

**Б. Татарин, канд. техн. наук; В. Мастенко, канд. техн. наук**

*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **ВПЛИВ ВЕЛИЧИНИ СТРУМУ І НАПРУГИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛУ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ НАПЛАВЛЕННІ ПІД ФЛЮСОМ**

*Досліджено вплив величини напруги і струму при автоматичному двоелектродному наплавленні під флюсом стрічковими електродами марок Св-07Х25Н13 і Св-04Х20Н10Г2Б на механічні властивості наплавленого металу і характер їх зміни.*

**B. Tataryn; V. Mastenko**

## **VOLTAGE AND CURRENT VALUE EFFECT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF METAL UNDER AUTOMATIC SURFACING UNDER FLUX**

*Voltage and current value effect under automatic two-electrodes surfacing under flux by the strip Св-07Х25Н13 and Св-04Х20Н10Г2Б electrodes on the mechanical properties of the surfaced metal and their changes, are investigated.*

Автоматичне наплавлення під флюсом як прогресивний і раціональний технологічний процес широко застосовується в народному господарстві при виготовленні і відновленні різних типів деталей, вузлів і механізмів машин та устаткування. Автоматичне наплавлення під флюсом є одним з основних способів, який застосовується як при виготовленні нового, так і відновленні спрацьованого енергетичного устаткування, у тому числі й атомноенергетичного. Так, при наплавленні внутрішніх поверхонь атомноенергетичного устаткування в два шари, із загальною товщиною наплавлення  $7\pm 1$  мм, перший шар наплавляється стрічковим електродом марки Св-07Х25Н13, а другий Св-04Х20Н10Г2Б. При наплавленні застосовували електродну стрічку перерізом (0,7×50) мм і флюс марки ОФ-10. При проведенні експериментальних досліджень наплавлення проводили на пластини, виготовлені із маловуглецевої сталі Ст.3 розміром (500×300×50...60) мм, товщина наплавленого металу складала 40 мм, величину струму наплавлення змінювали в межах 800...1600 А, напругу – 32...50 В, при постійній швидкості наплавлення – 20 м/год, віддалі між стрічковими електродами – 16 мм, вильоті електродів – 35 мм. Механічні властивості наплавленого металу, а також вміст δ-фериту в ньому визначають надійність в експлуатації і термін роботи енергетичного устаткування. Ці характеристики залежать не тільки від властивостей наплавлювальних матеріалів, але і від способів та параметрів режиму наплавлення [1,2,3]. В даний час у літературних джерелах практично відсутні дані про вплив параметрів режиму автоматичного наплавлення стрічковими електродами під флюсом на механічні властивості наплавленого металу і вміст δ-фериту як в початковому стані (до термічного оброблення), так і після термічного оброблення. Механічні характеристики, у випадку використання одних і тих же наплавлювальних матеріалів, залежать від особливостей протікання металургійних процесів у зварювальній ванні, умов кристалізації і структурних перетворень наплавленого металу [2–6]. Останні визначаються параметрами режиму наплавлення (величиною струму і напруги, швидкістю наплавлення, віддаллю між електродними стрічками при дводуговому наплавленні електродними стрічками). Необхідно відзначити, що у значній мірі інтенсивність протікання металургійних процесів у металевій ванні і наступні зміни структури наплавленого металу визначаються, при рівних інших умовах, величиною погонної енергії, яка залежить від величини струму, напруги і швидкості наплавлення.

При постійній швидкості наплавлення зміна величини напруги і струму суттєво впливають на величину погонної енергії, що в кінцевому результаті приводить до зміни механічних характеристик наплавленого металу. Проте в літературі точних даних про вплив на характер зміни механічних і пластичних властивостей наплавленого металу в залежності від величини напруги і сили струму наплавлення, при постійних інших параметрах режиму, у випадку двоелектродного наплавлення стрічковими електродами під флюсом практично немає. Метою даних досліджень було встановлення впливу величини струму і напруги при автоматичному двоелектродному наплавленні стрічками під флюсом на характер зміни механічних властивостей наплавленого металу і встановлення причини таких змін.

Дослідження механічних властивостей наплавленого металу при автоматичному двоелектродному наплавленні під флюсом ОФ-10 проводилось з використанням стрічкових електродів марок Св-07Х25Н13 і Св-04Х20Н10Г2Б. Залежність ударної в'язкості наплавленого металу від величини струму і напруги при наплавленні електродними стрічками марок Св-07Х25Н13 і Св-04Х20Н10Г2Б як без термічного оброблення (в початковому стані) (рис. 1а), так і після термічного оброблення при температурі  $620 \pm 10$  °С протягом 25 год +  $650 \pm 10$  °С – 20 год (рис. 1б).

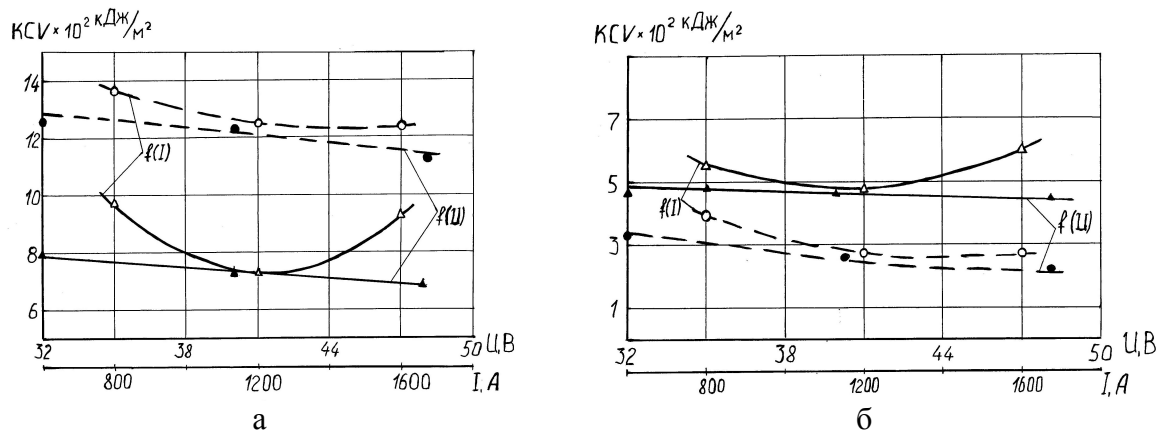


Рисунок 1 - Залежність і характер зміни ударної в'язкості, при випробуванні наплавленого металу, від величини струму і напруги як в початковому стані (а), так і після термічного оброблення (б):

- метал наплавлений стрічкою марки Св-07Х25Н13;
- метал наплавлений стрічкою марки Св-04Х20Н10Г2Б.

Із верхніх шарів наплавленого металу вирізали зразки з метою визначення ударної в'язкості та інших механічних властивостей для оцінки експлуатаційних та технологічних властивостей. На основі аналізу отриманих експериментальних даних встановлено, що зміна у вказаних межах величини струму і напруги при забезпеченні постійних інших параметрів режиму наплавлення (швидкості, віддалі між електродами, величини вильоту електродів) приводить до зміни механічних властивостей аустенітно-феритного наплавленого металу марки 07Х25Н13 і 04Х20Н10Г2Б. Підвищення величини напруги наплавлення приводить до незначного зниження ударної в'язкості. В той же час підвищення величини струму спочатку приводить до зниження величини ударної в'язкості, а потім до її зростання (рис.1). Мінімальне значення величини ударної в'язкості наплавленого металу електродними стрічками як марки Св-07Х25Н13, так і Св-04Х20Н10Г2Б під флюсом ОФ-10 на струмі наплавлення 1200 А складає для металу марки 07Х25Н13 біля  $12 \cdot 10$  КДж/м<sup>2</sup>, а для металу марки 04Х20Н10Г2Б біля  $7,3 \cdot 10$  КДж/м<sup>2</sup> (рис. 1а).

Із рис. 1 видно, що термічне оброблення наплавленого металу приводить до значного зниження ударної в'язкості, в той же час характер зміни величини ударної в'язкості наплавленого металу після термічного оброблення залишився такий же, як і в початковому стані металу.

Зміна у вказаних межах величини струму і напруги приводить до підвищення або зниження механічних властивостей наплавленого металу. Підвищення величини напруги з 32 до 48 В (рис. 2) частково підвищує міцнісні властивості наплавленого металу і знижує його пластичність (рис. 2).

Такий характер кривих спостерігається для металу, наплавленого як стрічкою марки Св-07Х25Н13, так і Св-04Х20Н10Г2Б, що випробовувався при температурі 20°C і 350°C, причому характер зміни механічних властивостей практично однаковий для вказаного складу наплавленого металу і після термічного оброблення (при температурі 620°C протягом 25 год + 650°C – 20 год). Так, при наплавленні на оптимальних параметрах режиму:  $I_H = 1200A$ ,  $U_H = 40V$ ,  $V_H = 20$  м/год в початковому стані механічні властивості складали:  $\sigma_B = 580$  МПа,  $\sigma_T = 360$  МПа,  $\delta = 45$  %,  $\psi = 56$  % при температурі випробування 20°C і  $\sigma_B = 420$  МПа,  $\sigma_T = 220$  МПа,  $\delta = 42$  %,  $\psi = 59$  % при температурі випробування 350°C для наплавленого металу типу 07Х25Н13.

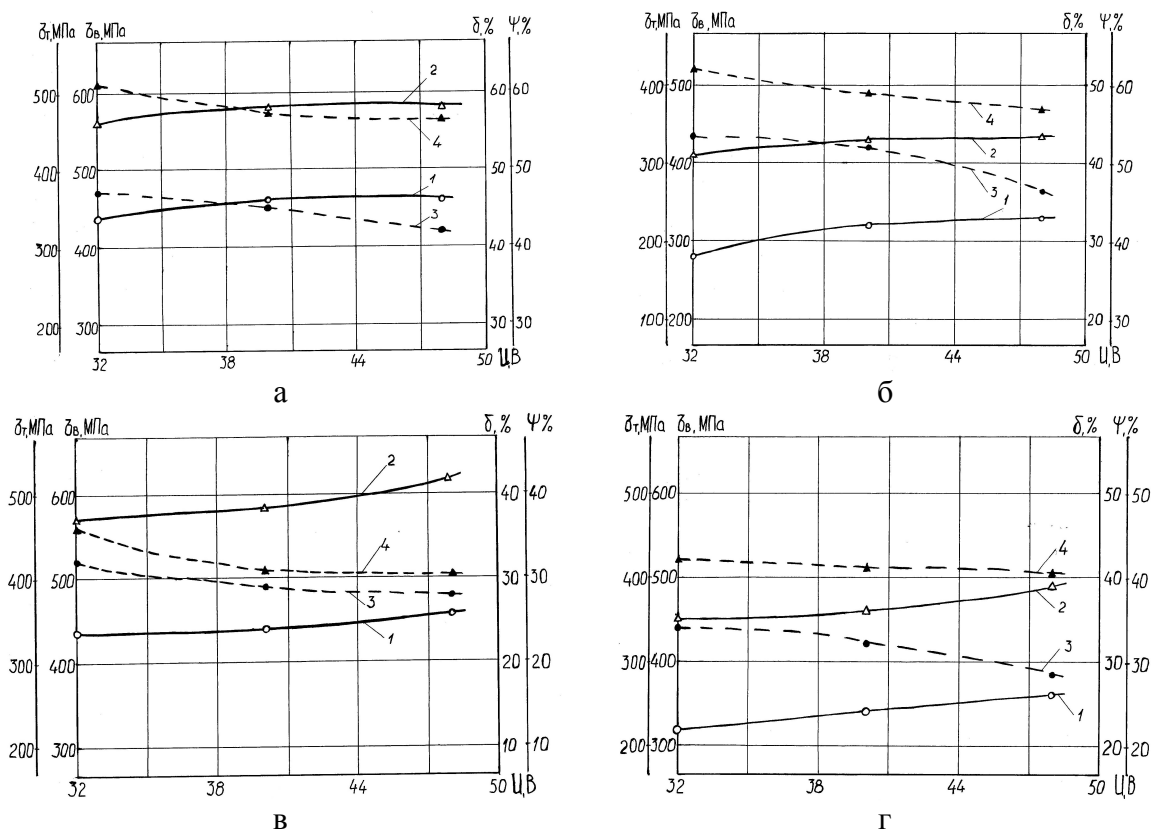


Рисунок 2 - Залежність і характер зміни межі текучості (1) і міцності (2), відносного видовження (3) і звуження (4), при випробуванні наплавленого металу марки 07Х25Н13 від величини напруги:

- а, б – початковий стан металу (без термічного оброблення);
- в, г – після термічного оброблення;
- а, в – випробування при температурі +20 °С;
- б, г – випробування при температурі +350 °С.

Після термічного оброблення межа міцності і текучості змінилась незначно і становлять  $\sigma_B = 590$  МПа,  $\sigma_T = 340$  МПа, а відносне видовження і звуження значно зменшилось і відповідно становлять  $\delta = 24$  %,  $\psi = 39$  % при температурі випробувань 20°C.

При температурі випробувань 350 °С ці характеристики становлять  $\sigma_B = 450$  МПа,  $\sigma_T = 230$  МПа,  $\delta = 32$  %,  $\psi = 41$  % (рис. 2). Практично аналогічно змінюються механічні властивості наплавленого металу марки 04Х20Н10Г2Б в залежності від зростання величини напруги при всіх варіантах випробування зразків (рис. 3).

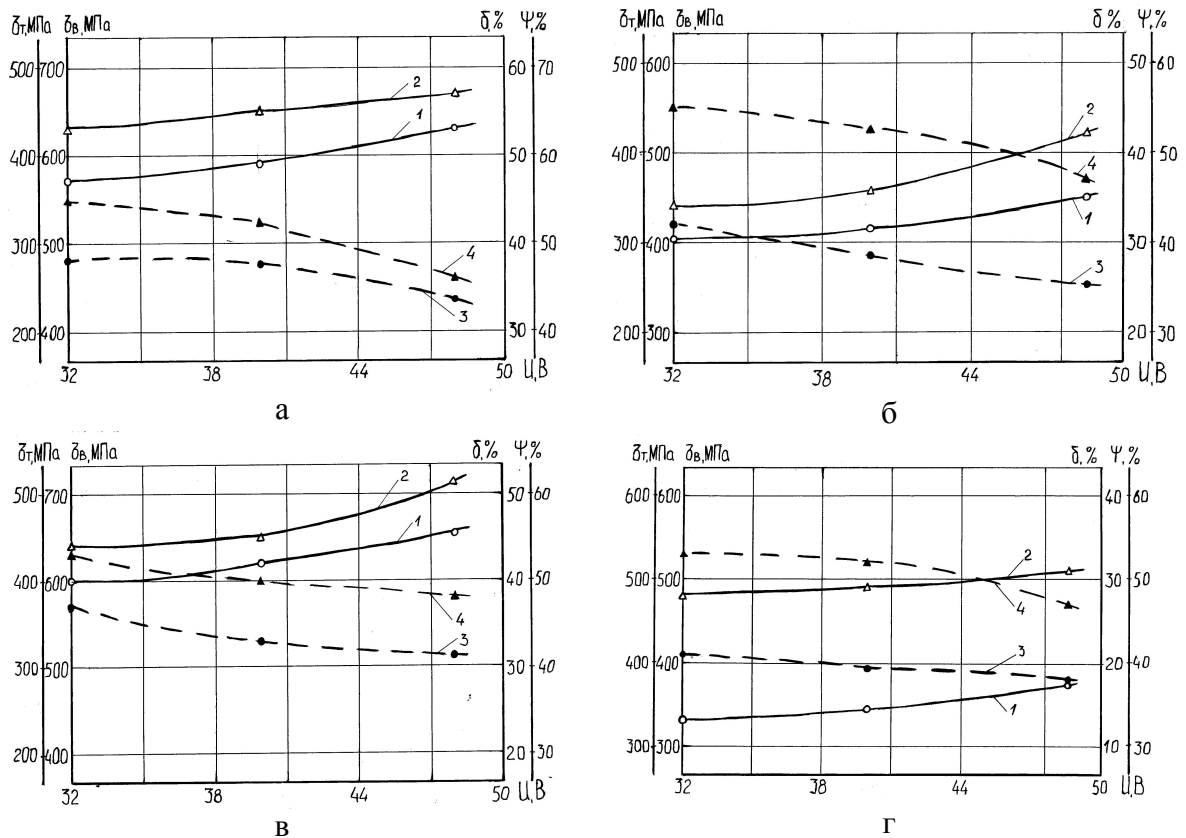


Рисунок 3 - Залежність і характер зміни межі текучості (1) і міцності (2), відносного видовження (3) і звуження (4) при випробуванні наплавленого металу марки 04X20N10Г2Б від величини напруги:  
 а, б – початковий стан металу (без термічного оброблення);  
 в, г – після термічного оброблення;  
 а, в – випробування при температурі +20 °С;  
 б, г – випробування при температурі +350 °С.

Аналіз результатів експериментальних даних (рис. 1, 2, 3) залежності і характеру зміни механічних властивостей наплавленого металу стрічковими електродами марок Св-07Х25Н13 і Св-04Х20Н10Г2Б при автоматичному двоелектродному наплавленні під флюсом ОФ-10 показав, що наплавлений метал стрічкою марки Св-04Х20Н10Г2Б більш схильний до інтенсивного підвищення межі текучості і міцності, і одночасно до зниження відносного видовження і звуження із збільшенням величини напруги наплавлення до 48 В, тобто він більш чутливий до коливань напруги, ніж метал, наплавлений стрічкою марки Св-07Х25Н13. Причиною цього, можливо, є присутність в складі стрічкового електроду ніобію, який є карбідоутворювачем, що приводить до утворення безпосередньо, в процесі кристалізації металу, дрібнодисперсних карбідів ніобію, які розміщуються на межах дендридів, а також ніобійовмістних кривих евтектик, що і приводить до підвищення межі текучості і міцності.

Тривалість термічного оброблення наплавленого металу, а також проведення випробувань при температурі +350 °С (як в початковому стані, так і після термічного оброблення) зберігають тенденцію зміни значень межі міцності і пластичності (рис.4, 5).

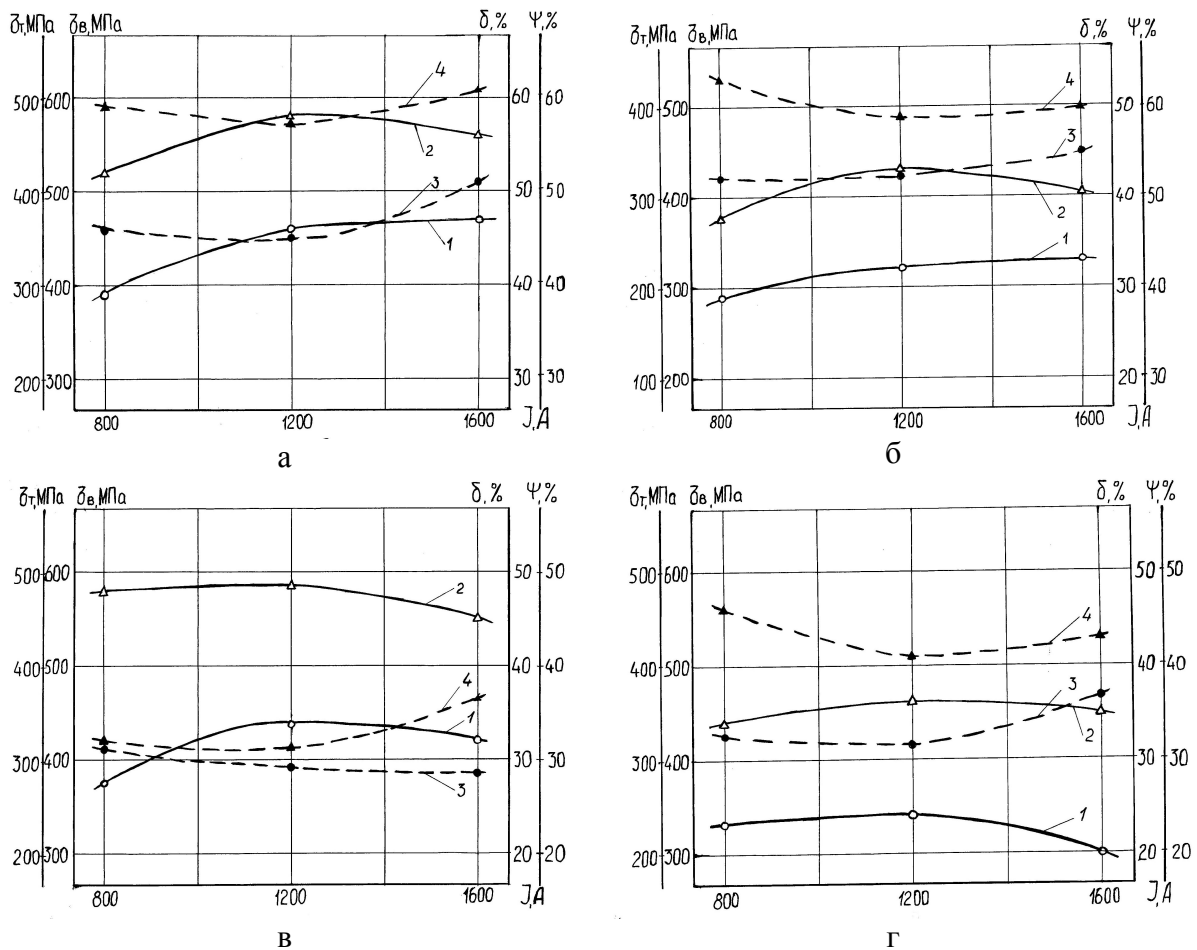


Рисунок 4 - Залежність і характер зміни межі текучості (1) і міцності (2), відносного видовження (3) і звуження (4), при випробуванні наплавленого металу марки 07X25N13, від величини струму наплавлення:

- а, б – початковий стан металу (без термічного оброблення);
- в, г – після термічного оброблення;
- а, в – випробування при температурі +20 °C;
- б, г – випробування при температурі +350 °C.

Збільшення величини струму наплавлення також приводить до зміни механічних властивостей наплавленого металу як стрічкою марки Св-07X25N13, так і Св-04X20N10Г2Б (рис. 4, 5).

Так, при підвищенні величини струму від 800 до 1200 А, при постійних інших параметрах режиму наплавлення, величина межі текучості і міцності зростає незначно, а відносне видовження і звуження знижуються. Подальше підвищення величини струму до 1600 А приводить до зниження міцнісних характеристик і підвищення пластичності. Неявно виражений екстремум знаходиться в області оптимального значення величини струму наплавлення (в межах – 1200 ... 1300 А). Крім цього, необхідно відзначити, що виражений екстремум кривих спостерігається при випробуванні наплавленого металу в початковому стані як стрічками марки Св-07X25N13, так і Св-04X20N10Г2Б. Термічне оброблення приводить до незначного пониження і часткового вирівнювання механічних властивостей наплавленого металу. Встановлено, що зміна величини струму і напруги наплавлення приводять до зміни структури наплавленого металу, тобто до зміни морфології формування в аустенітні матриці первинного δ-фериту (рис. 6, 7). Крім того, змінюється не тільки морфологія δ-фериту, але змінюється і його вміст в залежності від зростання величини струму і напруги наплавлення.

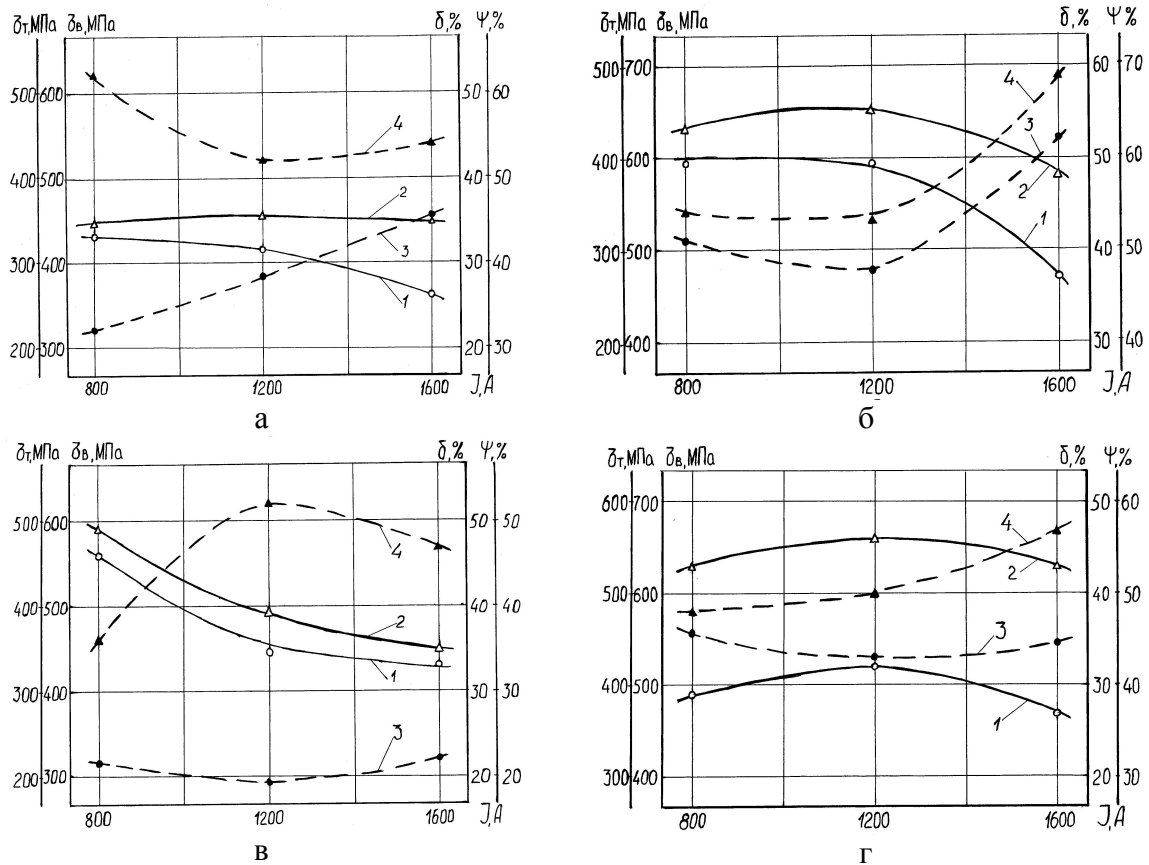


Рисунок 5 - Залежність і характер зміни межі текучості (1) і міцності (2), відносного видовження (3) і звуження (4), при випробуванні наплавленого металу марки 04X20N10Г2Б, від величини струму наплавлення:

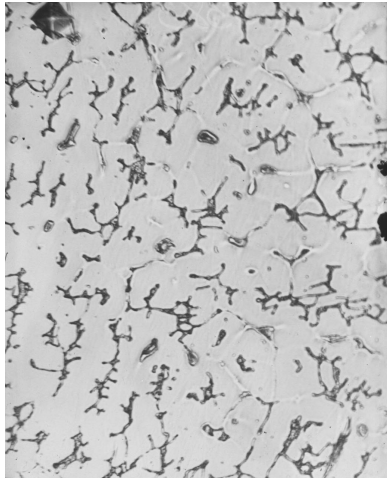
- а, б – початковий стан металу (без термічного оброблення);
- в, г – після термічного оброблення;
- а, в – випробування при температурі +20 °С;
- б, г – випробування при температурі +350 °С.

Дані, представлені на рис.6, отримані при наплавленні на величині струму – 1200А, швидкості наплавлення – 20 м/год, віддалі між електродними стрічками – 16 мм і вильоті електродів – 35 мм.

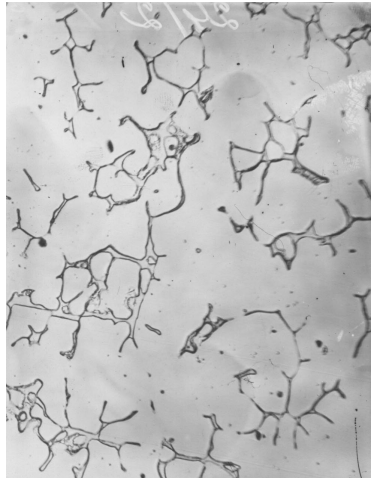
Дані, представлені на рис.7, отримані при наплавленні на величині напруги – 40 В, швидкості наплавлення – 20 м/год, віддалі між електродними стрічками – 16 мм і вильоті електродів – 35 мм.

При збільшенні величини напруги від 32 до 50 В вміст  $\delta$ -фериту зменшується прямопропорційно, а із збільшенням величини струму від 800 до 1600А його вміст змінюється за екстремальною залежністю з вираженим мінімумом відсоткового вмісту  $\delta$ -фериту в діапазоні 1100 – 1200 А. Така зміна  $\delta$ -фериту в металі, наплавленому під флюсом ОФ–10 двома електродними стрічками як марки Св-07Х25Н13, так і Св-04Х20Н10Г2Б пов'язана, в основному, із зміною вмісту азоту, який є сильним аустенізатором [4].

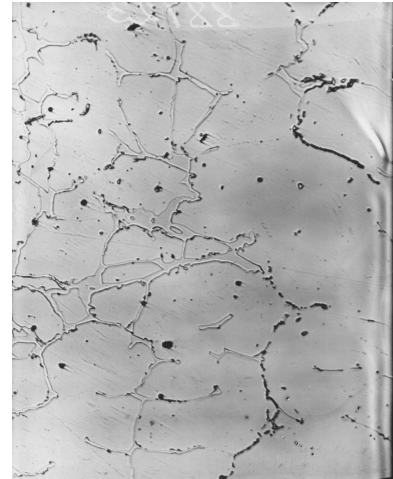
1)



а



б



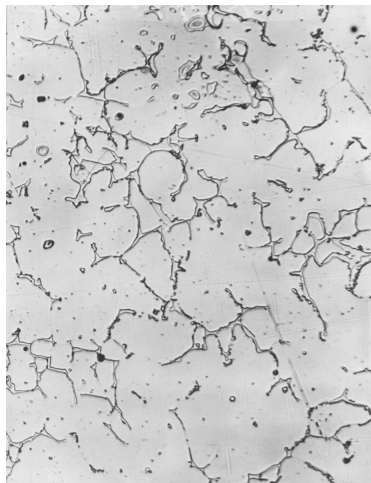
в

x500

2)



г



д



е

x500

Рисунок 6 - Мікроструктура наплавленого металу в залежності від зміни величини напруги:

1 – наплавлений метал марки 07X25N13;

2 – наплавлений метал марки 04X20N10Г2Б;

а, г – напруга наплавлення – 32 В; б, д – напруга наплавлення – 40 В;

в, е – напруга наплавлення 48 В.

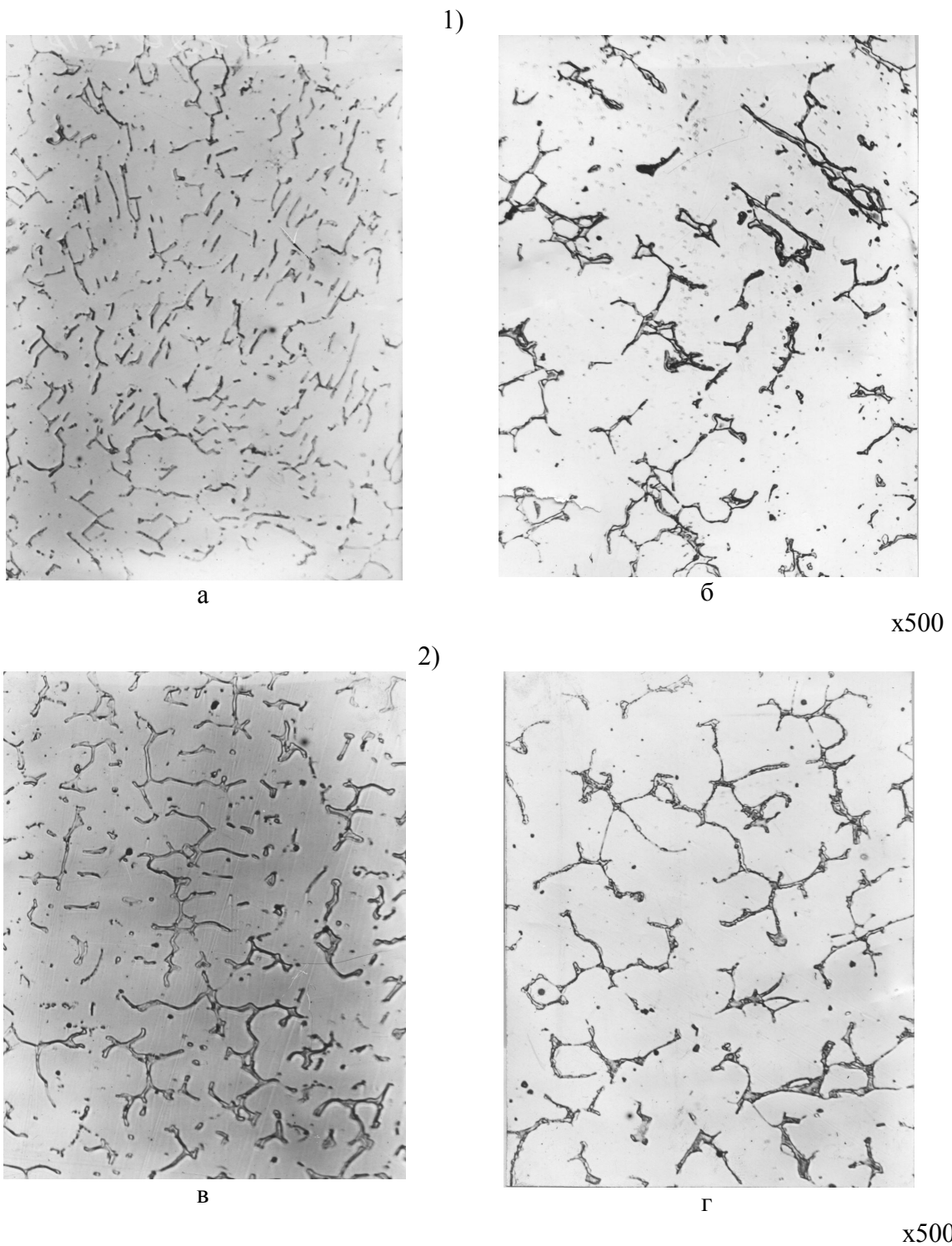


Рисунок 7 - Мікроструктура наплавленого металу в залежності від зміни величини струму наплавлення:

- 1 – наплавлений метал марки 07X25H13;
- 2 – наплавлений метал марки 04X20H10Г2Б;
- а, в – струм наплавлення 800 А;
- б, г – струм наплавлення 1600 А.

### **Висновки**

1. Аналіз результатів досліджень характеру зміни механічних і пластичних характеристик наплавленого металу, в залежності від зміни величини напруги і струму наплавлення, при постійних значеннях швидкості наплавлення і віддалі між електродними стрічками показав, що всі вони змінюються за екстремальними залежностями.



2. Екстремальні значення межі міцності, текучості, відносного видовження і звуження та ударної в'язкості визначаються конкретним інтервалом зміни величини напруги і струму при постійних значеннях швидкості наплавлення – 20 м/год і віддалі між стрічками – 16 мм, а саме –  $I_{н}=1100 - 1300$  А;  $U_{н}=38 - 42$  В.

3. Зміна вказаних вище характеристик наплавленого металу пов'язана, можливо, з інтенсивністю протікання металургійних процесів в рідкій металевій ванні та інтенсивністю розчинення азоту в ній і, відповідно, з вмістом  $\delta$ -фериту в наплавленому металі, його складом, а також із його структурною морфологією, яка визначається кристалізацією рідкого металу ванни і режимами наступного термічного оброблення наплавленого металу.

### **Література**

1. Медовар Б.И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 1966.– 428 с.
2. Рунов А.Е., Любавский К.В. О влиянии ферритной фазы на свойства наплавленного и основного металла сварных соединений хромоникелевых аустенитных сталей//Сварочное производство.– 1959.– № 9.– С.15–19.
3. Любавский В.И., Тимофеев М.Н. Дуговая сварка аустенитных жаропрочных сталей.– М.: Машиностроение, 1968.– 62 с.
4. Ершов Г.С., Орлов Ю.Г. Поведение азота в шлаковой и металлической фазах при наплавке легированных сталей.– М.: Изд. Академ. наук., 1965.- 52 с.
5. Старченко Е.И., Мастенко В.Ю. Особенности изменения некоторых технологических характеристик при наплавке двумя ленточными электродами // Автоматическая сварка.– 1984.– № 7.– С. 60–63.
6. Мастенко В.Ю., Старченко Е.И. Влияние параметров режима двухэлектродной ленточной наплавки на интенсивность протекания металлургических реакций. Сб. Материалы и технология наплавки в энергомашиностроении. Труды ЦНИИТМАШ.– Москва, 1985.– № 188.– С. 43–48.
7. Мастенко В.Ю., Татарин Б.П. Основні причини виникнення гарячих тріщин при автоматичному наплавленні під флюсом антикорозійними матеріалами//Вісник Тернопільського державного технічного університету.–2001.–Т.6.– №3.–С.5-13.

*Одержано 03.07.2006 р.*