

НАУЧНОЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
МЕТАЛЛУРГОВ ВОСТОКА



ФЛОКЕНЫ В СТАЛИ

МЕТАЛЛУРГГИЗДАТ — НИИМ — СССР
СВЕРДЛОВСК — 1939 — МОСКВА

НАУЧНОЕ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
МЕТАЛЛУРГОВ ВОСТОКА

669.18

Р-73

ФЛОКЕНЫ В СТАЛИ

(ОТВЕТЫ НА АНКЕТУ ПО ФЛОКЕНАМ)

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА
АКАДЕМИИ НАУК СССР
проф.-д-ра С. С. Штейнберга

06270
70007

БИБЛИОТЕКА
КИНЦВЕТМЕТ
ИНВ. № 51618



МЕТАЛЛУРГИЗДАТ—НКЧМ—СССР
СВЕРДЛОВСК—МОСКВА

1 9 3 9

1955

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | Стр. |
|--|------|
| От редакции | 3 |
| Итоги анкеты по флоконам и сопоставление их с имеющимися в литературе данными. | 5 |
| Государственный металлургический и машиностроительный Кировский завод (б. «Красный Путиловец») | 13 |
| Электрометаллургический завод «Электросталь» | 22 |
| Уральский ордена Ленина завод тяжелого машиностроения имени Серго Орджоникидзе | 39 |
| Металлургический завод имени Серова | 47 |
| Кулебакский металлургический завод | 56 |
| Кувнецкий металлургический комбинат имени И. В. Сталина | 62 |
| Приложение (анкета по флоконам) | 65 |

ОТ РЕДАКЦИИ

Работникам металлургических и машиностроительных заводов хорошо известен весь тот огромный вред, который приносит промышленности брак металла по флокенам. Тем более, что этот вид брака наиболее сильно сказывается на легированных и высоколегированных (т. е. наиболее дорогих) марках сталей и обычно обнаруживается на полуфабрикатах или же на готовых изделиях, т. е. тогда, когда металл после длительного и сложного технологического процесса превращен уже в готовую деталь. Поэтому изучение природы флокенов и разработка мероприятий по борьбе с ними имеет большое народнохозяйственное и оборонное значение.

Для успешной борьбы с этим пороком металла является действительно необходимым собрать и обобщить накопившиеся на заводах и в институтах материалы по борьбе с флокенами. Исходя из этого, правление Научного инженерно-технического общества металлургов Востока создало комиссию по флокенам, которая, задавшись целью собрать и обобщить эти материалы, разработала анкету по флокенам (см. приложение) и разослала ее по заводам, ведущим работу в этой области.

Хотя комиссии и не удалось получить ответы на анкету от всех заводов, тем не менее печатаемые в настоящем сборнике ответы на анкету, полученные от шести заводов, и обобщающая эти материалы статья, несомненно, представляют интерес и будут полезны работникам металлургических и машиностроительных заводов, сталкивающимся на практике с этим видом брака.

При издании настоящего сборника редакция сочла целесообразным, наряду с обобщающей статьей, печатать материалы в том виде, в каком они получены с заводов (т. е. в виде ответов на вопросы), с тем, чтобы полностью зафиксировать и сохранить фактический заводской материал.

ИТОГИ АНКЕТЫ ПО ФЛОКЕНАМ И СОПОСТАВЛЕНИЕ ИХ С ИМЕЮЩИМИСЯ В ЛИТЕРАТУРЕ ДАННЫМИ

В определении флокенов ответы анкеты и литературные источники достаточно согласны, — флокены представляют чрезвычайно тонкие внутренние интракристаллические трещины в обработанной давлением стали, выявляемые лучше всего путем макротравления (в форме тонких волосовин) или путем излома; в последнем случае они имеют вид белых круглых пятен с кристаллической поверхностью, резко выделяющихся на фоне излома с более мелкой волокнистой структурой. Несколько особое мнение имеет П. Н. Иванов¹. Основываясь на том, что при испытании на разрыв образцы с флокенами дают обыкновенно временное сопротивление и предел текучести такой же величины, как и образцы без флокенов, он высказывает предположение, что флокены образуются в момент разрыва (или излома): «флокены — это стенки внутренних трещинок в металле, образующихся в местах повышенной хрупкости его под влиянием напряжений, или возникающих в металле на тех или иных этапах производства, или же являющихся следствием приложения к материалу силы при механическом его испытании на разрыв».

Необходимо отметить, что кристаллическая поверхность флокенов, выявленная в изломе, не означает особой структуры в этом месте металла, и по удалении флокена шлифовкой микроисследование обнаруживает такую же структуру на месте флокена, как по всей поверхности излома².

Точно так же согласно ответы анкеты отмечают, что прямой зависимости между неметаллическими включениями и флокенами не обнаруживается. В литературе имеются указания, что тигельная сталь одного уральского завода, — более грязная по шлаковым включениям, чем электросталь того же завода, — никогда не дает флокенов, тогда как электросталь ими часто заражена³.

Мнения металлургов относительно роли различных способов производства в образовании флокеночувствительности стали сходятся. Среди полученных анкет наиболее полно на этот вопрос отвечает Кировский завод (б. «Красный Путиловец»). «Среди различных способов производства стали наименее благополучным с точки зрения

¹ Высококачественная сталь, ОНТИ. 1934, стр. 28—29.

² Особое мнение по этому вопросу металлургов завода «Электросталь» см. ниже.

³ Н. Т. Балякин, «Уральская металлургия», 1939, № 2, стр. 30.

склонности стали к появлению в ней флокенов надлежит считать основной электроплавильный процесс в дуговых печах, за которым в порядке убывания предрасположения к флокенам следует основной мартеновский процесс, кислый мартеновский и тигельный процессы». Такого же мнения придерживаются Гудремон и Коршан¹, П. Н. Иванов (стр. 40 его книги).

Точно также металлурги согласны в том, что на флокеночувствительность стали решительно влияет ход металлургического процесса, независимо от металлургического агрегата, в котором происходит выплавка стали, «флокены есть результат неудовлетворительного течения выплавки»².

При всех способах производства необходимым условием получения здорового металла является определенная интенсивность и продолжительность периода кипения ванны, при чем во втором периоде кипения ванна должна кипеть определенный период времени «свободно», без добавления руды, извести и ферро-марганца (Кировский завод). Плавки в электропечи без скисления, т. е. без кипения, дают наибольшую склонность к образованию флокенов («Электросталь»). Как правило, непродолжительное и слабое кипение приводит к наличию флокенов в стали (Кулебакский металлургический завод).

Химический состав шлака и физическое его строение, его жидкотекучесть, однородность — также являются важными факторами металлургического процесса, оказывающими благоприятное или неблагоприятное влияние на флокеночувствительность стали. «Применение извести-пушонки, безусловно, повышает флокеночувствительность плавки».

Не менее важную роль в получении здоровой и, следовательно, несклонной к образованию флокенов стали играет протекание второго, восстановительного периода плавки.

Таким образом, металлурги согласны в том, что первоисточником флокенов является качество стали, создаваемое ходом металлургического процесса, что хорошо выплавленная сталь не должна давать флокенов при последующей обработке.

Однако в вопросе о том, в чем состоит это качество стали, металлурги расходятся.

Ряд металлургов склонен видеть это качество в степени «газонасыщенности» стали. Флокеночувствительность плавки при прочих равных условиях зависит главным образом от так называемой «органической дегазации» и «органического раскисления» (инж. Заморуев, Кировский завод). Э. Гудремон считает, что первичной причиной образования флокенов является наличие в стали небольших количеств растворенного водорода³; В. И. Тыжнов⁴ и П. Н. Иванов⁵ тоже считают насыщенность стали газами существенной причиной флокеночувствительности стали.

¹ Die Entstehungswedingungen der Flocken im Stahl, «Stahl und Eisen», 1935, № 11, стр. 298.

² В. И. Тыжнов, Кремневосстановительный мартеновский процесс, ОНТИ, 1936, стр. 89.

³ Гудремон. Учение о специальных сталях, стр. 286.

⁴ В. И. Тыжнов, Кремневосстановительный мартеновский процесс, ОНТИ, 1936.

⁵ П. Н. Иванов, Высококачественная сталь, ОНТИ, 1934.

Как уже указывалось выше, между шлаковыми включениями и флокенами зависимости не наблюдается.

Относительно влияния на флокеночувствительность стали степени децритной сегрегации мнения расходятся: «Электросталь» и Уральский завод тяжелого машиностроения дают положительный ответ, Кировский завод не имеет данных по этому вопросу, Кулебаковский завод и завод им. Серова дают отрицательный ответ.

Встречаются ли флокены в литой стали или только в пластически деформированной (кованой, катаной, штампованой)?

На этот важный вопрос нет определенного ответа. Кировский завод отвечает положительно — встречаются, хотя реже, чем в обработанной давлением; «Электросталь», завод им. Серова отвечают отрицательно. Гудремон и Коршан в само определение флокенов вводят обработку давлением. Флокенам, которые представляют внутрикристаллический или транскристаллический разрыв, они противопоставляют межкристаллические трещины или разрывы, встречающиеся в литой необработанной стали. Однако в конце своей статьи авторы высказывают предположение, что причина образования межкристаллических трещин в литой стали и флокенов в стали, обработанной давлением, — одна и та же; этим самым они, возможно, делают ненужным резкое разграничение между флокенами и межкристаллическими разрывами в литой стали. Возможно, что между обоими видами разрывов имеется преемственная связь.

На вопросы о влиянии условий разливки (температура стали, скорость разливки, способ разливки — сверху, сифоном, — скорость остывания слитка, размер слитка) большинство ответов согласно в том, что слишком горячая разливка, скорая разливка, разливка сверху, крупный развес слитков увеличивают флокеночувствительность стали. Наоборот, остывание в изложницах до низкой температуры или перенос слитка в нагревательную (ковочную) печь в горячем состоянии уменьшают склонность стали к образованию флокенов после обработки давлением.

В какой стали встречаются флокены?

Флокены встречаются во всех сталях, кроме быстрорежущей, высокохромистой, аустенитовой, ферритовой. В углеродистой стали флокены также встречаются при содержании углерода не ниже 0,4% (завод им. Серова). По мнению завода «Электросталь» и Кировского завода, флокены не встречаются в углеродистой инструментальной стали. Наиболее часто флокены встречаются в хромо-никелевых, хромо-никелемолибденовых, хромо-никелевольфрамовых сталях. В отношении шарикоцилиндровой стали мнения «Электростали» и Кировского завода расходятся. «Электросталь» причисляет эту марку к наиболее флокеночувствительным, тогда как Кировский завод поместил ее в ряд малочувствительных к флокенообразованию.

По вопросу о влиянии способаковки на флокеночувствительность стали в ответах имеются существенные разногласия.

Уральский завод тяжелого машиностроения определенно утверждает, чтоковка с двойной осадкой гарантирует полное отсутствие флокенов в поковке; Кировский завод указывает, что «определенных данных, подтверждающих влияние методаковки и конфигурации изделия на образование флокенов в металле, до сих пор не имеется.

Тем не менее, в целях профилактики брака по флокенам при ковке ответственных деталей из легированной флокеночувствительной стали применяют часто способ двойной осадки». Завод «Электросталь» полагает, что «методикаковки в смысле самой деформации на флокеночувствительность заметного влияния не оказывает. Методикаковки в смысле количества промежуточных нагревов и охлаждений и общего времени нахождения заготовки в печи играет основную роль. Эти факторы значительно влияют на флокеночувствительность стали».

По вопросу о влиянии степени деформации на флокеночувствительность стали в полученных анкетах нет определенного ответа. Вообще наблюдается, что с увеличением степени укова у одного и того же слитка количество флокенов уменьшается; однако в данном случае играет также роль абсолютное уменьшение толщины поковки, так как флокены в большем количестве встречаются в крупных профилях, чем в мелких.

По вопросу о влиянии скорости охлаждения поковок в нижнем температурном интервале (ниже $400-100^{\circ}$) на образование флокенов имеется полное единство взглядов как в ответах на анкету, так и в литературе: достаточно медленное охлаждение в нижнем температурном интервале полностью устраняет флокены; флокены возникают в поковке ниже некоторой критической температуры, которая указывается различной для сталей различного состава, различной флокеночувствительности; они не возникают при быстром охлаждении в температурном интервале, лежащем выше этой критической температуры. Практически из этого следует, что охлаждение в золе, в ямах, в печи является мерой, освобождающей от флокенов поковки из флокеночувствительной стали.

На вопрос — образуются ли флокены при охлаждении на воздухе в критическом температурном интервале или они возникают спустя некоторое время после охлаждения до комнатной температуры — утвердительный ответ дал только завод «Электросталь». По мнению металлургов завода «Электросталь», флокены возникают не при охлаждении, а во время последующей выдержки при комнатной температуре. Уральский завод тяжелого машиностроения указывает, что соответствующих опытов им не производилось; анкеты остальных заводов не дают на этот вопрос никакого ответа.

Меньше единодушия имеется во взглядах о влиянии на образование флокенов замедленного охлаждения в области распада аустенита, а также о роли изотермического отжига. Завод им. Серова, Кировский, «Электросталь» считают, что замедленное охлаждение в области перлито-грозитного распада или достаточно длительная выдержка в этой температурной зоне, обеспечивающие полный распад аустенита, устраняют опасность появления флокенов; Кулебакский завод (бандажи из углеродистой стали) сообщает, что медленное охлаждение (в печи) в интервале $600-200^{\circ}$ с последующим охлаждением на воздухе дало флокены; УЗТМ не дает ответа на этот вопрос за неимением соответствующих исследований.

Необходимо указать, что согласно опытам Гудремона и Корпана с шаркоподшипниковой и хромо-никелевой сталями медленное охлаждение в печи (в области перлито-грозитного распада с после-

дующим охлаждением на воздухе от 300—200°) не освобождает сталь от флокенов¹. По заявлению Гудремона, скорость охлаждения в печи была такова, что в шарикоподшипниковой стали аустенит должен был полностью распасться при 680°, а в хромо-никелевой — при 500°, т. е. значительно выше температуры возникновения флокенов (300—100°).

Переходим к следующему, крайне важному для понимания флокенов наблюдению. Все авторы анкет, а также литературные источники согласны в том, что флокеночувствительная сталь, медленно охлажденная до комнатной температуры и не обнаружившая вследствие этого флокенов, теряет флокеночувствительность, она может быть нагрета до ковочной температуры и охлаждена на воздухе без опасности образования флокенов, т. е. сталь становится нефлокеночувствительной.

На вопрос, — является ли наличие мартенситной структуры необходимым условием образования флокенов, — утвердительный ответ дал только завод «Электросталь»: «наличие мартенситных участков является необходимым условием образования флокенов». Остальные анкеты отвечают отрицательно на этот вопрос; УЗТМ не дал никакого ответа. В своем ответе «Электросталь» ссылается на опыты с малоуглеродистой хромо-никелевой сталью следующего состава: С — 0,1—0,16%; Cr — 0,55—0,90%; Ni — 2,8—3,4%. Нет сомнения в том, что этот вывод не может быть перенесен на образование флокенов в углеродистой, хромистой и других сталях без соответствующих опытов.

В отношении влияния флокенов на механические свойства стали также нет разногласий: наличие флокенов катастрофически уменьшает вязкость стали, увеличивает хрупкость, а также резко понижает предел усталости. При испытании на разрыв резко снижается процент сжатия, меньше — процент удлинения; предел текучести и временное сопротивление меняются незначительно или совсем не меняются. Ударная вязкость (проба Шарпи) снижается, если флокены расположены в плоскости удара; если они расположены в плоскости, перпендикулярной к плоскости удара (вдоль испытываемого образца), то ударная вязкость флокенами не снижается. Предел усталости всегда флокенами значительно снижается.

Резюме

Подводя итоги полученным ответам на анкету, приходим к следующим выводам.

Полное единодушие имеется по следующим вопросам:

1. На появление флокеночувствительности в стали и, следовательно, на возникновение в стали флокенов влияет прежде всего металлургический процесс; при хорошем металлургическом процессе сталь получается несклонной к образованию флокенов, при менее хорошем процессе и тем более при неудовлетворительном процессе получается сталь, чувствительная к флокенообразованию. В этом отношении наиболее совершенным сталеплавильным процессом является тигельный, затем кислый мартеновский или в высокочастотной кислой печи; затем, по нисходящим ступеням, следует основной мартеновский и в дуговой основной электропечи.

¹ Гудремон. Учение о специальных сталях.

2. Достаточно медленное охлаждение поковок до комнатной температуры (в золе, ямах) предохраняет сталь от образования флокенов даже в том случае, если эта сталь обладала по своей металлургической природе флокеночувствительностью.

3. Поковки из флокеночувствительной стали, освобожденные от флокенов путем медленного охлаждения до комнатной температуры, теряют флокеночувствительность, т. е. они могут нагреваться до высоких температур с последующим охлаждением на воздухе без опасности образования флокенов.

Менее единодушные ответы имеются по вопросам о влиянии методовковки (ковка с осадкой), промежуточного отжига во времяковки, изотермического стжига; однако большинство ответов сходится в том, что все эти методы уменьшают опасность появления флокенов в флокеночувствительной стали и даже (по мнению некоторых металлургов) полностью устраняют эту опасность.

По вопросу о завариваемости флокенов в анкетах имеется единодушное мнение¹: флокены при последующей горячей пластической деформации (ковке, штамповке, прокатке) способны завариваться; в целях предупреждения их нового образования необходимо медленное охлаждение поковок.

Теория флокенообразования

В вопросе о причинах появления в стали флокеночувствительности, а также непосредственных причинах образования флокенов мнения, высказанные в анкетах, отразили имеющуюся в литературе неопределенность.

Причиной образования флокенов Гудремон считает следующие факторы:

1) напряжения: а) вследствие неравномерного охлаждения, б) вследствие превращений, в) вследствие деформации;

2) металлургические факторы: а) сегрегация, б) шлаковые включения, в) газы.

Нет сомнения в том, что металлургические факторы, перечисленные Гудремоном, могут послужить причиной образования флокенов, т. е. принудительного разрыва, двумя путями: 1) создавая в металле место повышенной хрупкости, т. е. ослабляя сопротивление металла натяжениям, откуда бы они ни происходили; 2) создавая новые источники напряжений или усиливая и локализуя натяжения, перечисленные в первой группе факторов.

Рассмотрим перечисленные выше факторы образования флокенов в свете фактического материала, представленного в анкетах, а также в литературе.

Против взгляда, согласно которому причиной образования флокенов являются термические напряжения или напряжения вследствие превращений аустенита, наиболее решительным аргументом является общепризнанный факт устранения флокеночувствительности медленно охлажденной до комнатной температуры поковки.

¹ За исключением Кузнецкого металлургического завода, флокены в bloomсах хромистой стали при дальнейшей прокатке не завариваются.