

РОЗРОБКИ В ГАЛУЗІ ЕЛЕКТРОТЕРМІЇ

Академік В.К. Лебедев керував відділом №1 ІЕЗ, в якому проводилися дослідження в галузі електротермії та електрозварювання з 1950 до 2003 рр. Структурно відділ складався з науково-дослідних лабораторій, а ті, у свою чергу, з виробничо-орієнтованих інженерних груп, які очолювали в різні періоди діяльності інституту такі фахівці-зварювальники, як Г.П. Сахацький, І.В. Кірдо, Ю.Д. Яворський, П.М. Приходько, Р.М. Широковський. Практика роботи таких груп виявилася досить ефективною, оскільки до її складу крім наукових фахівців входили інженери-технологи, електрики, механіки та висококваліфіковані робітники, що спеціалізувались в галузі механообробки, ручного дугового та газозварювання, різання та паяння. Слід зазначити, що в умовах унікальної структури наукових відділів була поширена така форма взаємодії, як науково-технічна співпраця фахівців різних відділів. Тому інтелектуальний і виробничий потенціал груп, кооперованих для вирішення технологічних завдань, зростав багаторазово.

Відділ академіка В.К. Лебедева спеціалізувався в галузі дослідження електротермічних процесів термообробки та зварювання металевих конструкцій, створення обладнання для їх реалізації шляхом електричного нагрівання зони з'єднання як контактним, так і безконтактним методом за рахунок високочастотного індукційного нагріву.

Наприкінці 1970-х років відділ успішно впровадив у виробництво індукційну технологію зварювання труб на Новомосковському трубному заводі Дніпропетровської області. Ця важлива робота була відзначена Державною премією України, а ряд співробітників відділу стали її лауреатами.

Навесні 1981 р. з ініціативи В.К. Лебедева було організовано науково-виробничу групу на чолі з к.т.н. О.С. Письменним. У цій групі було лише три особи, у тому числі стажер-дослідник Михайло Євгенович Шинлов та висококваліфікований робітник Володимир Вікторович Макаревич. Відділ мав потужну науково-дослідну базу, а група О.С. Письменного почала використовувати високочастотні генератори, на базі яких розроблялись всі технологічні процеси. Забігаючи наперед можна сказати, що ідея створення таких груп себе виправдала. Так, зокрема, група О.С. Письменного активно включилася у пошукові роботи, розробила та впровадила у виробництво ряд сучасних технологій і на початку 1990-х років була реорганізована у науково-технологічний відділ «Електротермічних процесів» ІЕЗ, який продовжував перебувати у підпорядкуванні академіка В.К. Ле-

бедева та яким керував уже д-р техн. наук О.С. Письменний.

Зупинимося на основних розробках групи-відділу О.С. Письменного, виконаних з ініціативи та під керівництвом академіка В.К. Лебедева.

Індукційне зварювання бурильних труб встик з активуючими присадками. Дослідження в області індукційного нагріву торців труб дозволили знайти оптимальні параметри індукційного нагріву та осадки торців товстостінних труб (відношення товщини стінки труби до її діаметра приблизно 1:10) та створити обладнання для отримання високотемпературних паяних з'єднань з високим ступенем осадки. Робота була виконана у тісній співпраці з групою канд. техн. наук В.Д. Табелева, що займалася розробкою безсрібних припоїв на основі нікелю, марганцю та міді. Згодом було отримано і авторське свідоцтво на цю технологію. Не обійшлося і без казусу. Справа в тому, що за своєю суттю це гібридна технологія, що має ознаки зварювання та паяння. Це викликало труднощі у застосуванні такої гібридної технології через відсутність нормативної документації. Потрібен був деякий час (15 років) для внесення відповідних змін до нормативної документації, а ретельні всебічні випробування з'єднань труб допомогли розвіяти сумніви в унікальних перевагах індукційного високотемпературного паяння з активуючими присадками (припоями) і високим ступенем осадки, що дозволяє отримати рівномірне з'єднання труб без внутрішнього грата та плавним посиленням зони з'єднання на зовнішній поверхні труби. На рис. 1 наведено макрошліф поперечного перерізу у зоні з'єднання бурильних труб діаметром 50 мм з товщиною стінки 10 мм.

Така неймовірна перевага з'єднань порівняно зі стиковим контактним зварюванням (відсутність внутрішнього грата) була застосована для з'єднан-

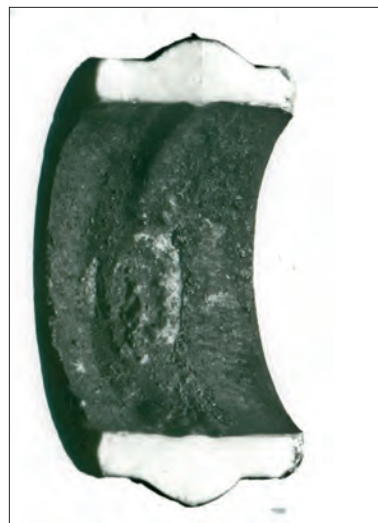


Рис. 1. Макрошліф поперечного перерізу труби

ня напівсвічок бурильних труб прямо над гирлом свердловини. Для цієї мети була застосована модернізована установка для стикового контактного зварювання К-182 зі спеціальним індуктором з трансформатором типу ТЗ-800, батареєю косінусних конденсаторів (для компенсації реактивної потужності індуктора) і генератором струму підвищеної частоти з блоком пускорегулюючої апаратури. На рис. 2, а наведено фото цієї установки з силовим трансформатором, а на рис. 2, б – вид установки збоку.

Обладнання та технологію було застосовано на двох бурових станціях підприємством «Ворошиловград нафтогазгеологія» на Луганщині. Слід зазначити, що бурові колони пройшли повний цикл випробувань, пробувавши стовбури глибиною кілька кілометрів, обертаючись в обсадних колонах.

Розробка технології та обладнання для індукційного зварювання з активуючими присадками роликів опорних катків гусеничних машин. Унікальні особливості формування рівномірних з'єднань труб та їх елементів без внутрішнього ґрату виявилися настільки затребуваними, що в короткі терміни була розроблена технологія та обладнання для з'єднання роликів опор для гусеничних траків із двох кованих симетричних

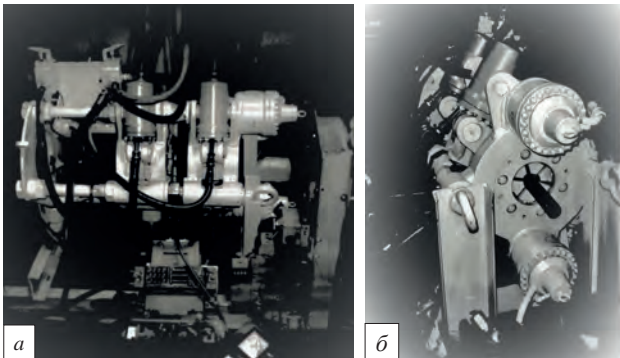


Рис. 2. Модернізована установка К-182 для індукційного зварювання труб (опис а, б – див. у тексті)



Рис. 3. Каток роликів опорної гусениці для виробу типу Т-150, отриманий за технологією індукційного зварювання

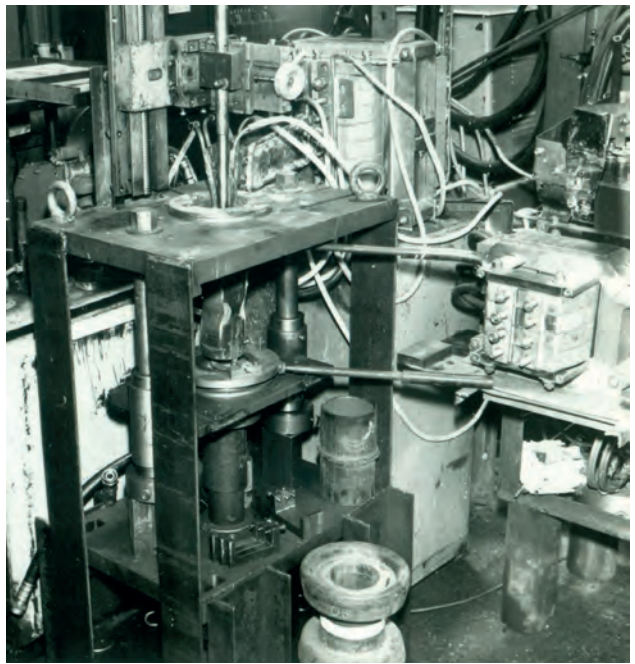


Рис. 4. Лабораторна установка індукційного зварювання за допомогою внутрішнього індуктора

заготовок. На рис. 3 наведено такий каток роликів опорної гусениці для виробу типу Т-150. Лабораторна установка для нагрівання та осадки зображена на рис. 4.

Створення комплексів для стикового індукційного зварювання з активуючими присадками труб встик. На родовищах для видобутку нафти була потрібна технологія та обладнання для з'єднання труб з метою створення мережі «обв'язувальних» трубопроводів невеликих діаметрів (2...4 дюйми). Відсутність внутрішнього ґрату дозволяло з'єднувати три труби в батіг і затягувати всередину полімерну трубу, певним чином «замонолічуючи» торці під майбутнє дугове зварювання кожного третього стику в умовах траси. Науковим співробітником М.Є. Шинловим були відпрацьовані

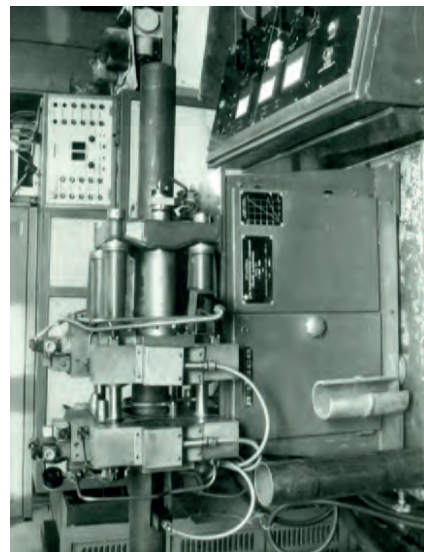


Рис. 5. Установка П-144 для індукційного зварювання труб встик діаметром до 4 дюймів

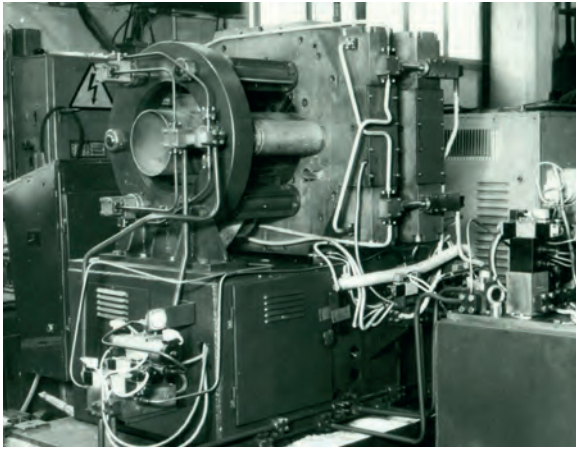


Рис.6 Установка П-145 для індукційного зварювання труб великого діаметром до 12 дюймів

технологічні режими для з'єднання товстостінних труб діаметром до 4 дюймів. За розробленим технічним завданням в ДКТБ ІЕЗ було створено зварювальні машини П-144 (рис. 5) для труб діаметром 2...4 дюйма та П-145 (рис. 6) для труб діаметром до 12 дюймів. Замовлення на виготовлення цих зварювальних машин було розміщено на Псковському заводі важкого електрозварювального обладнання та після виготовлення було впроваджено на підприємствах Татарії та Башкирії.

Електротермічне згинання труб великого діаметра в єдиному потоці зварювально-монтажних робіт спільно зі зварювальним комплексом «Північ-1». Можливість отримання локального температурного збурення в тривимірних деталях типу «обичайка» за допомогою індукційного нагріву призвело до створення процесу вільного термічно контрольованого згинання труб великого діаметра. Це дозволило удосконалити технологію та створити процес електротермічного згинання (ЕТЗ) труб у трубних батогах безпосередньо в польових умовах будівництва трубопроводу. Роботу було виконано під керівництвом О.С. Письменного. Матеріали досліджень було доповнено розробками з кандидатської дисертації М.Є. Шинлова «Електротермічне згинання труб при спорудженні зв'язних магістральних трубопроводів», Київ, ІЕЗ,



Рис. 7. Випробування технології та обладнання для ЕТЗ труб діаметром 1420 мм на полігоні СКБ «Зварювання нафтогазбуд», м. Бориспіль, 1987 р.

1989 р., науковим керівником якого був академік В.К. Лебедєв.

Коротко цю комплексну та трудомістку роботу можна позначити такими етапами:

- полігонні випробування технології та обладнання для ЕТЗ труб діаметром 1420 мм у м. Бориспіль (Київська обл.) на полігоні СКБ «Зварювання нафтогазбуд» у 1987 р. На рис. 7 наведено етап робіт з ЕТЗ у напруженому стані;

- натурні випробування криволінійних труб класу Х70, одержаних за технологією ЕТЗ (ІЕЗ). Оцінено конструктивну міцність труб, підданих згину, база ВНДІБТ, сел. Львівський, 1987 р. (рис. 8);

- труби великого діаметра 1420 мм, піддані згину за технологією ЕТЗ в умовах полігону, пройшли повний цикл механічних випробувань в ІЕЗ. Особлива увага була приділена впливу термодформційного процесу в зоні поздовжнього зварного шва та навколошовної зони. Були оцінені характеристики міцності металу труб, ударної в'язкості у широкому діапазоні температур, а також напружено-деформований стан металу в зонах вигину (рис. 9);

- трасові випробування обладнання та технології ЕТЗ при спорудженні трубопроводу «Прогрес» діаметром 1420 мм в єдиному потоці зварювально-монтажних робіт у складі зварювального

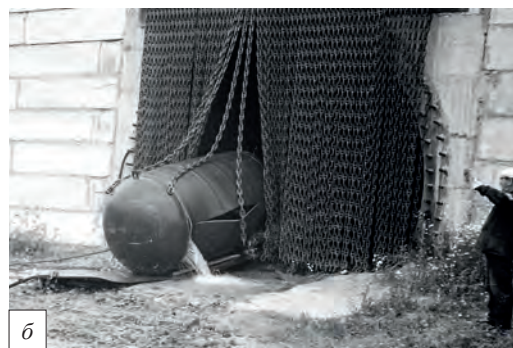


Рис. 8. Натурні випробування криволінійних труб класу Х70: а – ділянка труби діаметром 1420 мм (з привареними заглушками), отриманими за технологією ЕТЗ, після натурних гідравлічних випробувань; б – криволінійна ділянка труби вилучається з укриття безпосередньо після руйнування під час гідравлічних випробувань

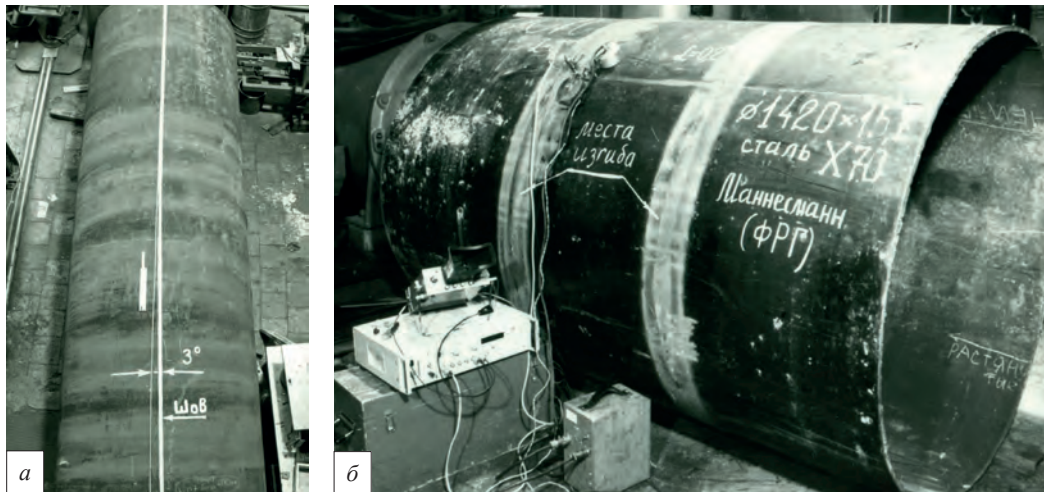


Рис. 9. Оцінка характеристик міцності металу труб: *а* – метал зварних швів та НШЗ в трубах, що піддалися ЕТЗ, успішно пройшли механічні дослідження; *б* – дослідження напружено-деформованого стану труб після ЕТЗ

комплексу «Північ-1». Відпрацьовувалося застосування технології ЕТЗ для гнуття труб у горизонтальній площині. Виконано вигин трубного багату на 26° , Гусятинський район, Тернопільська область, 1987 р. (рис. 10);

– розроблен мобільний комплекс обладнання та технології ЕТЗ труб великого діаметра. Трасові випробування в єдиному потоці зварювально-монтажних робіт у складі зварювального комплексу «Північ-1» при спорудженні магістрального трубопроводу «Ямал-Захід» на ділянці в районі м. Славути, Хмельницька обл., 1987 р. Виконано комплекс робіт з ЕТЗ труб у вертикальній площині, а також релаксації напружень у зварних труб-



Рис. 10. Застосування технології ЕТЗ трубних багатів в горизонтальній площині



Рис. 11. Магістральний трубопровід «Ямал-Захід». Автор статті, крайній праворуч (серед колег відділів № 3 і № 43 ІЕЗ та співробітників СМНУ БТ, м. Боярка) на фоні труби з блоком індукційного нагріву



Рис. 12. Зовнішній вигляд і елементи трансформатора для індукційного нагріву

них батогах при копіюванні рельєфу місцевості (рис. 11).

Очікуваний економічний ефект від застосування однієї установки становив близько 1 млн руб. Після розпаду СРСР роботи з ЕТЗ були згорнуті та подальшого розвитку не отримали. Однак обладнання лягло в основу технології термообробки зварних стикових швів, одержуваних автоматизованими методами, у тому числі контактним зварюванням на сучасних трубних сталях з метою збільшення ударної в'язкості металу шва і ЗТВ, враховуючи діапазон температур від -15 до -40 °С.

Продовжимо перелік індукційних технологій, виконаних у відділі № 43 під керівництвом академіка В.К. Лебедева.

1. Розробка та випуск високочастотних трансформаторів для обладнання індукційного нагріву, яке створювалося в ІЕЗ. На рис. 12 наведено трансформатор для індукційного нагріву потужністю $100 \text{ кВ}\cdot\text{А}$.

2. Створення компактних тигельних печей для індукційного переплаву металів і сплавів. На рис. 13 зображено таку піч на базі двох трансформаторів загальною потужністю $200 \text{ кВ}\cdot\text{А}$.

3. Розробка технології переплаву турбінних лопаток у вакуумі, що містять нікель, з подальшим рафінуванням розплаву шляхом сканування електронним променем його поверхні.

4. Розробка технології виробництва корозійностійких бінарних труб для хімічної промисловості України, ІЕЗ, 1995 р.

5. Індукційне зварювання з активуючими присадками фланців з трубою арматурою для судно-, котлобудування, гідравлічного обладнання. На рис. 14 зображено кільцевий індуктор з трансформатором для нагріву труби та фланця в зоні з'єднання, ІЕЗ, 1996 р.

6. Розробка технології індукційного нагріву труб для нанесення зовнішньої ізоляції, що термоусаджується, на основі севілену, Південний трубний завод, м. Нікополь, 1997 р.

7. Розробка технології індукційного нагріву для виробництва замкової частини бурильних

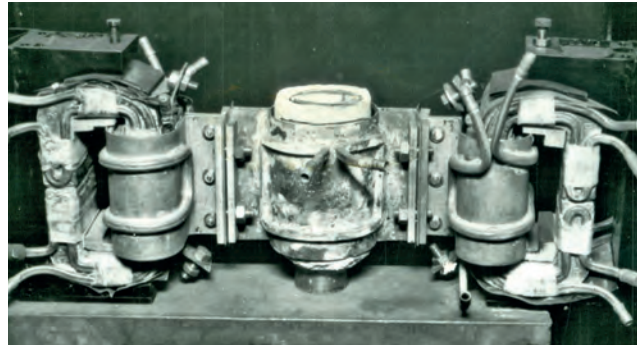


Рис. 13. Двохтрансформаторна компактна індукційна піч для тигельного переплаву металу

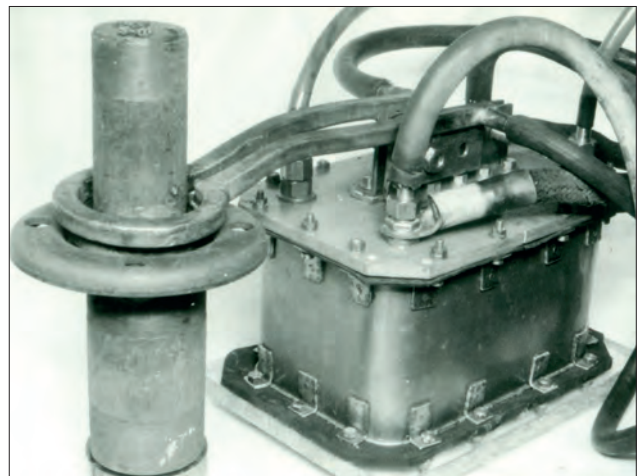


Рис. 14. Одновитковий кільцевий індуктор з трансформатором для високотемпературної пайки фланців з трубами

труб діаметром 2 дюйми, Південний трубний завод, м. Нікополь, 1997 р.

Це масштабні роботи, але були й менш масштабні, але дуже цікаві, наприклад:

– підводне індукційне різання труб (ремонтні технології для підводних трубопроводів);

– індукційна термообробка елементів ЛВП («Лінійний вузол поділу») – аварійного виходу для космічного човника «Буран»;

– індукційне зварювання-паяння карданного валу з напівцапфою під «мальтійський хрест» для автомобільної промисловості;

– індукційне паяння пакетів нікелевих магнітостриктерів з хвилеводами для котлобудування;

– індукційне паяння нахлесткових з'єднань трубчастих рамних конструкцій для автомобільної промисловості;

– індукційне зварювання-паяння ступиць з дисками ботворізів.

Подальші розробки відділу О.С. Письменного велися за тими ж науковими напрямками: індукційна термообробка, зварювання труб з фланцями та кінцевою арматурою, індукційне зварювання тонкостінних спіральних-шовних труб, індукційне високотемпературне паяння труб малого діаметра.

*Михайло Шинлов, к.т.н.,
співробітник ІЕЗ у 1980-1998 роках.*