : 1 обычно является достаточным. Известно также, что марганец повышает прокаливаемость, ударную вязкость и предел прочности при растяжении, но он снижает пластичность из-за образования осадков MnS. Марганец также снижает свариваемость.

Кремний приносит пользу стали благодаря ряду процессов. Во-первых, кремний окисляется с образованием диоксида кремния (SiO<sub>2</sub>) во время продувки кислородом для удаления, в основном, углерода. Как правило, перед началом разлива расплав необходимо раскислить, кремний как раз играет важную роль в данном процессе - добавляется в расплав и является основным вариантом в качестве раскислителя для производства прутковых и конструкционных изделий [4]. Другие раскислители включают алюминий, титан и кальций. Диоксид кремния также уменьшает продолжительность жизни огнеупора, и увеличивает вероятность графитизации. Непосредственно кремний, как было показано, увеличивает прочность на разрыв из-за образования силикатных включений, но это снижает обрабатываемость материала. Высококремниевые сплавы также используются для изготовления специальных электротехнических сталей из-за их способности повышать проницаемость и электрическое сопротивление и уменьшать потери на гистерезис. Это сделало кремниевую сталь привлекательным выбором для трансформаторов, пластин электродвигателей, генераторов и реле.

Нельзя не упомянуть о вторичных легирующих элементах. Влияние никеля на свойства стали в основном положительное:

1. Повышает прокаливаемость.
2. Придает жесткость.
3. Ограничивает деформацию при термообработке и позволяет использовать более мягкую закалочную среду.
4. Позволяет достичь высокой прочности и ударной вязкости при более низком содержании углерода.
5. Улучшает свариваемость, пластичность и усталостные свойства.
6. Повышает коррозионную стойкость.

Одним из недостатков никеля является то, что он снижает пластичность, если присутствует в твердом растворе. Кроме того, концентрацию никеля в стали можно снизить только путем разбавления, что может значительно увеличить затраты на обработку.

Хром известен тем, что он значительно повышает коррозионную стойкость стали, когда присутствует в концентрациях более 4 %. Благодаря улучшению данного свойства производится огромное количество современных сплавов из нержавеющей стали. Хром также усиливает образование карбидов, что может повысить износостойкость, а также в твердом растворе придает жесткость, но снижает пластичность. Также способен увеличивать глубину прокаливаемости. Хром также может оказывать негативное влияние на свойства стали. Наиболее распространенным является охрупчивание, которое относится к снижению пластичности при отпуске или охлаждении в диапазоне от 700 до 1100 °F. Этот тип дефектов возникает даже при низком содержании фосфора, олова, мышьяка и сурьмы (основных факторов, вызывающих температурное охрупчивание). Хром обладает несколькими существенными недостатками при выплавке стали. Оксид хрома стабилен только при очень высоких температурах и поэтому не может легко окисляться при нормальных рабочих температурах [5]. Для удаления этого элемента путем окисления требуется больше тепла, более длительное время нагрева.

Алюминий в основном используется в сталелитейной промышленности в качестве раскислителя, поскольку его сродство к кислороду чрезвычайно велико. Он также вступает в реакцию с азотом с образованием нитрида алюминия, что уменьшает вероятность деформационного старения. Известно также, что алюминий повышает ударную вязкость,

особенно при низких температурах. Поскольку алюминий является сильным нитридообразующим веществом, он обеспечивает высокую твердость поверхности и износостойкость при добавлении к нитридным сталям. Один из главных недостатков алюминия связан с косвенной стороной. Оксид алюминия может выпадать в осадок во время непрерывного литья заготовок и приводить к засорению форсунок разливочного устройства.

Нельзя не упомянуть об некоторых остаточных элементах. Олово отрицательно влияет на многие свойства стали, и, поскольку оно почти полностью растворимо в жидкой стали и не окисляется, разбавление является единственным способом снижения его концентрации. Кроме того, олово обладает очень малой растворимостью в твердой стали и при охлаждении имеет тенденцию выделяться на различные поверхности раздела, такие как границы зерен. Это может привести ко многим дефектам поверхности, в том числе к быстрому нагреванию. Более того, в низкоуглеродистых сталях сегрегация по границам зерен может вызвать охрупчивание во время отжига. Высокие уровни олова также были связаны с ухудшением качества поверхности и свойств ударной вязкости.

Свинец обладает очень низкой растворимостью в стали, что может привести к нескольким прямым воздействиям на свойства стали. Из-за отбраковки во время за твердевания свинец в основном накапливается на поверхности стали и может снизить качество ее поверхности [6]. Единственная положительная роль свинца заключается в повышении обрабатываемости стали за счет образования включений, которые действуют как стружколомы. Однако применение сталей, содержащих свинец, ограничено ситуациями, когда прочность на растяжение и другие механические свойства менее важны. Косвенно свинец оказывает несколько негативных воздействий на процесс выплавки стали из-за его высокой токсичности и проницаемости для огнеупорных кирпичей. Свинец обычно содержится в металлоломе в качестве компонента покрытия, и при нагревании до обычных температур выплавки стали он легко улетучивается в выхлопных газах печи и окисляется.

Подобно свинцу, цинк нерастворим в стали. Разрывы обычно появляются на поверхности металла из-за его нерастворимости. Это единственное реальное прямое влияние цинка на свойства стали. В большинстве случаев цинк улетучивается при нормальных температурах выплавки стали и редко задерживается в металле.

## Литература

1. Шиховцов А.А. Влияние внутренних и внешних факторов на замедленное хрупкое разрушение стали // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 11. – Ч. 9. – С. 1841–1845.
2. Шиховцов А.А., Мишин В.М. Кинетика и микромеханика замедленного разрушения стали // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 4. – С. 858–861.
3. Ильинский В.А., Костылева Л.А., Гребнев Ю.В. Оптимизация состава литой среднеуглеродистой стали // *Сталь*. – 1985. – № 1. – С. 24–26.
4. Шиховцов А.А., Мишин В.М. Влияние концентрации напряжений на пороговые нагрузки при замедленном разрушении стальных деталей // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2013. – № 4. – С. 134–135.
5. Мишин В.М., Шиховцов А.А. Локальное замедленное разрушение порошковых сталей, содержащих мартенсит // *Международный журнал экспериментального образования*. – 2015. – № 11. – С. 665–666.
6. Гребнев Ю.В., Краева Н.Г. Влияние химсостава на структурную неоднородность и хладноломкость стали 45ФЛ // *Литейное производство*. – 2000. – № 4. – С. 7–9.

## References

1. Shikhovtsov A.A. Influence of internal and external factors on delayed brittle fracture of steel // *Fundamental Researches*. – 2013. – № 11. – Part 9. – P. 1841–1845.
2. Shikhovtsov A.A., Mishin V.M. Kinetics and micromechanics of delayed fracture of steel // *Fundamental Researches*. – 2013. – № 4. – P. 858–861.
3. Ilyinsky V.A., Kostyleva L.A., Grebnev Yu.V. Optimization of the composition of cast medium-carbon steel // *Steel*. – 1985. – № 1. – P. 24–26.
4. Shikhovtsov A.A., Mishin V.M. Influence of stress concentration on threshold loads at delayed fracture of steel parts // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. – 2013. – № 4. – P. 134–135.
5. Mishin V.M., Shikhovtsov A.A. Local delayed fracture of powder steels containing martensite // *International Journal of Experimental Education*. – 2015. – № 11. – P. 665–666.
6. Grebnev Yu.V., Kraeva N.G. The influence of chemical composition on structural heterogeneity and cold brittleness of steel 45FL // *Foundry Production*. – 2000. – № 4. – P. 7–9.