

О.А. Глотка, ст. викладач

А.Д. Коваль, професор, д.т.н.

Г.А. Бялік, доцент, к.т.н.

К.Л. Дикий, наук. співробітник

ВИКОРИСТАННЯ КІЛЬКІСНОГО ТА ЯКІСНОГО АНАЛІЗУ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЗЛАМІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СТАЛІ

Запорізький національний технічний університет

Проведено исследование изломов экспериментальной и стандартной инструментальной стали при разных условиях разрушения. Использовано качественный и количественный методы сравнения фрактограм изломов. Установлено, что использование вторичного вольфрама ни приводит к существенным изменениям строения излома.

Проведено дослідження зламів експериментальної та стандартної інструментальної сталі за різних умов руйнування. Використано якісний та кількісний методи порівняння фрактограм зламів. Встановлено, що використання вторинного вольфраму не призведе до суттєвих змінювань будови зламу.

Вступ. Фрактографічні дослідження зламів є першою та необхідною стадією дослідження зруйнованих деталей, виробів та зразків. Це дає змогу говорити про механізми зародження, розповсюдження тріщини та руйнування.

Одержані злами, як після дослідження механічних властивостей, так і після руйнування виробу, вивчаються методами візуальної оцінки для визначення співвідношень площин різних зон на поверхні руйнування. Таке порівняння має лише якісний характер і не несе повної інформації про характер руйнування, особливо при змішаному руйнуванні, типового для гарячого деформування інструментальної штампової сталі.

Мета роботи – попередньо порівняти, використовуючи кількісний та якісний метод, растрові зображення зламів інструментальної сталі, одержаної як за класичною моделлю, так і експериментальної при різних швидкостях та жорсткості навантаження, для виявлення подібності чи розбіжності в механізмах руйнування.

Матеріали та методика дослідження. В роботі розглянуто інструментальну штампову сталь, що виплавлено за експериментальною моделлю (з використанням важко топкого брухту [1], введеного як лігатура [2]) та за стандартною моделлю марки 3Х2В8Ф (хімічний склад експериментальної сталі та сталі згідно ГОСТ 5950-73 наведено у табл. 1). Сталь призначена для виготовлення інструменту (штампів, пресформ), що працює за умов статичного навантаження при підвищених температурах. Зразки до руйнування термічно обробляли: гартування за температури 1100 ± 10 °С в мастилі з наступним відпуском за температури 650 ± 10 °С, дві години у печі СНОЛ. Злами було одержано після дослідження механічних властивостей [на розтяг (ГОСТ1497-84) та ударний згин (ГОСТ 9454-78)] за кімнатної температури.

Мікрофотографії зламів було отримано на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106І за прискорювальної напруги від 10 до 30 кВ та силі струму 60...120 мА в режимі вторинних електронів.

Таблиця 1 – Хімічний склад експериментальної (3Х2В8Ф^е) та сталі згідно ГОСТ 5950-73

| Марка | вуглець | хром | вольфрам | ванадій |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 3Х2В8Ф ^е | 0,3 | 2,6 | 8,4 | 0,21 |
| (ГОСТ 5950-73) | 0,3...0,4 | 2,2...2,7 | 7,5...8,5 | 0,2...0,5 |

Методика кількісної оцінки зламів заснована на принципах стереометричної металографії за методом «Виміру сумарної довжини ліній методом пересічних для площини С.А. Салтикова» [3].

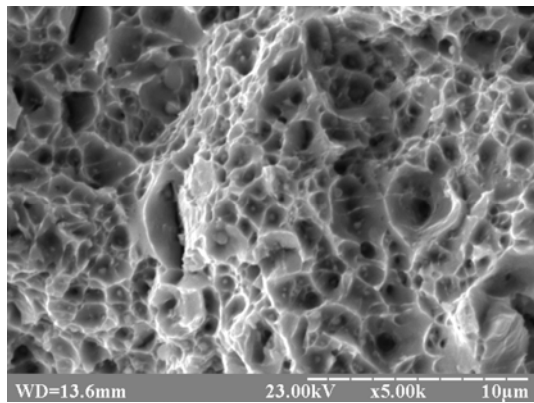
Розрахунок проводили по дев'яти полям спостереження, які випадково було обрано при збільшенні в $\times 5000$ на зразках після ударного руйнування експериментальної та стандартної сталі. В кожному полі спостереження проводили пересічні довжиною 50 мм (з врахуванням збільшення 0,01 мм) по десять на кожний знімок. Надалі підраховували кількість перетинів пересічної з структурними складовими та розподілення за частотою при випадковому положенні прямої. Враховуючи загальну довжину пересічних (l) та кількість пересічень (n) розраховували середню кількість пересічень (m) на 1 мм довжини прямої: $m = n / l$. Значення сумарної довжини ліній структурної складової на одиниці площині зламу обчислювали за формулою: $L = 0,5 \pi \cdot m$.

Похибку розраховували згідно з рекомендаціями роботи [3] за значенням ймовірності 0,95.

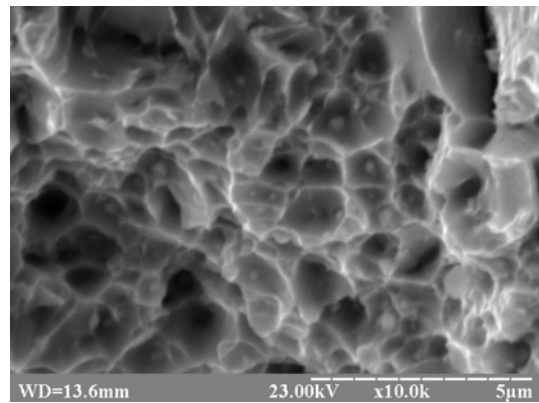
Результати дослідження та їх обговорення. Злами, що одержано після механічних випробувань, спочатку досліджували на якісному рівні шляхом порівняння з атласами фрактограм. Руйнування зразків із експериментальної сталі без концентратора напружень під час статичного навантаження відбувається за механізмом «чашка–конус». В перший час руйнування зразок деформується рівномірно по всій робочій довжині, а на певному етапі збільшення навантаження відбувається локалізація деформації та зменшення діаметра зразка з утворенням «шийки». В цьому разі зародження тріщини відбувається в центральній частині перетину зразка по місту утворення шийки, де напруження сягають максимальних значень. Унаслідок цього утворюється дно чашки з розташованим у центральній частині фокусом зламу, від якого розходяться майже рівномірно зубці. Згідно з роботами [4,5] такий злам з радіальними зубцями називають «зірочкою». Він характерний для пластичних матеріалів, до яких відносяться сталь зі структурою трооститу. Розташування фокусу зламу або центру руйнації в центральній зоні, свідчить, про відсутність в дослідній сталі макродефектів.

Змінювання напруженого стану із зростанням тріщини призводить на кінцевій стадії до утворення руйнування під кутом 45° до осі зразка, внаслідок чого на зразках з'являються конічні скоси, які знаходяться по зовнішньому краю зламу.

Мікробудова зламів характеризується ямковою структурою, що є результатом розвитку тріщин за механізмом зародження, зростання та злиття мікропустот шляхом руйнування перемичок між ними (рис. 1). Ямки є рівновісними з присутністю частинок на дні чашки. Окрім ямок спостерігається присутність невеликої кількості площин, в яких відбувається руйнування за механізмом квазіскола. Бокові скоси характеризуються також ямковою мікробудовою, але тут спостерігаються параболічні ямки, які характерні для руйнування зрізом (рис. 2).

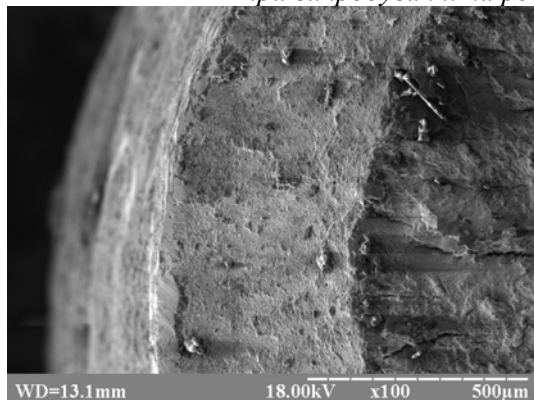


a

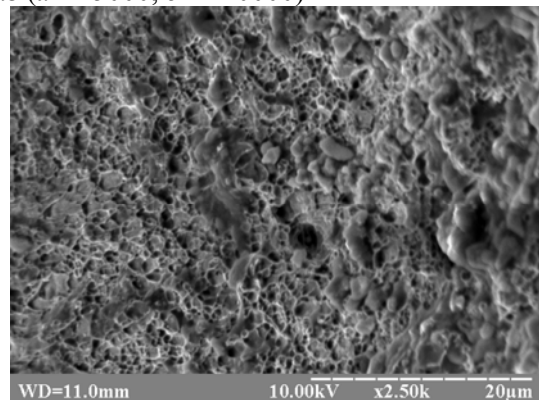


б

Рисунок 1 – Типові фрактограми отримані від зруйнованого зразка із експериментальної сталі при випробуванні на розтяг (*a* - $\times 5000$, *б* - $\times 10000$)



a

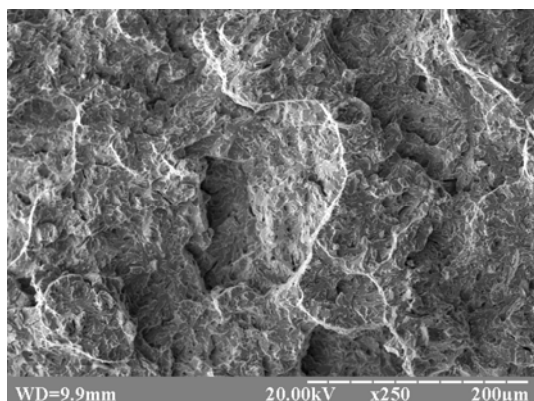


б

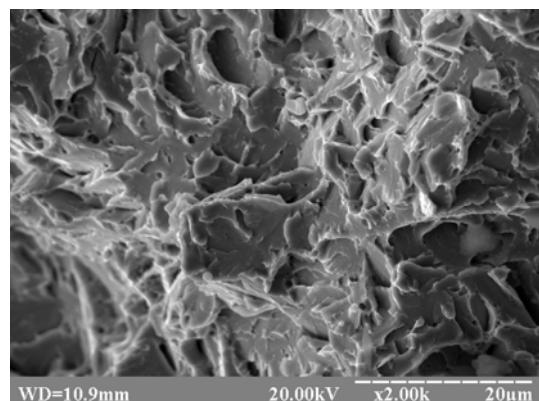
Рисунок 2 – Фрактограми бокових скосів руйнування зразка з експериментальної сталі (*a* - $\times 100$; *б* - $\times 2500$)

Ямкова структура спостерігається, частіше за все, орієнтованою перпендикулярно або під кутом до поверхні зламу. В середині ямок присутні глобулярні вкраплення, які ініціюють утворення мікропор за механізмом утворення мікропустот внаслідок неоднорідності пластичної деформації в мікрооб'ємах біля цих частинок.

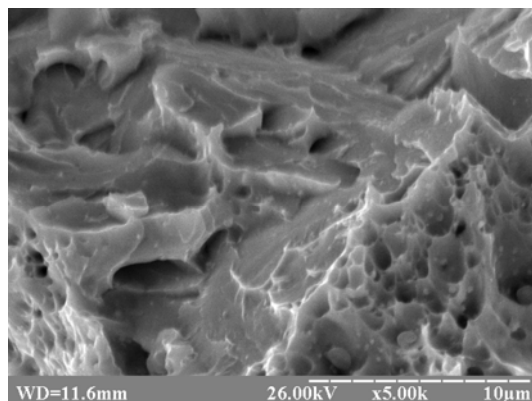
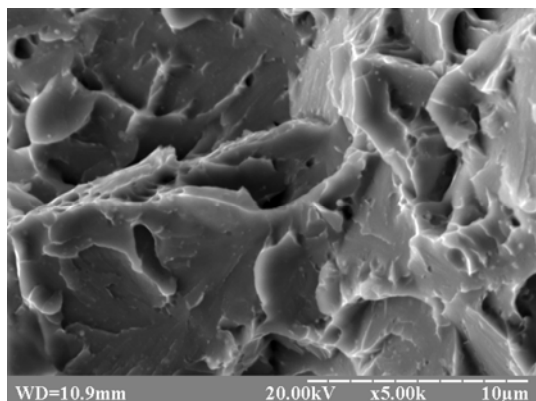
Якісна порівняльна оцінка суттєвих розбіжностей у будові зламів експериментальної та стандартної сталі не виявила, для більш об'єктивного порівняння використано метод «Виміру сумарної довжини ліній методом пересічних для площини С.А.Салтикова», який може бути використаний для всіх двовимірних зображень з наявністю лінійних структурних складових.



a



б

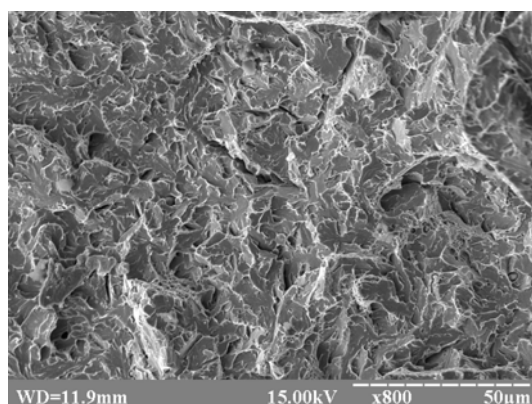
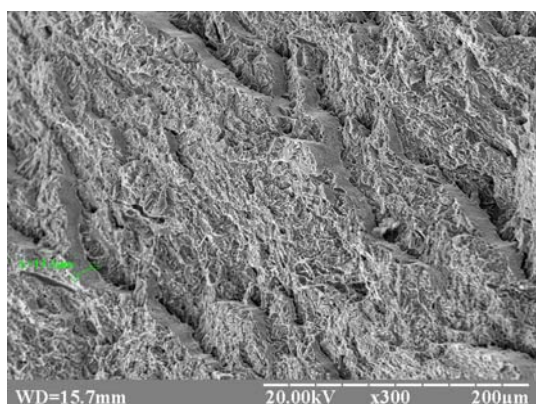


а

б

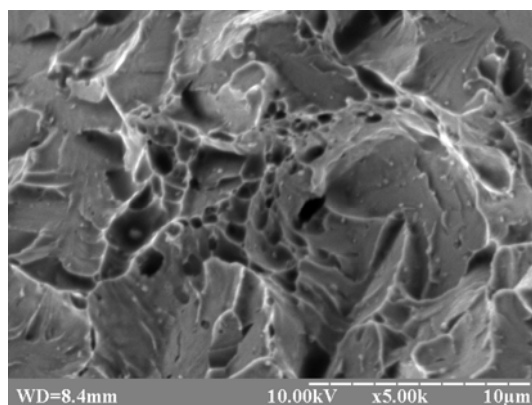
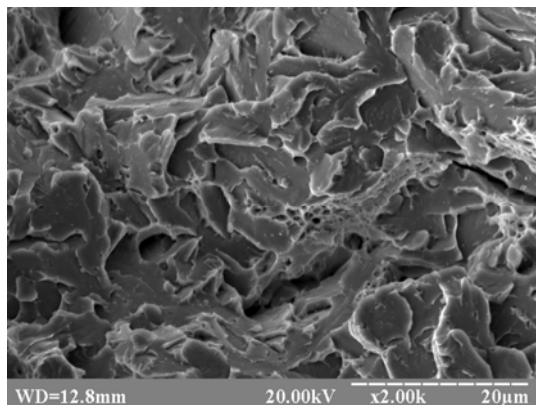
а - $\times 250$; б - $\times 2000$; в - $\times 5000$; г - $\times 5000$

Рисунок 3 – Типові фрактограми, одержані від зламу експериментальної сталі 3Х2В8Ф^е під час руйнування на маятниковому копрі



а

б



а

б

а - $\times 300$; б - $\times 800$; в - $\times 2000$; г - $\times 5000$

Рисунок 4 – Типові фрактограми одержані від зламу стандартної сталі 3Х2В8Ф при руйнуванні на маятниковому копрі

Таблиця 2 – Частота чисел пересічень за випадковим положенням січної прямої

| Кількість пересічень m_i | 3X2B8Ф ^е | | 3X2B8Ф | |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Кількість випадків x_i | Добуток $m_i \times x_i$ | Кількість випадків x_i | Добуток $m_i \times x_i$ |
| 2 | - | - | 1 | 2 |
| 3 | 2 | 6 | 1 | 3 |
| 4 | 4 | 16 | 7 | 28 |
| 5 | 9 | 45 | 7 | 35 |
| 6 | 10 | 60 | 12 | 72 |
| 7 | 15 | 105 | 14 | 98 |
| 8 | 11 | 88 | 18 | 144 |
| 9 | 15 | 135 | 10 | 90 |
| 10 | 11 | 110 | 8 | 80 |
| 11 | 4 | 44 | 5 | 55 |
| 12 | 7 | 84 | 2 | 24 |
| 13 | 1 | 13 | 2 | 26 |
| 14 | 1 | 14 | 3 | 42 |
| Усього | 90 | 720 | 90 | 699 |

В табл. 2 приведено результат 90 пересічень, для кожної зі сталі, пересіченими при розташуванні на площині мікрофотографії випадково та в випадкових напрямках. З неї видно, що кількість випадків перетину наближається до статистичного розподілу. Виходячи з цього точність метода буде залежати не тільки від сумарної довжини пересічених, а й від кількості полів зору. Отже, виходячи з цього, було обрано по дев'ять полів спостереження на кожну зі сталей, що призведе до зниження похибки.

Середня кількість перетинів січними з гребенями на довжині 0,9 мм дорівнює: $8,0 \pm 1,66 \text{ мм}^{-1}$ (для сталі 3X2B8Ф^е) та $7,77 \pm 1,64 \text{ мм}^{-1}$ (для сталі 3X2B8Ф). Для одержання величини, не прив'язаної до певної довжини відрізків було розраховано величину сумарної довжини гребенів на одиниці площі зламу, яка становить $13,96 \pm 2,89$ та $13,44 \pm 2,836 \text{ мм}^{-1}$ відповідно для експериментальної та стандартної сталі.

Отже, результати для експериментальної сталі наближаються до результатів стандартної сталі та знаходяться в межах похибки, що пояснюється однаковим механізмом руйнування, квазісколом, за однакових умов навантаження.

Висновки:

1. Проведено дослідження зламів на якісному та кількісному рівні зламів експериментальної та стандартної інструментальної сталі 3X2B8Ф після дослідження механічних властивостей.

2. Встановлено, що після статичного руйнування розтягом злам експериментальної сталі має зубці, які рівномірно розходяться в боки від центру зародження тріщини. Будова зламу складається з ямок, де розташовано частинки, що слугували центрами зародження тріщини.

3. Мікробудова зламу, одержаного після випробування на ударну в'язкість, суттєво відрізняється від статичного: присутня велика кількість поверхонь зруйнованих квазісколом.

4. Розраховано середню кількість перетинів січними з гребенями на довжині 0,9 мм та величину сумарної довжини гребенів на одиниці площі. Порівняння величин дає змогу говорити про відсутність різниці в механізмах руйнування.

5. Отже використання вторинного легуючого елементу (вольфраму) не спричинює суттєвих змін у будові зламу експериментальної інструментальної сталі.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Глотка О. А.* Дослідження важко топкого брухту, що містить вольфрам / О. А. Глотка, А. Д. Коваль, Л. П. Степанова // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2007. – № 1. – С. 17-20.
2. *Глотка О. А.* Використання важко топкого брухту для виготовлення Fe-W лігатури / О. А. Глотка, А. Д. Коваль // Вісник двигунобудування. – 2008. – № 2. – С. 164-170.
3. *Салтыков С. А.* Стереометрическая металлография / С. А. Салтыков. – М.: Металлургия, 1970. – 376 с.
4. *Феллоуз Дж.* Фрактография и атлас фрактограмм / Дж. Феллоуз; пер. с англ. Е. А. Шура. – М.: Металлургия, 1982. – 489 с.
5. *Пилюшенко В. Л.* Справочник по практическому металловедению / В. Л. Пилюшенко. – Киев: Наукова думка, 1984. – 370 с.

Стаття надійшла до редакції 09.04.2009 р.
Рецензент – проф. В.Ю. Ольшанецький