

СТВОРЕННЯ НАУКОВИХ ОСНОВ МЕТАЛУРГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

У першій половині ХХ століття зварювання у виробництві металокопункцій витісняє традиційні перевірені способи з'єднань — болтові, клепані та ін. Проте якість зварних з'єднань викликає недовіру будівельників споруд, що піддаються динамічним навантаженням. У 1935 р. американське зварювальне товариство визначило проблеми, що підлягають вирішенню: фізичні (механічні) властивості сполук; металургійні основи зварювання; фізичні та хімічні процеси при зварюванні. Аналогічні завдання поставили вчені Німеччини, Великобританії та інших країн.

У 1929 р. Є.О. Патон зацікавився будівництвом зварного мосту та за кілька років спроектував раціональні зварні конструкції, досліджував їхню працездатність та розробив методи розрахунку. З 1935 р. ще одним завданням стало забезпечення міцності зварних з'єднань і експлуатаційної надійності зварних просторових конструкцій. Є.О. Патон організував в ІЕЗ технологічний відділ під керівництвом Дятлова В.І., досвідченого металурга, який розпочав вивчення металургійних особливостей процесів зварювання. На першому етапі було визначено вплив режиму зварювання на склад та якість металу шва. В.І. Дятловим та І.І. Фрум'їним були створені покриття електродів для високоякісного ручного дугового зварювання змінним струмом нержавіючих сталей, засновані на двоокису титану (рис. 1).

У 1935 р. фірма «Linde» запатентувала спосіб високопродуктивного та високоякісного зварювання під флюсом (Л.Т. Джонсон, Г.Е. Кеннеді та М.А. Роттермунд). Створенням автоматичного зварювання під шаром флюсу зайнялися у низці НДІ та вищих навчальних закладах СРСР. Є.О. Патон поставив таке завдання перед технологічним (В.І. Дятлов) та конструкторським (П.П. Буштєдт) відділами ІЕЗ.



Рис. 1. Атомно-водневе зварювання в ІЕЗ

У 1937 р. у Бельгії через канал Альберта збудували кілька зварних мостів. Їх широко розрекламували як визначне досягнення техніки. А зимовим ранком 1938 р. зварні з'єднання тріснули і прольоти мостів впали (рис. 2). Незабаром зруйнувалися й зварні мости у Німеччині.

Фахівці низки країн, поряд з емпіричним підходом до проблеми якості металу швів, намагалися розрахувати процеси взаємодії кисню та азоту повітря з компонентами зварювальних матеріалів та елементами сплавів, що зварюються. Але підхід із позицій загальних закономірностей металургії сталеплавильного виробництва не забезпечував адекватних результатів. В.І. Дятлов почав розглядати зварювальні процеси як металургійні, але такі, що протікають за секунди у зварювальній ванні малого обсягу при великих градієнтах температур. Враховуючи цю особливість, для розрахунку взаємодії компонентів флюсу, електродів та складу зварюваного металу в системі газ–рідина, він застосував теорію правила фаз зі статистичної термодинаміки та кристалографії американського фізика академіка Дж. У. Гіббса (монографія з фізичної хімії Josiah Willard Gibbs «On the Equilibrium of Heterogeneous Substances»). При цьому В.І. Дятлов припускав те, що температура зварювальної ванни та питома теплоємність металу в ній є функцією теплофізичних властивостей компонентів сплаву.

В ІЕЗ було досліджено мікроструктуру та хімічний склад металу шва. Встановлено, що виділення газу зі шлакового розплаву підвищує ефективність захисту розплавленого металу від контакту з атмосферою, а умови кристалізації зварювальної



Рис. 2. Руйнування зварного моста через канал Альберта (1938)



Рис. 3. Доповідь В.І. Дятлова у КПІ (1936 р.)

ванни дуже впливають на кінцевий вміст газів у металі. Сформувався знання про термодинаміку процесів плавлення електродного та основного металів, взаємодію металу з газами та шлаками, кінетику реакцій окислення та відновлення, про основні стадії кристалізації.

У 1936 р. В.І. Дятлов почав викладати курс «Металургійні засади зварювання» на зварювальному факультеті Київського політехнічного інституту. Його доповіді були цікаві як початківцям, так і досвідченим спеціалістам (рис. 3).

До кінця 1939 р. в ІЕЗ був розроблений плавний флюс (АН-1) для автоматичного зварювання конструкційних сталей плавким електродом (сталевим кремнемарганцевим дротом). Випробування на міцність (у тому числі й за періодичних динамічних навантажень) довели можливість застосування цієї технології в машинобудуванні та будівництві відповідальних сталевих конструкцій та Є.О. Патон розпочав проєктування зварного мосту через Дніпро. У червні 1940 р. учасникам першої Всесоюзної конференції з автоматичного зварювання було продемонстровано зварювання листів конструкційної сталі товщиною понад 10 мм зі швидкістю 30 м/год. Якість з'єднання автоматичним зварюванням відповідало всім вимогам. Стандартне випробування зразка показало максимальний кут загину (рис. 4).



Рис. 4. Є.О. Патон демонструє випробуваний зразок (1940 р.)

Флюс АН-1 був виплавлений на Костянтинівському скляному заводі (Донбас) і відправлений на 20 провідних машинобудівних заводів країни. Після вторгнення Німеччини в СРСР ІЕЗ та Харківський танковий завод було евакуйовано до Нижнього Тагілу, де співробітник інституту В.І. Дятлов та інженер харківського заводу Б.О. Іванов розробили спосіб автоматичного зварювання броньових сталей (Спосіб дугового автоматичного зварювання під шаром флюсу. Авторське свідоцтво СРСР № 64057, заявлено 29.05.42). Продуктивність зварювання збільшилася у 10 разів.

Наприкінці 1944 р. броньові конструкції зварювали під флюсом АН-1 на 52 заводах країни. Цю небачену раніше техніку називали «Автомат Патона». Керівництво оцінило заслуги Євгена Оскаровича наданням йому звання Героя Соціалістичної Праці.

Коли запас флюсу АН-1 (в евакуації) закінчувався В.І. Дятлов розробив новий склад флюсу з урахуванням місцевих уральських мінералів. Однак налагодити масове виробництво флюсу АН-2 не було можливості. Тоді В.І. Дятлов дослідив доменний шлак і запропонував доповнити шлак Ашинської домни феромарганцем. Шлак АШМА був універсальним, придатним і для конструкційних сталей, і використовувався до 1947 року.

«Зварювання псує метал!» — з цією оцінкою металургів та інших опонентів змушені були погоджуватися і прихильники застосування зварювання.

В ІЕЗ при розробці автоматичного зварювання під флюсом броньових сталей великої товщини серед безлічі проблем, які довелося подолати, основною була проблема тріщин. У лютому 1942 р. В.І. Дятлов та Б.А. Іванов знайшли рішення. У стик між кромками помістили низьковуглецеву присадку (дріт, прутки). Таким чином, у металі шва та в зоні сплавлення зменшився вміст легуючих елементів. Водночас у США при будівництві цільнозварних океанських вантажних суден (проєкт «Liberty») і танкерів зі звичайної конструкційної сталі виникали тріщини, а деякі з суден взагалі розкололися. Не забували й про мости, що впали в Бельгії та Німеччині.

Завдання поліпшення технологій електро- і газового зварювання залишалось єдиним до тих пір, поки не звернули увагу на властивості основного матеріалу, що зварюється. Ще у 1940 р. Дж. Дірден і Г.О. Нейл запропонували використати вуглецевий еквівалент для кількісної оцінки зварюваності сталей. Формула являла собою суму часток кожного компонента сталі. По суті це був перший

крок на шляху створення вимог до металургів, які виплавили сталь для зварних виробів.

З низки припущень про причини виникнення холодних тріщин найбільше визнання набула воднева гіпотеза. У 1944 р. Г. Хопкін (США) повідомив, що атомарний водень, дифундуючи зі шва в зону термічного впливу, з'єднується в молекули, об'єм яких значно перевищує об'єм атома водню, що призводить до розриву металу. Тому, проблемі забезпечення міцності шва рівної міцності основного металу вивчали та вирішували десятки вчених і інженерів. Розгорнулися дослідження та дискусії, у провідних журналах світу публікували гіпотези і результати досліджень. Щоб не залежати від редакції всесоюзного журналу «Автогенна справа», Є.О. Патон випускає збірки праць, а в 1948 р. з'являється власний журнал «Автоматичне зварювання».

У 1945 р. Є.О. Патон розгорнув цілеспрямовані фундаментальні дослідження актуальних проблем зварювання. Результати досліджень показали, що при зварюванні сталей утворенню тріщин сприяє підвищений вміст вуглецю (Д.М. Рабкін, І.І. Фрумін), збільшення концентрації елементів, що викликають утворення евтектичних прошарків, спочатку збільшує схильність металу шва до гарячих тріщин, а потім зменшує її (Б.І. Медовар), а утворенню пор сприяють водень і азот (І.В. Кірдо, В.В. Підгаєцький, І.І. Фрумін).

Результати досліджень сплавів заліза виявилися застосовними і до алюмінієвих сплавів. Д.М. Рабкін встановив, що термін служби обладнання для одержання азотної кислоти з алюмінію високої чистоти, звареної «чистими» дротами СвА97 і СвА99, у 4...5 разів більший у порівнянні з обладнанням, виготовленим з технічного алюмінію АД00, АД000. Ця особливість була врахована у ракетобудуванні. Заготовки паливних баків з високоміцних легованих алюмінієвих сплавів плакували шаром чистого алюмінію товщиною до 1 мм.

Однією із задач було визначення вимог до металу для зварних виробів, впливу способів виробництва сталей та їх хімічного складу на зварюваність. Є.О. Патон звернув увагу на негативний вплив на якість зварювання сульфідних включень. В результаті досліджень встановили, що чутливість сталі до зварювального нагрівання залежить від її хімічного складу, способу розкислення при плавлі та розмірів зерна під час прокатування або кування. За цих операцій майбутні дефекти витягувалися у вигляді рядків і злипалися. А при зварювальному нагріванні в зоні термічного впливу вони розшаровувалися, через що й утворювалися тріщини. В ІЕЗ вирішили, що при виплавлі сталі

необхідно вводити кремній та алюміній, які «заберуть» кисень та оксиди, а прокатувати необхідно за оптимальної температури. Так були визначені науково обґрунтовані вимоги до металургів — необхідність кращого розкислення сталі та покращення її структури. Удосконалення технологій великої металургії дозволяло гарантувати службові властивості зварних конструкцій.

Додаткові дослідження та виробничі випробування сталей відбувалися на Жданівському заводі ім. Ілліча (м. Маріуполь). Була розроблена сталь із вмістом марганцю до 1,8 % та кремнію близько 0,40 % з межею плинності 320 МПа та тимчасовим опором розриву 500 МПа (марка 09Г2). Сталь мала гарну зварюваність. Незабаром в ІЕЗ ім. Є.О. Патона було створено мостову сталь підвищеної холодостійкості — М16С.

Під час Другої світової війни у СРСР кораблі не будували. Багато обладнання суднобудівних заводів було перевезено на інші оборонні заводи. Вже в 1944 р. почали відновлювати верфі в Ленінграді, Миколаєві, Києві, Херсоні.

Співробітниками ІЕЗ та Жданівського заводу ім. Ілліча були розроблені спеціальні корабельні броньові сталі, що добре зварюються і володіють стабільністю у вологій морській атмосфері. У 1948 р. Є.О. Патон створив спеціальну лабораторію, яку очолив О.М. Макара (рис. 5). Незабаром вона переросла у відділ зварювання високоміцних середньолегованих сталей у судно-, танко-, авіа- та ракетобудуванні.

21 грудня 1948 р. на заводі № 444 у Миколаєві було закладено крейсер проєкту 68 біс. У проєкті броньовані плити були повністю включені в силову схему корпусу та систему несучих корабельних конструкцій. Проте невдовзі у зварних з'єднаннях з'явилися тріщини. Виявилося, що склад і технологія виготовлення сталі на ленінградському заводі не відповідають вимогам, які розробили зварники. Нову низьколеговану сталь, що зварюється (межа



Рис. 5. Є.О. Патона разом із керівником відділу середньолегованих сталей А.М. Макарою



Рис. 6. Прогонні будови мосту через Дніпро у Києві в період будівництва



Рис. 7. Міст через річку Смотрич у м. Кам'янець-Подільський

плінності 40 кгс/мм²), виплавили і прокатили в Маріуполі і крейсер був закладений вдруге.

Через 10 років у Миколаєві збудовано крейсер нового проєкту з авіаційною зброєю «Тбілісі». Ще через 2 роки — кораблі «Мінськ» та «Новоросійськ». 25 листопада 1988 р. на стапелі «0» Чорноморського суднобудівного заводу закладено важкий атомний авіаносний крейсер (проєкт 1143.7, шифр «Кречет»), який мав стати першим повноцінним атомним авіаносцем. Заводи у Миколаєві були полігоном у випробуванні передових технологій ІЕЗ ім. Є.О. Патона, успішно конкурували у створенні військових судів із найпотужнішою корпорацією США «Northrop Grumman Newport News».

У 1953 р. зі сталі М16С був побудований суцільнозварний автодорожній міст через Дніпро у Києві (рис. 6). З холодостійкої високоміцної сталі 14Х2ГМР класу С70/60 збудовано автодорожній міст через річку Смотрич у Кам'янці-Подільському (рис. 7).

В ІЕЗ було створено високопродуктивне обладнання та технології автоматичного зварювання корабельних конструкцій. Роботи ІЕЗ дозволили ор-

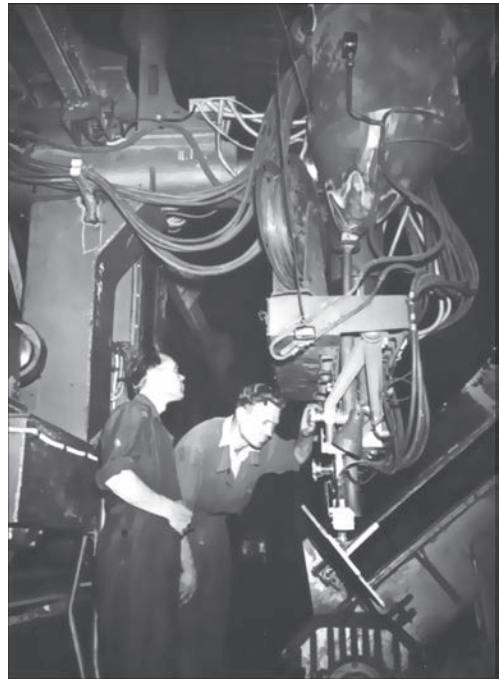


Рис. 8. Устаткування для автоматичного зварювання корабельних конструкцій



Рис. 9. Крейсер серії 68 біс

ганізувати виробництво суден на потокових лініях, застосувати конвеєрне складання і швидкісний блоковий монтаж з високим ступенем механізації та автоматизації технологічних операцій (рис. 8). За 10 років на 4-х заводах СРСР було побудовано 23 крейсери проєкту 68 біс. Патонівська сталь довела свою високу якість і більше ні в процесі будівництва, ні при експлуатації кораблів дефектів не відзначалося (рис. 9).

Досвід виробництва та багаторічна експлуатація відповідальних зварних конструкцій довели, що під час виробництва сталі необхідно враховувати вимоги зварників. На державному рівні було затверджено відповідні технічні умови та стандарти. Так особливості металургії зварювання почали удосконалювати металургію виробництва сталі та чавуну.

Д-р іст. наук О. Корнієнко