

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР «ІМЕСГ» НААН**



***ЗБІРНИК
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***VI Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди
112-ї річниці від дня народження
доктора технічних наук, професора,
члена-кореспондента ВАСГНІЛ,
віце-президента УАСГН
КРАМАРОВА
Володимира Савовича
(1906-1987)***

«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»

***21-22 лютого 2019 року
м. Київ***

УДК 621.74.046:539.216:539.37/.38

УМОВИ УТВОРЕННЯ ФЛОКЕНІВ В СТАЛІ

Є. Г. АФТАНДІЛЯНЦ, доктор технічних наук, професор
Національний університет біоресурсів і природокористування України
E-mail: aftyev@hotmail.com

Небезпечними дефектами сталевих виробів є флокени (нім. flocken – пластівці). Флокенами називають тонкі тріщини, що на зламі загартованих зразків представляють собою овальні кристалічні плями срібно-білого кольору в виді пластівців (рис. 1).

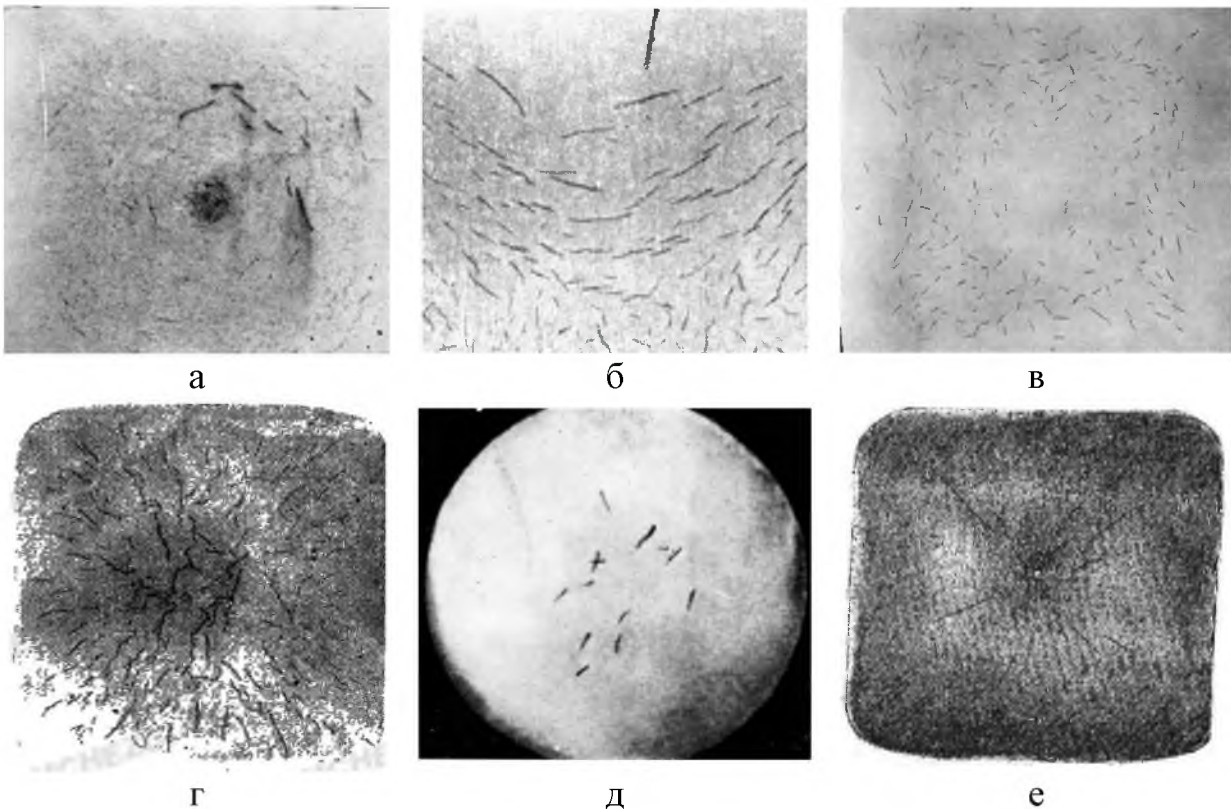


Рис. 1. Флокени на макрошліфах вирізаних із різних ділянок сталевих виробів

Присутність в сталі флокенів призводить до зниження механічних властивостей і інтенсифікації процесу руйнування. Флокени виникають у сталевих виробках, якщо не було достатньо часу для виходу водню з металу при охолодженні, тобто при високій швидкості охолодження заготовки після гарячої деформації або в процесі термічної обробки.

Найбільша схильність до ураження флокенами мають вуглецеві сталі і леговані сталі мартенситного та перлітного класів.

Основною причиною утворення флокенів являється присутність в сталі підвищеної кількості водню в зонах розтягуючих напружень, які виникають в процесі структурних перетворень сталі, пластичній деформації, нерівномірному охолодженні, в місцях концентрації напружень, дефектах кристалічної решітки, границях зерен, неметалевих включеннях і ліквіційних неоднорідностей.

Виділення водню при зниженні температури сталі відбувається через зміну його розчинності, особливо інтенсивно при кристалізації сталі та її алотропних перетвореннях. При вмісті водню в сталі більше границі розчинності відбувається утворення молекул водню.

Розчинність водню в металі залежить від тиску газової фази, температури, чистоти металу, його структури, розміру зерна і характеру розподілу дефектів.

Розчинність водню в рідкому залізі при $P=0,1$ МПа виражається рівнянням: $\lg H = -1820/T + 0,112$, де H — водень, % (ат.).

Закономірність розчинності водню в α -Fe при $P = 0,1$ МПа має вид: $\lg H = -1376/T - 0,665$, де H — водень, % (ат.). При 911 °C у зв'язку із перетворенням $\alpha \leftrightarrow \gamma$ розчинність водню в залізі різко зростає. В залежності від температури розчинність водню в γ -Fe складає: $\lg H = -1411/T - 0,468$, де H — водень, % (ат.). При другому поліморфному перетворенні $T = 1392$ °C, розчинність водню знижується екстремально і в області існування δ -Fe описується таким же рівнянням, що і для α -Fe.

Водень, адсорбований металом, може розчинятися в металі, сегрегувати на дефектах кристалічної будови, адсорбуватися на поверхні мікронерівностей і частинках вторинних фаз, накопичуватися в мікропорах у молекулярній формі, утворювати гідриди з основним металом, вступати в реакцію з легуючими елементами і вторинними фазами. Між воднем, який знаходиться в різних станах, існує динамічна рівновага.

Після насичення металу воднем, наприклад, при взаємодії пару води з розплавленою сталлю, в процесі охолодження виливки спостерігається виділення розчиненого водню в молекулярній формі, що супроводжується зменшенням вільної енергії системи і утворенням умов для зародження та росту тріщин.

Колектори (місця накопичення) водню в сталях, по часу їх утворення в металі, можна розділити на три групи:

1. Кристалізаційного та металургійного виникнення: одиничні сульфідні марганцю та їх скупчення; одиничні оксиди та їх скупчення; грубі скупчення

неметалевих включень округлої форми чи окремі оксидні включення; газові пори; усадочні дефекти; гарячі кристалізаційні тріщини.

2. Холодні тріщини, які утворилися після кування чи в процесі термічної обробки: крихкі міжзеренні; крихкі внутризеренні.

3. Тріщини – флокени, які стали колекторами водню для нових флокенів: тріщини, які утворилися шляхом поєднання мікрофлокенів, колектором водню в мікрофлокенах являються сульфід марганцю; флокени чи декілька з'єднаних флокенів, знову стають колекторами водню і служать утворенню нових флокенів, тобто проходить зростання крихкої внутризеренних включень.

По кількості випадків неметалеві включення (одиночні та скупчені), як колектори водню, займають перше місце, а на другому місці – усадочні дефекти.

Причиною утворення флокенів, являється підвищений вміст водню та наявність напружень розтягу, коли будь який металургійний дефект сталі може стати колектором молекулярного водню, який при наступних перегрівках і охолодженнях із колекторів не виходить, а збирає навколо себе дифузійно-рухливий атомарний водень та збільшує крихкість матриці.

При експлуатації виробу, молекулярний водень, який знаходиться в колекторах, а також експлуатаційні циклічні та динамічні напруження, можуть призвести до утворення експлуатаційних флокенів, які можуть бути джерелами зародження тріщин у виробі в процесі експлуатації.

При вмісті нижче 0,001% водень знаходиться в молекулярному стані, та не виділяється в виді газових бульбашок із рідкої сталі. Однак цього вмісту водню достатньо для того, щоб при температурі 400°C тиск виділення водню перевищує границю міцності сталі та викликало утворення тріщини в сталі. При вмісті водню більше 0,001%, тиск виділення інтенсивно зростає поблизу інтервалу затвердіння і викликає «водневе кипіння» сталі, яке уражає виливку газовими раковинами.

Тільки дуже низька концентрація водню ($< 0,001\%$) і максимально можлива повна дифузія і десорбція водню в атомарному стані при охолодженні можуть захистити виробу від утворення газових раковин, локальних напружень і тріщин.

Атомарний водень в твердій сталі при зростанні температури чи на протязі часу дифундує на вільну поверхню. При контакті з колектором, атомарний водень може асоціюватися в молекули, що передбачає завершення дифузії. Дифузія других атомів водню в цей колектор і їх асоціація в молекули приводить до збільшення локального тиску до 1000 – 1800 МПа, що може перевищувати границю міцності сталі та викликає утворення локальної тріщини чи напруженої ділянки.

Утворення молекулярного газу із атомарного водню можливе також в результаті реакції з карбідами та неметалевими включеннями, наприклад:

В литому металі завдяки великій кількості пор, скупчення молекулярного водню розподіляється і його тиск в локальних ділянках зменшується. В поковках, через ущільнення металу, тиск водню в окремих ділянках досягає дуже великих значень.

Тиск водню досягає максимуму біля 200°C та інтервал 400-200°C являється небезпечним для утворення флокенів.

Десорбція атомарного водню може протікати при нормальній температурі, однак для цього процесу потребується дуже довгий час. Швидкість процесу десорбції атомарного водню значно збільшується при нагріві сталі до 200-300°C внаслідок зростання дифузійної рухливості водню. Ефективність десорбції водню зростає при витримці на протязі 6-20 год.