

## Про деякі фізичні властивості рекристалізованого м'ягкого заліза та структуральні особливості рекристалізованої будови.

Під впливом зовнішніх сил метали легко підлягають постійним деформаціям. В тих случаях, наколи ці деформації відбуваються в звичайних температурах, т. з. наколи це будуть деформації на зимно, здеформований матеріал одночасно дізнає змін в своїх фізичних, зглядно механічних властивостях. Одночасно повстають зовнішні ознаки процесів, що відбулися внутрі металю. Нині існують вже добре розроблені способи для викликання доказів відбувшоїся механічної обробітки на зимно,<sup>1)</sup> а між тими способами найбільш корисні є слідуочі:

1) Пізнавання ліній та фігур плинности (ліній діланья сил). Ця метода розроблена Фуґу<sup>2)</sup>. Коли знаємо зовнішнє обтяження та кут, під яким закривлюються в данім місці лінії плинности поодиноких кристалів, можемо, як це довів F. Körber<sup>3)</sup>, вичислити фактичне (дійсне) напруження, яке ділає в тім місці обтяженого зовні матеріалу. Найбільші напруження скупляються в середині пробки на розрив, здовш осі симетрії. Перші щілини повстають якраз в ціх місцях скуплення напружень, а присутні тут наслідком природної ліквациі неметалічні скуплення (жужлі) улекшують повстання рис.

2) Спромога напружених та здеформованих поодиноких зерен (кристалів) до рекристалізації, т. з. до розростання. В часі рекристалізації поодинокі зерна, напружені й здеформовані в від-

<sup>1)</sup> „Про причини повстання щілин на тілі парового казана“. Наук.-Техн. Вістник № 9, стор. 305—314.

<sup>2)</sup> Stahl und Eisen, 1921, 1093.

<sup>3)</sup> а) „О хибях, що заходять в часі обрібки м'ягкого заліза, їх причинах та способах удішнення.“ F. Körber. Stahl und Eisen, 1927, 1159—1166. б) „Досліди над рекристалізацією сталевих блях для трансформаторів“. P. Oberhoffer i W. Oertel. Stahl und Eisen, 1928, 393—403.



повідній мірі в певнім температурнім оточенні набирають спроможности до розростання, т. з. поглищують сусідні зерна не приноровлені, або менше приноровлені до розростання, або — інакшими словами — накидають власну кристалографічну орієнтацію на сусідні зерна. Таким способом кристалічний многокристальний агрегат стремить до перетворення в кількокристальний агрегат або в ідеальному випадку — до однокристала. На іншому місці ми застановлювалися подрібно над природою та причинами процесу рекристалізації та подали зміст робочих теорій цієї цікавої біологічної прояви в здеформованих металах.<sup>1)</sup> Понизше маємо лише подати два приміри з фабричної практики, які за точку виходу мають прояви рекристалізації, спричиненої попередньою механічною обрібкою, в наслідок якої поодинокі кристали були нерівномірно та неоднаково напружені (здеформовані).

	Матеріал I.	Матеріал II.	
Хемічний склад:			
вугля	0,102	0,065	
фосфору	0,028	0,03	
мангану	0,72	0,45	
крему	0,31	сліди	
сірки	0,068	0,035	
міди	0,17	0,24	
Міцність kg/mm <sup>2</sup>	38,5	36,0	29,6
Видовження в %	23,5	16,5	5,5
Границя плинности kg/mm <sup>2</sup>	21,4	25,0	23,3
Звуження в %	41,3	57,4	
Твердість в скалі Brinell'a kg/mm <sup>2</sup>	106,5	103,5	
Одпорність на удари в т-рі			
	-15°	1,0	1,3
	0	1,4	1,6
	+15	6,3	7,6
	+50	9,8	10,4
	+100°	10,2	10,8,

Хемічний склад обох матеріалів є майже нормальний. Правда, в матеріалі I. є троха забагато сірки, однак сірка до певної міри урівноважена манганом; в матеріалі II. є троха забагато міди, тому що пересічно прийняті норми не рекомендують переступати складу  $\geq 0,20\%$ . Однак більш менш точного предбачення про механічні властивости або про поведення цих матеріалів в часі

<sup>1)</sup> „Як металеві реагують на зміни температури, в котрій доводиться йому працювати“. Технічні Вісти, Львів, 1927, стор. 11—17; 37—39 і 74—80.



служби в фабричних обставинах на основі лиш хемічного складу зробити не можна.

Механічні властивості означені на пробі на розрив виказали сорозмірно мале видовження та мале звуження різу. Найвиразніші вказівки на те, що матеріал не є бездоганний, дістаємо з динамічних випробувань, а властиво з випробувань відпорности матеріалу на удари в температурах низших і висших від звичайних, так як то нами опрацьовано і запроповано три роки тому.<sup>1)</sup> Для досліджуваних матеріалів обсяг найбільшої крихкості лежить в температурах від близько  $+15^{\circ}$  і в т-ах низших. Значить, що вже малі зміни в температурах звичайних і низших перепроводжують матеріал з обсягу великої в'язкості до обсягу найбільшої крихкості. Цілий комплекс подібних випробувань (т. з. означення хемічного складу, механічних властивостей в пробі на розтягування і дослідження над зміною крихкості в температурах від  $-15$  до що найменше  $+100^{\circ}$ ) разом з металюграфічною аналізою дає в руки дослідника всі потрібні чинники до оцінки досліджуваного матеріалу. Саме металюграфічні випробування показали, що оба матеріали мають рекристалізовану структуру, звідки й походить надзвичайна їх крихкість в температурах звичайних і низших та недостача видовження.

Однак повернемо до деталей.

Матеріал І є се кавалок водної рури з парового кітла проміром  $102,5/94$  мм, на якій в часі роботи повсталала випуклина з щілиною. Стінки випуклини в місці около щілини не були грубші як  $0,9-1,1$  мм, а се значить, що страта в грубості стінок рури були в місці повстання щілини около  $78\%$ .

Макрофот № 1 представляє Вауманн'ову відбитку „на сірку“ перекрою рури через щілину, а мікрофотографія № 2 в побільшенню 50 представляє будову поперечного шліфу найблизших околиць щілини.

Випуклина повсталала в нормальний спосіб; паровий котел працював твердою водою, з якої на внутрішніх стінках воднорурок осіли грубі веретви каміння, що й спричинило на початку льокальне перегріття, потім повстанне випуклини, а нарешті — по надмірнім зменьшенню перекрою — щілини. Матеріал був в'язкий і добре деформувався (розтягувався). Однак в той же час,

<sup>1)</sup> Поліпшення м'ягкого заліза способом термічної обробки“ (Наук.-Техн. Вістник, 1927, № 5—6.



як матеріял дістав сталі деформації, температура окруження сприяла перебігові прискішеної рекристалізації, в часі якої зерна вирости до таких розмірів, що на цілий перекрій завгрубшки 0,8—0,9 mm припадало ледво 6—8 зерен, а се значить, що поперечний промір поодиноких зерен виносив лише 0,10—0,15 mm. Річ зрозуміла, що такі грубі зерна під впливом деформуючих обтяжень, т. з. зовнішнього тиснення представляли занадто слабкий опір проявам совганья, які легко відбувалися як в поодиноких зернах (кристалах) так і легко переходили від одного зерна в друге — аж до повстання щілини. Що такі легкі совганья мали місце всюди в околицях щілини, т. з. в найтонших місцях — в місцях найбільш посушеної рекристалізації — легко можна переконатися з макрофотографії № 3, яка представляє виходи легких совгань на внутрішній поверхні тоїж рурки, а щілина зазначена стрілкою. Є це один з дуже цікавих оказів виходу ліній плинності на поверхню.

Місце це є відвуглено, а поодинокі кристали виповнені дрібними краплинами, як можна догадуватись, FeO а почасті MnS. Очевидно, побіч з процесом рекристалізації мало місце на початку відвугляння, а за цим — окиснення, а може, під впливом дифундуючого внутр кисня — оба процеси заходили разом. Мікрофотографія № 4 побільшення 100 представляє характер міжкристалічного окиснення матеріялу з поверхні від середини (від сторони повсталого каміння), а мікрофот. № 5, поб. 100 — перехід від рекристалізованої зони до нерекристалізованої.

C. A. Edwards і L. V. Pfeil ще в році 1923<sup>1)</sup> спостерігли, що відвугляння все получується з наглим розростом зерен; зрештою ще й Anstін згадує про такі факти. Очевидно враз зі зменьшенням в сталі скількості вугля зростає чулість того матеріялу до рекристалізації. Інакше кажучи, чим в більшій степені буде сталь відвуглена, тим в більшій мірі стає вона податна на прояви рекристалізації, а як наслідок тих двох майже одночасно пробігаючих процесів — стає матеріял меньш відпорний на обтяжуючі напруження, то значить лекше піддається деформаціям. Наші спостереження потвердили, що в усіх тих випадках, де в м'якім матеріялі має місце відвугляння — одночасно заходить розростання зерен. Доказом для повищого може бути такий факт: В цілях збільшення грубости стінок випуклини та остання була виповнена електричним способом м'яким залізом. В місці пере-

<sup>1)</sup> Journal Iron and Steel Inst. 1923, 263.



ходу від матеріялу стінок рури до матеріялу додаткового, т. з. в м'ягкій матеріялі занечищеном окисами в надмірній дрібній будові находилося декілька великих ферритових зерен, див. мікрофот. № 6 поб. 50. Одно з тих зерен представляє мікрофот. № 7, поб. 200. Є це цілком відвуглене (ферритове) зерно, виповнене дрібненькими краплинами неметалічних включень (наипевніше — окисів заліза, а може частинно й сірчаків  $MnS$  мангану). Вугіль у виді брунатних включень (на фотографії — темнавіх) находиться зовні того великого ферритового зерна на границях дрібних зерен ферриту. Значить, що: або присутність внутрі ферритового зародку неметалічних включень зробила його нечулим ані до механічної обробітки, ані до слідуючих впливів температури окруження, або, що в температурних умовах відбувшоїся рекристалізації мала місце зміцнена дифузія: кисня — внутр відповідного ферритового зерна, яке наслідком страти вугля (дедифузії) дістало велику спроможність до розростання, т. з. накидало власну „орієнтацію“ сусіднім зернам ферриту.

В літературі часто можна зустрінути вказівки на те, що в часі рекристалізації слідує скріплення атомовий рух. Впрочім, є це річ цілком зрозуміла, а проф. Carpenter і Elam ще в 1920 році виказали, що між зростом зерен та інтензивністю дифузії є певна залежність. Ми вказували на аналогічні прояви ще в році 1911 році<sup>1)</sup>, а низше маємо новий яркий доказ. На мікрофот. № 8, поб. 100 представлена верстова будова одної котлової бляхи, де в середині находиться широка полоса багата в фосфор й в кисень (в сірку — рівнож), яка складається з небагатьох зглядновеликих ферритових зерен, а решта верств, що уложені чергою, то багаті в вугіль, то чисто-ферритові, є вже уложені зі сорозмірно дрібніших зерен.

Andrew і Higgins<sup>2)</sup> досліджуючи залежність розміру зерен до явищ дифузії приходять до висновку, що процес додатньої дифузії до певної температури буде задержувати розростання зерен, а в низьких температурах — заходить навіть розпад зерен на менші. Очевидно, що це правило не є загальне. Нам видається, що тамті зерна ферриту, які наслідком своєї більшої чистоти могли прийняти тимчасово в розтвір (як наслідок додатньої дифузії) вугіль — будуть конець кінцем розбиті на кілька менших; навпаки — тамті зерна, які наслідком може збільшеної

<sup>1)</sup> Журнал Рус. Мат. Общ., 1911 р., № 3, Петербург.

<sup>2)</sup> Journ. Inst. of Metals, 1922, II, 175.



скільки чи то кисня, чи то фосфору викидають зі себе вугілі (т. з. заходить зворотна дифузія), посідають спроможність при-спішеного розростання. Зрештою, всі ці процеси напевне улек-шуються ще й тими фактами, що вугілі і кисень посідають об-пижену розпушальність в „ $\alpha$ “-залізі в звичайних і близьких до звичайних температурах та що починаючи від т-ри около  $400^{\circ}$  С й вище степен розпушальности вугля й кисня в „ $\alpha$ “-залізі в міру підвищення температури щораз збільшується, а тим самим улек-шуються атомові рухи та спроможність тих первнів до дифузії.

Тоді залежність між дифузією а ростом зерен буде пред-ставлятися слідуочим способом. В температурах повище  $400^{\circ}$  повстає тенденція до сегрегації двох окремих твердих розтворів: 1) твердого розтвору кисня (фосфору) в „ $\alpha$ “-залізі, з якого вугілі випихається на зовні та 2) твердого розтвору вугля в „ $\alpha$ “-залізі, який містить в собі найменші (а може й зерові) завартости кисня (фосфору). Звідти повстає верствова будова, яка стає більш ви-разна по вальцованню. Стремління до такої сегрегації двох твер-дих розтворів „ $\alpha$ “-заліза з відмінним хемічним складом зростає в міру підвищення температури окруження, а степен сегрегації є тим більший, чим довший час відповідний матеріал перебуває в цих температурах. За сим, в період охолодження, о скільки воно було відповідно повільне, ці надмірно розпушені домішки (вугілі, кисень) наслідком зменьшеної розпушальности виділя-ються: кисень — в виді дрібненьких краплинок FeO, а вугілі — в формі округлих зеренок (глобуль) Fe<sub>3</sub>C. Включення FeO роз-міщуються переважно в середині поодиноких кристалів ферриту, а вугілі — на границях кристалів. Наколи округлі кристалки FeO розміщуються в ферритових зернах асиметрично, а само зерно не тратить спроможности розростання, то глобульки Fe<sub>3</sub>C розміщуються або безпосередно на границях зерен, або на пло-щах спійности, т. з. на площах легких совгань, а звідти меха-нічним способом повстає поділ матірнього зерна на два або зглядно більше меньших.

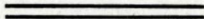
Мікрофот. № 9 представляє будову матеріалу II, поб. 100, а мікрофот. № 10 — будову невідвугленої части матеріалу I, поб. 300 подають докази для повищої гіпотези. Уважливий читач найде на них низку започаткованих утворів глобулярного це-ментиту (Fe<sub>3</sub>C), які дали початок поділу рекристалізованих зерен ферриту на два, а часом й більше нових меньших зерен.

Не є виключене, що для твердого розтвору кисня в „ $\alpha$ “-за-лізі, подібно як і для твердого розтвору фосфору, арсену або



крему в „ $\alpha$ “-залізі перехід до альотропової відміни в „ $\gamma$ “-залізо є утруднений і в міру збільшення кількості кисня (фосфору, арсену, крему) відбувається в щораз вищих температурах, а почавши з певної кількості є цілком унеможливлений.

Помічання з практики над перебігом альотропової переміни  $\gamma \rightleftharpoons \alpha$  в температурах нормального вижарювання (мікрофот. 5, 6, 7 і 11) та на підставі аналогії з подвійними вичерками Fe—P, Fe—Si, Fe—Sn, дає нам основу виправити скомплікований вичерк С. Benedicks'a і Н. Löfquist'a<sup>1)</sup> і представити його так, як то подано на вичерку № 12, де здовж лінії Solidus'a Fe—В виділюються кристали твердого розтвору кисня в  $\delta$  ( $\alpha$ )-залізі, точка  $E$  = евтектика між кристалами твердого розтвору кисня в  $\alpha$ -залізі о граничнім складі 0,13% і хемічною сполукою FeO. Температура топлення евтектики вносить около 1370°; евтектичний склад — коло 0,21—0,22% кисня. Інакше, що вичерк Fe—FeO є подібний до вичерків Ni—NiO і Cu—Cu<sub>2</sub>O.<sup>2)</sup>



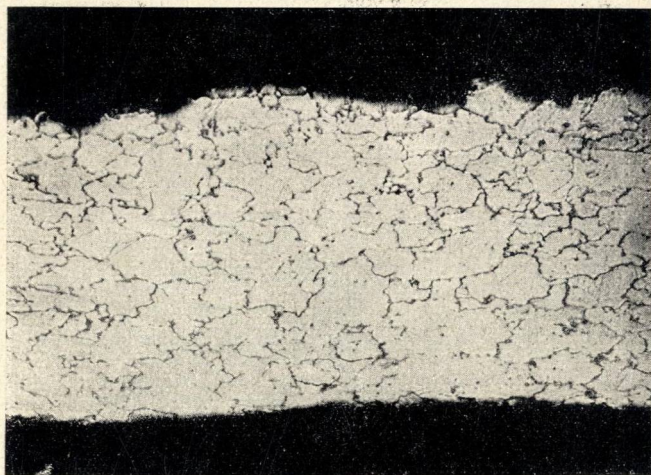
1) V. D. J., 1927, № 45.

2) Journ. Iron and Steel Inst, 1924, II, 90.

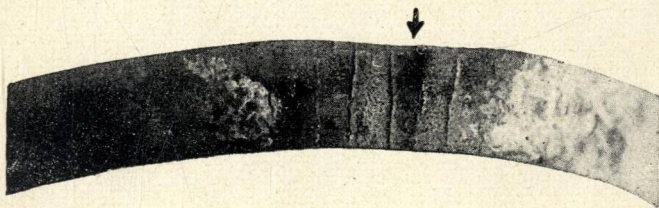




Ч. 1.

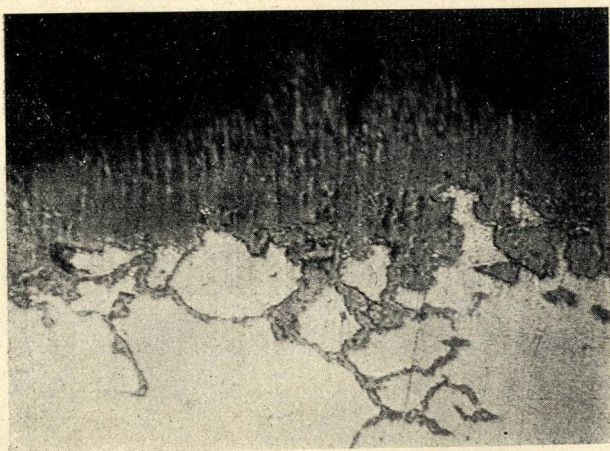


Ч. 2.

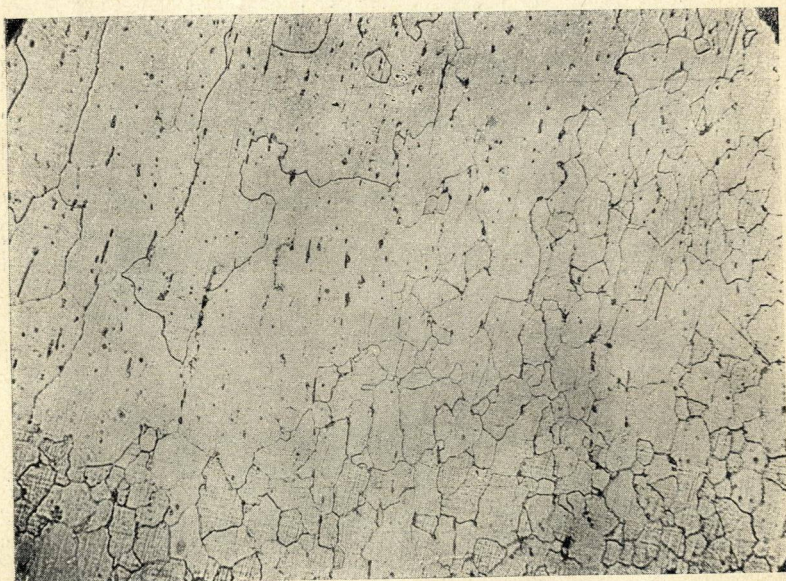


Ч. 3.



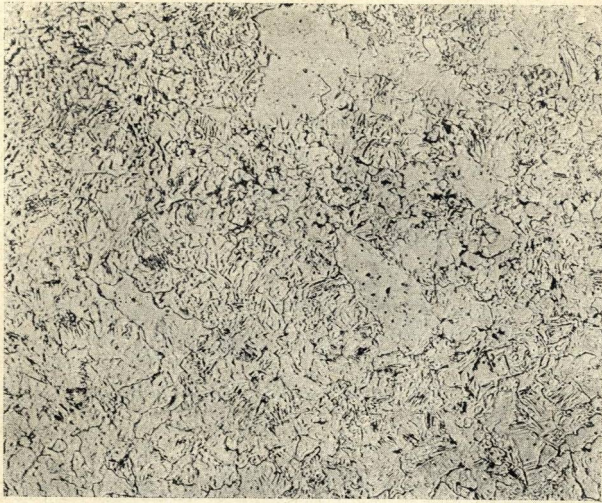


Ч. 4.

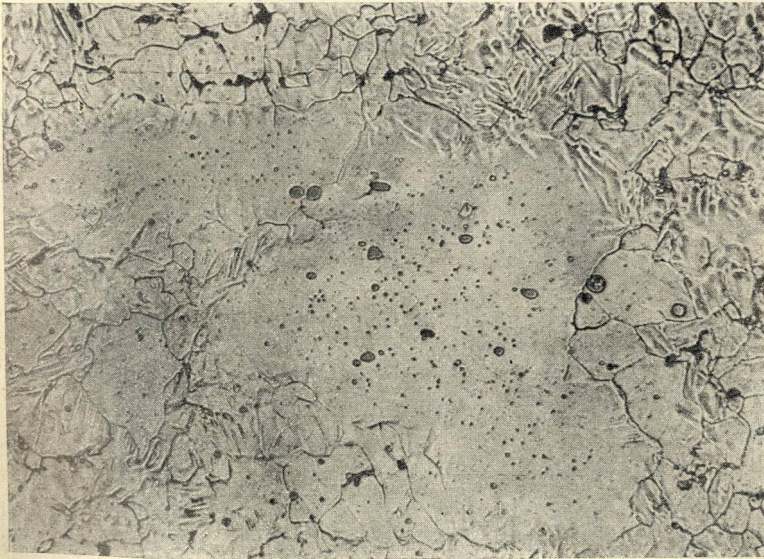


Ч. 5.



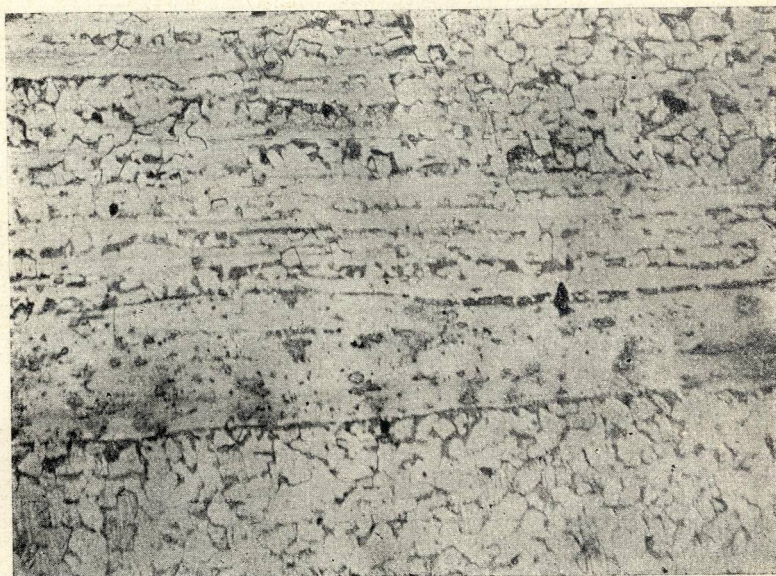


Ч. 6.



Ч. 7.





Ч. 8.

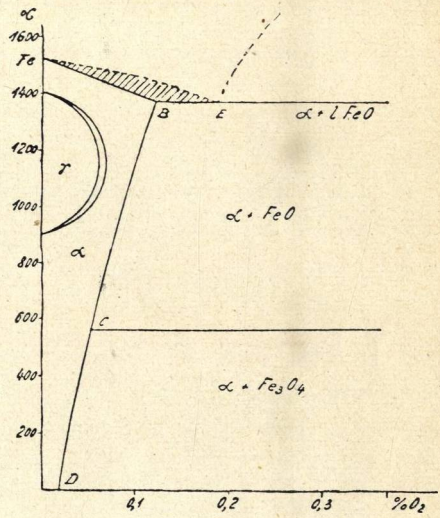


Ч. 9.

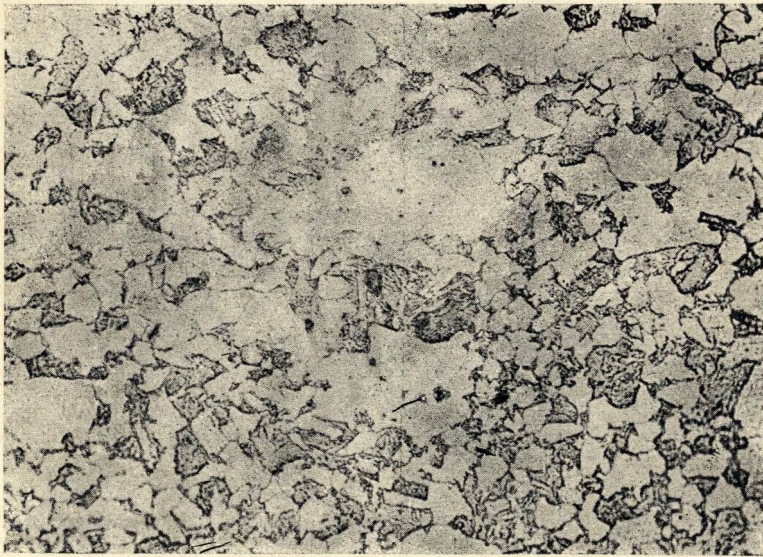




Ч. 10.



Ч. 12.



Ч. 11.