

Цементованне заліза і сталі бором і берилем.

(Prof. I. Fetschenko-Tschopivskyj. Die Cementation des Eisens und des Stahles mit Bor und Beryllium).

А. Цементуванне заліза й сталі бором.

І.

Подібно тому як в нинішні часи увесь науковий, технічний і промисловий загал сильно цікавиться теорією та практикою легких сплавів, так років з двадцять тому назад загальну увагу техніки і промисловости зосереджували на собі сталі сплавів, які тільки що тоді вийшли зі стадії експериментів і почали застосовуватися на широку скалю у практичному життю.

Між численними домішками, які додавали до заліза в цілях улпшення його властивостей, час від часу зустрічався й бор. Для того були певні причини. А між такими причинами, може чи не на найпершому місці, були фізичні і хемічні властивости самого бору, що в періодичній системі займає місце побіч вугля, а особливо хемічні властивости обох сих первнів, що дуже подібні між собою. Звідти логічним було припущення, що сплав Fe—В будуть подібні до сплавів Fe—С принаймні під зглядом своїх механічних властивостей. Тим більше, що H. Moissan і Charpy ще в 1890 році замітили, що м'яка сталь, що містила у собі 0,17% С та 0,58% В, виказала в стані кутім й випаленім $R = 46 \text{ kg/mm}^2$ і $A = 11\%$, а в стані гартуванім від 900° мала $R = 120 \text{ kg/mm}^2$ і $A = 2,7\%$ і в той-же час не стратила спосібности до механічної обробки на зимно. Пізнійше L. Guillet в 1907 році працював з боровими сталями, що містили у собі $C = 0,2-0,6\%$ та $B = 0,2-1,5\%$ і установив між иншим, що сталь з 0,22% С та 0,46% В в стані випаленім при 900° , а за тим загартуванна від 850° виказала ось такі механічні властивости:

В стані випаленім		В стані гартованім	
Границя пластичности kg/mm^2 (P)	20,2		100
Розривне напруження kg/mm^2 (R)	39,6		147,5
Видовження в % (A)	27		6,5
Звуження в % (C)	55		30,6
Твердість kg/mm^2 (H)	105		311

Пізнійше проф. М. Чижевський та І. Михаловський порівняли твердість по Brinell'ю стопів Fe—C зі стопами Fe—B в стані випаленім і отримали такі результати:

Стопи Fe—B

Майже чисте залізо		86	kg/mm^2
те саме залізо + 0,40% B		108,5	"
" " " + 0,73 "		175,0	"
" " " + 1,21 "		227,0	"
" " " + 1,93 "		242,5	"
" " " + 3,26 "		318,0	"
" " " + 4,32 "		510,0	"

Стопи Fe—C

Майже чисте залізо		86	kg/mm^2
те саме залізо + 0,2 % C =		108,5	"
" " " + 0,6 " =		175	"
" " " + 0,91 " =		227	"
" " " + 1,25 " =		286	"
" " " + 1,73 " =		271	"
" " " + 1,90 " =		239	"
" " " + 2,27 " =		184	"

Як відомо, більші ступні твердості в стопах Fe—C можна отримати лише після гартовання (maximum около 700 kg/mm^2 при завартости 0,8% C). Між тим як стопи Fe—B виказували вже в негартованім стані значно ширші перспективи що до осягнення великих ступнів твердості!...

Правда, проти надмірного оптимізму в усім напрямі промовляли деякі факти. Так наприклад було відомо, що враз зі зростом твердості в борових сталях сильно зростає крихкість і то в більшім степені ніж в звичайних сталях зі зростом завартости вугля. Засим відомо було, що бор, подібно як крем виділяв зі стопів Fe—C вугіль в елементарнім стані. На цій підставі трудно було без застережень передбачати якісь надзвичайні наслідки уліпшення властивости сталей від додавання до них бору. Однак були важні факти і за: відомо було, що борові

сталі склонні в меншій степені до творення усадових ям, засим бор легко стоплюється з залізом і в стані плинним редукує окиси; на цій підставі стопи Fe—В до деякого степеня служать як дез-оксидатори. Далі — стопи Fe—В відпорні на ділання деяких концентрованих kwasів, напр. відпорні на діланне HCl, а почасті й H₂SO₄, однак мало відпорні на HNO₃. Що до впливу бору на механічні властивості сталей, то відоме було, що малі додатки бору збільшують міцність матеріялу (R), ще в більшій мірі його твердість (H), але рівночасно зростає його крихкість (U) і в значно більшій мірі й скорше ніж під впливом домішок вугля. Однакож, наслідки гартовання борових сталей є значно вищі ніж в звичайних сталях під впливом домішок вугля. Ковальність борових сталей вже при завартости 0,2% В сильно обнижується і часто вже легкий раптовий удар молотом під час обрібки матеріялу на зимно викликує повстання щілин.

II.

Фізико-хемічні та термічні відносини між залізом, бором і вуглем в потрійних стопах Fe—В—С приймаємо на основі потрійного укладу Fe—Fe₂В—Fe₃С в опрацьованню R. Vogel'a і проф. G. Tammann'a (1922); тут варто зазначити, що останні виходили з праць попередних авторів, а саме — G. Hannesen'a (1914) та М. Чижевського і А. Гердта (1915).

Вичерк (фіг. I) представляє потрійний уклад Fe—Fe₂В—Fe₃С по R. Vogel'ю і G. Tammann'у. Точка R' є точкою потрійної евтектики і відповідає складови Fe=95,8%; C=1,5%; B=2,7% та має температуру топливості = 1100° C. До цієї точки потрійної евтектики сходяться лінії подвійних евтектик:

1) E₁R', що відповідає евтектиці, яка складається з кристалів твердого розтвору бору і вугля в „γ“-залізі і із твердого розтвору хемічної сполуки Fe₂В і карбіда заліза (Fe₃С).

2) E₂R', що відповідає евтектиці, яка складається з кристалів твердого розтвору бору й вугля в „γ“-залізі і хемічної сполуки Fe₂В.

3) E₃R' — евтектики, що складається з кристалів твердого розтвору бориду Fe₂В в карбіді заліза з одного боку і бориду Fe₂В з другого боку.

Перша крива має найвисшу точку ціннення E₁=1145, друга E₂=1165; третя E₃=1155 і всі вони сходяться в R'=1100°.

При дальшій остиганню стопів богатих в тверді розтвори: бору та вугля в „γ“-залізі, а опісля Fe₂В в карбіді заліза,

вже в твердому стані в наслідок обниження розпускаємості заходять додаткові виділення надмірних кількостей Fe_2B а зглядно Fe_3C аж до тих пір, поки позісталий твердий розтвір не осягне складу потрібної евтектоїдальної мішанини, тобто складу „бор-перліта“, що відповідає точці S' з хемічним складом $C=1,0\%$; $B=1,0\%$; $Fe=98,0\%$. Тоді при сталій температурі $= 690^\circ C$ твориться потрібна евтектоїдальна мішанина „бор-перліт“, що складається з 8-ми частей граничного твердого розтвору бору в „ α “ — залізі (з $0,08\% B$), з 3-х частей граничного твердого розтвору Fe_2B в карбіді заліза, що відповідає на вичерку точці означеній буквою Z' і складови: $C=5,5\%$; $B=1,4\%$; $Fe=93,1\%$ і нарешті з 1 части бориду (Fe_2B), що містить у собі $B=8,8\%$.

Подвійний уклад $Fe-B$ виказує існування досить широкого обсягу твердих розтворів бора в „ γ “ - залізі, котрі в міру обниження температури розширюються і осягають своє граничне максимум при температурі 760° , що відповідає точці P_2 . Звідси можна зробити висновок, що подвійний уклад $Fe-B$ представляє сприяючі умови для позитивних об'явів дифузії бора в „ γ “ — залізі а рівнож, можна булоб передбачити, що практично може бути доконаним процес наборовування, тоб-то процес цементації бorem.

Вслід за W. Rozenhein'ом, Z. Jeffries'ом, R. Archer'ом і S. U. Hoyt'ом ми припускаємо, що при повставанню твердих розтворів в металю розпушальнику розтворюються виключно лиш первні, а не хемічні сполуки. Те значить, що всяка хемічна сполука перед переходом у твердий розтвір насамперед дисоціює і опісля розтворюється вже в дисоціованім стані¹⁾. Тоді процес наборовування буде полягати на тім, що бор розпускається в „ γ “ - залізі. Звідси означається температурний обсяг практичного виконання цього процесу; очевидно процес наборовування буде мати місце між точками J (1165°) і U (906°). Механізм такого розпущення бору в твердій фазі „ γ “ - залізо ми розуміємо в такий спосіб: атоми заліза, що знаходяться на поверхні об'єкта, що підлягає наборовуванню, не є так сильно зв'язані силами спійности як атоми ввнутри самого металю²⁾. Тоді як кожен атом, що знаходиться в середині, підлягає притягальним впливам усіх окружаючих його сусідних атомів, то атом на поверхні металю має ще деякі сили спійности не вповні наси-

1) Див. мою „Будова металів“ Львів 1926, § 27, стор. 63—64. та § 24 стор. 53—57.

2) Див. „Будова металю“ § 3, рис. № 5.

чені. Як що тільки зовнішні обставини (тісний контакт, відповідна температура) сприятимуть тому, аби атом бору ставби в найближчому сусідстві вільної поверхні заліза (яка предназначена до наборювання), то увійдуть в силу міжатомові притягаючі сили між атомом бора і атомами заліза (в силу закону контрастості — між різнородними атомами притягаючі сили є більші ніж між однаковими!) і атом бора стане вже нероздільною складовою частиною нової простірної сітки. В цій новій простірній сітці атоми „ γ “ - заліза грають ролю розпушальника, а атоми бору займають одно, зглядно більше місць в простірній сітці „ γ “ - заліза¹⁾. І як тільки викінчиться геометрична будова простірної сітки одного елемента твердого розтвору бору в „ γ “ - залізі, то згідно з гіпотезою Z. Jeffries'a (1924) вступають в силу „сили дифузії“ (сили проникання), що їх розмір та активність залежить від різниці концентрацій зовнішньої і низше находячихся верств, та від степеня рухливости атомів. Засим, під впливом цих „сил дифузії“ наступає процес проникання бору внутр металічного обекта. Ми розуміємо цей процес так, як то нами вже описано в „Будові металю“ на стор. 59—63 в § 26, себ то як ротативне совганне атомів бора внутри тісно уложених атомів простірної сітки „ γ “ - заліза. Таке обьяснення поступового просування чужих атомів бора внутр твердої тісно один обік другого уложеної громади атомів в умовах дуже незначної змінности пораметрів простірної сітки та її високої відпорности проти усякого рода деформуєчих зусиль, як нам здається є одиноко можливе. Циклічне порушанне атомів, що відбувається одночасово у всіх верствах металю, вимагає найменшої затрати сил, необхідних для змін положення атомів в щільній простірній сітці твердого розтвору. Зрозуміло, що в міру зросту температури, тоб-то — в міру зросту рухливости атомів такий процес совгання набирає щораз більшої інтензивности. Остання залежить від степеня плястичности металю розпушальника, тоб то від кристальнографічного уложення його простірної сітки та від степеня контрастості самих атомів. Чим більше подібні самі до себе атоми, тим менші можливости для явищ дифузії одного металю в другім; атоми-ізотопи так подібні один до другого, що не викликають ніякої зміни в простірній сітці і бракує між ними потрібної контрастості, яка моглаб урухомити совганне колюмн, тоб-то викликати обяви дифузії.

¹⁾ Тамже § 22.

Характерні фізико-хімічні властивості первнів, що до їх взаємних укладів між собою ми зараз переходимо, є ось такі:

	Ве	В	С		Fe
			алмаз	Графіт	
питомий тягар	1,85	2,5	2,12	3,52	7,1
атомовий тягар	9,02	10,9	12		55,84
атомовий об'єм	4,8	4,4	3,42		7,1
температура топлення	1278°	2400°	около 3600°		1528°

Звідси слідує, що „контрастивість“ між атомами заліза з одного боку, та атомами вугля, бору й берилію з другого боку є значна, а тому слід сподіватися значної інтензивності в об'явах сил дифузії в цілях оборотного порушення колуи атомів і при тім більш інтензивно в „ γ “ - залізі ніж в „ α “ - залізі, тому що розпукальність бора в „ γ “ - залізі є значна, а розпукальність бора в „ α “ - залізі є дуже незначна, як то слідує з подвійного укладу залізо-бор.

Засим повстає питання, яких структуральних форм треба булоб сподіватися в результаті більших або меньших степенів наборовування? З напрямку простої UP_2 (фіг. I) робимо висновок, що розпускальність бору в „ γ “ - залізі зростає в міру обниження температури (оборотно тому, що заходить в укладі Fe—C). Напрямок простої UP_2 показує, що альотропова переміна „ γ “ \rightarrow „ α “ - залізо відбувається що раз при низших t -ах, в міру збільшення кількості розпущеного в „ γ “ - залізі бору і то в такім степені, що при завартості бору = 3,5% альотропова переміна „ γ “ \rightarrow „ α “ відбувається при 760°. В цій t -рі твориться потріиний евтектоїд „бор-перліт“.

Механізм проникання бору в залізо є слідуочий: при температурах від 900° до 1100° бор легко переходить в твердий розтвір „ γ “ - заліза. В міру обниження t -ри здовж простої UP_2 виділяються кришталі твердого розтвору бору в „ α “ - залізі о змінній завартості бору від 0% при 906° до 0,08% при 760°. З осталої кількості розтвору бору в „ γ “ - залізі утворюється при сталій t -рі 760° евтектоїд (бор-перліт), що складається з кришталів граничного твердого розтвору бору (0,08%) в „ α “ - залізі і хімічної сполуки Fe_2B . На цій підставі ми приходимо до висновку, що залізо набороване в t -ах од 900° та вище, а опісля повільно охолоджене до звичайних t -ур буде складатися з таких верств слідуочих по черзі з обводу до центра:

1) евтектоїдальної о сталій завартости бору = 3,5%; при трохи міцнійших степенях наборовування повинна виступити верства надевтектична, що складатиметься з кристалів Fe_2B оточених евтектоїдальною мішаниною; 2) підевтектоїдальної, в котрій зерна граничного твердого розтвору бору в „ α “-залізі розсіпані в масі евтектоїду. Кількість зерен граничного твердого розтвору і їх розмір буде що раз збільшуватися в міру поступовання від зовнішньої евтектоїдальної верстви — до середини; 3) верстви, що складається виключно з кристалів твердого розтвору бору в „ α “-залізі; 4) верстви мішаних кристалів твердого розтвору бору в „ α “-залізі о змінній завартости бору від 0,08% і менше і 5) чистого заліза. В залежності від t —ри, часу тривання процесу, тоб-то, в залежності від того, в яких кількостях удалося розтворити бор в зовнішній верстві „ γ “-заліза, можуть повстати по черзі або всі вище зазначені верстви, або, щонайменш — верства підевтектоїдальна з наступним послідовним переходом до чистого заліза.

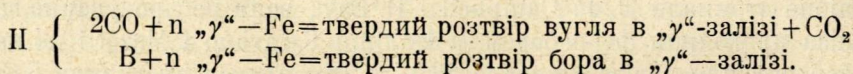
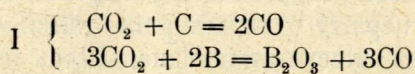
III.

Проф. М. Чижевський (Томск) в 1915 році оголосив цікаву працю о цементуванню заліза борем. Він брав м'яке залізо, висвердловував в нім дірку, яку заповнював аморфним борем або порошком стопу $Fe-B$ (з 19% B) і закорковував залізним чопом. Затим грів це залізо в електричній печі при t —рі 950° і отримувал наборовану верству завтовшки в один міліметр. Контроля під мікроскопом виявила, що наборована верства складалася з периферії з чистого бор-перліту о характерній „ялинковій“ будові, засим йшла верства підевтектоїдальна. Щось подібне отримали Т. Р. Campbell і Н. Fay; вони наборовування заліза проводили ферроборем, а Італійці Paravano і Mazetti до наборовування заліза уживали BCl_3 , а сам процес провадили в атмосфері водня. Вони твердять, що набороване залізо з верствою наборовання в 0,3 mm було так тверде з поверхні, що драпало скло (як діамант!)

Ми провадили свої досліди наборовування м'якого заліза, оточуючи його аморфним борем; аморфний бор добули за допомогою знаної методи Н. Moissan'a, т. є. діланнем магнезу на B_2O_3 . Наш аморфний бор містив у собі деякі кількості SiO_2 , TiO_2 , около 1,6% вогкості і газових частин, а окрім того невеликі кількості надборанів магнезу.

Спорідненність бору до кисня в тих високих т—ах, в котрих нормально відбувається процес наборовування, є надзвичайна. Наші перші проби, що ми їх провадили в звичайній атмосфері навіть без вільного допливу повітря зовні, виказали, що вже в т—рі около 750° бор горить спокійним темно-блакитним пірофосфоричним полум'ям. Цілком зрозуміло, що всі проби наборовування в т—ах до 950°, не виказали жадного ефекту наборовування; лиш по чотирьох-годиннім наборовуванню при т—рі 1000°, при умові що залізний об'єкт, що наборовувався, був глибоко загрузений в бор, ми зауважили з долішньої части цього об'єкта сліди наборовування на глибину около 0,025 мм. В тім випадку ми сконстатували, що бор, згораючи з поверхні додав грубу верству зліплених окисів бору, котрі перешкаджали дальшому доступови кисня в глибину, а тому коштом долішньої верстви неокисленого бору й відбулося оце часткове наборовування.

Пошукуючи за відповідним оточенням ми пробували провадити наборовування в атмосфері повітря, CO, CO₂, CH₄, N₂, H₂, світільного газу, а нарешті — в порожні. При цім okazaлося, що практично наборовування має місце лише в атмосфері водня, а ще ліпше — в порожні. В разі-ж, коли застосовували як атмосферу газу, що містили в собі вугіль, одночасово заходили обидва процеси: наугляння і наборовування. Цей комбінований процес поверхневого утвердіння м'якого заліза в деяких техноложічних випадках може мати, як нам здається, практичне значіння. При цім заходять такі реакції:



Наслідки наборовування контролювалися під мікроскопом. З цією метою приготовляли ми поперечний шліф та на матовому шклі фотографічної камери мікроскопу при сталім побільшенню міряли глибину наборованої верстви. Результати таких помірив уявляють з себе субктивне пересічне кількох помірив. Різниця між мінімум і максимум глибокості наборовування бувала значна, а в низше наведених таблицях ми подаємо границі тих колибань:

Таблиця І.

Вплив оточення на результати наборовування при $t = 1000^\circ$ протягом 4 годин.

Оточення	Пересічна глибина наборованої верстви в мм.	У в а г а
Повітря	0,025	Бор з поверхні і на значну глиbokість окислився
Пара водна	—	Бор сильно окиснений; при виході з печі водень запалювався
CO	0,019	Одночасово відбувалося науглення; науглена верства виносила 1,260 мм.
CO ₂	0,025	Науглення на глиbokість 1,39 мм.
Світільний газ	0,031	Науглення слабе на глиbokість 0,756 мм.
CH ₄	0,038	Науглення на глиbokість 0,945 мм.
N ₂	0,050	
H ₂	0,114	
Порожня	0,250	Див. мікрофотографія № 1, побільшення 100.

Перші сліди видимі під мікроскопом додатнього перебігу процесу наборовування виявляються у постаті кристалів нової фази, яка відзначається або ажурною різьбою своєї будови (фот. № 1), або оригінальною постаттю трикутників звернених гострим кутом в глибину заліза (мікрофот. № 2 поб. 150). Ця нова фаза відрізняється від маси заліза своєю твердістю, а почасти й барвою. В мікроскопі вона легко відрізняється без попереднього ділання на шліф реактивами, бо попереднє полірування поверхні шліфу вже надає цим твердим складникам відповідний релєф. На фот. № 2 частина горішня від барєра з трикутників складається з однородного твердого граничного розтвору бору в „ α ”-залізі, того самого, з якого складається й саме тіло трикутників. Долішня частина — складається з початку з мішаних кристалів о невеличкій змінній завартости бору в „ α ”-залізі, які, що далі до центру пробки — все зменьшують свою завартість бору і з рєштою — непомітно й плавно переходять в чисте залізо. Переходи цих мішаних кристалів до чистого „ α ”-заліза виявити в м'яккім залізі нам не удалося; лише в сталях многостопових (хромових, нікелевих і хромонікелевих) удається зловити відповідну структуральну різницю. Тому, всі наші мікроскопові

поміри, що їх наводимо низше, мають умовне значіння, вони окреслюють лише грубість тих наборованих верств заліза, які відрізняються своєю будовою від „ α ” - заліза і мішаних кристалів твердого розтвору бора в „ α ” - залізі о завартоści меншій ніж 0,08% В.

IV.

Як наслідок попередніх дослідів відповідного оточення в цілях досягнення додатних результатів наборовування, впливала конечність проведення процесу наборовування або в атмосфері водня, або в порожні. Звідси виникає низка перешкод практичного, головне техноложічного, а рівнож і економічного характеру. Впрочім одні й другі моглиб бути успішно поборені і оправдані якби тільки продукт, що получаємо після відповідного наборовування отримав фактично отамті цінні властивости, про котрі многообіцюче реклямували дехто з попередніх дослідників. З метою виявити фактичний стан річей ми й розпочали дальші досліді над впливом температури на наслідки наборовування заліза в атмосфері водня й в порожні при однаковім протягу тревання процесу = 4 години. Результати цих дослідів уміщені в таблиці II.

Таблиця II.

Т-ра	Глибина наборовування в мм.					
	м'яке залізо: С=0,075—0,080%			Сталь о завартоści С=0,87—0,97%		
	мініма	максіма	правдоподобна пересічна	мініма	максіма	правдоподобна пересічна
А) В атмосфері водня						
900°	0,000	0,045	0,025	0,000	0,010	0,00
950	0,040	0,090	0,045	0,009	0,020	0,01
1000°	0,070	0,146	0,114	0,025	0,050	0,04
1050	0,105	0,204	0,160	0,040	0,127	0,10
1100	0,080	0,210	0,140	0,060	0,440	0,22
В) В порожні						
950	0,00	0,05	0,03	0,00	0,04	0,02 ²⁾
975	0,10	0,20	0,12	0,06	0,10	0,06 ²⁾
1000	0,10	0,50	0,26	0,15	0,50	0,30 ²⁾
1020	0,30	1,00	0,60	0,30	1,20	0,80 ²⁾
1040	0,70	1,40	0,90	0,80	1,50	1,10 ²⁾
1060	0,60	2,00	1,60			
1080	0,60	1,60	1,00 ¹⁾			
1100	0,40	1,00	0,80 ³⁾			
				на скрізь; з поверхні обтопилося.		

Порівнюючи розміщені в таблиці II значіння для мініма й максіма кидається у очи часами величезна різниця між ними. Конечно, одною з причин є неоднородність в глибині наборованої верстви. Однак головною причиною є величезна крихість евтектоїдальної і підевтектоїдальної верств. Фот. № 3 поб. 50 представляє евтектоїдальну та підевтектоїдальну верстви. На цій фотографії добре представлена колійність верств від обводу до центра. Рівнож з лівого боку видно, як зовнішня евтектоїдальна верства відколюється. На фот. № 4 поб. 50 видно, що зовнішня верства вже цілком відділилася від поверхні пробки; рівнож видно, як окремі зерна твердого граничного розтвору бора в „ α “-залізі, що були оточені евтектоїдом, помалу відходять від цілого і що площами лупливості являються прослойки евтектоїда. Фот. № 5, поб. 100 представляє випадок, коли ціла горішня верства вже відкололася, а в долині денед зустрічаються сфероїдальні каплі та тоненькі жилки евтектоїда. Фот. № 6, поб. 200 представляє будову подвійного евтектоїда (бор-перліта).

Процес наборовування інструментальних (вуглястих) сталей з більшою зава́ртістю вугля (около 1%) пробігає з такою самою швидкістю, однак структуральні відносини, що укладаються при процесі наборовування, досить скомпліковані. Бор входячи в сталь утворює потрійний твердий розтвір бора в „ γ “, а зглядно „ α “-залізі та потрійний твердий розтвір бора в Fe_3C . Тому, перше вражіння над мікроскопом таке, ніби бор входить в високовуглясту сталь по прожилкам цементиту (див. фот. № 7, поб. 500). Засим, коли наборована верства значно пошириться, тоді структура сеї наборованої верстви по витравлінню поверхні шліфа представляє вигляд, як показує фот. № 8, поб. 50. На початку

1) Промір (діаметр) пробки зменьшився приблизно на 30%.

2) З обводу в наборованій верстві зауважено відвуглення. Скількість перліту щораз меньшає від центра пробки в напрямку до обводу.

3) Пробка сильно надтопила і покрилася згори грубою корою, яка складається з грубих зерен граничного розтвору бору в „ α “-залізі, слабо зцементованих між собою евтектоїдом „бор-перлітом“ (фот. № 4).

4) Сильно помітне відвуглення. див. фот. № 6 поб. 50. Центральна часть пробки складається з грубих перлітових зерен оточених ясною ферритовою сіткою, в котрій видно перебігаючу тоненьку верстовку (прожилку) крихкого потрійного евтектоїда. Ця прожилка, як видно, біжить здовж границь кришталів.

йде евтектоїдальна верства, якої на фот. 8 майже не видно; вона дуже крихка й майже все відколося. Ми покажемо її окремо на фот. № 9, поб. 200. Далі йде підевтектоїдальна верства, засим верства майже сплосних потрійних твердих розтворів, яка робить вражіння, ніби відбулося явище відвуглення. Цьому вражінню підпомагає й дальший вигляд структури в напрямку глибини пробки з все збільшуючоюся кількістю перліта (подвійного евтектоїда $Fe-C$) і зі зменьшуючоюся кількістю твердого потрійного розтвору бору й вугля в „ α “—залізі. Тут ми находимо й причину тої надзвичайної крихкості наборованих сталей. Тоненькі прожилки потрійного крихкого евтектоїда простягаються глибоко внутр металю; розділюють внутр металічної пробки на більші конгльомерати кришталів. Досить відносно незначних механічних зусиль (ударів), аби відділити отсі конгльомерати один за другим від цілого. Тепер робиться зрозумілим, чому стопи $Fe-B$ так легко зпорошковуються.

Цілий перебіг процесу наборовування високовуглястих (інструментальних) сталей ми уявляємо собі так: Бор на поверхні в високих t -ах процесу переходить в твердий розтвір „ γ “—заліза і утворює потрійний твердий розтвір бору й вугля в „ γ “—залізі. При більших завартостях бору може утворитися потрійна евтектична мішанина, що відповідає на потрійному вичерку $Fe-Fe_3C-Fe_2B$ точці „R“. Підчас повільного охолодження з сего потрійного розтвору виділяється надмір Fe_2B ; рівнож виділюється Fe_2B і з твердого розтвору сього бориду Fe_2B в карбіді заліза Fe_3C . На случай присутности потрійної евтектики о складі R заходить враз з охолодженням стопу виділення надмірних скількостей Fe_2B з обох вище зазначених нетревалих складників цієї потрійної евтектичної мішанини аж до тих скількостей, з яких врешті, при температурі повстання евтектоїда (690°) утворюється потрійний бор-перліт, тревалий при звичайних температурах.

В разі, коли завартість вугля і бору кожного з окрема буде більша як 1%, то прожилки потрійного евтектоїда будуть оточати криштали (конгльомерати кришталів) граничного твердого розтвору Fe_2B в Fe_3C (Z") і криштали хемічної сполуки Fe_2B . В разі меньших завартостей вугля та потрійна евтектоїдальна мішанина („потрійний бор-перліт“) буде оточати криштали граничного розтвору бора в „ α “—залізі, а при надмірі бора — більш як 3,5%, буде видно розкидані по полю шліфа криштали Fe_2B .

З вищенаведеного робимо такі висновки:

1) Процес наборовування нормально відбувається тільки в порожні; в атмосфері повітря бор вигарує ще перед розпочатком процесу наборовування. В атмосфері водня процес наборовування заходить слабше, та ще слабше — в атмосфері газів, що містять в своєму складі вугіль. В таких випадках побіч наборовування одночасово відбувається й науглевне; сей комбінований випадок в деяких технологічних випадках може мати практичне застосування.

2) Ефект процесу наборовування залежить від температури; початок дифузії бору в „ γ “—залізо відповідає практично й теоретично температурі альотропової переміни „ α “—„ γ “. Зріст широкости наборованої верстви відбувається більш менш пропорціонально аж до температури около 1050°; при вищих температурах цей зріст виступає що раз швидше. Однак точности помірів наборованих верств під мікроскопом перешкаджає крихкість тих верств, що мають своїм структуральним складником евтектоїд, чи то подвійний, чи то потрійний; ці верстви легко відколюються і пропадають для помірів вже при найменшій механічній тиску на них, н. пр. при розпилюванні, при приготуванню шліфа і т. п.

3) Залежність від часу тривання процесу наборовування рівнож не є лінійною; в міру зросту часу тривання процесу наборовування швидкість дифузії бора в залізо все зменшується і то в тим більшій степені, чим низшою є температура наборовування; в цім впливі, як нам здається, відіграє поважну ролю ослабленне контакту між бором та залізом, а засим й ослабленне концентрації бора в борнім порошку.

4) Присутність вугля в залізі ставить ніби опір входженню бора в твердий розтвір „ γ “ - залізо.

5) Енергічне наборовування звязане з появленнем евтектоїда не лиш не поліпшує механічних властивостей заліза й сталі, але противно, допроваджує до ослаблення спійности окремих конгломератів цілого металічного агрегата а передувсім обводних верств, які при цім легко лушчаться і відпадають від цілого. Певний *raison d'être* можуть мати лише слабкі степені наборовування, на невелику глибокість (около 1 mm) та при сорозмірно невисокій температурі (нижче 980—1000°).

6) Бор не тільки дезоксидує залізо, а разом і відвугляє. Однак оце відвугленне є лише видиме: фактично вугіль в по-

лученню з бором утворює новий металографічний складник — твердий розтвір бора її вугля в залізі.

V.

Залізо, вже при завартоості бору 0,005%, по загартованню значно підносило свою твердість в порівнянні з матеріалом, що не заключав бору. Однак в випалених сталях, навіть при завартоості 0,08% бору збільшення твердості не було зауважено; принаймні так твердять R. Vogel і G. Tammann (Z. f. anorg. Chem. 1922, 225).

Наші досліди над твердістю наборованого заліза в стані випаленім і гартованім приводять до цікавих для практики результатів, які підтверджують висновки R. Vogel'я та G. Tammann'a. За температуру випалювання ми приймали 920°, тобто температуру о 30° вищу від температури альотропової переміни „ α “— „ γ “ в залізі, що було уживане до наборовування. Твердість в скалі Brinell'a окреслювалася при обтяженню 750 kg на кульку о промірі 5 mm; конечно твердість залежить від грубості наборованої поверхні, як то ясно впливає з таблиці III.

Таблиця III.

Т—ра процесу наборовування	Грубість наборованої верстви в mm	В стані випаленім		В стані гартованім	
		твердість в kg/mm ²	приріст твердості в kg/mm ²	твердість в kg/mm ²	приріст твердості в kg/mm ²
—	Чисте залізо	84	—	139	—
960°—4 год.	Набороване на 0,05 m/m	106,5	22,5	171	32
1000	„ 0,26	109	25	178	39
1040	„ 0,90	109	25	228	89
1080	„ 1,00	109	25	285	146
1120	„ 0,80 ¹⁾	113	29	321	182
1160	„ 0,70 ¹⁾	118	34	375	236

¹⁾ Поверхнева верства цілком відкололася; тому грубість наборованої верстви оказалась менша, ніж треба було сподіватися при цій вищій температурі наборовування.

Для порівняння наводимо тут додатково в таблиці IV зріст твердості того-ж самого рода м'якого заліза, оцентованого (наугленого) в ріжних умовах на ріжну глибину в стані випаленім та в стані загартованім.

Таблиця IV.

		В стані випаленім		В стані гартованім	
		твердість в kg/mm ²	приріст твердо- сти в kg/mm ²	твердість в kg/mm ²	приріст твердо- сти в kg/mm ²
—	Чисте залізо	84	—	139	—
1	Залізо, оцентоване вуглем на глибину 0,7 mm	171	87	341	202
2	" " 0,8 "	196,5	112,5	417	278
3	" " 1,3 "	207	123	444	305
4	" " 1,4 "	228	144	513	374
5	" " 1,4 "	216	132	444	305
6	" " 1,8 "	241,5	157,5	555	414
7	" " 2,6 "	255	171	513	374
8	" " 2,8 "	255	171	513	374
9	" " 2,4 "	285	201	555	414

В пробках означених 1 і 3 оцентована верства складалася лише з підевтектоїдальної будови; в пробках 2, 4 і 6 верхня корка складалася на початку з чистої евтектоїдальної верстви (перліта), а засим — підевтектоїдальної. Ці пробки виказали надзвичайний зріст твердості в стані гартованім. Решта пробок 5, 7, 8 і 9 мали всі три верстви: надевтектоїдальну (цементитову), евтектоїдальну (перлітову) та підевтектоїдальну (перліт + ферритову).

Порівняння результатів наборовування з результатами наугляння (чистої цементациї) не промовляє на користь першого процесу! Однак, звернемося тепер до порівняння під зглядом твердості наслідків наборовування м'якого заліза та вуглястої (інструментальної) стали.

Таблиця V.

	м'яке залізо (C = 0,09%)		Сталь (C = 0,90%)	
	твердість в стані випален.	твердість в стані гартов.	твердість в стані випален.	твердість в стані гартов.
Залізо (сталь) ненабо-				
роване	84	139	241,5	600
Наборване про-	1000°	109	285	714
тягом 4-ох	1040°	109	285	714
годин	1080	109	301,5	714

Отже, в відношенні до інструментальних сталей о завартости вугля около одного відсотка, т. є тих сталей, які по гартованню дають найбільшу твердість (гарденіт в евтектоїдальних гартованих сталях!), дістаємо в наслідок поміркованого наборовування ще більшу твердість. Цей факт може бути використаний для практики. Обік слід звернути увагу на те, що зріст твердості від наборовування в високовуглястій стали не є такий показний; останнє підтверджує наш попередний висновок, що вугіль становить в залізі ніби опір проти проникнення бору в залізо!

Перехід твердого розтвору бора в „ α “ - залізі в твердий розтвір бору в „ γ “ - залізо (при огріванню) і повстаннє з останнього підчас гартовання мартензиту не представляє великих труднощів. Однак евтектоїд „бор-перліт“, або, що більш правильно, хемічна сполука Fe_2B , тоб-то один зі складників евтектоїдальної мішанини, цілком не переходить в твердий розтвір „ γ “ - заліза, та в гартованих сталях зістається в своїх характерних структуральних формах, див. фот. № 9 та 10, поб. 150, порівнай з фот. 3, 4, 5. Цей власне складник надає наборованій поверхні, як в стані випаленім так і в стані гартованім надзвичайну крихкість і псує високі технольогічні здібности наборованого матеріялу.

Наборована верства високовуглястих сталей по загартванню виказує анальогічне явище. Тому тепер цілком зрозуміло, що цілковитий перебіг наборовування чи то м'якого заліза, чи то вуглястої стали мусить відбуватися в той спосіб, щоби уникнути повставання з обводу отаких крихких складників. Єдине раціональне застосування процесу наборовування може бути тільки в таких випадках, коли ми припинимо процес в момент повстання з обводу такої концентрації, якаб вистарчила на повстаннє лиш граничного твердого розтвору бору в „ α “ - залізі (без евтектоїдальних прожилків!). Такий спосіб наборовування гварантує нам жадане утвєрденнє і не викличе тих фатальних обявів крихкості та луцення, що нерозривно слідуєть разом з появленнєм з обводу евтектоїда хочаб навіть у формі тонких прожилків у підевтектичній верстві.

Рівнож, вслід за R. Vogel'ем та G. Tamman'ом нам належить підтвердити великий степєнь інертности (малий степєнь атомової рухливості) не тільки хемічної сполуки Fe_2B , а рівнож і всіх твердих розтворів бора в залізі та бора й вугля в залізі підчас змагань установити рівновагу дорогою випалювання (уєднороднення твердого розтвору), що негативно впливає на пов-

ставання й чистоту металюграфічних складників. Однак, при малих степенях наборовування ця безвладність (інертність) в значній мірі підносить спроможність до утворення стопів через гартованні¹⁾.

Б. Цементування заліза й стали берилем.

I.

Бериль (Be) — легкий метал, кольору трохи темнішого від кольору срібра, лекший від глину й крему і лише трішки тяжший від магнезу, однак мало подібний по своїм властивостям і до глину і до магнезу. Бериль значно твердший від глину й магнезу (твердості глину: магнезу: берилу відносяться як 20 : 29 : 65) і то так, що рисує скло і є в звичайних температурах крихкий незалежно від степеня його чистоти. Атомовий об'єм берилу (4,8) є близький до атомових об'ємів бора (4,4) та вугля (3,42). Звідси логічним було зробити припущення про його додатну здібність, подібно вуглю і бору, дифундувати внутр простірної сітки заліза, тим більше, що подвійний уклад Fe—Be є в значній мірі подібний до укладу Fe—C, особливо в обсягу існування „γ“ - заліза.

До недавніх часів бериль був дорогим металом; однак нині бериль значно подешевів і найде собі ширше застосування в легких стопах Al—Be.

Зпорошкований бериль на повітрі згоряє зі значним світляним ефектом. Однак в більших кавалках, навіть в умовах високого підогрівання бериль є тревалий. При високих температурах на поверхні берилу утворюється лише верстовка окису берилу, яка охороняє низше лежачі верстви від дальшого окиснення повітрем. Рівнож бериль не розкладає води; у воді бериль лише покривається тонкою охоронною варстовкою гідроксиду.

Подвійний уклад Fe—Be був опрацьований в 1915 році G. Oosterhold'ом до завартості 27,1% ваг. Be (70% ат.) і представлений на фіг. ч. II. З цього вичерку слідув, що розпускаємість берилу в „γ“—залізі є досить значна і досягає своє максімум при t—рі 1155°, тоб-то в t—рі повстання евтектики.

Евтектика Fe—Be відповідає завартості Be = 9,2% ваг.

¹⁾ Порівняй гіпотезу Z. Jeffries'a і R. Archer'a — „The Science of Metals“ стор. 395—396 New-York, 1924.

(38,4% ат.) і складається з граничного твердого розтвору берилію в „ γ ”-залізі о завартости 6,5% ваг. (29,9% ат.) берилію і хемічної сполуки FeBe_2 , що містить 66,6 ат. % Be . Температура топлення FeBe_2 лежить около 1400—1450°.

В міру обниження т—ри гранична розпускаяість берилія в „ γ ”-залізі декілько обнижується і при температурі 650° вона осягає 24% ат. берилія. При цій температурі твердий розтвір берилія в „ γ ”-залізі розпадається враз з повстанням евтектоїда (бериль-перліту), що складається з „ α ”-заліза (або граничного твердого розтвору берилія в „ α ”-залізі о малій завартости берилія) та хемічної сполуки FeBe_2 . Магнетна переміна заліза в стопах Fe—Be обнижується до 170°.

Процеси, які заходять в стопах Fe—Be підчас альотропової переіни заліза „ γ ” \rightarrow „ α ”, обслідувані G. Oesterhold'ом не так детально, аби рахувати оце питання цілком розвязаним. На основі наших дослідів над наберильовуванням заліза здається підтверджується майже повна нерозпускаяість берилія в „ α ”-залізі. Однак, є можливе, що, подібно як в „ α ”-залізі вугіль розпускається в незначних скількостях (до 0,05%); подібно тому як і бор розпускається в „ α ”-залізі до завартости 0,08%, то так і бериль посідає якусь незначну граничну розпускаяість в „ α ”-залізі. Однак безсумнівно, що бериль подібно борови сприяє переходови вугля в твердий розтвір „ α ”-залізо, що низше ми підтвердімо низкою відповідних дослідів і мікрофотографій.

Вже з тої простої причини, що бериль є досить рідкий метал і отримання його рівнож не є таке просте й легке, трудно зараз передбачати більше або менше промислове й практичне застосування подвійних стопів берилія з иньшими металами, хоча біжуча американська література, як ми вище згадували, вже принесла відомости про значне улекшення способу промислового отримання металічного берилія та про широкі горизонти для берилія в галузі легких стопів Al—Be . Низше наведеним дослідам ми надаємо більше теоретичне значіння, а то по причині їх аналогії з процесом навуглення та процесом наборовування заліза.

Як ми вже висше згадували, подвійний уклад Fe—Be представляє багато аналогії з укладом Fe—C . По своїм атомовім обемови гексагональний бериль стоїть досить близько до кубічного вугля. Окрім того один і другий посідають значні степені розпускаяости в „ γ ”-залізі і дуже малий степені розпускаяости (майже повна нерозпускаяість!) в „ α ”-залізі, а малі

атомові їх об'єми (берилія = 4,8; вугля = 3,4) в порівнянні з залізом (7,1) визначають значний ступінь контрастності, що сприяє проходженню атомів вугля (берилія) через стислу простірну сітку „ γ ”-заліза чи то дорогою заміщення відповідних атомів в простірній сітці металю розпуцальника („ γ ”-заліза) з послідовними ротаційними оборотами-совганнями, як то подає сучасна теорія повставання твердих розтворів, чи то дорогою безпосереднього блукання оцих малих атомів в міжатомових просторах простірної сітки „ γ ”-заліза. Як в одному так і в другому випадках слідалоб сподіватися позитивних результатів в процесі поверхневого наберильовування заліза, що впрочім і найшло повне підтвердження в наших дослідах, яких результати подаємо низше.

II.

Для своїх робіт ми користалися берилевим порошком отриманим від фірми E. Merck (Beryllium metallicum pulverisatum). Спроби безпосереднього наберильовування заліза в повітрі, як і треба було сподіватися, доправидали лише до негатиивних результатів з тої причини (ми її згадували вище), що спорошкований бериль при дотику з повітрєм в високих температурах легко окиснюється, Тому свої досліди ми переправидали в порожні, аналогічно як і в дослідах з наборованням заліза.

Після декількох пробних пошуківань ми зупинилися на такій методі ведення процесу берилізації. З мягкого заліза ($C = 0,095\%$) ми заготовляли лодочки з плоским дном (фрезованням) глибиною в 5 mm, шириною = 10 mm та довжиною = 35 mm. Цю лодочку наповнювали порошком берилія, а з гори на гвінтах приходила припліфована плоска кришка. Такі скринки, наладовані порошком берилія, уміцалися в печі Negeus'a сконструованій так як це звикле прийнято робити в цілях утримання в середній порцеляновій рурі порожній¹⁾. Після закінчення процесу нагрівання і по охолодженню печі до кімнатних температур така пробка відкривалася, бічні стінки лодочки згєбьовувалися, а долішна і горішня наберильовані поверхні, після дослідження одної половини на твердість методом Brinnell'a в стані випаренім, а другої — в стані гартованім, поступали до мета-

¹⁾ Деталі дивись моя вступна праця: „Cementacja boreм żelaza, niklu i kobaltu“. Prace Akademji Górniczej w Krakowie, zeszyt 5. 1925. Kraków.

льографічного аналізу. За температуру гартованоя ми приймали 920—930°, себто по 30—40° вищу від A_3 для даного заліза.

Глибина берилізації мірялася як звичайно на матовому склі фотографічної камери мікроскопа при побільшенні 100.

У всіх випадках додатнього перебігу процесу берилізації ми мали з обводу наберильовану верству у виді твердого розтвору берилія в „ α ” - залізі, в котрім в формі розкиданих то тут то там коротких палочок був втиснений новий метальографічний складник ($FeBe_2$) в кількостях змінних і все зменьшуючихся від певного максимум з обводу в напрямку до середини пробки. Засим слідовала переходова верства чистого твердого розтвору берилія в „ α ” - залізі, в котрій місцями знаходилися більші або менші гнізда евтектоїдальної будови. Фот. № 12, поб. 75 представляє загальний вигляд наберильованої поверхні. З обводу знаходиться надевтектична верства, яка на фот. № 13 представлена в більшому побільшенні ($\times 300$). Ця остання фотографія дає ясне уявлення про початково іглістий характер паличок хемічної сполуки $FeBe_2$, яка в міру зменьшення завартости берилія в наберильованій поверхні переходить в кропковану форму, а засим — зникає, даючи місце евтектоїдальним скупченням. Характер цих останніх (бериль-перліт) показаний на фот. № 14, поб. 450. Будова бериль-перліту нагадує звичайний перліт в вуглястих сталях, добре випалений, хіба лише трохи дрібніший. Окремі скупчення цього бериль-перліту лучаться між собою тонісенькими доріжками — границями кристалів твердого розтвору. Цікаво замітити, що напрямність майже усіх кристалів твердого розтвору берилію в „ α ” - залізі виказує напрямок, в якому заходить дифузія берилію в залізо. Оці ланцюхи, які лучать між собою окремі гнізда евтектоїдальних скупчінь (див. фот. № 12) губляться десь в середині матеріяла підданого наберильовуванню на границі наберильованої верстви.

Наберильована верства виглядає так, ніби вона була обезвуглена. Тут ми зустрічаємося з явищем аналогічним як і при наборовуванню, себто з позірною децементациєю. Як нам видається правдоподібним, вугіль і бериль в певних кількостях позістають в твердім розтворі „ α ” - заліза; останний складає основну масу наберильованої верстви.

Глибина наберильованої верстви конечно залежить від усіх впливових чинників, що кермують конечним ефектом дифузії в твердім стані в напрямку від поверхні внутр простірної сітки метала-розпушальника. Такими чинниками, окрім фізичної кон-

трастовости між атомами того первя, що дифундуе і первя, що розтворяе, будуть: температура, час і різниця концентрацій (міцність карборизатора). Низше наведена таблиця, в котрій уміщені результати наших дослідів, цілком стверджує вище наведене.

Протяг наберильовування в усіх досвідах тревав 4 год., включаючи час розогрівання печи і час остигання.

Таблиця VI.

Т-ра	Глибокість наберильовування в mm		
	мінімум	максімум	правдоподібна пересічна
I. М'яке залізо з завартістю 0,095% С.			
920	0,04	0,06	0,05
960	0,10	0,18	0,14
1000	0,15	0,25	0,20
1040	0,25	0,35	0,30
1080	0,36	0,48	0,42
1120	0,50	0,70	0,60
1160	0,70	0,90	0,80
II. Сталь вугляста з завартістю С = 0,9%			
960°	0,00	0,08	0,06
1000°	0,08	0,20	0,13
1040	0,15	0,34	0,20
1080	0,24	0,42	0,36

При наберильовуванні вуглястої стали (вуглесталь) твориться з обводу надевтектоїдальна верства, в котрій на тлі потрійного евтектоїда розкидані кришталки якогось хемічного сполучення темно-шарої барви. Потрійний уклад Fe—Fe—C ще цілком не досліджений і наші спостереження базуються лише на підставі тих образів, які відкрив нам мікроскоп на протравленій пробці наберильованої твердої (вуглястої) стали. Окрім цих зазначених двох складників: хемічної сполуки і потрійного евтектоїна, на фот. № 15, поб. 150 і фот. № 16, поб. 450 можна спостерігти білі плямки розтвору сталого, очевидно берилію й вугля в „ α ” — залізі.

Слід на цім місці занотувати ще таке цікаве фізичне явище: підчас натиску кульки апарата Brinell'a на наберильовану

поверхню уху виразно чує характерне — скрипінне кристалів наберильованої поверхні, які деформуються від натискаючої кульки — скрип дуже подібний до того, яке уху наше відмічає при згинанню паличок цини (Sn), кадму (Cd) або цинку (Zn). Тон скрипіння наберильованої поверхні, як нам видавалося, був більш голосний і більш різкий ніж у цини. Вся околиця відтиску кульки Brinell'a зістала поріпана, а щілинки розходилися сферично; сфера поширення цих рис простягається на значнішу віддаль від самого відтиску від кульки Brinell'a, а напрямок цих щілин йде в глибину металю (див. фот. № 17) очевидно здовж тих границь кристалів, які на наберильованій поверхні зазначилися в напрямку від периферії до центру.

Твердість наберильованої верстви о стані випаленім та в стані гартованім ми означали методю Brinell'a при обтяженню кульки в 5m/m проміром тягарем в 750 kg. Результати цих дослідів уміщені в таблиці VII.

Таблиця VII.

	В стані випаленім		В стані гартованім	
	твердість в kg/mm ²	приріст твердості в kg/mm ²	твердість в kg/mm ²	приріст твердості в kg/mm ²
I. М'яке залізо				
Залізо ненаберильоване	84	—	139	—
„ наберильоване на глибину 0,05 mm	111	27	156	17
„ „ 0,14 „	115,5	31,5	163,5	24 5
„ „ 0,20 „	118	34	171	32
„ „ 0,30 „	139	55	188	49
„ „ 0,42 „	146	62	192	59
„ „ 0,60 „	156,8	72,5	248	109
„ „ 0,80 „	208	124	276	137
II. Сталь вугляста				
(вуглесталь)				
Сталь ненаберильована	241,5	—	—	—
Сталь наберильована на глибину 0,06 mm	255	14	600	—
„ „ 0,13 „	268,5	27	600	—
„ „ 0,20 „	285	43,5	600	—
„ „ 0,36 „	301,5	60	600	—

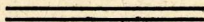
По загартованню наберильована поверхня приймає структуральний вид однородного твердого розтвору. Ця верхня верста твердого розтвору перерізується радіально з напрямованнем від периферії до центру границями кристалів, див. фот. № 18 поб. 65 та порівняй з фот. № 12. Лише зі самого краю голкоподібний FeBe_2 не цілком перейшов до твердого розтвору і частково позістав у формі дрібних кульок. Така мішана верста є крихка й легко відколюється. По загартованню в твердін розтворі (див. фот. № 18) повстають лінії совганья і близнячі утвори (Zwillingsbildungen).

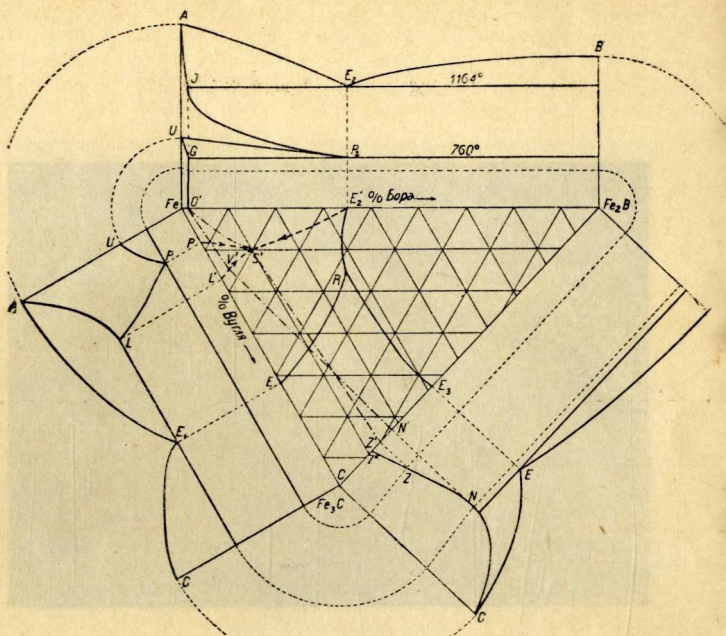
В сталях високовуглястих удається лише частково перепровадити надмір берилію й вугля в твердий розтвір; надмір якихось можливо подвійних карбідів позістає нерозтвореним (фот. № 19, поб. 150).

На основі повище наведених експериментів трудно передбачити бодай якесь практичне значіння процесу наберильовування заліза й стали в твердін стані. Однак вище наведені досліди є цікаві з теоретичного погляду. Вони розширяють наші відомости про перебіг процесу дифузії в твердін стані і дають доказ, що на підставі теоретичного аналізу властивостей берилія й заліза та деяких аналогій у властивостях берилія з борем та вуглем можна було передбачити характер перебігу процесу берилізації заздалегідь і такого рода передбачення отримали в наших дослідах цілковите підтвердження.

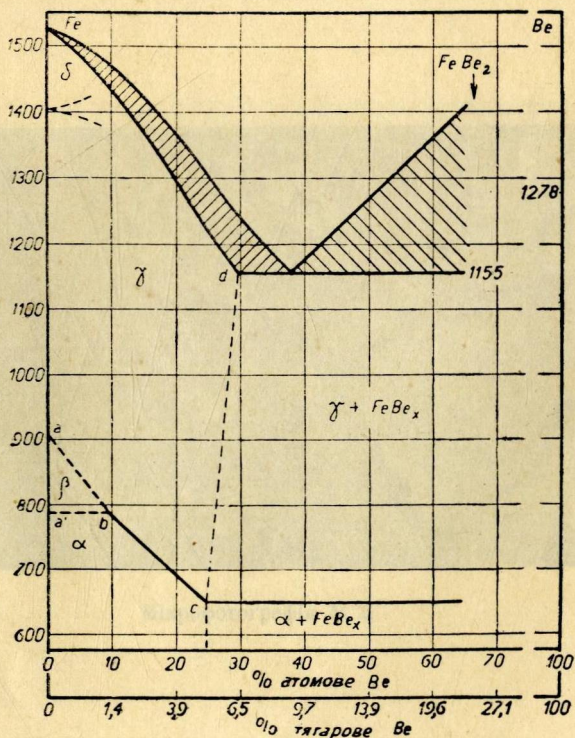
Краків, Червень 1926. Металлографічна лабораторія Гірничої Академії.

Bemerkung: Ein ausführlicher Bericht erscheint demnächst in den Sitzungsberichten der math. naturw. Sektion Heft IV. in der deutschen Sprache.





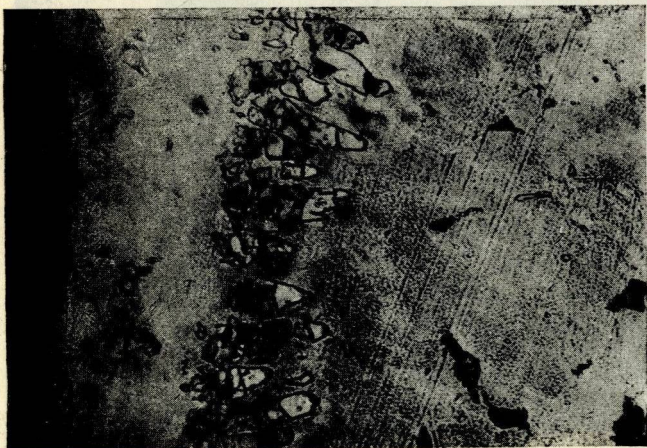
Фиг. ч. I.



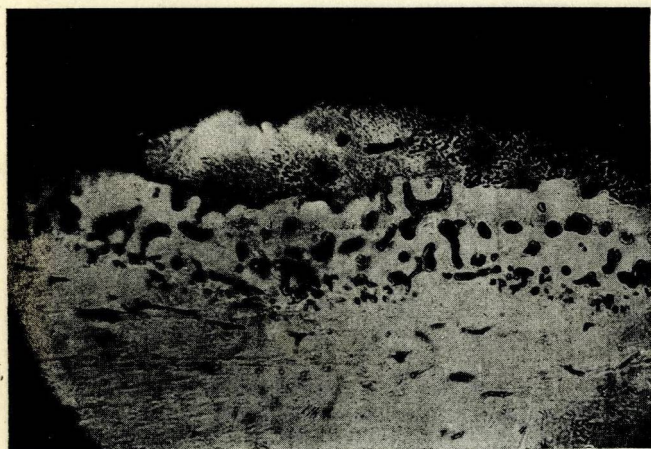
Фиг. ч. II.



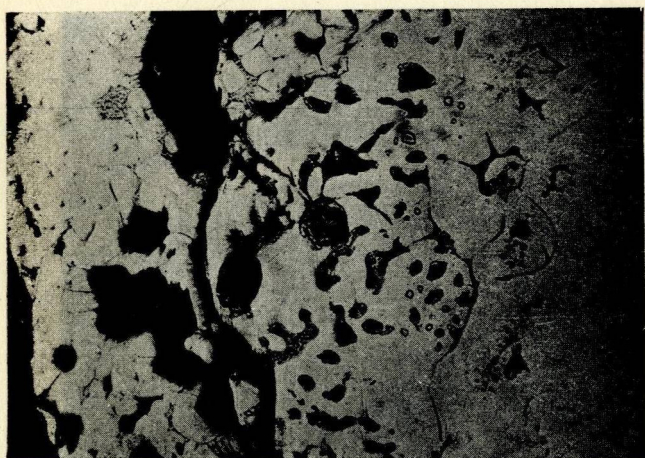
Мікрофотографія № 1.



Мікрофотографія № 2.



Мікрофотографія № 3.



Мікрофотографія № 4.

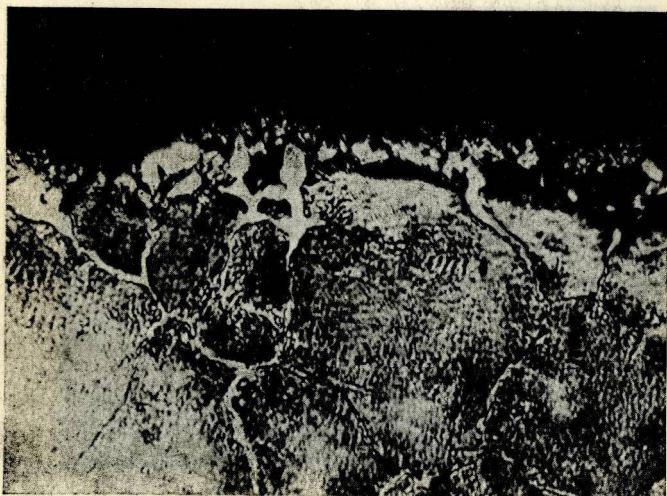


Мікрофотографія № 5.

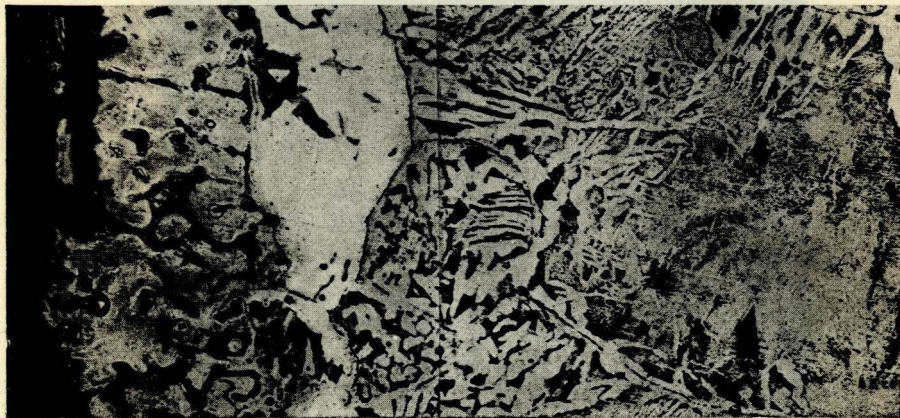
Мікрофотографія № 5.



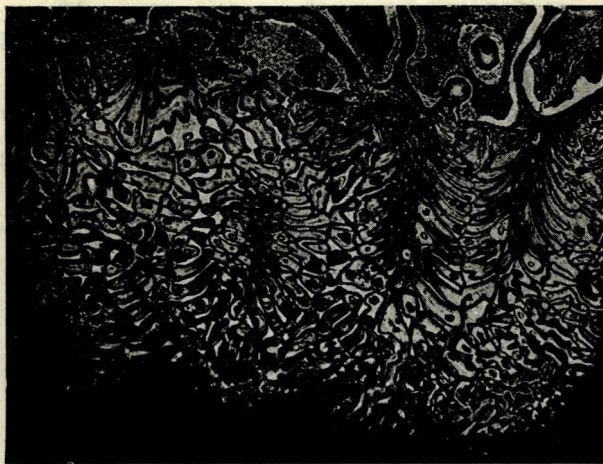
Мікрофотографія № 6.



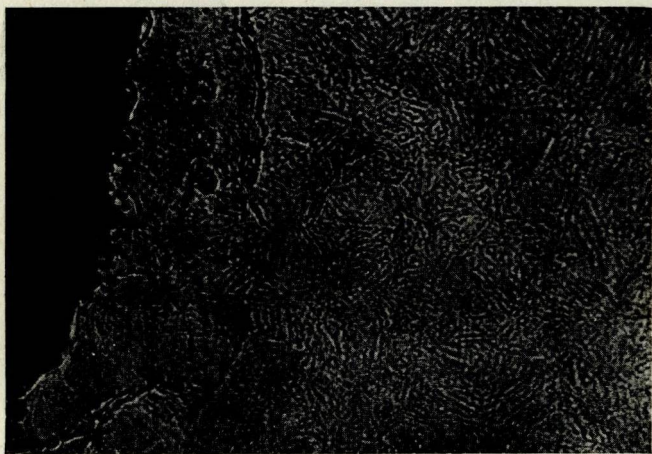
Мікрофотографія № 7.



Мікрофотографія № 8.



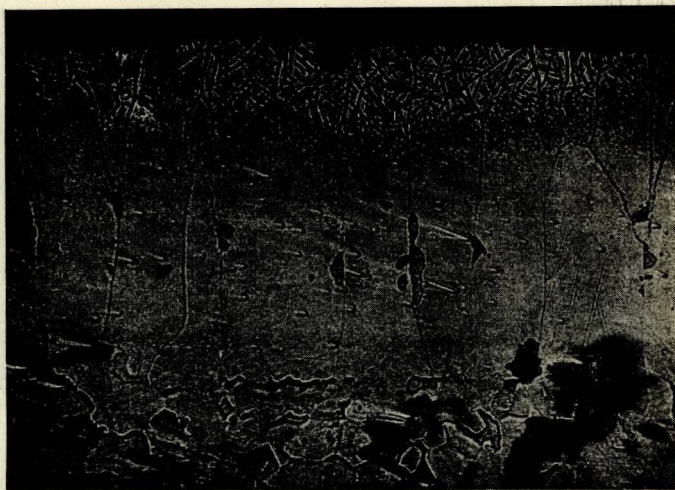
Мікрофотографія № 9.



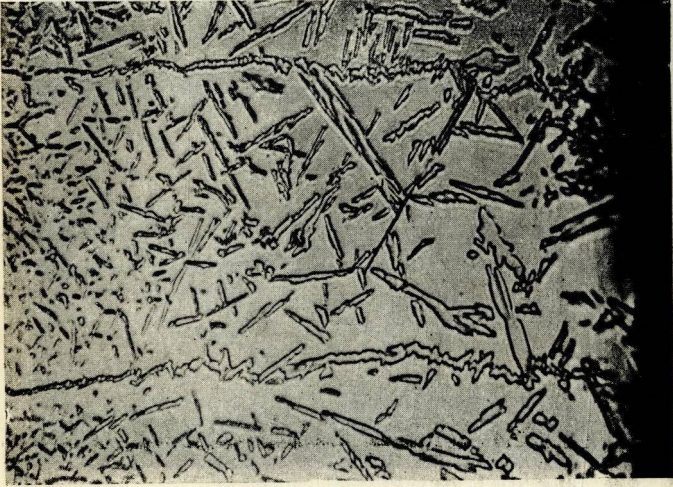
Мікрофотографія № 10.



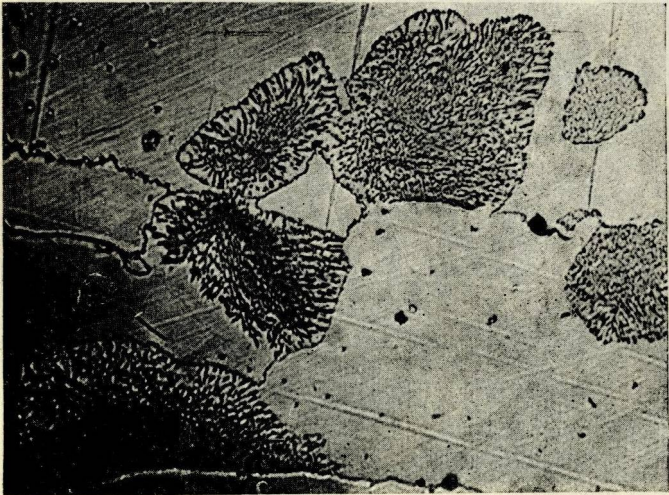
Мікрофотографія № 11.



Мікрофотографія № 12.



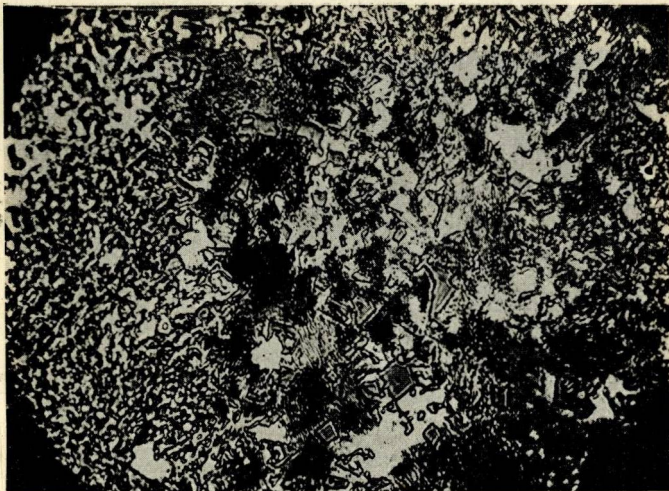
Мікрофотографія № 13.



Мікрофотографія № 14.



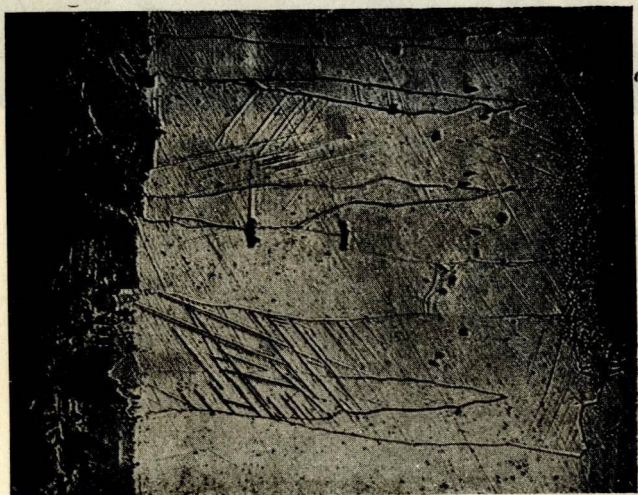
Мікрофотографія № 15.



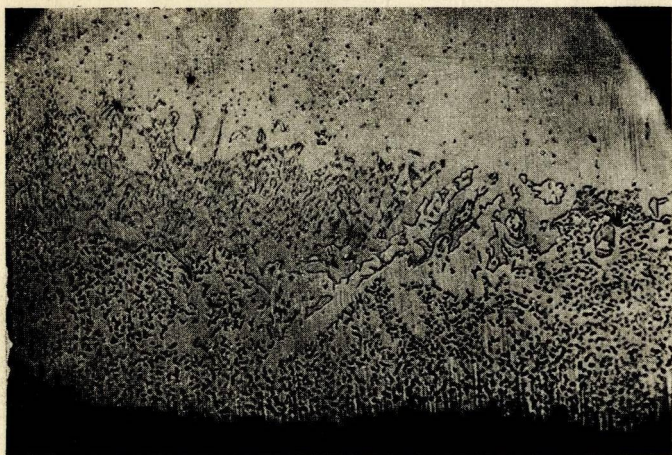
Мікрофотографія № 16.



Мікрофотографія № 17.



Мікрофотографія № 18.



Мікрофотографія № 19.

