

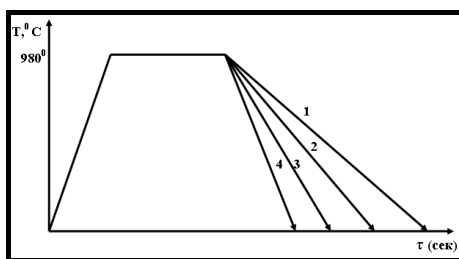
**АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ РУЙНУВАННЯ ЛИСТІВ З НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ ПРИ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ВИПРОБУВАННЯХ. ЧАСТИНА 1**

**О. В. Бекетов, к. т. н.**

*ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»*

Нижні поверхи сучасних висотних споруд виконують з зварних метало-конструкції із великими товщинами стінок. З підвищенням висоти будівлі, щоб уникнути перевантаження на залізобетонні фундаменти, доцільно застосовувати в каркасах більш легкі металеві конструкції з меншою площею перерізу. Нижні поверхи сприймають навантаження від всієї верхньої конструкції, тому листи, з яких виконують несучі елементи таких конструкцій, повинні відповідати усім існуючим технологічним нормам і забезпечувати всі необхідні механічні властивості. Так як навантаження розподіляється по всій площі перерізу елемента конструкції, то увесь переріз повинен бути рівномірним. Якщо в перерізі є послаблені зони, які мають інший структурний стан або дефекти, уся конструкція може втратити несучу здатність та зруйнуватися. Це особливо важливо при розрахунках будівельних металевих конструкцій на трещіностійкість. У зв'язку з цим, метою даної роботи було дослідження взаємозв'язку між структурним станом матеріалу та кінетикою розповсюдження в'язкої тріщини при статичних та динамічних випробуваннях.

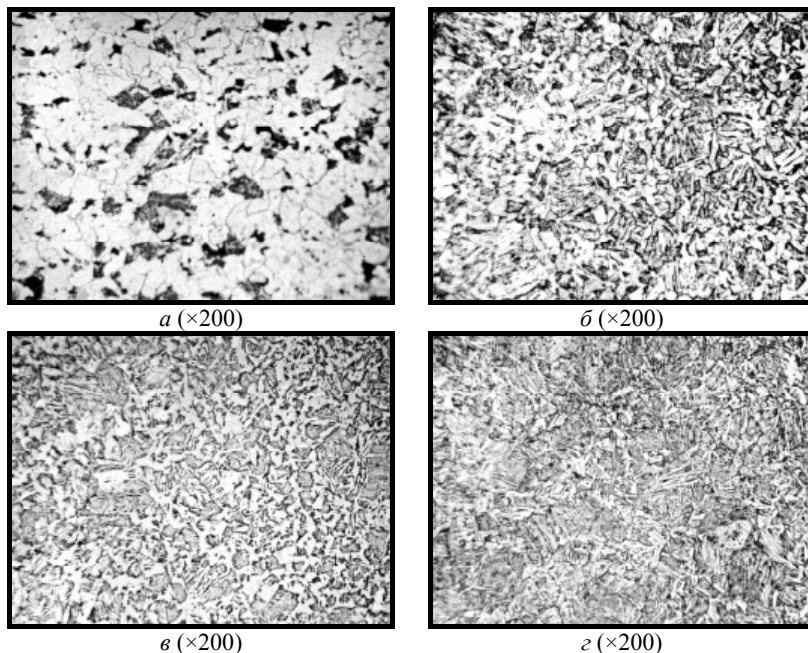
Для придання металу необхідного структурного стану була проведена термічна обробка зразків (рис. 1), вирізаних з листа сталі 10Г2ФБ товщиною 18,7 мм після заводської прокатки.



**Рис. 1.** Графік термообробки карток зі сталі 10Г2ФБ: 1-охолодження на повітрі зі швидкістю 1,20С/сек.; 2-охолодження у воді,що кипить 100С/сек.; 3-охолодження в олії 150С/сек.; 4-охолодження у воді 250С/сек.

Аналіз структури сталі 10Г2ФБ після термічної обробки показав, що при охолодженні на повітрі об'ємна доля фериту складає - 82%, перліту – 18% (рис. 2 а). Після охолодження у киплячій воді, у структурі досліджуваного метала формується 60% фериту, 5% - перліту, 35% бейніту (рис. 2 б). При охо-

лоджені в олії утворюється 15% фериту, 80% бейніту, та 5%-мартенситу. (рис. 2 в). Охолодження у холодній воді приводить к подальшому зниженню вмісту фериту у структурі до 10%. Решта аустеніту в процесі охолодження розпадається з утворенням 30% бейніту, 60% мартенситу (рис. 2 з). Результати металографічних досліджень узагальнені у вигляді табл. 1.



**Рис. 2.** Мікроструктури сталі 10Г2ФБ після охолодження: *a* – на повітрі; *б* – у воді, що кипить; *в* – у олії; *з* – у холодній воді.

*Таблиця 1*

*Кількість структурних складових в залежності від швидкості охолодження*

Середя охолодження	Ферит, %	Перліт, %	Бейніт, %	Мартенсіт, %
Вода	10	-	30	60
Олія	15	-	80	5
Кипляча вода	60	5	35	-
Повітря	82	18	-	-

Результаті даних іспитів механічних властивостей досліджуваної сталі наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Механічні властивості сталі 10Г2ФБ в залежності від швидкості охолодження

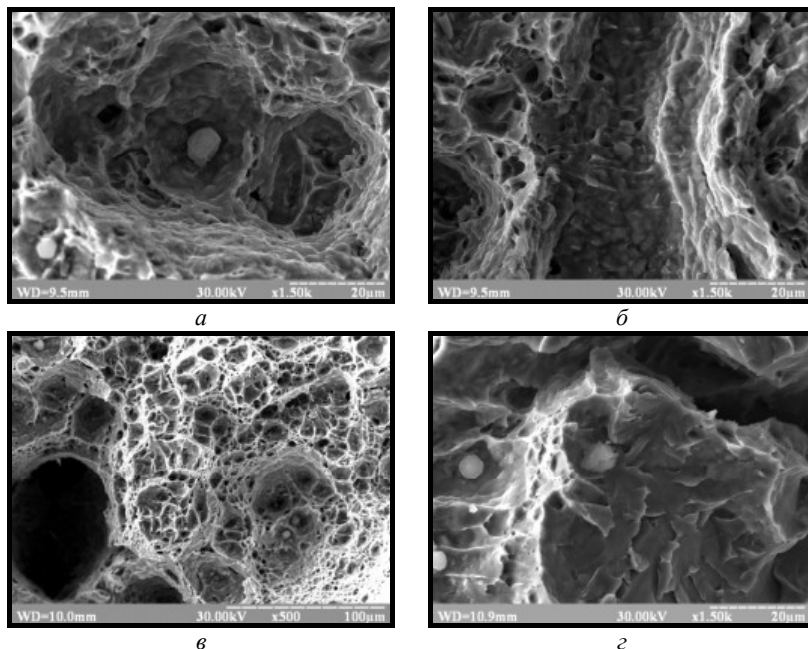
Середа охолодження	Границя плинності ( $\sigma_1$ ), МПа	Границя міцності ( $\sigma_b$ ), МПа	Відносне видовження ( $\delta_5$ ), %	Відносне звуження ( $\psi$ ), %	КСV <sup>+20</sup> Дж/см <sup>2</sup>
Охолодження на повітрі (1,2°C/c)	395	550	29	72	195
Охолодження у киплячій воді (10°C/c)	500	650	25	69	190
Охолодження в олії (15°C/c)	550	700	19	62	125
Охолодження у холодній воді (25°C/c)	620	750	17	59	110
Сталь 10Г2ФБ у стані поставки	550	640	25	48	195

Фрактографічний аналіз показав, що переважним механізмом руйнування зразків після охолодження на повітрі (рис. 3 а, б) є в'язкий. При цьому відсоток крихкого зламу склав 3%. Руйнування проходило за рахунок злиття мікропорожнин. Руйнування зерен фериту відбулося за рахунок утвору мікропорожнин або вільних поверхонь на частках другої фази (рис. 3 а). На рис. 3 б наведено руйнування колонії перліту, яке відбулося дещо за іншим механізмом. Феритні зерна, які оточують перлітну колонію, зруйнувалися за рахунок злиття мікропорожнин (класичний механізм формування в'язкого зламу), а руйнування перлітної колонії відбулося за квазікрихким механізмом.

Фрактографічні дослідження поверхонь руйнування сталі 10Г2ФБ після охолодження в киплячій воді дозволили виявити досить характерні види зламів, з яких переважає в'язкий (рис. 3 в). Однак у цьому випадку перехід до крихкого руйнування відбувається не різко, і чітка границя між в'язкою і крихкою границею відсутня. Як і у попередньому випадку, основним механізмом руйнування феритних зерен є злиття мікропор (рис. 3 в, г). Однак, необхідно звернути увагу на те, що в зразку присутні і крихке руйнування на окремих ділянках (рис. 3 в), які характеризуються плоскими або майже плоскими фасетками зламу, які є внутризеренними стосовно вихідного зерну аустеніту. Зважаючи на появу у структурі бейніту, можливо зробити припущення, що деякі бейнітні колонії руйнуються саме по квазікрихкому механізму. Механізм, за яким руйнується бейнітна структура залежить від орієнтації колонія відносно напрямку розповсюдження тріщини.

На поверхні зламу зразка, який охолоджувався в олії, мікрофрактографічні дослідження показали збільшення відсотку квазікрихкого руйнування. Це

пов'язано, у першу чергу, зі збільшенням у структурі сталі бейніту та появою рейкового дислокаційного мартенситу (див. табл. 1).



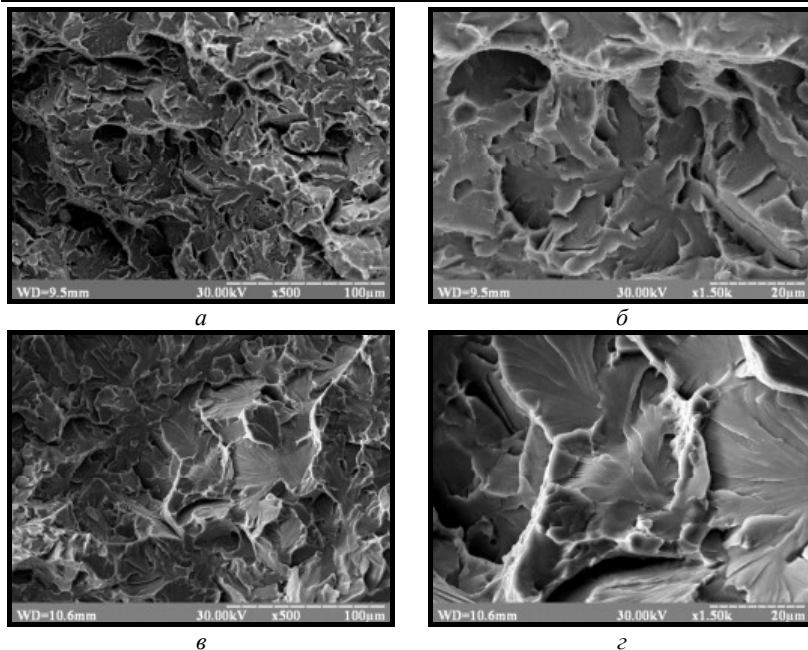
**Рис. 3.** Фактографічний аналіз поверхонь руйнування: *а, б* – охолодження на повітрі; *в, з* – охолодження у киплячій воді;

У цьому випадку, руйнування фериту відбувалося за рахунок злиття мікропорожнин. При цьому, руйнування бейнітних та мартенситних колоній відбувалось за рахунок злиття внутрішніх тріщин (які вигогідно утворювались на стиках між фазних границь) одна з одною та з головним фронтом тріщини (рис. 4 *а, б*).

Дослідження поверхонь зламу зразків сталі 10Г2ФБ після охолодження у холодній воді показав, що відсоток крихкого зламу збільшився до 10%, що пояснюється збільшенням кількості бейніту та мартенситу у структурі металу.

На деяких ділянках спостерігається квазікрихкий надрив у сусідніх малих ділянках та з'єднання їх, під дією пластичної деформації у єдину поверхню руйнування (рис. 4 *в, з*). Зона поширення тріщини представляє типовий квазіскол з незначними ознаками пластичної деформації. Характерною ознакою зламу є наявність сходів відриву, які утворюються шляхом вторинного зрушення. Ці сходи у процесі розвитку руйнування можуть зливатися з формуванням «струмчастого візерунку».

Утвір на поверхні зламу сходинок відриву пояснюють дією гвинтових дислокацій, які або вже існують у кристалі, або створюються пластичною деформацією у вершині тріщини.



**Рис. 4.** Фактографічний аналіз поверхонь руйнування:  
*а, б* – охолодження у олії; *в, з* – охолодження у холодній воді.

### Висновки

1. Аналіз структури сталі 10Г2ФБ після проведених термічних обробок показав, що при охолодженні з проміжними швидкостями (10...15°C/c) у структурі формуються одночасно продукти як дифузійного так і зсувного механізмів розпаду аустеніту.
2. Переважним механізмом руйнування феритної складової для всіх швидкостей охолодження є злиття мікропорожнин.
3. Руйнування колоній перліту відбувалося за двома рівноважними механізмами: за рахунок злиття мікропорожнин та квазікрихким. Слід зазначити, що у декількох випадках спостерігалася зміна механізму руйнування при переході основної тріщини через міжфазну границю ферит-перліт.
4. Залежно від орієнтації колонії бейніту відносно напрямку розповсюдження основної тріщини можливими є два механізми руйнування: квазікрихкий та в'язкий. Спостерігається зміна механізму руйнування від в'язкого к квазікрихкому при переході основної тріщини через міжфазну границю ферит-бейніт.
5. Збільшення швидкості охолодження призводить до збільшення відсотку квазікрихкого зламу. Це пояснюється збільшенням у структурі сталі кількості складових, які формуються за проміжним (бейніт) та зсувним (рейковий дислокаційний мартенсит) механізмами.