

Я.А. Криль, Е.С. Геворкян, Д.Л. Луцак

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

**Сталь: класифікація, виробництво, споживання,
маркування**

За редакцією професора Криля Я.А.

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

**Львів
«Новий Світ – 2000»
2020**

УДК 621.002.3 (075)

Розповсюдження та тиражування без офіційного дозволу видавництва заборонено.

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Рецензенти:

Новіков М.В. – доктор технічних наук, професор, академік НАН України, директор Інституту надтвердих матеріалів;

Никифорчин Г.М. – доктор технічних наук, професор, зав. відділом фізико-механічного інституту НАНУ.

Криль Я.А., Геворкян Е.С., Луцак Д.Л.

Матеріалознавство. Сталь: класифікація, виробництво, споживання, маркування. За редакцією професора Я.А. Криля: Навчальний посібник. – Львів: «Новий Світ-2000», 2020. – 267[1] с.

ISBN 978-966-418-264-2

У книзі наведені сучасні уявлення про сталь, котра є основним матеріалом для розвитку будівництва, машинобудування, приладобудування та інших галузей сучасної техніки. Об'єм її випуску й споживання є критерієм промислового розвитку країни.

Сталь, її класифікація, виробництво в Україні, а також тенденції споживання на міжнародному ринку має інтерес. Особливий інтерес мають системи маркування сталі в різних країнах, що відкриває можливість міжнародних угод.

Для студентів матеріалознавчих, металургійних та машинобудівних спеціальностей при здобутті кваліфікацій бакалавра, спеціаліста і магістра, а також може бути корисним аспірантам, науковцям та інженерно-технічним працівникам різних галузей промисловості.

УДК 621.002.3 (075)

ISBN 978-966-418-264-2

© Я.А. Криль, Е.С. Геворкян, Д.Л. Луцак, 2020
© «Новий Світ-2000», 2020

Зміст

Передмова	8
Основні умовні позначення	16
Частина перша. Класифікація сталей	17
Розділ 1. Класифікація сталей за хімічним складом	17
1.1. Вуглецеві	19
1.1.1. Низьковуглецеві	22
1.1.2. Середньовуглецеві	22
1.1.3. Високівуглецеві	23
1.2. Леговані	24
1.2.1. Хромисті	28
1.2.2. Нікелеві	29
1.2.3. Кобальтові	29
1.2.4. Марганцеві	29
1.2.5. Кремнієві	30
1.2.6. Молібденові	31
1.2.7. Ніобієві	32
1.2.8. Вольфрамові	32
1.2.9. Мідністі	32
1.2.10. Азотисті	33
1.2.11. Ванадієві	33
1.2.12. Хромонікелеві	34
1.2.13. Хромомарганцеві	34
1.2.14. Хромонікельмолібденові (вольфрамові)	34
1.2.15. Сталі, леговані бором	34
Розділ 2. Класифікація сталей за структурою	36
2.1. Вуглецеві	37
2.1.1. Рівноважна структура (відпалений стан)	37
2.2. Леговані	38
2.2.1. Рівноважна структура (відпалений стан)	38
2.2.2. Структура після охолодження на повітрі (нормалізований стан)	40
Розділ 3. Класифікація сталей за якістю	42
3.1. Звичайної якості	42
3.2. Якісні	46
3.3. Високоякісні	49
3.4. Особливо високоякісні	49

Розділ 4. Класифікація сталей за ступенем розкислення	50
4.1. Киплячі.....	51
4.2. Спокійні.....	51
4.3. Напівспокійні.....	52
Розділ 5. Класифікація сталей за призначенням	53
5.1. Конструкційні.....	54
5.1.1. Цементуючі (низьковуглецеві).....	63
5.1.2. Покращувальні (середньовуглецеві) сталі.....	70
5.1.3. Зносостійкі.....	79
5.1.4. Корозійностійкі (нержавіючі).....	81
5.1.5. Кислотостійкі.....	89
5.1.6. Жароміцні.....	91
5.1.7. Жаростійкі.....	98
5.1.8. Сталі, що добре обробляються різанням (автоматні).....	100
5.1.9. Сталі з високою пластичністю і зварюваністю.....	103
5.1.10. Будівельні.....	106
5.1.11. Підчипникові.....	109
5.1.12. Арматурні.....	111
5.1.13. Ресорнопружинні сталі.....	113
5.1.14. Рейкові.....	116
5.1.15. Суднобудівельні.....	118
5.1.16. Мостобудівельні.....	119
5.1.17. Сталі для зубчастих коліс.....	120
5.1.18. Нютні.....	121
5.1.19. Канатні.....	121
5.1.20. Бандажні.....	122
5.1.21. Сталі для магістральних газонафтопроводів.....	122
5.1.22. Сталі для бурових доліт.....	124
5.1.23. Криогенні.....	129
5.2. Інструментальні сталі.....	132
5.2.1. Сталі для різальних інструментів.....	135
5.2.2. Штампові.....	139
5.2.3. Сталі для вимірювального інструменту.....	141
5.3. Сталі з особливими фізичними властивостями.....	142
5.3.1. Магнітно-тверді.....	142
5.3.2. Немагнітні.....	143
5.3.3. Сталі для нагрівних елементів.....	144

5.3.4. Трансформаторні.....	144
5.3.5. Турбокотлобудівельні.....	145
Розділ 6. Класифікація сталей за міцністю.....	148
6.1. Сталі нормальної і підвищеної міцності.....	149
6.1.1. Низьковуглецеві леговані.....	149
6.1.2. Середньовуглецеві леговані.....	151
6.2. Високоміцні.....	153
6.2.1. Середньовуглецеві комплексно леговані.....	157
6.2.2. Середньовуглецеві, зміцнені термомеханічною обробкою (аусформінг).....	158
6.2.3. Мартенситно-старіючі.....	160
6.2.4. Трип-сталі (ПНП-сталі).....	164
Література.....	166
Частина друга. Виробництво сталі.....	169
Розділ 1. Загальні відомості.....	169
1.1. У світі.....	169
1.2. В Україні.....	176
Розділ 2. Способи виробництва сталі.....	181
2.1. Виробництво металошихти.....	181
2.1.1. Доменне.....	183
2.1.2. Пряме отримання заліза.....	187
2.1.3. Технологія швидкісної карбюризациі заліза.....	190
2.2. Виробництво сталі.....	193
2.2.1. Конвертерне.....	193
2.2.2. Мартенівське.....	196
2.2.3. Електросталеплавильне.....	198
Література.....	202
Частина третя. Споживання сталі.....	204
Розділ 1. У світі.....	204
Розділ 2. В Україні.....	214
Література.....	217
Частина четверта. Маркування сталі.....	218
Розділ 1. В Україні.....	218
1.1. Конструкційні.....	218
1.1.1. Загального призначення (звичайної якості).....	218
1.1.2. Нелеговані якісні конструкційні.....	219

1.1.3. Конструкційні леговані.....	220
1.2. Інструментальні	222
1.2.1. Нелеговані вуглецеві.....	222
1.2.2. Леговані.....	222
1.2.3. Швидкорізальні	223
1.3. Корозійностійкі	223
1.4. Електротехнічні.....	224
1.5. Рейкові.....	224
1.6. Бляхові.....	224
Розділ 2. За Євронорами	225
2.1. Найменування.....	225
2.1.1. Група 1.....	225
2.1.2. Група 2.....	229
2.2. Порядкові номери.....	230
Розділ 3. За стандартами Німеччини	232
3.1. Перший спосіб.....	232
3.1.1. Звичайні та конструкційні.....	233
3.1.2. Покращувальні, нелеговані.....	233
3.1.3. Інструментальні леговані	233
3.1.4. Різні	234
3.1.5. Хімічностійкі.....	234
3.1.6. Конструкційні.....	235
3.2. Другий спосіб.....	236
3.2.1. Вуглецеві покращувальні	236
3.2.2. Вуглецеві якісні.....	237
3.2.3. Низьколеговані	237
3.2.4. Високолеговані.....	238
3.2.5. Сталі для особливих областей застосування.....	238
Розділ 4. У Франції	240
4.1. Сталі звичайної якості	240
4.2. Якісні нелеговані конструкційні.....	240
4.3. Низьколеговані	240
4.4. Високолеговані	241
Розділ 5. В Італії	242
5.1. Конструкційні звичайної якості.....	242
5.1.1. Сталі з мінімально гарантованою межею міцності	242
5.1.2. Сталі з мінімально гарантованою межею плинності.....	242

5.1.3. Сталі для холодного штампування.....	243
5.1.4. Ливарні.....	243
5.1.5. Конструкційні якісні та леговані.....	243
Розділ 6. У Швеції.....	244
Розділ 7. За стандартами США.....	245
7.1. Система AISI.....	245
7.1.1. Вуглецеві і леговані сталі.....	245
7.1.2. Корозійностійкі.....	247
7.2. Система ASTM.....	249
7.3. Універсальна система UNS.....	250
Розділ 8. За стандартами Японії.....	252
8.1. Конструкційні.....	252
8.1.1. Вуглецеві звичайної якості.....	252
8.1.2. Вуглецеві якісні.....	253
8.1.3. Сталі для поковок.....	253
8.1.4. Листовий прокат різного призначення.....	253
8.1.5. Листовий прокат для посудин високого тиску.....	254
8.1.6. Сталі для виробництва труб.....	254
8.1.7. Арматурні.....	255
8.1.8. Сталі для виробництва катанки.....	255
8.1.9. Автоматні.....	256
8.1.10. Сталі для нютів.....	256
8.1.11. Сталі для ланцюгів.....	256
8.1.12. Пружинні.....	256
8.2. Леговані.....	256
8.3. Інструментальні.....	257
8.3.1. Вуглецеві.....	257
8.3.2. Леговані.....	257
8.3.3. Швидкорізальні.....	257
8.3.4. Підчіпникові.....	257
8.4. Корозійностійкі.....	257
8.5. Жароміцні.....	258
Література.....	258
Додаток.....	259
Предметний показчик.....	265

Передмова

Сталь є основним матеріалом для розвитку будівництва, машинобудування, приладобудування та інших галузей сучасної техніки, а об'єм випуску і споживання – критерієм промислового розвитку країни.

Сталь – складний сплав заліза з вуглецем (не більше ~2 %), який, крім заліза й вуглецю, містить домішки, вміст яких зумовлений технологічними особливостями виробництва (Mn, Si) або неможливістю повного їх видалення (S, P, O₂, N₂, H₂), а також випадкові домішки, які потрапляють до сталі із шихтових матеріалів або з різних за складом рудних покладів. Крім того, до складу сталей можуть входити легуючі елементи (Cr, Ni, Mn, Si, Mo, W, V, Ti, Zr, Nb, Co, Al, Cu, B), які вводяться до сталі у визначених концентраціях (сумарна концентрація до 50 %, при більшій концентрації легуючих елементів їх називають сплавами) з метою зміни її будови та властивостей.

Основний компонент сталі – залізо, відоме давно, однак протягом багатьох століть використовувався метал метеоритного походження. Виготовлення виробів із заліза (головним чином для прикрас) почалося в першій половині 3-го тисячоліття до н.е. За вмістом у земній корі (4,65 %) залізо займає четверте місце після кисню, кремнію й алюмінію. У земних глибинах вміст його зростає.

Важко знайти інший метал, з яким так тісно пов'язаний технічний прогрес. Уже декілька століть виробництво сталі є показником технічного та економічного розвитку держави, її загальної технічної культури. Однак шлях цивілізації до одержання і використання сталі був тривалим і складним.

Залізо у вільному стані в природі зустрічається рідко. За умовами походження розрізняють телуричне залізо або земне (сплав заліза з нікелем) і метеоритне (космічне). Телуричне залізо – рідкісний мінерал – модифікація α -Fe, зустрічається у вигляді окремих лусок, зернових губчастих мас і накопичень – твердий розчин Fe і Ni (до 30 % Ni). Метеоритне залізо утворюється в процесі формування космічних тіл і потрапляє на Землю у вигляді метеоритів (містить до 25 % Ni). Тому перші зразки заліза людина в основному одержувала у вигляді метеоритів. Однак, на жаль, таке джерело «поставки заліза з неба» нерегулярне і складає для усієї Землі за сучасними даними близько 5-6 т за добу. Найбільший залізний метеорит Гоба масою 60 т упав у Намібії в 1920 р.

Перші згадки про металургійні процеси видобування заліза (сталі) з руд відносяться до 4-3 тисячоліття до н.е., про що свідчать пам'ятки мистецтва і письменництва. Однак відносно широко залізо почали застосовувати близько 1700-1200 років до н.е., переважно у Месопотамії, Єгипті, Закавказзі. У 1200-800 роках до н.е. виробництво заліза поширилось у Сирії, Персії, Індії, Середній Азії, згодом у Китаї. На початку нашої ери сталь видобували майже на всій території Європи та Азії.

Найстаріший спосіб одержання заліза безпосередньо з руди відновленням вугіллям, так званий сиродутний метод, здійснювали у горнах при температу-

рі 1100-1350 °С. У результаті такого відновлення одержували залізо у тістоподібному стані (крицю).

Першу залізну продукцію одержували в невеликих горнахяхах, викопаних у землі і футерованих обпаленою глиною. Пізніше з'явилися і наземні печі – домниці. Як паливо використовувалось деревне вугілля. При нагріванні відбувалося відновлення заліза за допомогою вуглецю палива. На дні горна (домниці) формувалася криця – розпечений шмат заліза, подібний до губки. Її проковували для ущільнення і видавлювання шлаків. Продуктивність таких сиродутних горнів була незначною. Вага залізного шматка криці не перевищувала 20-25 кг.

Археологічні розкопки перших стародавніх поселень на території сучасної України показують, що наші далекі предки вже 3-2 тисячоліття тому назад уміли одержувати залізо з болотної руди і виготовляли з нього зброю, знаряддя праці й речі домашнього обиходу.

Сиродутний метод проіснував майже до 14 ст. (а в дещо вдосканаленому вигляді – до початку 20 ст.). У середині 14 ст. у багатьох країнах Західної Європи розмір і потужність домниць почали збільшувати – виникли невеликі доменні печі, в яких виплавляли вже рідкий чавун, і сиродутний метод був поступово витіснений більш продуктивною кричною переробкою, яка полягала у переробці чавуну (рафінування) на сталь у ковальських горнах, що опалювались деревним вугіллям, з метою одержання ковкого кричного (зварювального) заліза. В Україні крична переробка застосовувалася на Поліссі і на Чернігівщині. Першу велику доменну піч в Україні було споруджено в 1880 р. на Луганському чавуноливарному заводі. Одночасно з розвитком виробництва чавуну процес кричної переробки проіснував до початку 19 ст. і був витіснений більш ефективним процесом – пудлінгування.

Пудлінгування (англ. puddling, від puddle – перемішувати) – процес одержання маловуглецевого заліза (у тістоподібному стані) шляхом плавлення чавуну в полумєневих (пудлінгових) печах і перемішування його із залізовмісними шлаками. Пудлінгування було на той час прогресивним процесом, однак він мав усі ознаки сиродутного процесу й кричної переробки. Процес відбувався при низьких температурах з одержанням заліза в тістоподібному стані (криці). Пудлінгові печі почали застосовувати у Великобританії з 1784 р., в яких паливом було переважно кам'яне вугілля. У цих печах метал безпосередньо взаємодіяв не з вугіллям, а продуктами його згорання, через що містив велику кількість сірки.

Сиродутний, кричний і пудлінговий способи, що давали можливість одержувати залізо (сталь) лише у тістоподібному стані (через низьку температуру процесу), були малопродуктивними і неекономічними. Якісною зміною виробництва сталі став двохстадійний процес – одержання чавуну і переробки його у сталь.

Слід відзначити ще один метод одержання сталі – тигельна плавка – процес одержання металу в рідкому стані в тиглях. Застосовувався з 4 ст. до н.е. спочатку в Греції, а потім у Персії, Індії та деяких інших країнах переважно для одержання високоякісної (збройової, інструментальної) сталі, зокрема булату. Промислове виробництво тигельної сталі найбільшого розвитку досягло у першій половині 19 ст. в європейських країнах, зокрема у Росії. При тигельній плавці в шамотний або шамотнографітовий тигель завантажують чисту (без домішок P і S) металеву шихту (кримчче залізо, пудлінгову та цементовану сталь, мартенівську заготовку і чавун). Після цього тигель закривають покришкою і ставлять у тигельну піч. Процес плавки складається з плавлення шихти, кипіння металу (внаслідок виділення бульбашок оксиду вуглецю) та його заспокоєння. Одержанню за цим процесом високоякісної сталі сприяє відсутність контакту розплавленого металу з пічними газами, а це виключає можливість окислення металу і збагачення його шкідливими газами (воднем та азотом). Однак спосіб тигельної плавки виявився дорогим і малопродуктивним.

Швидкого розвитку виробництво рідкої сталі набуло лише в 2 половині 19 ст. У 1855 р. англ. інженер Г. Бессемер запропонував спосіб одержання сталі в конверторах продуванням крізь рідкий чавун повітря.

У 1864 р. франц. металург П. Мартен за кресленнями В. Сіменса збудував першу піч (її пізніше почали називати мартенівською), у якій можна було одержувати сталь із твердих сталевих відходів і чавуну.

У 1878 р. англ. металург С. Томас розробив спосіб переробки чавуну на сталь, що містить багато фосфору.

Наприкінці 19 ст. у Франції було збудовано першу електричну піч для одержання рідкої сталі. Це було першим кроком до нового напрямку металургії – електрометалургії.

На сьогоднішній день сталь одержують здебільше в рідкому стані способом відповідної переробки переважно чавуну, а також сталевого брухту. Суть цієї переробки полягає у видаленні (випалюванні) з чавуну (брухту) надлишкового вуглецю, кремнію, марганцю та інших домішок, які окислюються легше, ніж залізо. Особливу увагу при цьому звертають на видалення шкідливих домішок сірки й фосфору (процеси рафінування сталі).

У 20 ст. була реалізована сучасна модифікація сиродутного процесу – кричнорудний процес, або крупренпроцес, який являє собою безпосереднє одержання заліза із руд, минаючи доменну піч. Він призначений для переробки бідних важкозбагачувальних або комплексних залізних руд в обертових трубчастих печах з метою одержання криці. Цей процес вперше здійснений на заводі фірми Крупп у Магдебурзі (Німеччина) в 1931-1933 р.

На основі виявленого явища швидкісного твердофазового науглецювання заліза із застосуванням вугілля як палива в 1996 р. одержала розвиток техноло-

гія швидкісної карбідизації заліза під назвою ITmk3 (Iron-Making Technology Mark Three – технологія виготовлення заліза третього покоління).

Визначний вклад у розвиток металургії в Україні внесли В.П. Іжевський (1863-1926) – роботи з питань доменного виробництва, металографії, електрометалургії і термообробки; В.Ю. Васильєв (1890-1956) – роботи з питань виробництва хімічностійких сплавів, магнезійальних шлаків; М.В. Луговцев (1885-1956) – роботи в галузі статистичної теорії доменного процесу, спікання та доменної плавки офлюсованого агломерату; П.Г. Рубін (1874-1960) – роботи з питань виробництва коксу, доменного виробництва, підготовки металургійної сировини; І. А. Феценко-Чопівський – роботи з питань дифузії, хіміко-термічної обробки, легування сталей.

Досягнення української металургійної науки сприймалися як радянські і російські (зі сторони інших країн). Однак українська металургійна наука розвивалася незважаючи на політичні катаклізми першої половини 20 ст.

Прикладом цього може бути життя та діяльність І. Феценка-Чопівського, нащадка козацького роду 16 ст. Гната Чопа, який народився у м. Чуднові Житомирської області в 1884 р. Після закінчення Політехнічного інституту в Києві він захищає дипломний проєкт «Мартенівські фабрики» і в 1908 р. отримує диплом інженератехнолога першого ступеня. У 1909 р. займає посаду старшого асистента при кафедрі металургії у професора В. Іжевського, за клопотаннями якого молодий учений їде до знаменитого металографа професора Обергоффера.

Перші роботи молодого вченого присвячені проблемі цементації заліза, впливу марганцю на систему залізовуглець, хромистим сталям, а також різнозернистості котельних сталей.

У 1918 р. в державному кабінеті УНР під головуванням В. Голубовича І. Феценко-Чопівський призначається на пост міністра промисловості й торгівлі. За дорученням М. Грушевського видає першу частину книги «Матеріальні багатства та велика промисловість України». У добу Директорії він призначається заступником міністра народного господарства, а з лютого 1919 р. – міністром і заступником прем'єрміністра в кабінеті С. Остапенка.

Проте коротка доба української державності вступила у завершальну фазу. Українські урядові установи опинились на польській території в Тарнові і Ченстохові. У січні 1921 р. у Тарнові був створений своєрідний екзильний парламент – Рада Республіки. Його головою призначено Івана Феценка-Чопівського. Після 220 днів діяльності Рада Республіки 15 серпня 1921 р. припинила свою роботу. Так закінчився надзвичайно цікавий державотворчий етап у житті І. Феценка-Чопівського.

Наукова діяльність Івана Феценка-Чопівського тісно пов'язана з Варшавською політехнікою. Після смерті вчителя В. Іжевського (1926 р.) він отримує запрошення від вченої ради Краківської гірничої академії зайнятися організа-

цією кафедри металографії в ранзі професора. У центрі уваги молодого вченого – проблеми дифузії різних елементів у залізі, нікелі, кобальті, міді, яку він вивчав методом поверхневого насичення. У 1927 р. за ці роботи отримує на Варшавській політехніці докторський ступінь, а в 1931р. – звання професора Краківської гірничої академії.

З 1927 р. І.Фещенко-Чопівський стає консультантом Польського оборонно-промислу. Це був період найінтенсивніших наукових контактів і зустрічей – у Лондоні, Стокгольмі, Празі, Парижі, Німеччині. Учений зустрічається з провідними металургами та металознавцями Європи. Серед них Е. Бейн, В. Гадфільд, Ц. Деш, У. Евансон, Л. Жіллет, Г. Карпентьєр, Ф. Осмонд, А. Портвейн, Т. Свінден, З. Чохральський, Г. Шательє та інші.

У 1933 р. Іван Фещенко-Чопівський обирається членом-кореспондентом Польської академії наук. Він також дійсний член наукових металургійних товариств Великобританії, США, Німеччини.

У період 1930-1936 рр. видає у Варшаві фундаментальну трьохтомну монографію «Металознавство». Іван Фещенко-Чопівський – активний діяч Українського технічного товариства (УТТ), один із співредакторів його органу – «Технічних вістей». Спільно з керівництвом УТТ розпочав перевидання українською мовою своєї найбільшої наукової праці – тритомної монографії «Металознавство». Спроби перевидання цієї праці робилися і в радянській Україні. Проте сталінська генеральна лінія русифікації поклала край як «українізації», так і вільній науковій творчості, наукові контакти вченого з «підсоветською» Україною припинилися.

Однак сталінська машина не залишила його у спокої як ученого. Починаючи з 1945 р. – арешти і табори НКВД. У 1952 р. Іван Фещенко-Чопівський помер у таборі Абезь, Кожвинського району Республіки Комі АРСР.

І. Фещенко-Чопівський постає перед нами як один з найвидатніших металознавців європейського континенту. Він автор біля 140 наукових праць, опублікованих українською, польською, німецькою, французькою та англійською мовами з проблем дифузії, діаграм стану багатоконпонентних систем, хіміко-термічної та термічної обробки, легування сталей та їх механічних властивостей.

Цікавий стан і розвиток металургії на Західній Україні. Західноукраїнські землі здавна відомі численними гамарнями (металоплавильні майстерні, ливарні), різними залізобленими промислами.

Наприкінці 18-го – на початку 19 ст., у період розвитку ринкових відносин у Галичині, залізобобні промисли перетворилися у великі мануфактури і стали промисловими підприємствами. Одна з таких, безперечно, заслуговує на особливу увагу. Це залізна гута (дослівно склоплавильний завод) в Ангелєві (Івано-Франківська обл., Рожнятівський р-н. Пам'ятка архітектури 1810р., домниця в урочищі Ангелів, розташована на лівому березі р. Лімниці, між

селами Ясень та Гриньків (рис.1). Будівництво гуті розпочато в 1810 р. А. Ангеловичем (звідси і походить назва поселення Ангелів). До 1812 р. тривало заселення цієї місцевості, будівництво домниці (високої) та інших промислових споруд. У 1814 р. підприємство стало до ладу. На той час Ангелівська домниця належала до греко-католицької консисторії у Львові. Гута мала 12 шахт, 1 високу піч, 2 гамарні (фабрики, де переробляли залізо, очищали, формували за допомогою кування) та кузню для виробництва цвя-хів. У 1814 р. підприємство значно збільшило кількість шахт, а тому й кількість переробленої сировини. Проте Ангелівська гута діяла всього 6 років. Уже в 1818 р. за наказом митро-полита Левицького вона була закрита з різних причин: погана якість місцевої залізної руди, судовий процес між Ангеловичем та управителем гуті Гекером.



Рис. 1. Ангелівська домниця сьогодні

Музейний комплекс планує здійснити, згідно з розробленими проектами, дочірнє підприємство «Осмолода» Мико-лаївського глиноземного заводу.

Однією з найцікавіших і найзагадковіших сторінок в історії металургії заліза є виробництво булатної сталі.

Булат (перс. пулад – сталь) – вуглецева ливарна сталь, яка завдяки особливому способу виготовлення відрізняється своєю структурою і виглядом (візерунком) поверхні (рис.2), високою твердістю і пружністю. Візерунковість була-ту пов'язана з особливостями виплавлення і кристалізації. У давнину з булату виготовляли холодну зброю (шаблі, мечі, кинджали) надзвичайної стійкості і гостроти. Булат виготовляли в Індії, країнах Середньої Азії, в Ірані й Сирії.

Ще Арістотель згадає індійську сталь, називаючи її ферум-кандидум (біле залізо). Біле залізо дуже високо цінувалося і продавалося у вигляді невеликих

круглих коржиків, розрі-заних навпіл. Такі половинки пізніше почали називати вутца-ми. Вутці добре кувалися, оброблялися, полірувалися. Із однієї половинки вутца одержувався один меч або кинджал.



Рис. 2. Макроструктура булатної сталі

Стародавні майстри старанно приховували секрет виготовлення незвичайного металу. У давньоіндійських епосах «Махабхарата» та «Рамаяна» згадуються важкі залізні мечі, однак про їх зовнішній вигляд і властивості нічого не згадується.

У 7-12 ст. кувались найкращі клинки. Але, замість способів їх виготовлення, стародавні манускрипти залишили нам лише оповіді про обряди, які обов'язково передували роботі майстрів.

У кінці 4 ст. до н.е. Олександр Македонський на чолі великого війська відправився завойовувати Індію. Через Месопотамію (Ірак) і територію сучасного Афганістану він проник у північно-західну частину Держави чудес. Там на річці Гідасну, північній притоці Інду, він одержав перемогу над індійським царем Пором. Однак Македонського вразили індійські мечі, котрі легко розрубували македонське залізо.

Після походу Олександра Македонського індійські способи виробництва вутцу (у давнину Індію в Європі називали всі азійські держави за Гімалаями) розповсюджуються в Сирію, Аравію та інші країни Середньої Азії. Найбільшим центром виробництва індійської сталі стає місто Дамаск (Сирія), куди македонці вивозили всіх майстрів, яких тільки могли знайти в країнах Сходу. Із Дамаска через Персію (Іран) вутц доставляли в Європу, де його називали дамаським.

Вищі сорти перського та індійського булату характеризувались крупним складним рисунком. До них належали табан (блискучий), каратабан (чорний блискучий), хоросан і карахоросан (Хоросан – провінція в Персії). Найкращий

булат каратабан був відомий також під назвою кірк нардубан (його також називали «драбиною Магомета»).

Оцінка якості булатних клинків була пов'язана з деяким ритуалом: спочатку вивчали візерунок, потім легко вдаривши по ньому, слухали звук, після чого перевіряли його пружність, і лише в останню чергу, якщо клинок заточений, пробували, як він розсікає дуже тонку тканину підкинуту вгору.

Вважалося, що кращий булатний клинок повинен мати такі якості: візерунок його повинен бути крупним, сітчастим або колінчастим, білим, що виразно виділяється на темному фоні, з золотистим полиском; клинок повинен видавати чистий і протяжний звук, гнутися в дугу й розпрямлятися після зняття навантаження, рубати цвяхи і перерізувати тонкі сорти тканин.

Та попри всі позитивні якості булату все ж основним його призначенням залишалося бути матеріалом для виготовлення холодної зброї.

З розвитком металургії й металознавства інтерес до такої зброї втрачений. Були спроби відкрити секрет булатної сталі (досліди Аносова на Уралі), однак спеціалізація у виробництві сталі різного призначення дістала основне спрямування, і відновлення секретів булатної сталі стало об'єктом небагатьох досліджень, хоча виробництво її у стародавні часи мають ознаки неабиякої таємниці розвитку цивілізації.

Література

1. Энциклопедия неорганических материалов: в 2-х т. – Главная редакция УСЭ, 1977. –
2. Федорченко И.М., Андриевский Р.А. Основы порошковой металлургии. – К., Из-во АН УССР, 1961. – 420 с.
3. Черноусов П.И., Мапельман В.М., Голубев О.В. Металлургия железа в истории цивилизации. – М.: МИСиС, 2005. – 423 с.
4. Иван Фещенко-Чопівський. Життєвобібліографічний нарис / Відповідальний редактор О. Романів. – Львів: видво НТШ, 2000. – 296 с.
5. Рожнятівщина. Край бойківський, чарівний. – Рожнятів, 2001. – 96 с.
6. Гуревич Ю.Г. Булат. Структура, свойства и секреты изготовления. – Курган: Курганский государственный университет, 2006. – 158 с.