

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ „КПІ”

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ



**НОВІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ**

МАТЕРІАЛИ

VIII Міжнародної науково-технічної конференції

Україна, Київ

2016

Ямшинський М.М., Федоров Г.Є.
(НТУУ «КПІ», м. Київ)

ДО ПИТАННЯ ТЕРМОСТІЙКОСТІ ХРОМОАЛЮМІНІЄВИХ СТАЛЕЙ

Аналізом експлуатації жаростійких деталей установлено, що вибір сплаву з високою окалиностійкістю є необхідним, але недостатнім для забезпечення тривалої їх роботи. Це пов'язано з тим, що більшість таких деталей у процесі експлуатації працюють з періодичними нагріваннями та охолодженнями, тобто піддаються теплосмінам в різних інтервалах температур. При цьому деталі виходять із ладу внаслідок руйнування після накопичення термічних напружин. Максимальні температурні напружини можуть перевищувати межу текучості сплаву й руйнувати матеріал деталі. За швидких нагрівань-охолоджень, внаслідок обмеженої теплопровідності сплаву, в об'ємі деталі виникають нерівномірні температурні поля, які й сприяють накопиченню термічних напружин, оскільки природній тепловій зміні розмірів деталі заважають її сусідні, які мають більше або менше нагріті зони.

Здатність деталей витримувати без руйнування значну кількість теплосмін є спеціальною характеристикою жаростійких сплавів. Процес руйнування сплавів в умовах теплосмін характеризують як термічну втоми, а опір сплаву термічній утомі – як термостійкість.

Характер руйнування деталей від термічної втоми дуже різноманітний і залежить від властивостей металу та умов експлуатації. Часто під час вибору матеріалу для жаростійких виливків не приділяють уваги впливу його термостійкості на довговічність експлуатації литих деталей. У цей же час реальний термін експлуатації більшості таких деталей нижчий часу, який обмежується окалиностійкістю сплаву, а виливки, які менше піддаються різким змінам температур, працюють довше, ніж ті, що частіше піддаються нагріванню-охолодженню.

Значення термостійкості сплаву посилюється з підвищенням робочих параметрів високотемпературного устаткування, особливо якщо це супроводжується збільшенням кількості теплосмін в часі під час експлуатації.

Відомо, що опір матеріалу термічній утомі значною мірою залежить від термоструктурних напружин, які виникають між окремими структурними складовими сплаву. Загальна термостійкість має бути тим вищою, чим вищі механічні властивості та теплопровідність сплаву за високих температур і чим нижчий коефіцієнт лінійного розширення.

Механізм і кінетику руйнування литих хромоалюмінієвих сталей в умовах теплосмін вивчали на зразках з різними хімічним складом і структурами (табл. 1).

Таблиця 1 – Хімічний склад досліджених сталей

Індекс сталі	Марка сталі	Хімічний склад, %					
		Cr	C	Al	Mn	Si	інші
1	30X25Л	22,3	0,36	–	0,52	1,05	–
2	40X25Ю1Л	24,4	0,40	1,06	0,57	1,10	–
3	40X25Ю1Л	25,5	0,38	0,98	0,55	1,12	0,15 Ce
4	40X25Ю3Т2Л	24,8	0,38	2,95	0,47	0,61	1,96 Ti
5	30X24Н12СЛ	24,6	0,29	–	0,67	1,35	13,10 Ni

Загальну закономірність термічної втоми досліджували на сталі 40X25Ю1Л (сталь 2, табл. 1), структура якої складається із фериту та карбідів і практично не змінюється під час нагрівання до 1100 °С. Механізм розвитку термічної втоми в цій сталі найпростіший.

Вплив фазових перетворень на швидкість термовтомного руйнування вивчали на зразках із сталі 30X25Л (сталь 1, табл. 1), яка в процесі нагрівання до 1100 °С має часткове $\alpha \rightarrow \gamma$

перетворення. Для вивчення впливу дисперсійних твердих часточок фаз округлої форми досліджували сталь із вмістом РЗМ (сталь 3, табл. 1). Дисперсійно зміцнену титаном сталь (сталь 4, табл. 1) також піддавали дослідженню, оскільки карбіди та карбонітриди титану мають гострокутну форму. Процес термічної втоми сталей із зміцненим твердим розчином досліджували з використанням хромонікелевої сталі (сталь 5, табл. 1).

Дослідженнями зміни структури металу встановлено, що процес руйнування зразків можна розділити на декілька стадій, яким притаманні свої механізми розвитку процесів руйнування.

Перша стадія термічної втоми являє собою область початкового деформаційного зміцнення. Сутність цього процесу полягає в тому, що деформація в структурі розподіляється нерівномірно. Спочатку деформуються ті зерна, в яких внаслідок сприятливої орієнтації розвиваються найбільші сколювальні напружини. Деформація в режимі $20 \leftrightarrow 1100$ °C відбувається внаслідок тонкого ковзання. Крім того, за швидкого нагрівання до 1100 °C відбуваються швидкі процеси релаксації напружин.

Таким чином, перша стадія термічної втоми характеризується вирівнюванням пластичної деформації окремих зерен сталі. Прямих ознак руйнування матеріалу на цій стадії не спостерігається. Але локалізація пластичної деформації на першій стадії в окремих зернах сталі утворює передумови для ранішого зародження в них перших дефектів термічної втоми внаслідок вичерпання місцевого ресурсу пластичності сталі.

Відомо, що термічна втома металів і сплавів є результатом спільного протікання в матеріалі під впливом циклічних змінних температур і напружин процесів зміцнення та знеміцнення матеріалу. Такий процес найбільше виражений на другій стадії термічної втоми. Міжзеренне ковзання відбувається легко до того часу, поки на шляху руху граничних шарів металу не зустрінеться пограничне виокремлення, що важко піддається деформуванню. Для подальшого розвитку деформації зовнішні напружини мають бути збільшені. Це призводить до деякого зміцнення металу. Одним із головних процесів, який контролює ступінь зміцнення-знеміцнення металу на другій стадії, є швидкість зародження та дифузійна рухомість вакансій. Під час дослідження на термостійкість в області високих температур участь вакансій може бути суттєвою. Різке охолодження від високих температур (1100 °C) фіксує в металі підвищену концентрацію вакансій, рівновагу за максимальної температури циклу дослідження. Основним механізмом термічної втоми литої сталі на другій стадії є міжзеренне ковзання, а також зародження, дифузія та коагуляція точкових дефектів. Тривалість другої стадії, а відповідно, й загальна термостійкість сталі, значною мірою залежить від сил міжатомних зв'язків в кристалевій ґратці.

На початку третьої стадії виникають крупні пори на межі дотикання декількох зерен, тобто в місцях концентрації вакансій. При збільшенні розмірів таких пор понад 10...15 мкм стає можливим відривання зерен одного від другого з утворенням клиноподібних пор, які збільшуючись у розмірах, стають додатковими концентраторами напружин. Таке явище вказує на те, що в матеріалі закінчився запас пластичності в окремих макроскопічних об'ємах. Третя стадія термічної втоми обмежується такою деформацією, за якої окремі крупні пори утворюють суцільну тріщину.

Четверта стадія характеризується інтенсивним розвитком руйнування сталі внаслідок з'єднання окремих клиноподібних тріщин і розривання металевих перешийків між двома сусідніми межами, які насичені порами. Повне руйнування зразка відбувається внаслідок злиття тріщин в одну велику тріщину, яка поширюється через весь зразок або внаслідок втрати зразком механічної міцності. У деяких зразках спостерігається декілька зон руйнування, залежно від утворених меж концентрацій деформацій.

Таким чином, четверта стадія термічної втоми протікає внаслідок концентрації напружин і деформацій мікротріщинами термічної втоми.

Отже термостійкість сплаву є функцією всього комплексу механічних, фізичних, фізико-хімічних і технологічних властивостей, а для досягнення високої термостійкості необхідно дотримуватися правильно розробленої технології виготовлення виливків.