

ПРОФ. ДР. ІНЖ. І. ФЕЩЕНКО-ЧОПІВСЬКИЙ.

## Що треба розуміти під „кермованою металургією“?

В 1922. році американський металознавець Mc Quaid звернув увагу на те, що два витопи м'якої сталі того самого хемічного складу після навуглювання виказують неоднакову глибину цементації та неоднаковий вигляд поверхневої (надевтектоїдальної) верстви нацементованого шару.

Дальші досліди над такими явищами аномальности виказали, що обидва матеріали відрізняються поміж собою розмірами природних австенітичних зерен, і що дрібнозерниста сталь має так звану „анормальну“ будову. Її відокремленість полягає на тім, що включення цементиту є переважно скоагульовані, мають кулькову форму, та ферритичну обвідку. Така сталь є мілкогартівна й невразлива на температури гартування. Зате грубозерниста сталь має „нормальну“ будову, т. з., її перліт має „плиткову“ будову, а плитки цементиту не такі схильні до коагуляції. Такі сталі є глибоко гартівні, вони чулі на перегрів, т. з. мають нешироку засяжність температур правильного загартування.

Сталі дрібно та грубозернисті з однаковим хемічним складом мають ще й багато інших відмінних прикмет — переважно фізичної природи. Знаємо, наприклад, що твердість, міцність, пливкість і пружність майже не залежать від розміру природних австенітичних зерен, хиба, що зерна будуть із крайніми числами! Видовження, особливо звуження виявляють виразнішу залежність. Ударність і границя втоми є в значному степені залежні від розміру природного австенітичного зерна.

Дрібнозернисті сталі виказують всяк раз більшу ударність, вищу границю втоми, більше звуження, і тим самим більшу ціпкість. Вони не такі схильні до старіння і крихкості вижарювання, при гартуванні не такі чулі на „риси“ гартування, не такі схильні до витвору „флокенів“, не такі чулі на явища викривлювання в часі гартування та легше поліруються. Зате

грубозернисті сталі виявляють на 10—20% більшу обрібність на автоматах, менше куйні в кузні і після загартування не виказують мягких (трооститових) плям на поверхні. Сталі з дрібним австенітичним зерном починають видовжуватися (повзти) при трохи вищих температурах, ніж сталі грубозернисті. Зате ті останні виявляють повільніше темпо зросту видовження при зрості температур оточення.

Для вияву ступеня природньої зернистости, використовуємо переважно знормалізовану А. С. Т. М. пробу Mc Quaid-Ehna, себто, навуглюємо пробу в карбуризувальній мішанці (60% деревного вугілля + 40%  $\text{Ba CO}_3$ ) протягом 8 годин у температурі 925° (930° С). В часі такої цементації вугіль розпускається в австеніті, дифундує, а надмір розпущеного вугля виділюється на границях природних австенітичних зерен та зміцнює відокремішність природних, уже існуючих границь.

Річ ясна, що кожна цементація, в якій цементівний первень (вугіль, кисень, азот, сірка й т. п.) має обмежену розпускальність у залізі та якого границя розпускальності швидко зменшується в міру спаду температури, годиться до того, щоб викликати природні границі та виявити ступінь зернистости сталі. Цим шляхом ішов П. Герасименко, опрацьовуючи свою вдатну методу швидкого визначення ступеня природньої зернистости сталі<sup>1)</sup>. Первень надмірно розпущений у залізі в часі цементації, в міру спаду температури випадає в формі хемічної сполуки ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{FeN}$  і т. п.) на границях природних зерен австеніту та випуклює ці границі.

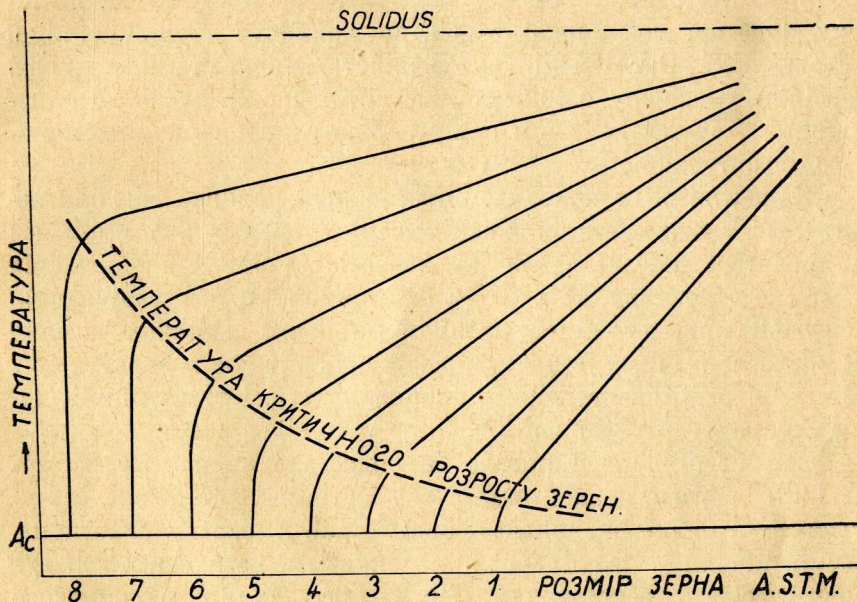
Методика визначення природного зерна австеніту не є докладно устаткована, бо досі ми не знаємо дійсної залежності перебігу альотропової переміни від розміру австенітичного зерна. Знаємо лише, що швидкість переміни є у відворотній пропорції до розміру природних зерен австеніту. Хоч австенітичне зерно не стає й всяк раз зростає, коли тільки цьому сприяє температура оточення (відповідно висока) та час пробування в температурі, то дідичність все дав себе відчутти. Коли ми шляхом плястичного переробу на гаряче (вальцюючи, чи куючи) перемінімо сталь із грубим природним зерном на сталь дрібнозернисту, то одержане таким чином штучно дрібне австенітичне зерно легко розростається, наскільки таку сталь поставимо у відповідні умови.

<sup>1)</sup> Технічні Вісти, 1937. ч. 4, стор. 9—10, та ч. 5. стор. 8—9.

В році 1933. американське товариство для дослідів над матеріалами (A. S. T. M.) опрацювало класифікацію вуглевих сталей за їх природними зернами. В цій класифікації є 8 клас, у котрих промір зерен вагається від 0.0254 до 0.28 мм.

Практика має змогу, відповідно до потреби, або звужити цю класифікацію (напр. до 3 клас: грубо —, середньо — і дрібнозернисті сталі) або поширити.

Коли заведено контролю природнього австенітичного зерна, то це значно поліпшило рівень пересічного Мартенівського виробництва в Америці. Це так сильно причинилося до піднесення



якості чисто-вуглевих сталей, що в багатьох відповідальних конструкціях можна було заступити стопові (ніклеві) сталі сталями чисто вуглевими з регульованим зерном.

Проблема „природнього“ австенітичного зерна торкається головно його тривалости та здібности швидко чи власне повільно розростатися в високих температурах. Природне австенітичне зерно в температурах  $A_c$ , незмінно зростає, цей природний розріст практично-нулевий у сфері тривалости (див. схему на рис.). Сфера тривалости ширша для дрібнозернистих сталей і вузча для грубозернистих. Але ж дрібнозернисті сталі, переступивши критичну сферу тривалости супроти розросту, втрачають свою відпорність на розріст, збільшують темпо розросту і швидко

переміняються на грубозернисті сталі. На всякий спосіб форма цементиту, в якій він виступає в будові зерен перліту (кульковий чи плитковий), стан „нормальности“, чи „анормальности“ рішають про швидкість альотропової переміни, і про остаточний вислід гартування (мілке, чи глибоке)! Стан ферриту має теж свій вплив. В добрих автоматових сталях феррит повинен бути досить крихкий, щоб стружки легко ламалися й легко відходили від ножа.

Мілко гартівні (дрібнозернисті) сталі відзначаються утрудненою дифузійною здібністю для вугля (карбіди трудніше розпускаються). Це є причиною нерівномірного розкладу вугля по цілому просторі поодиноких зерен, що викликає менший ступінь загартування. Зате сталі грубозернисті виявляють для вугля, (карбідів) улекшену здібність дифузії, і це доводить до однороднішого австеніту й тим самим — до глибшого й рівномірнішого загартування.

Присутність стопових домішок сильно впливає на „плитковість“, чи власне ступінь зкоагулювання цементиту, й тим самим на характер дифузії вугля та на легкість випадання карбідів із твердого розчину, т. з. — на остаточний вислід гартування. Оперуючи прикметами та складом стопових домішок можемо одержати цілу гаму сталі з різною австенітичною зернистістю себто — з різними ступенями анормальности, і тим самим з різним ступнем гартувальности.

Сам ступінь зернистости не рішає ще вповні про гартувальність обговорюваної сталі, хоч грубозернисті сталі гартуються все глибше як дрібнозернисті сталі, де беручи практично, карбіди ніколи у твердін розчині дочиста не розпускаються. Тут рішає легкість повставання перед гартуванням однородного твердого розчину та ступінь стоповости сталі. Ступінь австенітичної зернистости в сталях узалежнений від висоти поверхневої напруги на границях поодиноких зерен. Свобідна поверхнева енергія, т. з. добуток поверхневої напруги і поверхні зерна, змагає до зменшення. Це можна досягнути передовсім тоді, коли поверхня зерен збільшується. Це значить — поодинокі зерна мають природний нахил до розросту, який більшає в умовах збільшеної атомової рухливости, себто, в підвищених температурах. Подруге, присутність капілярно-активних субстанцій на границях зерен із найменшою поверхнею (зміначі, стабілізатори) теж енергійно понижує поверхневу напругу, й тим самим понижує змагання поодиноких зерен до розросту, знечулює сталі на перегрів, т. з. стабілізує ступінь зернистости. Потрібна для

цієї мети кількість стабілізатора дуже мала, вона не повинна переступати певної оптимальної кількості. Збільшуючи кількість капілярно активних субстанцій на границях австенітичних зерен понад означене оптимум, ми зменшуємо когезію, й через це сталь стає крихка. Для того потрібно, щоб перед змінюванням сталиво було відповідно вироблене, і надмір продуктів стабілізації своєчасно усунений.

Ідеалом відливачів сталі було тай є — опанувати перебіг витопу сталі в такому ступені, щоб одержати сталь із означеним наперед складом і прикметами, щоб відпала потреба остаточного „маркування“ або „кваліфікації“ сталі *post factum*.

Головною чинністю „кермованої металургії“ є змінювання. Суть змінювання полягає в тому, що, додаючи до пливкої сталі означену кількість зміняча, витворюємо в сталі, яку приготують до зціпеніння, певну кількість зціпенілих уже осередків кристалізації. Зміняч лучиться з киснем, чи азотом або вуглем та витворює продукти змінювання (окиси, азотки, карбіди). Ці виділини витворюють у сталі, що має сціпеніти, щось подібне до мряки, рівномірно розсіяної по цілому просторі пливкої сталі. Ця мряка у пливкому металі не розпускається. Густота та ступінь скроплення мряки збільшується в міру того, як зближається хвилина ціпеніння. В часі ціпеніння надмір мряки відсовується на границі зерен та витворює щось наче скелет, який усталює розміри природної зернистости австеніту.

До дрібнозернистого зціпеніння можна дійти різними шляхами. Найпростішим — коли перегріти сталеву купіль приблизно 200° С понад температуру ціпеніння, а потім охолодити пливку сталь до температури зближеної, але трохи вищої від температури ціпеніння. По-друге — спеціально відкислюючи пливку сталь, напр. способом Herty. В обох випадках, чи внаслідок пониженої розпускальности, чи внаслідок зворотного перебігу деяких фізико-хімічних реакцій:  $\text{жужіль} \rightleftharpoons \text{металь}$ , витворюємо „мряку“ або критичне розпорошення продуктів акції „змінювання“, що тягне за собою дрібнозернисту будову. Надмір „мряки“ по закінченні ціпеніння відсовується на границі поодиноких зерен та витворює „барвр“ з капілярно активних „чужих“ субстанцій.

Здавна знані способи викінчувати витопи сталі в електричних (дугових) печах під „білим“, чи „карбідичним“ жужлем. Такі сталі визначаються найбільшою чистістю. Наслідком процедур, випробуваних довгими десятиліттями, одержуємо дійсно високо-кваліфіковані сталі. В таких випадках ми змагаємо до

того, щоб перед цпенінням досягнути стан дисперсійного розпошення зложених продуктів відкислювання і рафінації й тим самим нормуємо розміри та величину природних австенітичних зерен, що витворюються саме в часі цпеніння сталі.

Отак приходимо до висновку: кожний пливкий металевий стоп „готовиться“ до цпеніння. Наслідок такої підготовки буде — присутність дисперсійного розпорошення „чужої фази“ т. зв. продуктів змінювання. Критичне розпорошення спричинює дрібнозернисте цпеніння. Кожна дальше посунена коагуляція „чужих“ фаз (поза критичним розпорошенням!) — оскільки продуктів такої коагуляції не усунено з металевої купелі, а вони залишилися у постаті „занечишень у зціпенілому стопі — шкідлива й небажана, бо вона ослаблює металъ.

Світова практика останніх років виявила, що куди простіший і певніший спосіб — змінювати сталь безпосередно в ковші, та що змінячами можуть бути: глин, ванад, титан, чи синтетичний жужель із великою здібністю сполучуватися з окисами заліза. Попереднє посереднє діяння білого, чи карбідичного жужля сумується з безпосереднім діянням додаваних до пливкої сталі (в ківш) змінячів, а вплив цього останнього може доповнити недостатнє діяння першого.

Реакційна здібність субстанцій, що між собою реагують, залежить від ступеня дисперзії; вона тим більша, чим розмірно більший був ступінь дисперсії. Присутність дисперсійного розпорошення чужої фази влекшує та прискішує хід фізикохімічних реакцій, тому що збільшуються поверхні фаз, які реагують, і тим самим зміцнює інтенсивність тих реакцій, які часто без зовнішних впливів починаються куди раніше ніж передбачувалось, на основі стехіометричних рівнань. Дійсну ролю дисперсійних субстанцій у часі цпеніння сталі можна пізнати, коли знаємо ступінь розпускальності продуктів змінювання у пливкій сталі, та її змінність у міру понижування температури і ступінь розпускальності цих продуктів у цпкій сталі.

Багато шляхотніших прикмет одержуємо впроваджуючу до сталі стоповий додаток. Використовуючи операцію „змінювання“, можемо звичайній вуглястій сталі дати шляхотніші фізичні (механічні) прикмети, а в деяких випадках — можемо невдалу сталь рятувати. Подібно, як у стопових сталях стоповий первень знаходиться в твердому розчині в стані, зближеному до дисперсійного розпорошення, так і критичне розпорошення неметалічних фаз (продуктів змінювання, відкислювання, відгазовування й т. п.) визначає той чи инший ступінь австенітичної зернисто-

сти, і тимсамим — деякі фізичні прикмети розгляданої сталі. Одержуємо сталі з тимсамим хемічним складом, але ж вони відрізняються не тільки характером розросту природних австенітичних зерен під впливом температури, не тільки здібністю загартовуватися на більшу або меншу глибину, не тільки ефектом загартовування (твердістю!), але й різним ступенем чулоти на перегартування, пересувом зарисів кружкості і на зимно, і на гаряч, відмінною відпорністю на змінні та довготривалі обтяження, різним реагуванням на плястичні деформації на зимно, й на гаряч і довгою низкою інших фізичних і хемічних властивостей.

Сталі з реґульованим австенітичним зерном можуть заступати в багатьох випадках дорожчі стопові сталі.

Цією дорогою находимо розв'язання, бодай частинно, такої актуальної тепер проблеми — надолужних сталей (Ersatzstoffe) для хромопклевих та чисто пклевих сталей, де сутнім стоповим додатком є дорогий імпортований (для середущої Європи) нкель. Одначе конструктор не повинен забувати, що надолужня матерія здебільша не дорівнує випробованим стоповим домішкам спеціальних сталей, які з найбільшою й собі властивою певністю підносять і зміцнюють якусь головну (пошукувану) властивість, таку важну й таку потрібну для даної частини конструкції.

Новочасна металургія змагає до перебудови сутніх процесів витоплювання металів та металічних стопів у тім напрямку, щоб остаточний вислід унезалежнити від тої природної повільности, з якою відбувається дифузія — цей підставовий процес більшости металургічних реакцій, щоб прискіпити хід використання у промисловості фізико-хемічних реакцій та пересунути їх оптимум у найкорисніший бік! „Кермована металургія“ подає методу (змінювання), яка дозволяє у значній мірі здійснити мрії й часто безплідні заходи практиків-сталівників.

Спільно із своїми студентами нам довелося сконтролювати низку висновків американських учених, провірити придатність цих висновків для середньо-європейських умов праці та перевести синтезу підставових процесів кермованої металургії. Висліди наших дослідів вже частинно опубліковані, а частинно у друку. Вивчення цієї проблеми й дорогою дослідів і студіями літератури дозволили виробити свій погляд на суть цієї епохальної проблеми, що є в цьому короткому викладі подано.

## ЛІТЕРАТУРА

1) I. Феценко-Чопівський: „Co należy rozumieć przez metalurgję kierowaną, jaki jej cel i sposoby zrealizowania praktycznego“, „Hutnik“, 1936, str. 133/43.

2) I. Феценко-Чопівський та інж. A. Kaliński: Podstawy teoretyczne i metody współczesne tzw. metalurgji kierowanej“, „Hutnik“, 1937, str. 41/54, ref. Stahl und Eisen 1937. I. str. 355/6.

3) I. Феценко-Чопівський та інж. A. Kaliński: Regulacja wielkości ziarn austenitu a własności fizyczne stali, „Przegląd Mechan.“ 1936. str. 427/42, referaty Stahl und Eisen 1936. I. str. 1194 i Journ. Iron and Steel Inst. 1937. I.

4) I. Феценко-Чопівський та інж. T. Palmrich: Wpływ czasu odlewania na wielkość ziarn austenitu stali martinowskiej zmienionej w kadzi różnymi dodatkami glinu, „Hutnik“, 1937 str. 293/304, скорочення — Archiv für das Eisenhüttenwesen, 1937/38 N 8. стор. 405/8.

5) I. Феценко-Чопівський та інж. A. Stanisławski: Poszukiwanie najlepszych warunków cementacji przy określaniu pierwotnej wielkości ziarna austenitycznego za pomocą próby Mc Quaid-Ehn-a „Hutnik“ 1937, str. 305/17, скорочена „Archiv für das Eisenhüttenw.“, 1937/37 N 6. стор. 287/92.

6) I. Феценко-Чопівський та інж. Szczepański: Wpływ przeróbki plastycznej na gorąco na ziarnistość pierwotną stali węglowej, Hutnik“, 1938 стор. 66/80.

7) I. Феценко-Чопівський та інж. A. Kaliński: Wanad w stali, „Hutnik“, 1938 стор. 101/116

