

**Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія
Асоціація ливарників України
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України
Донецька державна обласна адміністрація
ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод»
ПАТ «Енергомашспецсталь»**

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МАТЕРІАЛИ Й ОБЛАДНАННЯ В ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

МАТЕРІАЛИ

**IX міжнародної
науково-технічної конференції
25–27 вересня 2023 року**

Краматорськ
ДДМА
2023

УДК 621.74(06)
П27

Рекомендовано до друку вченою радою
Донбаської державної машинобудівної академії
Протокол № 1 від 31.08.2023

Рецензенти:

Хричіков В. Є., д-р техн. наук, проф., зав. каф. ливарного виробництва Українського державного університету науки і технологій (м. Дніпро);

Пономаренко О. І., д-р техн. наук, проф., віце-президент АЛУ, проф. каф. ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків).

*Відповідальність за достовірність інформації, представленої
у збірнику, несуть автори*

Перспективні технології, матеріали й обладнання в ливарному
П 27 виробництві : матеріали ІХ міжнародної науково-технічної конференції, 25–27 вересня 2023 р. / під заг. ред. А. М. Фесенка, М. А. Турчаніна. – Краматорськ : ДДМА, 2023. – 179 с.
ISBN 978-617-7889-48-8.

У збірнику приведено матеріали, що висвітлюють актуальні проблеми ливарного виробництва: розробки прогресивних ресурсозберігальних технологій одержання литих виробів із різних металів і сплавів у разових ливарних формах і спеціальними способами лиття, фізико-хімічних основ металів і сплавів, теорії кристалізації та затвердіння виливків, розроблення й використання перспективних формувальних матеріалів і сумішей, сучасних технологій виготовлення ливарних форм і стрижнів, моделювання, комп'ютерних інформаційних технологій, автоматизації та механізації ливарних і споріднених процесів.

ISBN 978-617-7889-48-8

УДК 621.74(06)
© ДДМА, 2023

Трембач І. О., Гринь О. Г. Обґрунтування можливості використання манганової руди в складі самозахисного порошкового дроту.....	118
Турчанін М. А., Корнієнко К.Є., Великанова Т. Я. Діяльність української комісії з діаграм стану та термодинаміки у 2021–2022 роках.....	120
Турчанін М. А., Агравал П. Г., Древаль Л. О. Фазові діаграми системи Со–Ті.....	122
Турчанін М. А., Корсун В. А., Агравал П. Г., Водоп'янова Г. О., Древаль Л. О. Термодинамічні властивості рідких сплавів трикомпонентної аморфоутворюючої системи Со–Ті–Zr.....	124
Турчанін М. А., Агравал П. Г., Корсун В. А., Водоп'янова Г. О., Сарана К. С., Древаль Л. О. Ентальпії змішування рідких сплавів трикомпонентної аморфоутворюючої системи Со–Ni–Ті при 1873 К	127
Турчанін М. А., Агравал П. Г., Водоп'янова Г. О., Корсун В. А., Древаль Л. О. Температурно-концентраційна залежність термодинамічних властивостей аморфоутворюючих розплавів Со–Cu–Ni–Ті–Zr та Со–Cu–Ni–Ті–Hf.....	129
Турчанін М. А., Агравал П. Г., Водоп'янова Г. О., Корсун В. А., Древаль Л. О. Близький хімічний порядок у розплавах Со–Cu–Ni–Ті–Zr, Со–Cu–Ni–Ті–Hf і прогнозовані концентраційні області їх аморфізації	131
Уткін С. В., Кублій В. З., Бондар А. А., Слепцов С. В. Фазові рівноваги у кобальтовому куті системи Мо–Со–В при субсолідусних температурах	133
Федоров М. М., Дьяченко Ю. Г. Дослідження впливу мікродобавок холоднонабухаючого крохмалю на властивості піщано-бентонітових сумішей для формування «по-сирому»	134
Фесенко А. М., Фесенко М. А. Способи виготовлення чавунних виливків із функціонально-градієнтною структурою	136
Фесенко М. А., Фесенко А. М. Застосування технології модифікувального оброблення розплаву чавуну для отримання потрібної структури й підвищення експлуатаційних властивостей виливків.....	139
Фон Прусс М. А. Вплив комплексного модифікування на нейтралізацію залізовмісних фаз ливарного сплаву AlSi9Cu3 з підвищеним вмістом заліза до 2 % мас.....	141
Хричиков В. Є., Білий О. П., Меньяло О. В., Стомба В. М. Кристалізація та властивості чавуну у виливках.....	143
Царюк Д. В., Прядко Т. В., Носенко В. К., Носенко А. В., Судацова В. С. Енергія міжатомної взаємодії в розплавах систем Mg–Si і Al–Mg–Si.....	145
Царюк Д. В., Прядко Т. В., Носенко В. К., Носенко А. В., Судацова В. С. Термодинамічні властивості і фазові рівноваги у сплавах системи Al–Mg–Ge і подвійних граничних підсистемах.....	147

бази даних для розрахунку термодинамічних функцій змішування багатоконпонентних розплавів.

Як і в попередні роки, науковці України плідно співпрацювали з багаторічним партнером Materials Science International Services GmbH (MSI) (Міжнародна службою з матеріалознавства, Штутгарт, Німеччина). Спільними зусиллями підготовлено випуски 20 (“Selected Systems for Lead-free Soldering and Brazing Applications”) та 21 (“Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications”) довідника “Ternary Alloys”, опубліковані у 2021 та 2022 роках, відповідно, видавництвом MSI. Усього за участю українських науковців у цих двох випусках опубліковано критичні огляди для 23 потрійних систем.

Проведення наступного засідання APDІС заплановано 31 травня 2024 року у місті Мангайм (Німеччина).

ЛІТЕРАТУРА

I. Korniyenko K., Meleshevich K., Samelyuk A., Sobolev V., Kriklya L. Phase Equilibria in the Al–Ti–Cr System During Solidification. Journal of Phase Equilibria and Diffusion. 2022. Vol. 43, No. 4. P. 427–447. DOI:10.1007/s11669-022-00983-4.

ФАЗОВІ ДІАГРАМИ СИСТЕМИ Co–Ti

Турчанін М. А., Агравал П. Г.,
(м. Краматорськ, ДДМА), Древаль Л. О. (м. Штутгарт, MSI)

Новий термодинамічний опис системи кобальт–титан, розроблений в рамках CALPHAD-методу, задовільно описує відомі експериментальні дані про термодинамічні властивості фаз і фазові перетворення. Термодинамічні властивості рідких сплавів системи Co–Ti були описані в рамках моделі асоційованого розчину, твердих розчинів на основі компонентів (α Co), (β Co), (β Ti) і (α Ti) – з використанням поліномів Редліха–Кістера, проміжних інтерметалічних фаз Co_3Ti , $C36$, $C15$, $CoTi$ та $CoTi_2$ – в рамках Compound Energy Formalism. Розрахована рівноважна діаграма стану системи Co–Ti показана на рис. 1, а. Координати рівноважних фазових перетворень представлені в табл. 1. Розраховані діаграми метастабільних фазових перетворень за участю переохолоджених розплавів показані на рис. 1, б–г.

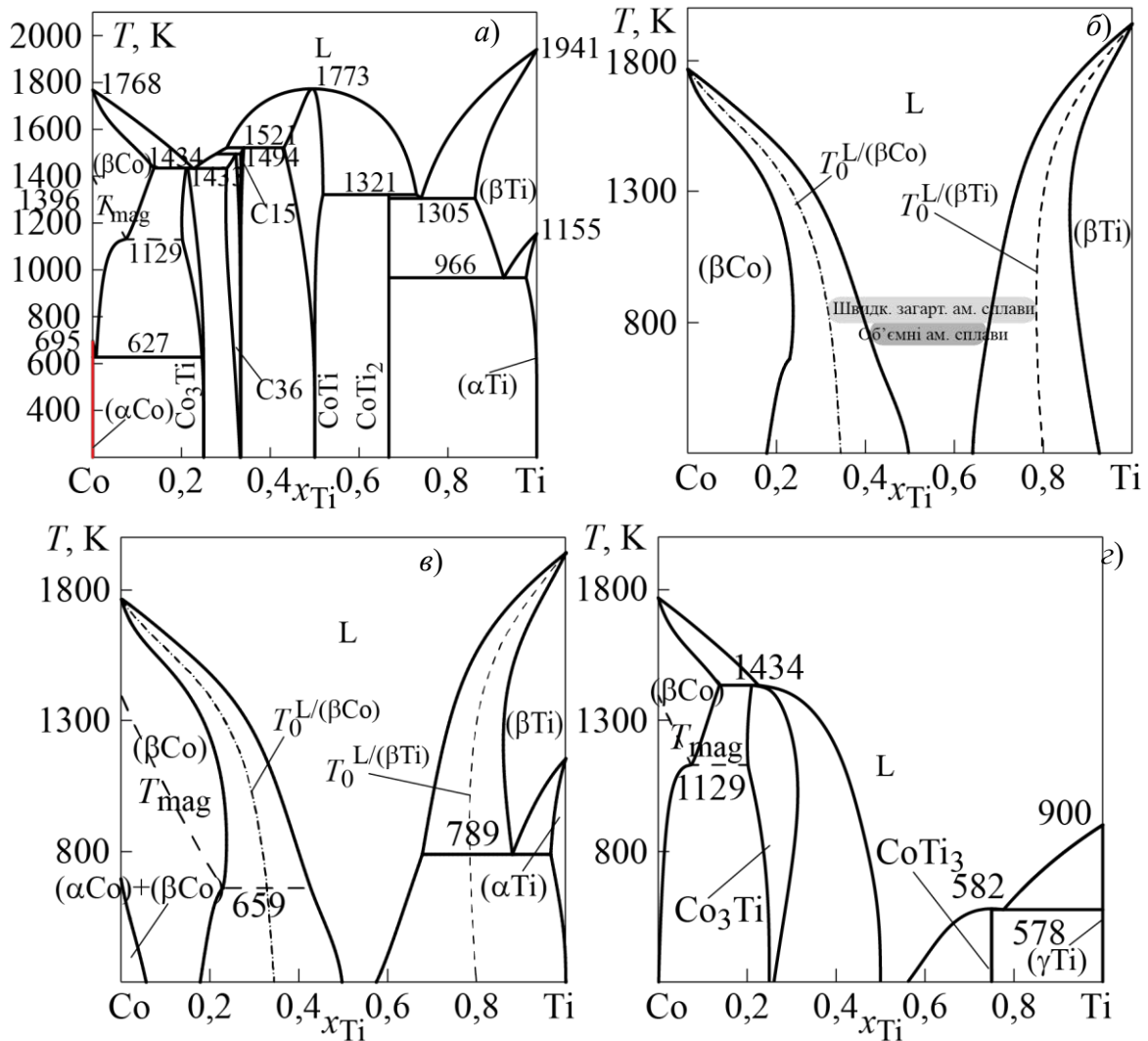


Рис. 1. Розраховані рівноважна діаграма стану (а) і діаграми метастабільних фазових перетворень (б–д) системи Co–Ti

Таблиця 1 Координати нонваріантних фазових рівноваг в системі Co–Ti

Нонваріантні рівноваги	T, K	$x_{Co}^{\phi_1}$	$x_{Co}^{\phi_2}$	$x_{Co}^{\phi_3}$
$L + (\beta Co) \rightleftharpoons Co_3Ti$	1434	0,225	0,138	0,210
$L \rightleftharpoons Co_3Ti + C36$	1433	0,228	0,214	0,302
$L + C15 \rightleftharpoons C36$	1494	0,277	0,333	0,322
$L + CoTi \rightleftharpoons C15$	1521	0,302	0,431	0,340
$L \rightleftharpoons CoTi$	1773	0,494	0,494	–
$L + CoTi \rightleftharpoons CoTi_2$	1321	0,729	0,519	0,667
$L \rightleftharpoons CoTi_2 + (\beta Ti)$	1305	0,740	0,667	0,875
$(\beta Ti) \rightleftharpoons CoTi_2 + (\alpha Ti)$	966	0,926	0,667	0,976
$(\beta Co) \rightleftharpoons (\alpha Co) + Co_3Ti$	627	0,008	$6 \cdot 10^{-6}$	0,246

За результатами розрахунку діаграми метастабільних фазових перетворень за участю твердих розчинів (βCo) і (βTi), переохоложені розплави в широкому інтервалі складів демонструють відносну термодинамічну стабільність, рис. 1, б. Прогнозований концентраційний інтервал утворення швидкозагартованих аморфних сплавів становить $x_{\text{Ti}} = 0,32\text{--}0,79$, а об'ємних аморфних сплавів – $x_{\text{Ti}} = 0,40\text{--}0,68$.

Розрахована нами діаграма метастабільних фазових перетворень між рідкими сплавами та ГЦК, ОЦК і ГПУ розчинами на основі чистих компонентів, рис. 1, в, дає такі результати для граничної розчинності елементів: $x_{\text{Co}} = 0,14$ при 1215 К в (βTi) фазі; $x_{\text{Co}} = 0,04$ при 789 К в (αTi) фазі; $x_{\text{Ti}} = 0,237$ при 826 К (βCo) фазі. Гранична температура феромагнітного перетворення T_{mag} в метастабільній (βCo) фазі може знижуватись до 659К, що значно менше температури 1129 К, властивої для рівноважних сплавів.

На рис. 1, г показана діаграма метастабільних фазових перетворень, розрахована за участі рідких сплавів та ГЦК фаз, де (βCo) – γ -фаза, Co_3Ti – γ' -фаза і CoTi_3 – метастабільна проміжна фаза, антиструктурна до γ' -фази. Видно, що ширина області гомогенності Co_3Ti в умовах метастабільного синтезу значно розширюється і може сягати $x_{\text{Ti}} = 0,21\text{--}0,31$ при 1123 К. Порівняння рис. 1, в і рис. 1, г вказує на неможливість утворення метастабільної CoTi_3 фази з розплаву.

Розроблений термодинамічний опис відтворює фазові перетворення, важливі для одержання в системі жароміцних ливарних сплавів на основі кобальту з каркасим зміцненням структури (γ/γ' суперсплави) і аморфних сплавів. Структура нового термодинамічного опису системи вперше дозволяє його одночасне включення в бази даних для розробки багатокомпонентних жароміцних і аморфних промислових матеріалів.

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РІДКИХ СПЛАВІВ ТРИКОМПОНЕНТНОЇ АМОРФОУТВОРЮЮЧОЇ СИСТЕМИ Co–Ti–Zr

Турчанін М. А., Корсун В. А., Агравал П. Г., Водоп'янова Г. О.,
(м. Краматорськ, ДДМА), Древаль Л. О. (м. Штутгарт, MSI)

Рідкі сплави системи Co–Ti–Zr є об'єктом досліджень, спрямованих на розробку та отримання нових аморфних сплавів. Тож метою цієї роботи є дослідження термодинамічних властивостей рідких сплавів даної системи.

Парціальна ентальпія змішування титану $\Delta_m \bar{H}_{\text{Ti}}$ в рідких сплавах системи Co–Ti–Zr була вивчена калориметричним методом при 1873 К



Донбаська державна машинобудівна академія

Materials Science International



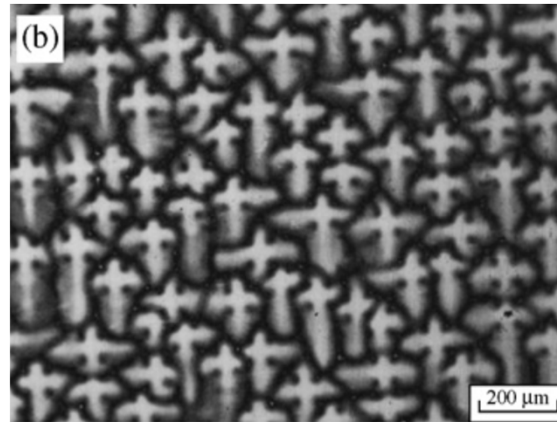
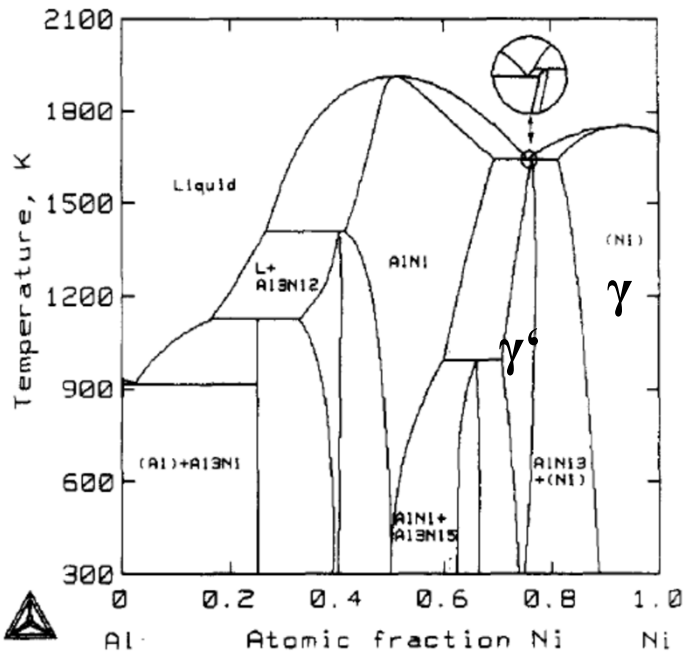
Лабораторія «Фізико-хімічні властивості металевих розплавів»

Фазові діаграми системи Co–Ti

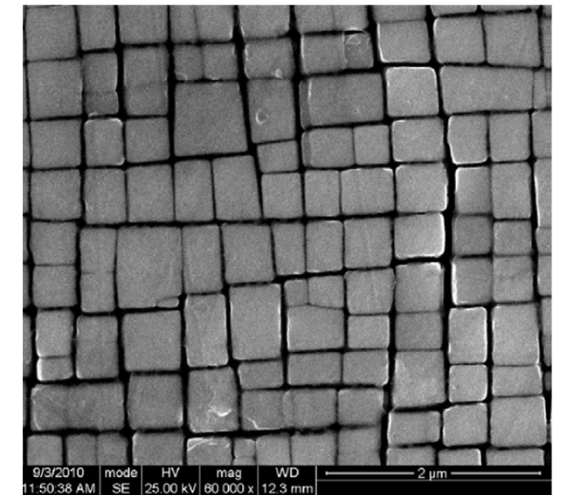
Турчанін М. А., Агравал П. Г., Древаль Л.О.

E-mail: phch@dgma.donetsk.ua

Діаграма стану системи Ni–Al та структура жароміцних ливарних сплавів на основі нікеля (nickel superalloys)

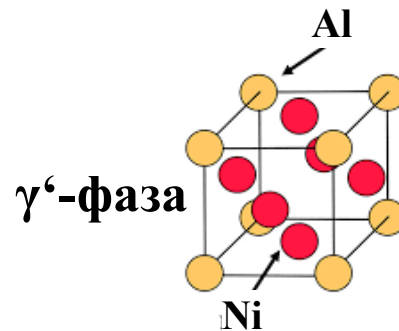
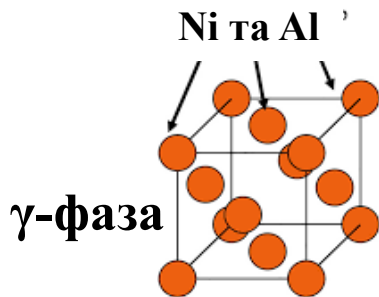


$\text{Ni}_{68,5}\text{Ti}_{2,1}\text{Mo}_{3,8}\text{Al}_{5,9}\text{W}_{5,2}\text{Co}_{5,0}\text{Cr}_{9,5}$
[2009 Zhang G.]



$\text{Ni}_{66,485}\text{Al}_{5,5}\text{Ti}_{2,2}\text{Cr}_{8,5}\text{Co}_{5,0}\text{Ta}_{2,8}\text{W}_{9,5}\text{C}_{0,015}$
[2011 Han G.]

Кристалічна структура ГЦК фаз [2016 Wang-Koh Y.]

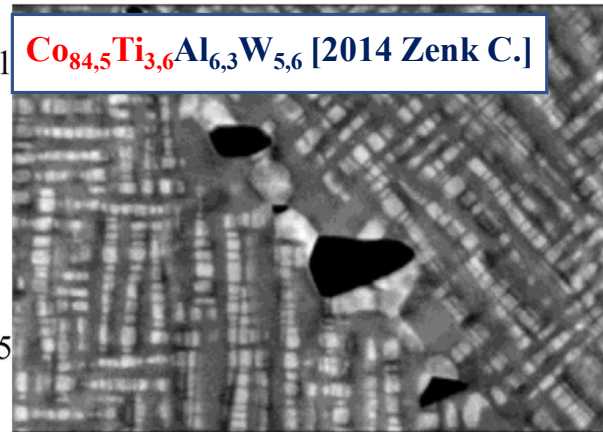
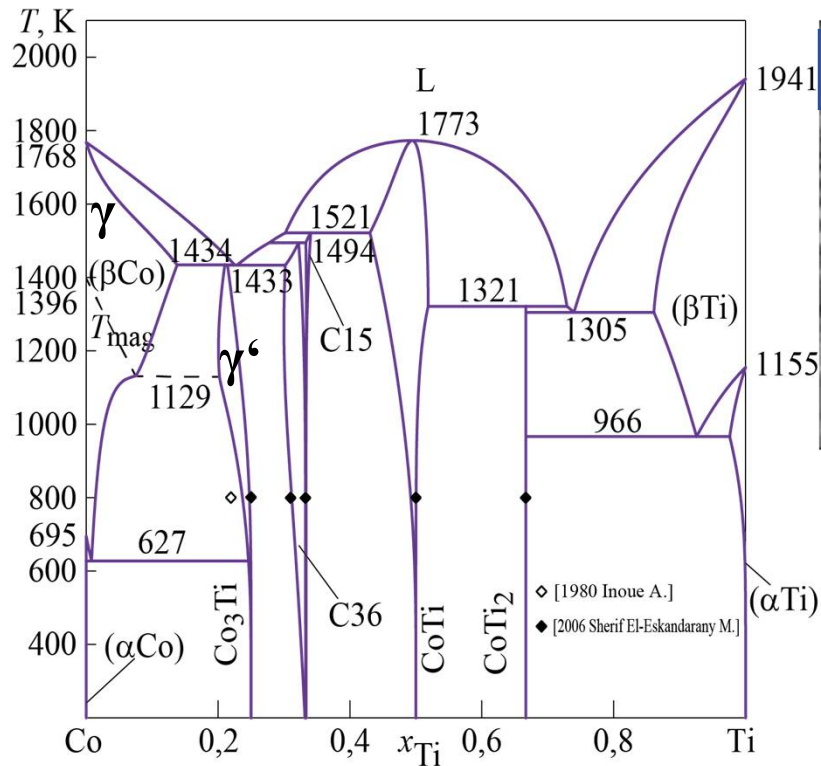


- Температури використання виробів < 1000°C.
- Тривала міцність до 120 МПа після 1000 годин.



Діаграма стану системи Co–Ti та структура жароміцних ливарних і аморфних сплавів на основі кобальту

Жароміцні ливарні сплави на основі кобальту



Кількість публікацій в Scopus:

... -1999 pp. 45 статей;
 2000-2009 pp. 55 статей;
 2010-2019 pp. 155 статей;
 2019-2022 pp. 65 статей

- Більш висока температура плавлення у порівнянні з nickel superalloys.
- Більш високі робочі температури і опір гарячій корозії.
- Підвищений опір термічній втомі.

Аморфні сплави на основі кобальту

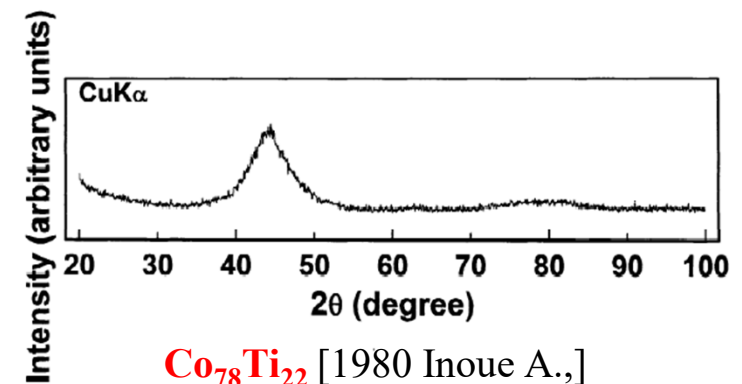
Швидкозагартвані аморфні сплави CoTi ($\text{Co}_{78}\text{Ti}_{22}$)

– вперше отримані [1980 Inoue A.,] методом спінігування ;

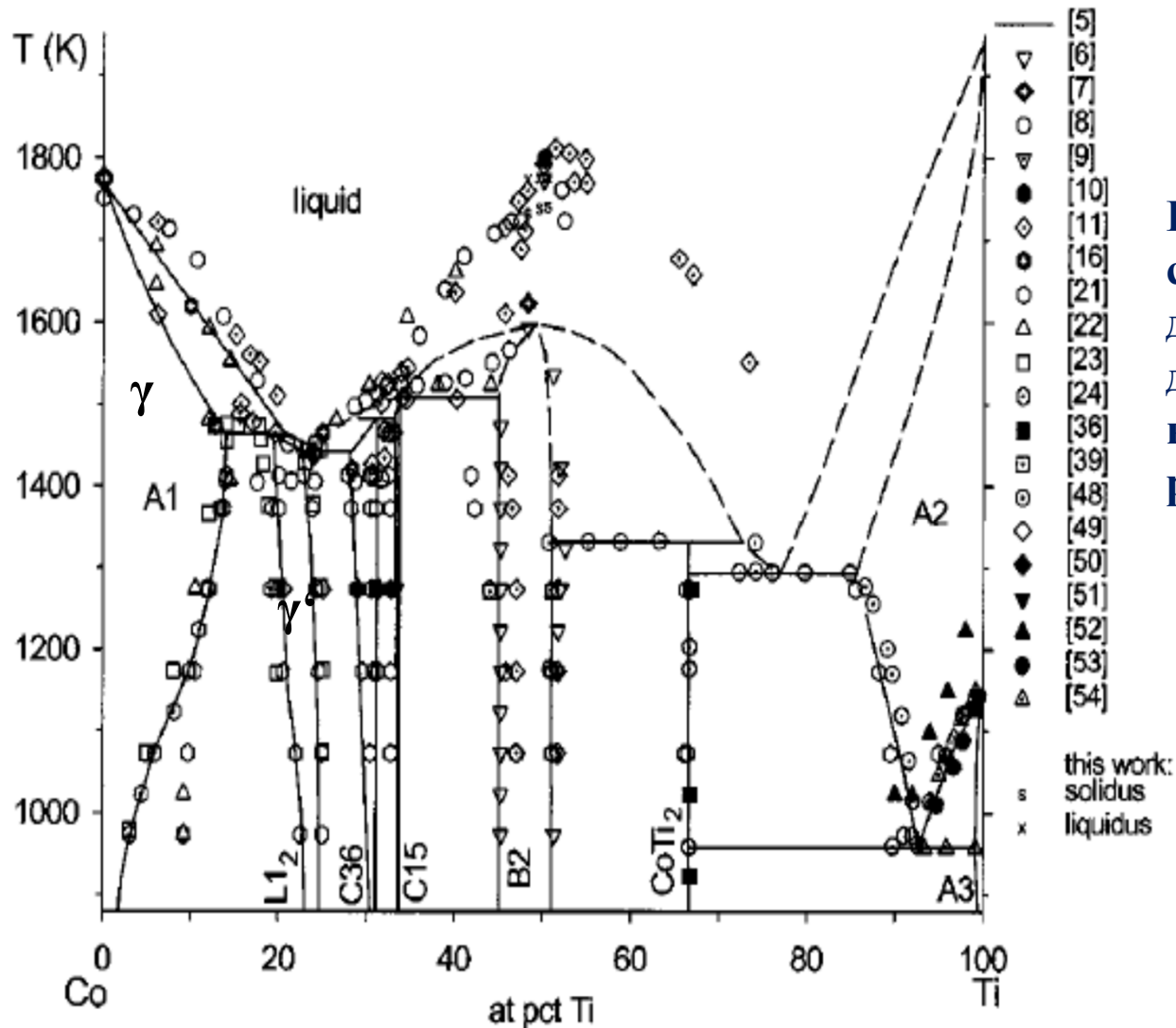
Об'ємні аморфні багатоконпонентні сплави (ОАС):

CoCuTiZrHf ($\text{Co}_{20}\text{Cu}_{20}\text{Hf}_{20}\text{Ti}_{20}\text{Zr}_{20}$),

NiNbTiZrCoCu ($\text{Ni}_{53}\text{Nb}_{20}\text{Ti}_{10}\text{Zr}_8\text{Co}_6\text{Cu}_3$);



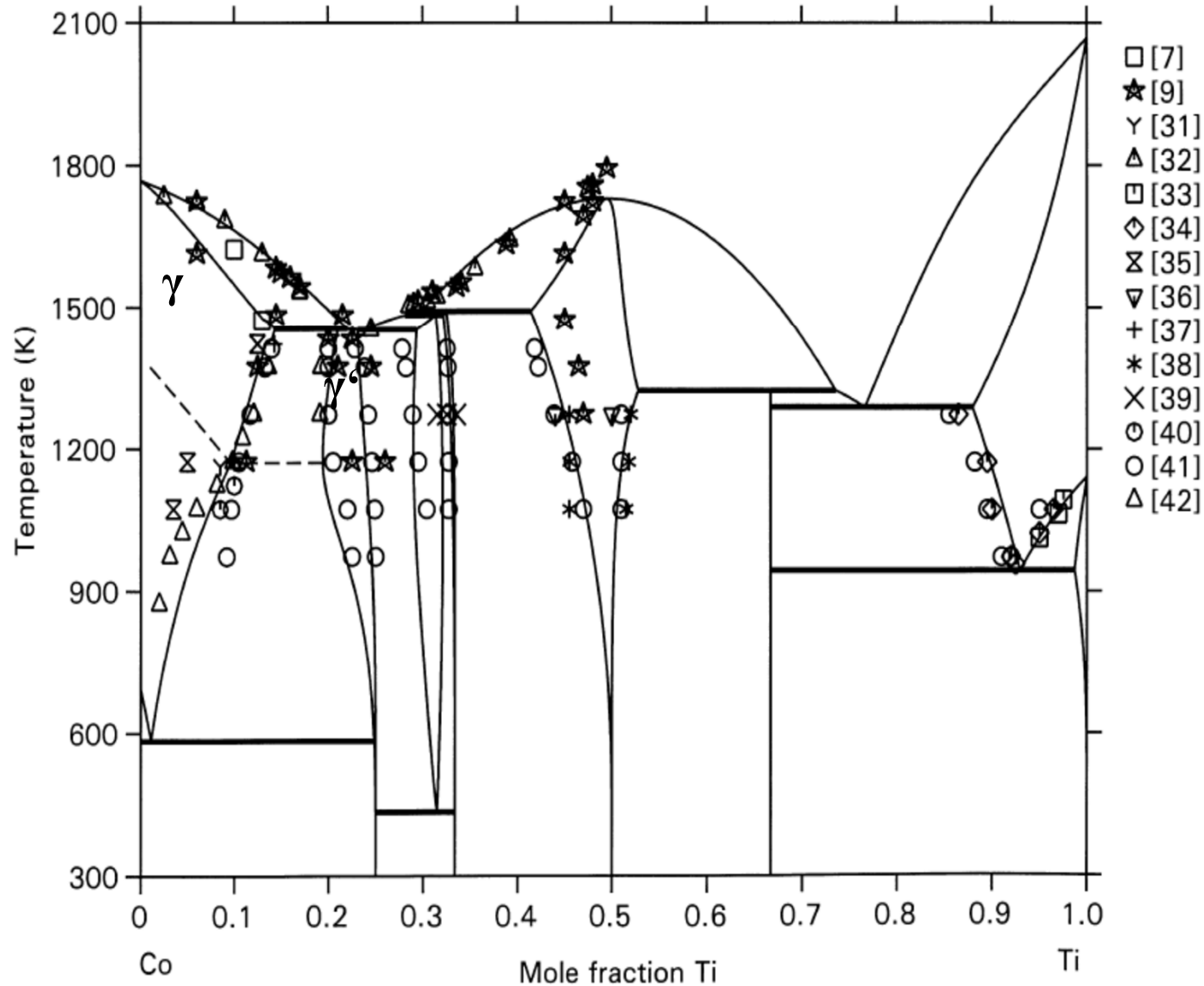
Діаграма стану системи Co–Ti [1982 Murray J.]



В [1982 Murray J.] діаграма стану системи компільована на основі даних експериментальних робіт з дослідження фазових рівноваг, виконаних в період з 1937 по 1981 роки.

На теперішній час не актуальна

Діаграма стану системи Co–Ti [2000 Сассіатані G.]



Розрахована в рамках
CALPHAD-методу

Враховує структурні
особливості γ і γ' фаз

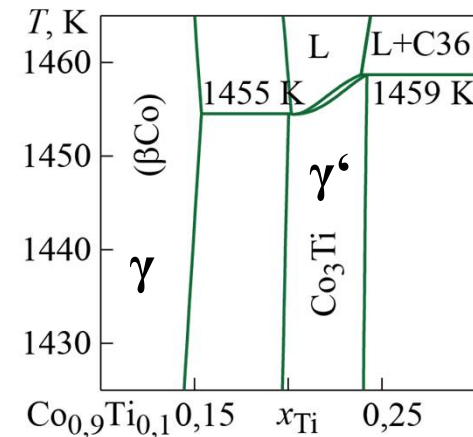
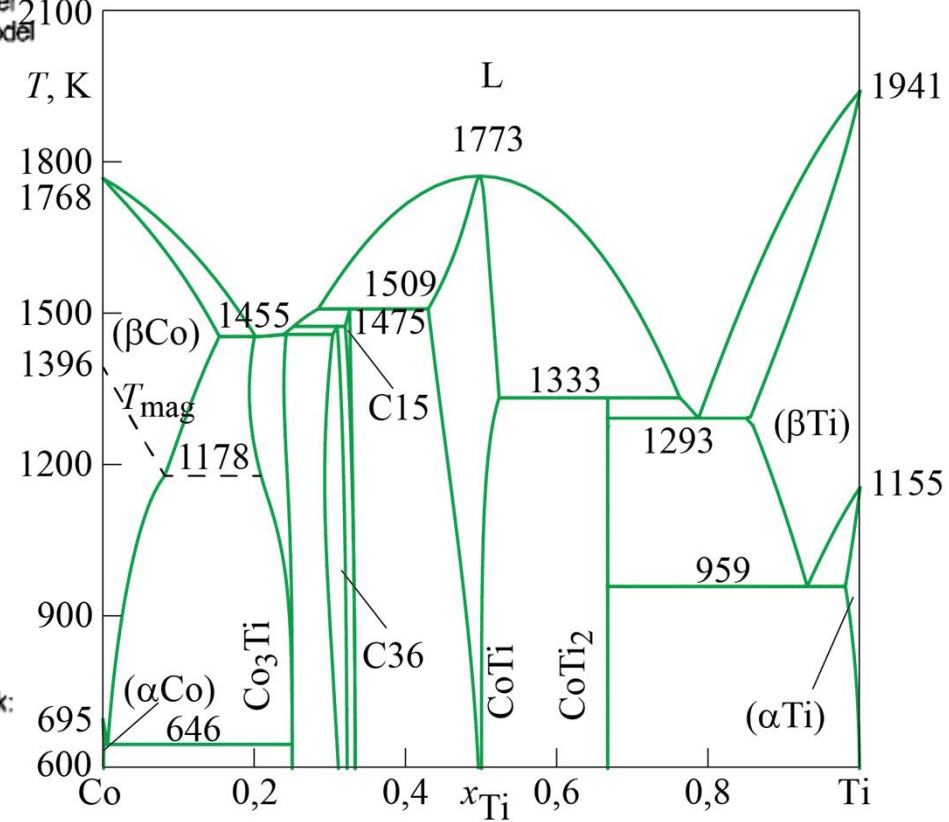
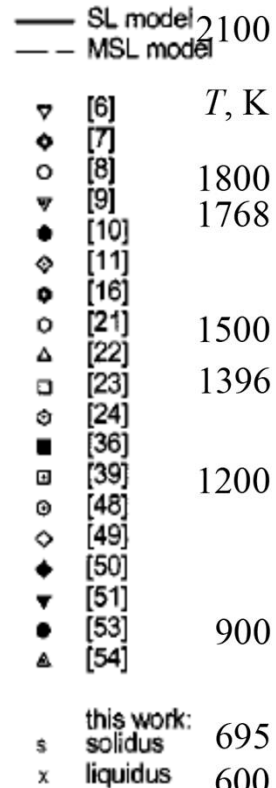
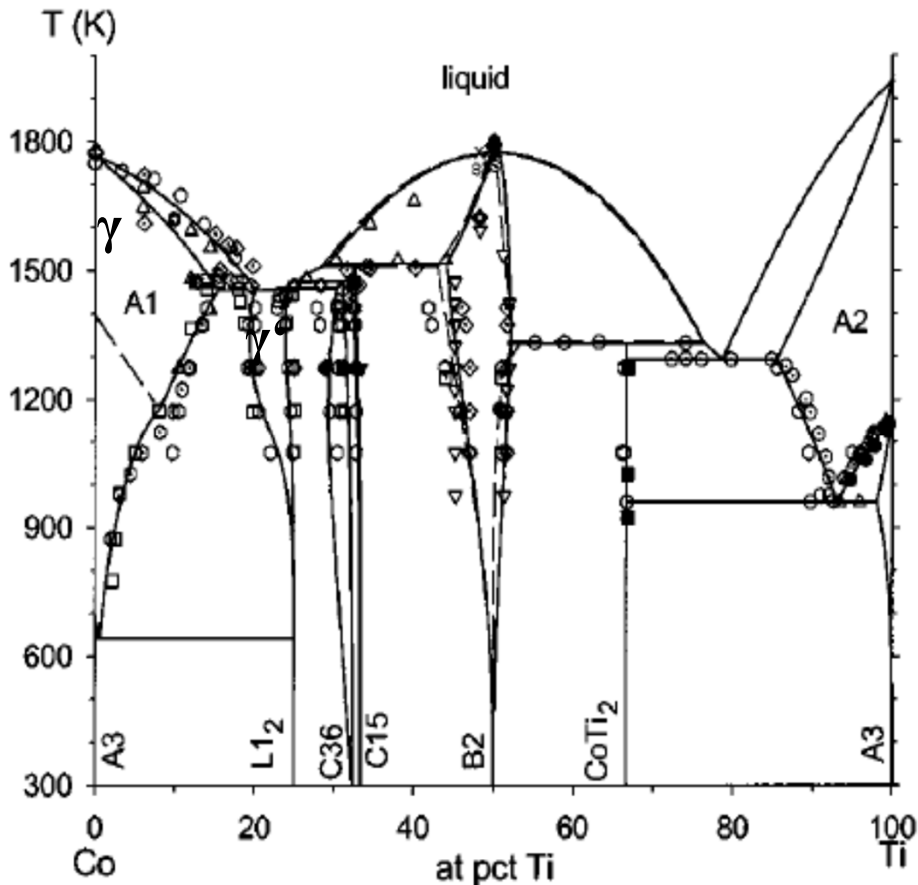
Відтворює перетиктичне
утворення γ' фази

Закладає сучасний підхід
до термодинамічного
моделювання фазових
рівноваг в даній системі

Базується на даних,
одержаних до 2000 р.

Проблеми з температурою
плавлення CoTi

Діаграма стану системи Co–Ti [2001 Davydov A.]



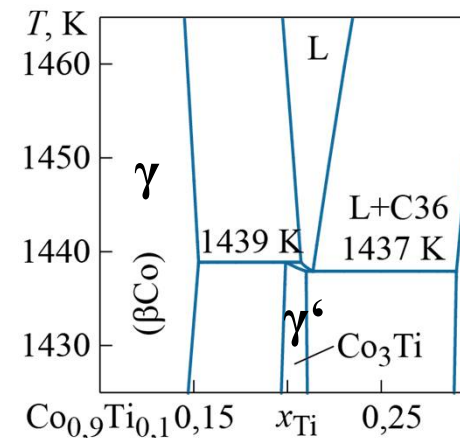
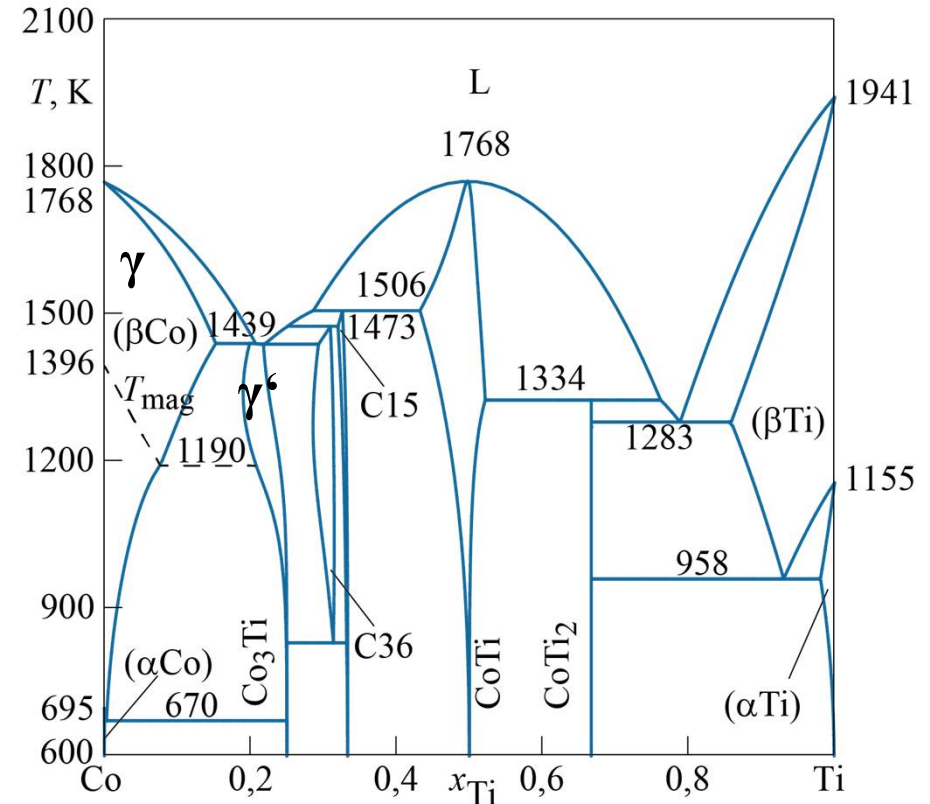
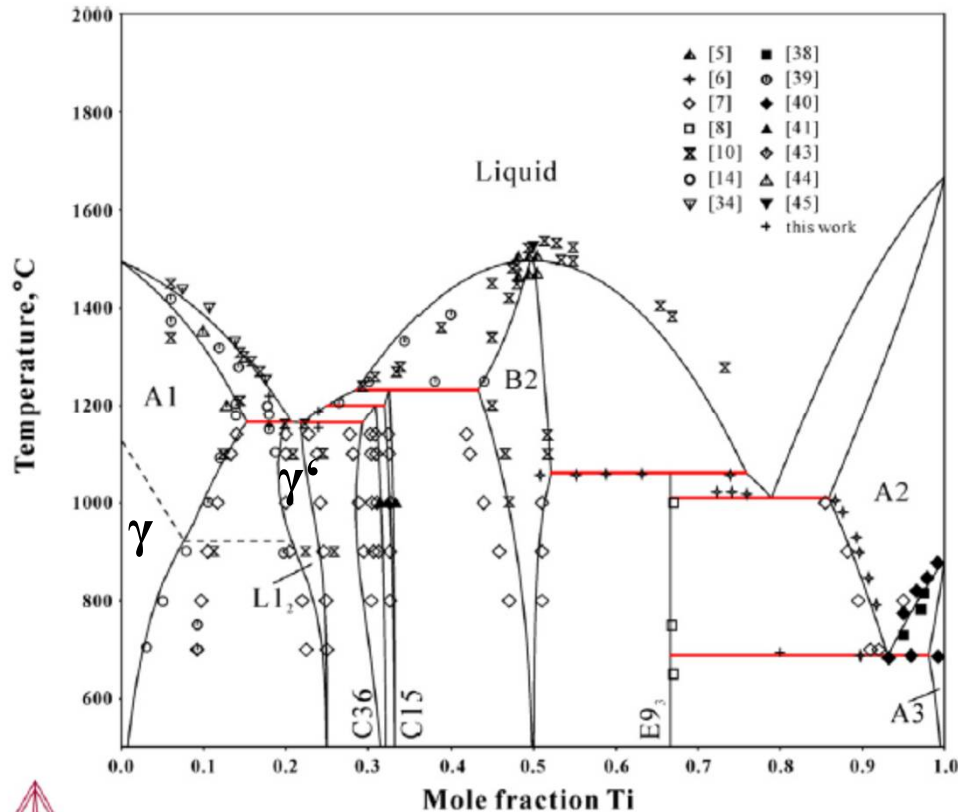
Розрахована в рамках CALPHAD-методу

Врахує структурні особливості γ і γ' фаз

Відтворює температуру плавлення CoTi

Проблеми з перетиктичним утворенням γ' фази

Діаграма стану системи Co–Ti [2020 Wu L.]



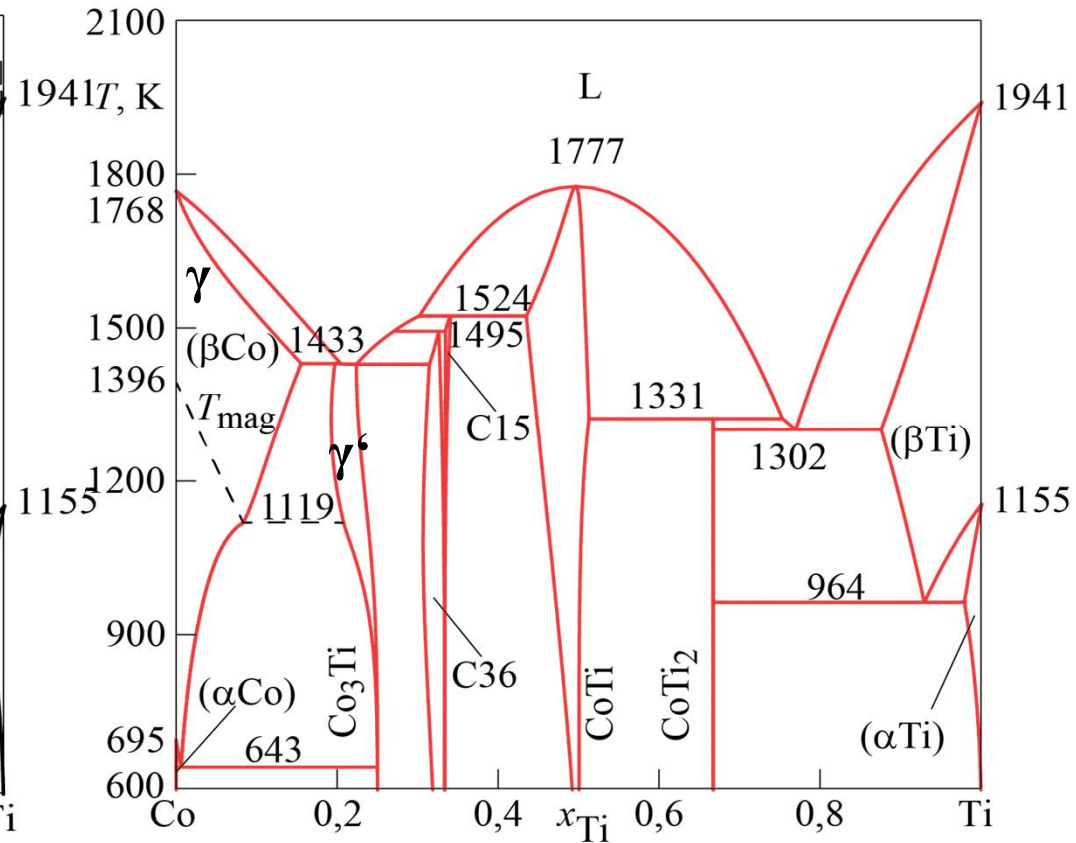
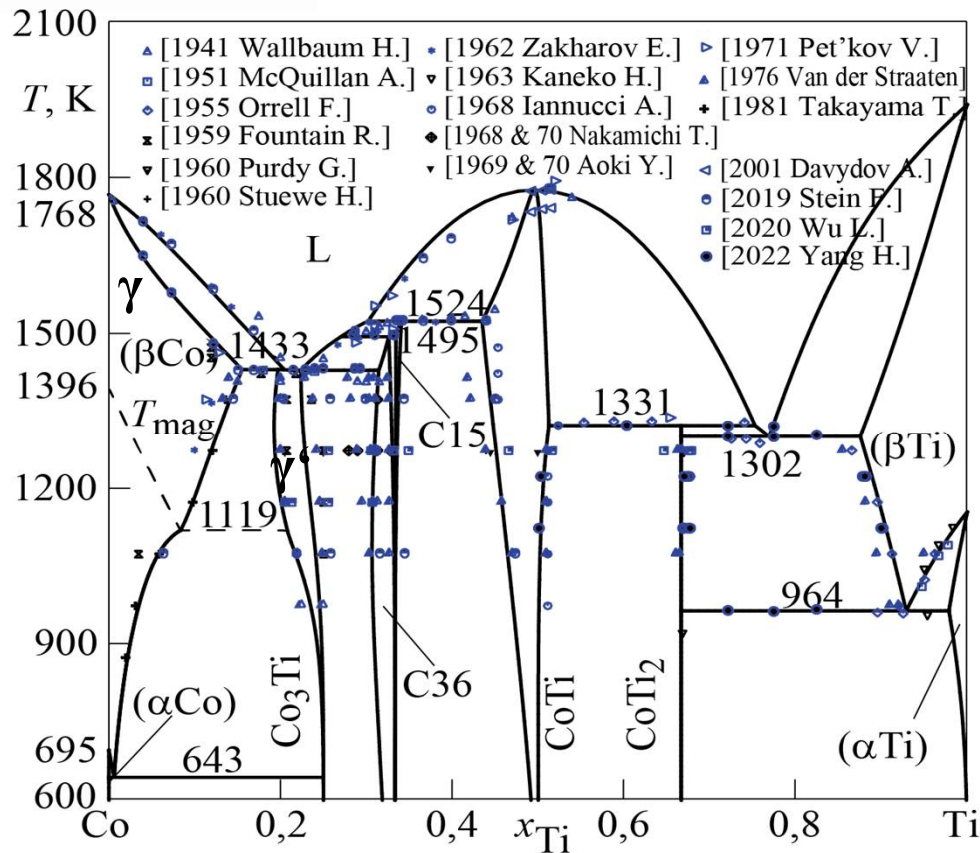
Розрахована в рамках CALPHAD-методу

Враховує структурні особливості γ і γ' фаз

Відтворює перетиктичне утворення γ' фази

Примітивна модель для рідини?

Діаграма стану системи Co–Ti [2022 Yang H.]

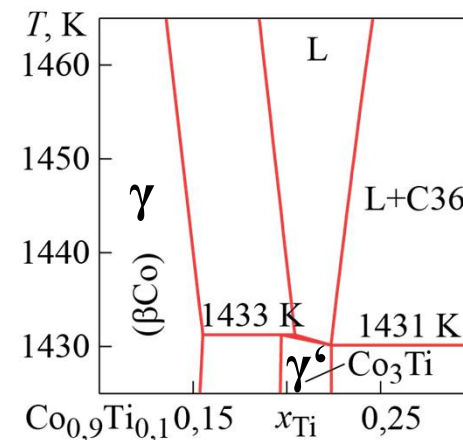


Розрахована в рамках CALPHAD-методу

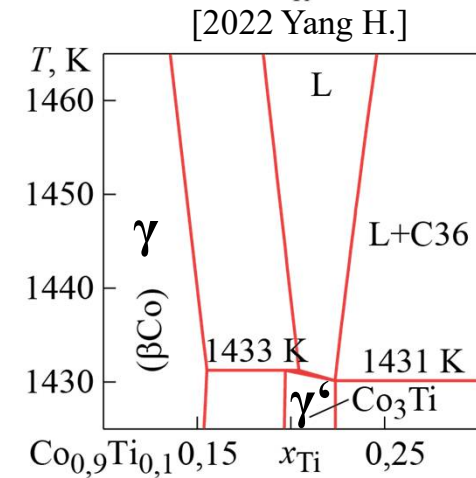
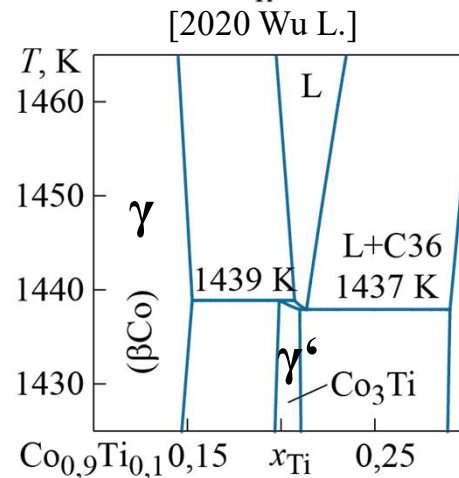
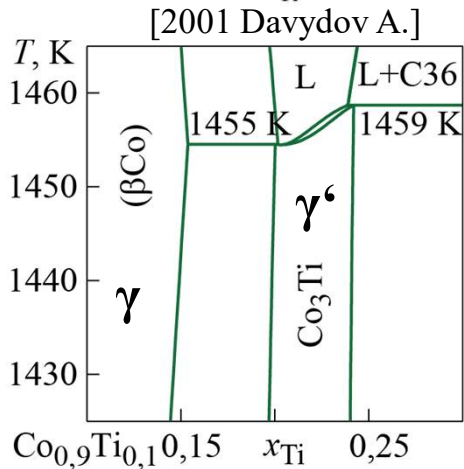
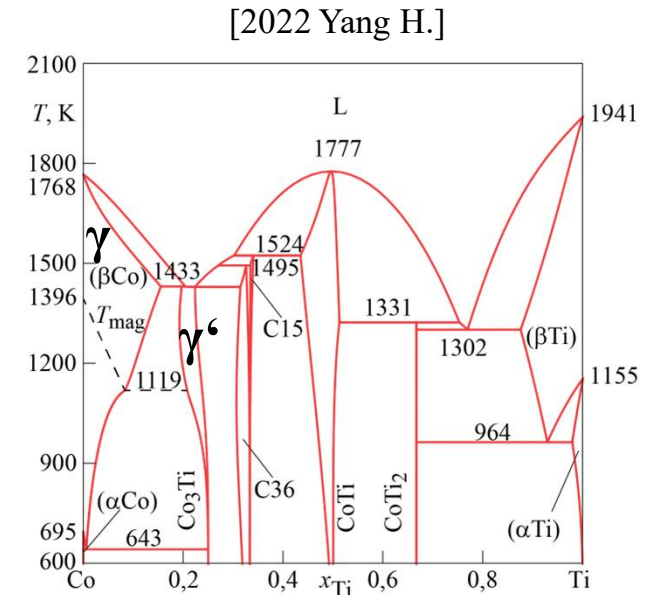
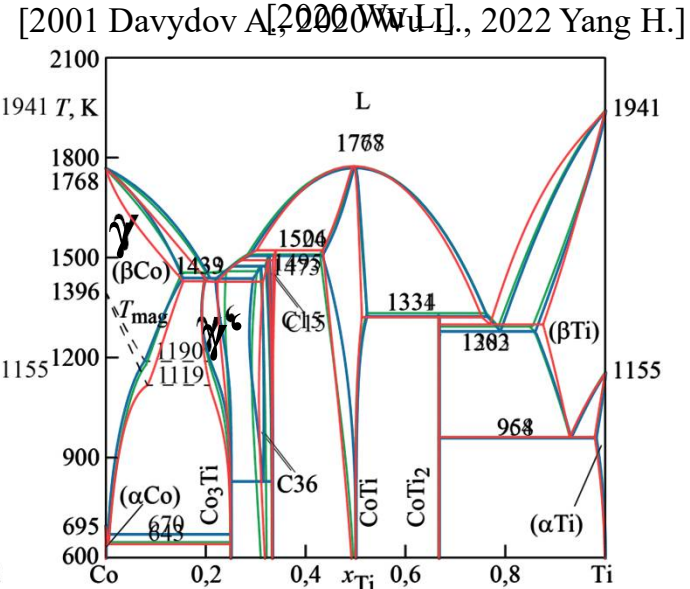
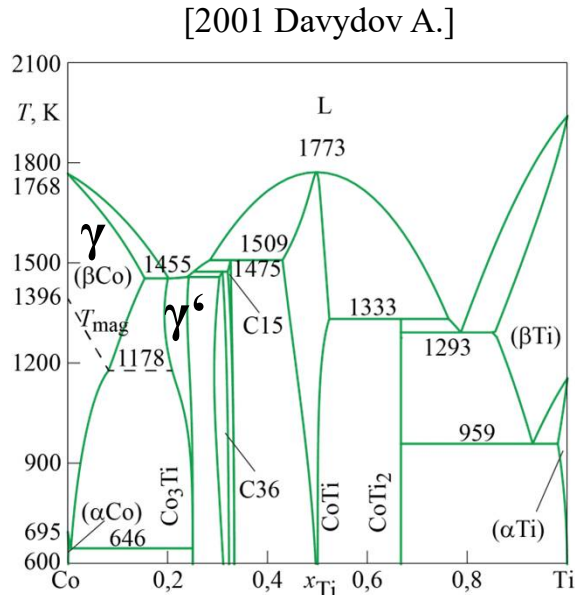
Врахує структурні особливості γ і γ' фаз

Відтворює перетиктичне утворення γ' фази

Примітивна модель для рідини?

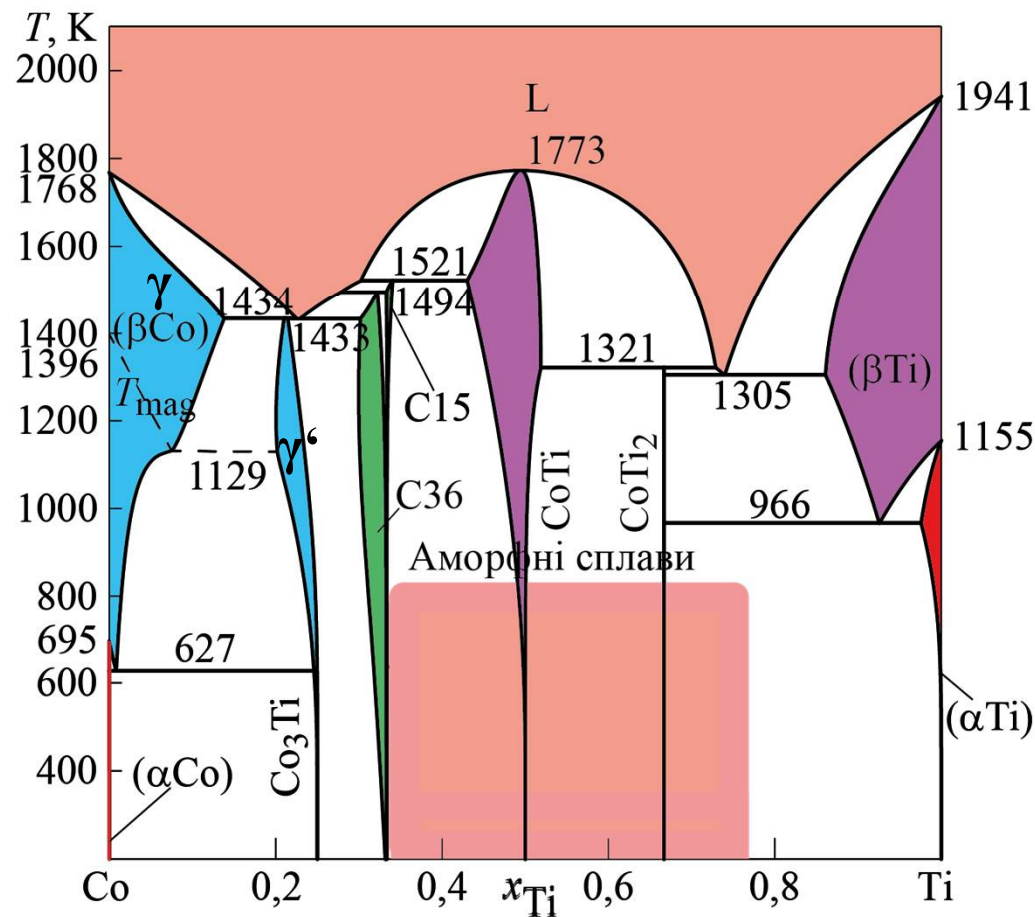


Діаграми стану системи Co–Ti за результатами термодинамічних описів



- Результати [2001 Davydov A.] вказують на пов'язані перетворення
 $L + (\beta\text{Co}) \rightleftharpoons \text{Co}_3\text{Ti}$, $L \rightleftharpoons \text{Co}_3\text{Ti}$ та $L + \text{C36} \rightleftharpoons \text{Co}_3\text{Ti}$
- Результати [2020 Wu L.] і [2022 Yang H.] вказують на пов'язані перетворення
 $L + (\beta\text{Co}) \rightleftharpoons \text{Co}_3\text{Ti}$ та $L \rightleftharpoons \text{Co}_3\text{Ti} + \text{C36}$

Фазові області системи Co–Ti



- L – рідкі сплави, аморфні сплави;
- γ – ГЦК розчин на основі (β Co);
- γ' – ІМС Co_3Ti , ГЦК впорядкована фаза;
- C36 – ІМС Co_2Ti , гексагональна фаза Лавеса;
- C15 – ІМС Co_3Ti , кубічна фаза Лавеса;
- C15 – ІМС Co_2Ti , кубічна фаза Лавеса;
- $CoTi$ – інтерметалічна сполука;
- $CoTi_2$ – ОЦК впорядкована фаза;
- $CoTi_2$ – інтерметалічна сполука;
- (βTi) – ОЦК розчин на основі (βTi);
- (αCo) – ГЦУ розчин на основі (αCo);
- (αTi) – ГЦУ розчин на основі (αTi);



Мета і задачі даної роботи

Мета роботи: розробити новий термодинамічний опис системи Co–Ti, який би врахував особливості складної температурно-концентраційної залежності надлишкових термодинамічних функцій змішування аморфоутворюючих розплавів даної системи.

Задачі роботи:

1. Провести аналіз даних щодо фазових рівноваг та термодинамічних властивостей фаз системи Co–Ti.
2. Визначити набір параметрів термодинамічних моделей фаз системи, що мають врахувати складну температурно-концентраційну залежність термодинамічних функцій змішування аморфоутворюючих розплавів, наявність впорядкованих фаз Co_3Ti та CoTi , магнітне перетворення в ГЦК фазі.
3. Розрахувати діаграми стабільних та метастабільних фазових перетворень системи.



Параметри моделей термодинамічних властивостей фаз системи Co–Ti

L – рідкі сплави, описані за допомогою моделі асоційованого розчину (асоціати Co_2Ti , CoTi , CoTi_2)

$$\Delta_{\text{assoc}}H_{\text{Co}_2\text{Ti}} = -123,9 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta_{\text{assoc}}S_{\text{Co}_2\text{Ti}} = -46,6 \text{ Дж/(моль К)};$$

$$\Delta_{\text{assoc}}H_{\text{CoTi}} = -115,2 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta_{\text{assoc}}S_{\text{CoTi}} = -51,6 \text{ Дж/(моль К)};$$

$$\Delta_{\text{assoc}}H_{\text{CoTi}_2} = -123,2 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta_{\text{assoc}}S_{\text{CoTi}_2} = -50,5 \text{ Дж/(моль К)};$$

(βCo) – ГЦК розчин, описано моделлю Редліха-Кістера з підґратковою формулою (Co, Ti)

$${}^0L_{(\text{Co}, \text{Ti})} = -127644 + 55,967T; {}^1L_{(\text{Co}, \text{Ti})} = -33083;$$

$${}^2L_{(\text{Co}, \text{Ti})} = 29671; {}^0T_{\text{cr}(\text{Co}, \text{Ti})} = -2360$$

(βTi) – ОЦК розчин, описано моделлю Редліха-Кістера з підґратковою формулою (Co, Ti, Va)

$${}^0L_{(\text{Co}, \text{Ti})} = -106924 + 43,3T;$$

$${}^0L_{(\text{Co}, \text{Va})} = 135000 - 30T; {}^0L_{(\text{Ti}, \text{Va})} = 150000 - 30T;$$

$${}^0T_{\text{cr}(\text{Co}, \text{Ti})} = -2100$$

(αCo), (αTi) – ГЦУ розчин, описано моделлю Редліха-Кістера з підґратковою формулою (Co, Ti)

$${}^0L_{(\text{Co}, \text{Ti})} = -58925 + 12,672T;$$

$${}^0T_{\text{cr}(\text{Co}, \text{Ti})} = -2100$$

Co₃Ti – ГЦК впорядкована фаза, описана моделлю з підґратковою формулою (Co, Ti)_{0,75}: (Co, Ti)_{0,25}

$$G_{\text{Co:Co}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = 0; G_{\text{Ti:Ti}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = 0; G_{\text{Co:Ti}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = G_{\text{Ti:Co}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = -30393 + 2,352T;$$

$${}^0L_{\text{Co,Ti:Co}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = {}^0L_{\text{Co,Ti:Ti}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = -57552 + 4,704T;$$

$${}^1L_{\text{Co,Ti:Co}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = {}^1L_{\text{Co,Ti:Ti}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = 1407 - 1,701T;$$

$${}^0L_{\text{Co:Co,Ti}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = {}^0L_{\text{Ti:Co,Ti}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = 1078; {}^1L_{\text{Co:Co,Ti}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = {}^1L_{\text{Ti:Co,Ti}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = 469 - 0,567T;$$

$$T_{\text{crCo:Ti}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = T_{\text{crTi:Co}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = -4136; {}^0T_{\text{crCo,Ti:Co}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = {}^0T_{\text{crCo,Ti:Ti}}^{\text{Co}_3\text{Ti}} = -8272$$

Фаза Лавеса C36, описана моделлю з підґратковою формулою (Co, Ti)₂: (Co, Ti)₁

$$\Delta_f G_{\text{Co:Ti}} = -118175 + 36,711 T;$$

$${}^0L_{\text{Co}_2:(\text{Co}, \text{Ti})_1} = -36887 + 27,93 T; {}^1L_{\text{Co}_2:(\text{Co}, \text{Ti})_1} = 7083 + 6,067 T$$

Фаза Лавеса C15, описана моделлю з підґратковою формулою (Co, Ti)₂: (Co, Ti)₁

$$\Delta_f G_{\text{Co:Ti}} = -118175 + 36,692 T;$$

$${}^0L_{\text{Co}_2:(\text{Co}, \text{Ti})_1} = -26611 + 27,93 T; {}^0L_{(\text{Co}, \text{Ti})_2: \text{Ti}_1} = -49616$$

CoTi – ОЦК впорядкована фаза, описана моделлю з підґратковою формулою (Co, Ti, Va)_{0,5}: (Co, Ti, Va)_{0,5}

$$G_{\text{Co:Co}}^{\text{CoTi}} = G_{\text{Ti:Ti}}^{\text{CoTi}} = 0; G_{\text{Co:Ti}}^{\text{CoTi}} = G_{\text{Ti:Co}}^{\text{CoTi}} = -25000 + 3,3T;$$

$$G_{\text{Co:Va}}^{\text{CoTi}} = G_{\text{Va:Co}}^{\text{CoTi}} = 67500 - 15T; G_{\text{Ti:Va}}^{\text{CoTi}} = G_{\text{Va:Ti}}^{\text{CoTi}} = 75000 - 15T;$$

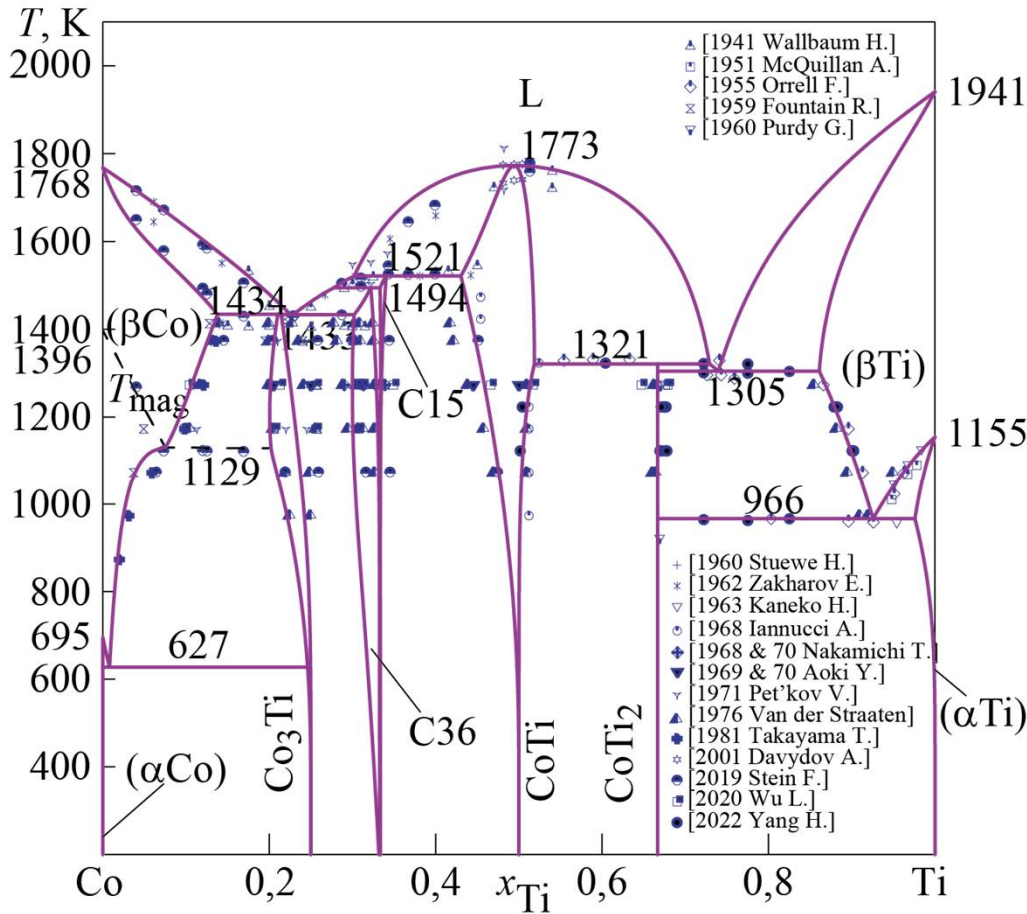
$${}^0L_{\text{Co,Ti:Ti}}^{\text{CoTi}} = {}^0L_{\text{Ti:Co,Ti}}^{\text{CoTi}} = 48751 + 15,413T; {}^0L_{\text{Co,Ti:Co}}^{\text{CoTi}} = {}^0L_{\text{Co:Co,Ti}}^{\text{CoTi}} = 0;$$

$${}^1L_{\text{Co,Ti:Co}}^{\text{CoTi}} = {}^1L_{\text{Co:Co,Ti}}^{\text{CoTi}} = -2593; {}^1L_{\text{Co,Ti:Ti}}^{\text{CoTi}} = {}^1L_{\text{Ti:Co,Ti}}^{\text{CoTi}} = 4456$$

CoTi₂ – інтерметалічна сполука, описана моделлю з підґратковою формулою (Co)₁: (Ti)₂

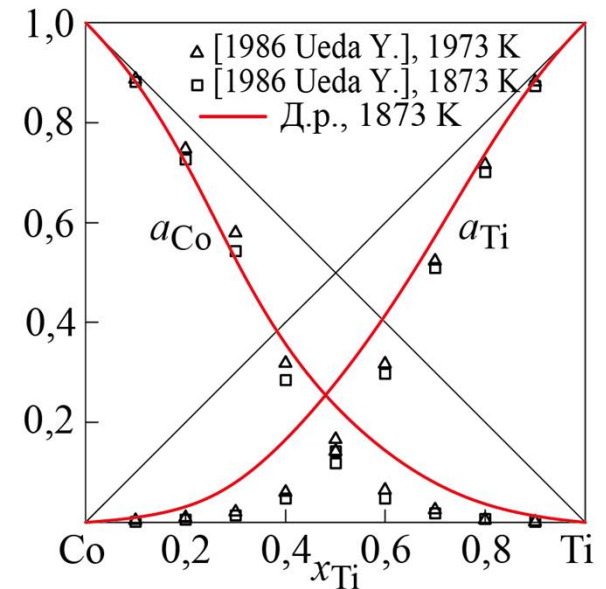
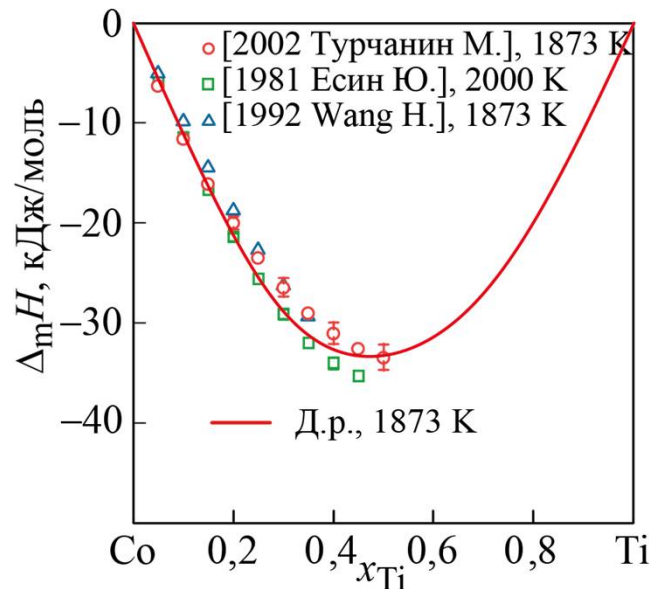
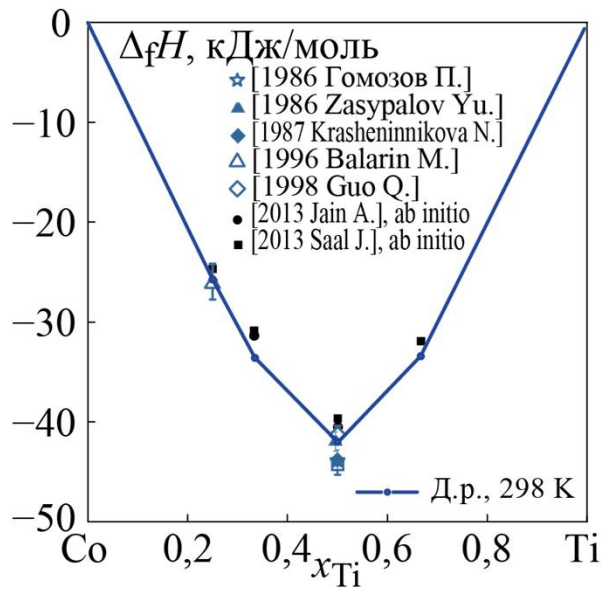
$$\Delta_f G_{\text{Co:Ti}} = -108756 + 35,1 T$$

Діаграма стану системи Co–Ti



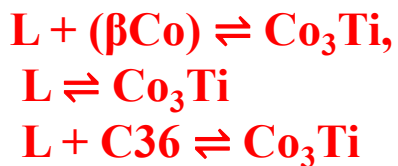
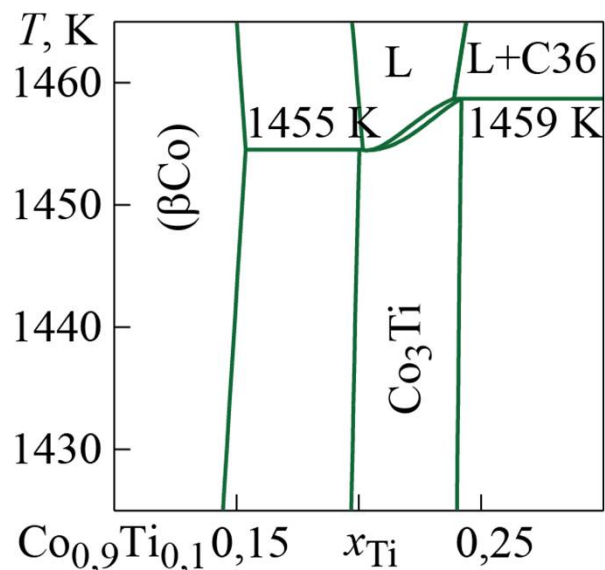
Координати рівноважних нонваріантних фазових перетворень в системі Co–Ti

Нонваріантні рівноваги	T, K	$x_{Ti}^{\phi_1}$	$x_{Ti}^{\phi_2}$	$x_{Ti}^{\phi_3}$
$(\beta Co) \rightleftharpoons (\alpha Co) + Co_3Ti$	627	0,008	$6 \cdot 10^{-6}$	0,246
$L + (\beta Co) \rightleftharpoons Co_3Ti$	1434	0,225	0,138	0,210
$L \rightleftharpoons Co_3Ti + C36$	1433	0,228	0,214	0,302
$L + C15 \rightleftharpoons C36$	1494	0,277	0,333	0,322
$L + CoTi \rightleftharpoons C15$	1521	0,302	0,431	0,340
$L \rightleftharpoons CoTi$	1773	0,494	0,494	–
$L + CoTi \rightleftharpoons CoTi_2$	1321	0,729	0,519	0,667
$L \rightleftharpoons CoTi_2 + (\beta Ti)$	1305	0,740	0,667	0,875
$(\beta Ti) \rightleftharpoons CoTi_2 + (\alpha Ti)$	966	0,926	0,667	0,976

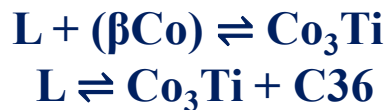
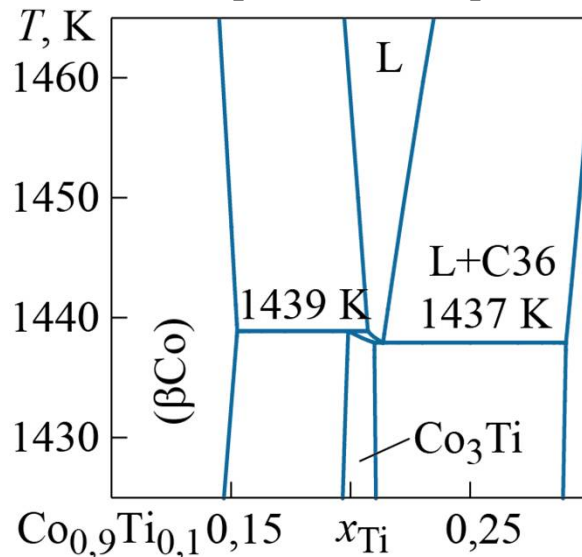


- Розраховані значення ентальпій утворення $\Delta_f H$ інтерметалічних сполук задовільно узгоджуються з експериментально визначеними величинами для сполук Co_3Ti , Co_{36} та $CoTi$.
- Результати розрахунків добре описують експериментальні дані [1992 Wang H., 2002 Турчанин М.] про ентальпію змішування рідких сплавів системи Co–Ti.
- Розраховані значення термодинамічних активностей кобальту та титану в рідких сплавах задовільно узгоджуються з даними [1986 Ueda Y.].

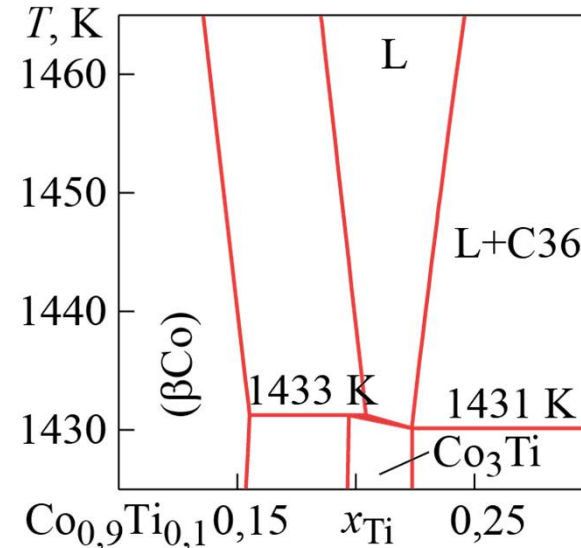
[2001 Davydov A.]



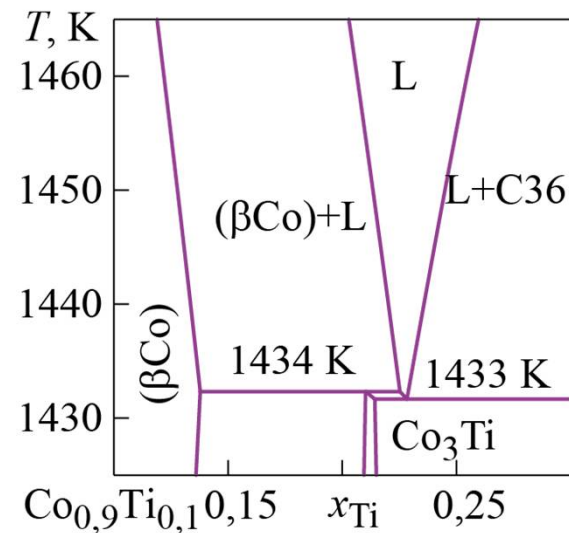
[2020 Wu L.]



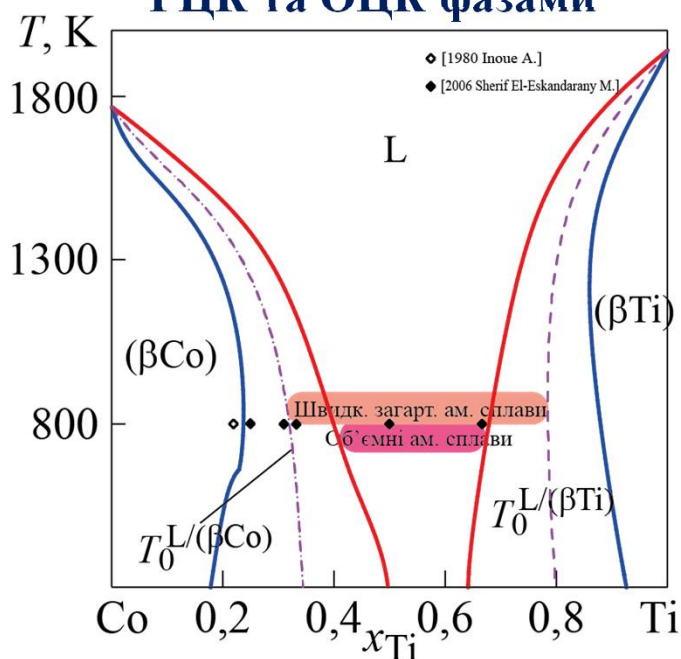
[2022 Yang H.]



[Дана робота]

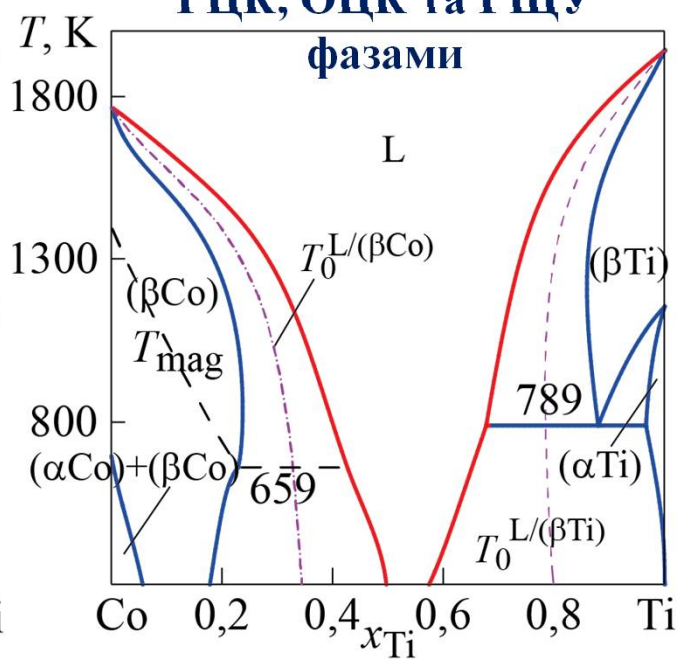


між рідкими сплавами,
ГЦК та ОЦК фазами



Швидкозагартовані аморфні сплави можна отримати в інтервалі складів $x_{Ti} = 0,32-0,79$; об'ємні аморфні сплави — $x_{Ti} = 0,40-0,68$.

між рідкими сплавами,
ГЦК, ОЦК та ГЦУ фазами

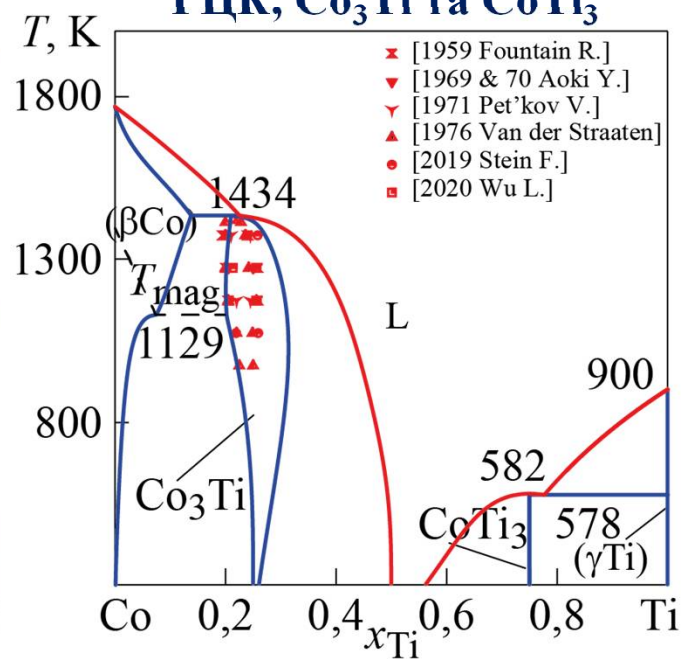


Гранична розчинність титану в γ фазі (βCo) досягає $x_{Ti} = 0,237$ при 826 К, T_{mag} знижується до 659 К.

Гранична розчинність кобальту в (βTi) досягає $x_{Co} = 0,14$ при 1215 К.

Гранична розчинність кобальту в (αTi) досягає $x_{Co} = 0,04$.

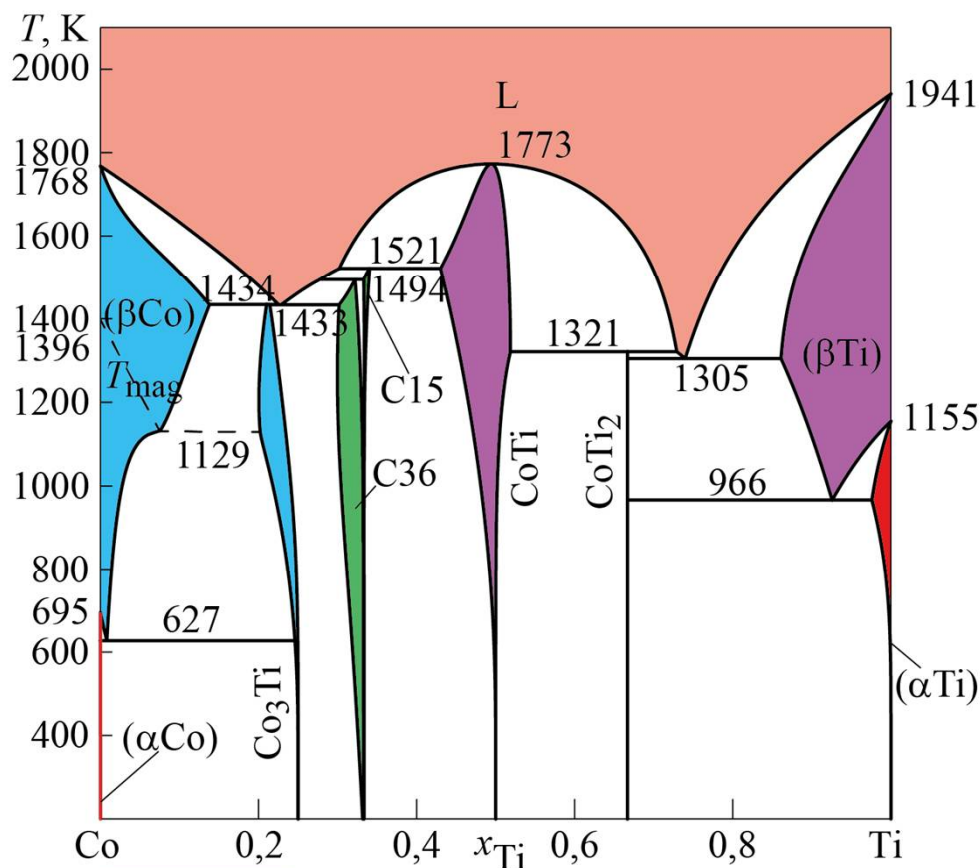
між рідкими сплавами,
ГЦК, Co_3Ti та $CoTi_3$



Ширина області гомогенності Co_3Ti (γ' фаза) досягає $x_{Ti} = 0,20-0,31$ при 1123 К.

Метастабільна фаза $CoTi_3$ не може утворюватися з розплаву

Рівноважна діаграма стану системи Co–Ti і прогнозовані концентраційні границі утворення нерівноважних твердих фаз



L – рідкі сплави, аморфні сплави;
 γ – ГЦК розчин на основі (β Co);
 γ' – ІМС Co_3Ti , ГЦК впорядкована фаза;
 C36 – ІМС Co_2Ti , гексагональна фаза Лавеса;
 C15 – ІМС Co_2Ti , кубічна фаза Лавеса;
 CoTi – інтерметалічна сполука;
 CoTi₂ – інтерметалічна сполука;
 βTi – ОЦК розчин на основі (βTi);
 αCo – ГЦУ розчин на основі (αCo);
 αTi – ГЦУ розчин на основі (αTi);



1. Новий термодинамічний опис системи кобальт–титан з успіхом описує набір відомих експериментальних даних про термодинамічні властивості фаз і фазові перетворення.
2. Особливістю даного термодинамічного опису системи Co–Ti є використання моделі асоційованого розчину для опису температурно-концентраційної залежності термодинамічних властивостей рідких сплавів.
3. Розроблений термодинамічний опис відтворює важливі фазові перетворення, пов'язані з можливістю одержання в системі жароміцних ливарних сплавів з каркасним зміцненням структури і аморфних сплавів в ході швидкого охолодження розплавів.
4. Структура нового термодинамічного опису системи кобальт–титан вперше дозволяє його одночасне включення в бази даних з жароміцних сплавів і аморфних сплавів для розробки багатокomпонентних промислових матеріалів.