

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Војна академија Универзитета у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Машински материјали

Број индекса: 527/2013

Тијана С. Добривојевић

ЗНАЧАЈ И УЛОГА ХРОМА У ЛЕГУРАМА

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Нада Ратковић – ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог рада кандидат треба да:

- опише хром као хемијски елемент;
- истакне значај и примену хрома у производњи легура различитих метала;
- прикаже утицај хрома као незамењивог легирајућег елемента на својства легура, нарочито нерђајућих челика;
- опише хромирање као значајан технолошки поступак површинске, вишеструке заштитне улоге металних површина.

Оквирни садржај рада:

1. Увод
2. Хром кроз историју
3. Својства хрома
4. Добијање хрома
5. Хром као легирајући елемент
6. Механички третман хрома
7. Примена хрома
8. Закључак
9. Литература

Препоручена литература:

- [1]. М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић, Н. Ратковић: Машински материјали, универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, 2003.
- [2]. В. Вујичић, Корозија и примена заштите метала, Београд, 2002.
- [3]. Besar Riyadi, Sarjito, Masyrukan, and Ricky Ary Riswan, Mechanical properties of Cr-Cu coatings produced by electroplating, (2017).

У Крагујевцу, септембар 2019.

Ментор:

Проф. др Нада Ратковић

Резиме

У овом раду се може боље упознати хемијски елемент хром, где и када је откривен, како се овај битан метал добија као и његова физичка и механичка својства. Описана су једињења хрома, његова својства. У раду су детаљније објашњења једињења хрома и његова употреба.

Кључне речи: хром, нерђајући челик.

Abstract

This paper will provide a better insight into the chemical element chromium, when and where it was discovered, how this important metal is obtained as well as its physical and mechanical characteristics. You can find detailed descriptions of its consolidations, its features and its usage.

Key words; chromium, stainless steel.

САДРЖАЈ

1. Увод.....	3
2. Хром кроз историју	4
3. Својства хрома	5
3.1. Физичка и хемијска својства хрома	5
3.2. Својства важних једињења хрома	8
3.2.1. Хром (III)	8
3.2.2. Хром (VI)	9
3.2.3. Друга оксидациона стања	10
3.3. Биолошка улога	11
3.3.1. Ваздух	11
3.3.2. Вода	12
3.3.3. Гло и биљке	13
3.3.4. Људска ткива и секретри	13
3.4. Улога хрома у корозији	14
3.4.1 Хроматне превлаке.....	15
3.4.2 Декоративне превлаке.....	15
3.4.3 Индустијске хромне превлаке.....	16
3.4.4 Дејство превлаке хрома на механичка својства	16
4. Добијање хрома	17
4.1. Налазиште хрома	17
4.2. Добијање хемијски чистог хрома	18
5. Хром као легирајући елемент	20
5.1. Аустенитни нерђајући челик.....	21
5.2. Нерђајући челик специјалне намене	22
5.3. Хромел.....	22
5.4. Хромни хидриди.....	23
5.5. Со-Сг легура	24
5.6. Ферохром (FeC)	27
5.7. Инконел.....	29
5.8. Виталијум	30

5.9. Нерђајући челик	31
5.9.1. Механичка својства нерђајућих челика.....	33
6. Механички третман хрома	36
6.1. Заваривање	36
6.2. Ковање.....	37
6.3. Истискивање	37
6.4. Резање.....	37
7. Примена хрома.....	38
7.1. Хромирање челика и његова примена	38
7.2. Пигмент.....	42
7.3. Хром у медицини.....	43
7.4. Друге употребе.....	44
8. Закључак	46
Литература:	47

1. Увод

Једна од најосновнијих подела метала је по месту на коме се налазе у периодном систему и ту се деле на:

- алкалне метале као што су: литијум, натријум, калијум;
- земљане алкалне метале као што су: берилијум, калцијум, магнезијум;
- слабе метале као што су: алуминијум, калај, антимон;
- прелазне метале као што су: злато, бакар, никл, платина, хром;
- актиноиде и лантаноиде као што су: уранијум, радијум, плутонијум и остали.

Према температури топљења деле се на: тешко топљиве (Cu, Ni, Fe, W, V, Mo) и лако топљиве (Sn, Pb, Cd, Al, Mg, Zn).

Према специфичној тежини деле се на лаке (густина им је мања од $5g/cm^3$) и тешке (густина им је већа од $5g/cm^3$). Најлакши метал је литијум ($\rho = 0,53g/cm^3$) он плива по води, најтежи метал је осмијум ($\rho = 22,6g/cm^3$).

Већина метала су тврде, сјајне, чврсте супстанце на собној температури. Многи од њих су растегљиви, што значи да се могу извлачити у дуге цеви или жице. Многи су, такође и ковни, што значи да се могу исковати у танке листове. Бакар, злато и олово су међу најковнијим металима. Злато је најковније од свих метала и може се истањити у листиће који су дебели само два микрона (два милионита дела метра).

Метали се, углавном, лако обликују када су загрејани. Већина метала загревањем на веома високим температурама прелази у течност. Отопљен или течан метал се може сипати у калупе или модле. Када се метал охлади он очвршћава у облику калупа. Метали се могу обликовати у различите облике укључујући и цеви. Челични носачи се користе као конструкциони елементи. Челик је легура гвожђа, угљеника и других хемијских елемената.

Хром је сјајнобели метал, отпоран на корозију и у присуству ваздуха не тамни. У елементарном стању је мек, лако се обликује и кује. Он је антиферромагнетичан са Ниловом (Louis Néel) температуром од $311K$.

Хром је најмање растворан од свих метала. Иако има негативни стандардни потенцијал на површини хрома ствара се пасивно стање, те се не раствара у азотној киселини, ни у царској води, док се у разблаженој хладној хлороводоничној и сумпорној киселини раствара, а растварање у врућим киселинама престаје. При растварању у хлороводоничној и сумпорној киселини из њих истискује водоник након што се са његове површине раствори заштитни слој.

2. Хром кроз историју

Соли хрома користиле су се још за време цара Qin Shi Huanga у древној Кини да би се побољшао квалитет и постојаност бронзаних мачева. Године 1761. немачки геолог Johann Gottlob Lehmann открио је наранџасто-црвени минерал на Уралу који се састојао из олово-хромата ($PbCrO_4$), а назвао га је црвена оловна руда. Будући да га је идентификовао као једињење олова, гвожђа и селена, хром је остао неоткривен. Peter Simon Pallas приметио је 1770. у истом подручју црвени оловни минерал, који је због његове црвене боје назвао крокоит (грч. $\kappa\rho\acute{o}\kappa\omicron\varsigma$ - шафран). Врло брзо порасла је употреба црвене оловне руде као пигмента. Сјајна жута боја, која се добијала из крокоита, хром-жута, касније је постала боја и симбол поштанске службе у готово целој Европи (поштанска жута).

Године 1797. Louis - Nicolas Vauquelin добио је хром (III) оксид Cr_2O_3 из крокоита и хлороводоничне киселине. Годину касније издвојио је елементарни хром, делимично чист, редукцијом из хром (III) - оксида и дрвеног угља. Овај новоизоловани елемент добио је име хром (изведено из грчког $\chi\rho\acute{o}\mu\alpha$ $chr\acute{o}ma$ - боја), због разноликости боја његових соли у различитим оксидационим стањима. Трагове новог елемента Vauquelin је успео да докаже чак и у драгом камењу, попут рубина и смарагда.

У 19. веку једињења хрома претежно су коришћена као пигменти боја и за минерално штављење. Крајем 20. века хром и једињења хрома се највише користе за прављење легура отпорних на корозију и високу температуру (хромирање и хромов челик).

3. Својства хрома

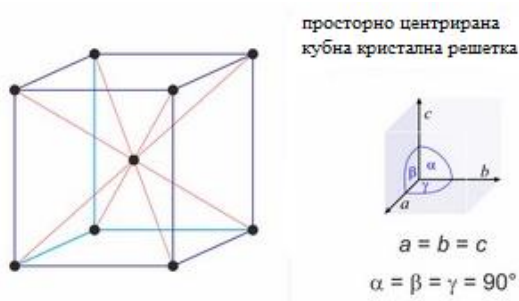
3.1. Физичка и хемијска својства хрома

Хром (слика 3.1) је изузетно тежак и трећи је најтежи елемент иза угљеника и бора. Мосова (Frederich Mohs) тврoћа за хром је 8,5 што значи да може изгребати узорке кварца и топаза али се може огребати корундом. Хром је високоотпоран на светлост што га чини корисним као металом који чува свој најдубљи слој од кородирања за разлику од других метала као што су бакар магнезијум и алуминијум.



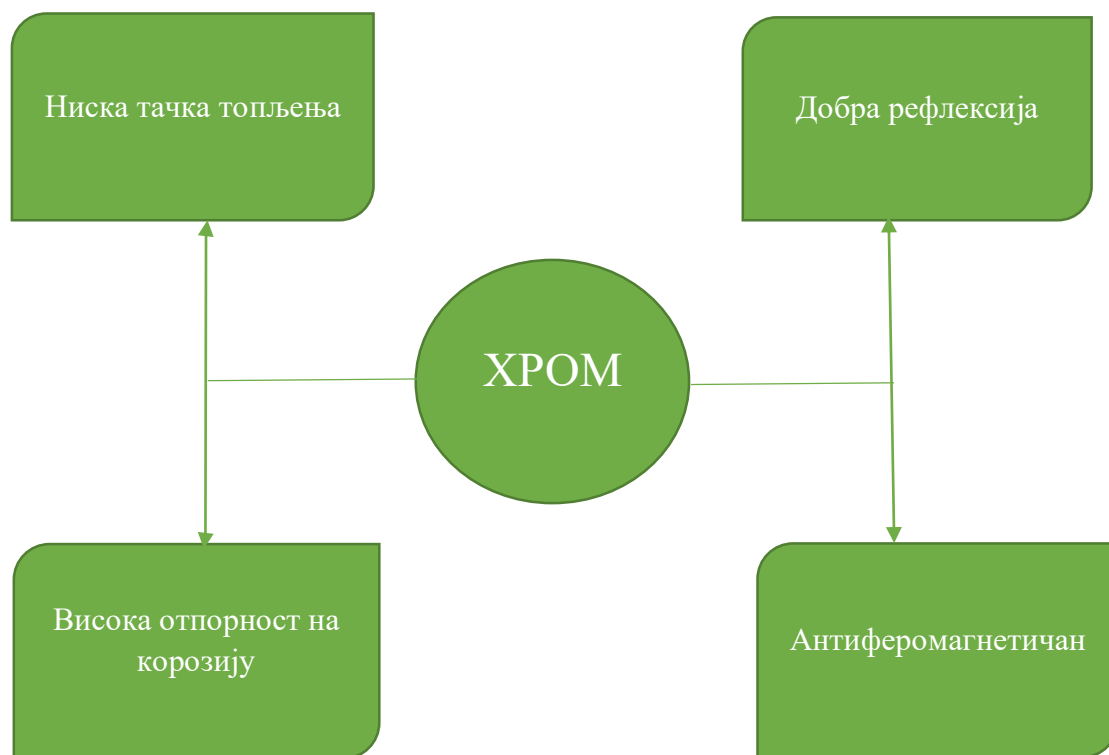
Слика 3.1 Кристал хрома

Хром има просторну центрирану кристалну кубну решетку (слика 3.2). Тачка топљења му је 1907°C (3465°F) што је релативно ниско за разлику од других прелазних метала. Међутим, још увек има другу највишу тачку топљења од свих елемената периода 4, прелазећи ванадијум за три степена цезијусових (5°F) на 1910°C (3470°F). Тачка кључања од 2671°C (4840°F) је релативно мања и трећа је најнижа тачка кључања од прелазних метала из периода 4, одмах иза мангана и цинка (тачка топљења – кључања прелазних метала је обично већа у поређењу са алкалним металима, земноалкалним металима и неметалима).



Слика 3.2 Приказ изгледа просторно центриране кубне кристалне решетке

Хром има необично високу рефлексију у односу на друге прелазне метале. На $425\mu\text{m}$ нађено је да хром има релативно максималну рефлексију око 72% пре уласка у депресију рефлективности достигавши минимум од 62% рефлексије на $75\mu\text{m}$ пре него што се поново подигне до одраза око 90% од $4000\mu\text{m}$ инфрацрвених таласа. Када се хром формира у легуру нерђајућег челика и полира, рефлексија се смањује са укључивањем додатних метала али ипак је висока у поређењу са другим легурама. Између 40% и 60% видљивог спектра се рефлектује од полираног нерђајућег челика. Објашњење зашто хром показује тако високи проценат рефлектованих фотонских таласа уопште, посебно 90% инфрацрвених таласа који се рефлектују може се преписати магнетним својствима хрома. Хром има јединствена магнетска својства у смислу да је хром једини елементарни материјал који показује антиферомагнетно уређење на собној температури и испод. Изнад 38°C магнетни поредак се мења у парамагнетски. Антиферомагнетска својства коју узрокују да се јони хрома привремено јонизују и повежу са самим собом присутни су зато што су магнетна својства кубичног центра кости непропорционалне периодичности решетке. То је због чињенице да магнетни моменти на угловима коцке и у центру коцке нису једнаки али су и даље антипаралелни. Одавде релативна пропустљивост хрома зависна је од фреквенције која проистиче из Максвелових једначина у вези са антиферомагнетизмом хрома и оставља хром са високом инфрацрвеном и видљивом рефлексијом светлости. На слици 3.3 приказане су значајнија својства хрома.



Слика 3.3 Важна својства хрома

Хром је широко распрострањен у земљиној кори. Користи се за хромирање, у легурама челика, у легурама са никлом, бакром, манганом и другим металима, као корозиони инхибитор у текстилној, фотографској и индустрији стакла. Хромирање, металургија хрома и хемијски процеси могу да контаминирају атмосферу хромом, уз сагоревање фосилних горива и спаљивање чврстог отпада. Индустријско загађење може да потиче и из других индустрија боја, експлозива, керамике, папира, коже. Најважнија једињења су хромати калијума и натријума, дихромати, калијум и амонијум хромна стипса и олово – хромат. Тривалентни хром је углавном стабилан, изузев у хлорисаној води, док се шестовалентни брзо редукује органским материјама. Хлориди, нитрати и сулфати (тривалентне соли) су растворни у води, хидроксиди и карбонати су потпуно нерастворни, а натријум, калијум и амонијум – хромати (шестовалентне соли) су растворне у односу на дихромате који су потпуно нерастворни. У табели 3.1 приказана су својства хрома.

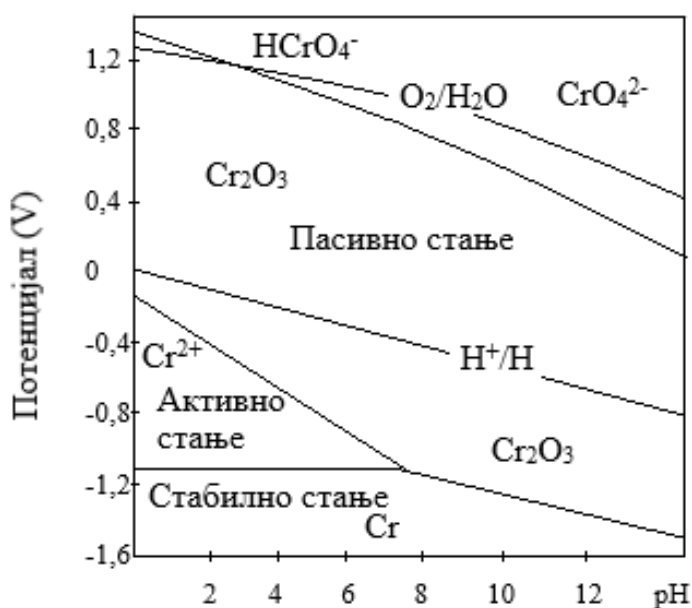
Табела 3.1 Својства хрома

Својства хрома	
Симбол	Cr
Атомски број	24
Атомска маса	51,996
Тачка топљења	2180 K (1907 °C)
Тачка кључања	2944 K (2671 °C)
Густина	7,19 g/cm ³
Електронегативност	1,66
Атомски радијус	128 pm
Ковалентни радијус	139 ± 5 pm
Кристална структура	просторно центрирана кубна решетка
Магнетни распоред	антиферомагнетичан
Модул смицања	115 GPa
Мосова (Mohs) тврдоћа	8,5
Викерсова (Vickers) тврдоћа	108,1 HV

3.2. Својства важних једињења хрома

3.2.1. Хром (III)

Познат је велики број хром (III) једињења као што су хром (III) нитрат, хром (III) ацетат и хром (III) оксид. Хром (III) се може добити растварањем елементарног хрома у киселинама као што је хлороводонична киселина или сумпорна киселина, али се може формирати и редукцијом хрома (VI) помоћу цитохрома c7. Cr^{3+} јон има сличан радијус (63pm) као Al^{3+} јон (радијус 50pm) и могу се међусобно заменити у неким једињењима. На слици 3.4 приказан је Пјурбоов (Pourbaix) дијаграм, односно понашање хрома у чистој води, перхлорној киселини и у натријум хидроксиду.



Слика 3.4 Пјурбоов (Pourbaix) дијаграм, дијаграм потенцијал – pH за хром

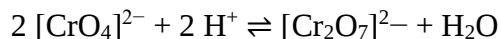
Хром (III) тежи да формира октаедарске комплексе. Комерцијално доступан хром (III) хлорид је тамнозелени комплекс $[\text{CrCl}_2(\text{H}_2\text{O})_4]\text{Cl}$. Блиско сродна једињења су бледозелена $[\text{CrCl}(\text{H}_2\text{O})_5]\text{Cl}_2$ и љубичаста $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$. Ако се зелени хром хлорид раствори у води, зелени раствор након неког времена постаје љубичаст јер се хлорид у унутрашњој координатној сфери замењује са водом. Ова врста реакције је такође примећена и са растворима хром- калијум сулфатом и других соли хрома растворљивих у води.

Хром (III) хидроксид ($\text{Cr}(\text{OH})_3$) је амфотеран, раствара се у киселим растворима да би се формирао $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, а у базичним растворима да би се формирала $[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}$. Дехидрира се загревањем да би се формирао зелени хром (III) оксид (Cr_2O_3), стабилан оксид са кристалном структуром идентичном корунду.

3.2.2. Хром (VI)

Једињења хрома (VI) су оксиданти са ниском или неутралном рН.

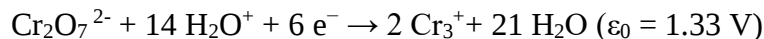
Хроматски анјони CrO_4^{2-} и дихроматски ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) анјони су главни јони у овом оксидационом стању. Оне постоје у равнотежи, одређеној рН:



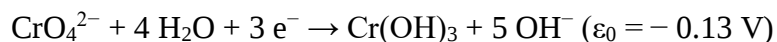
Такође су познати и хромни (VI) халиди који укључују хексафлуорид CrF_6 и хромил хлорид (CrO_2Cl_2).

Натријум хромат се индустријски производи оксидационим пржењем хромитне руде са калцијумом или натријум карбонатом. Промена у равнотежи је видљива променом од жутог (хромата) до наранџастог (дихромата), као и када се киселина додаје у неутрални раствор калијум хромата. На још нижим рН вредностима могуће је даље кондензовање на сложеније јоне хрома.

И хромни и дихроматски анјони су јаки оксидациони реагенси са ниском рН:



Међутим они само умерено оксидишу при високом рН:



Једињења хрома (VI) у раствору могу се детектовати додавањем киселог раствора водоник пероксида. Формира се нестабилни тамноплави хром (VI) пероксид (CrO_5).

Хромна киселина има хипотетичку формулу H_2CrO_4 . Нејасно је описана хемикалија, упркос томе што су многи добро дефинисани хромати и дихромати познати. Тамно црвени хром (VI) оксид CrO_3 , киселински анхидрид хромне киселине, индустријски се продаје као "хромна киселина". Може се производити мешањем сумпорне киселине са дихроматом и представља јак оксидациони агенс.

3.2.3. Друга оксидациона стања

Једињења хрома (V) су прилично ретка; оксидационо стање +5 се реализује само у неколико једињења, али су често посредници у многим реакцијама које укључују оксидацију хроматом. Једино бинарно једињење је испарљиви хром (V) флуорид (CrF_5). Ова црвена чврста супстанца има тачку топљења од 30°C и тачку кључања од 117°C . Може се припремити третирањем метала хрома са флуором на 400°C и под притиском од 200 бара. Пероксохромат (V) је још један пример стања оксидације +5. Калијум пероксохромат ($\text{K}_3[\text{Cr}(\text{O}_2)_4]$) производи се реакцијом калијум хромата са водоник пероксидом на ниским температурама. Ово црвено смеђе једињење је стабилно на собној температури али се спонтано распада на $150 - 170^\circ\text{C}$.

Једињења хрома (IV) су нешто чешћа од хрома (V). Тетрахалиди, CrF_4 , CrCl_4 и CrBr_4 , могу се произвести третирањем трихалида (CrX_3) са одговарајућим халогеном на повишеним температурама. Таква једињења су подложна несразмерним реакцијама и нису стабилна у води.

Познато је много једињења хрома (II), као што је водоотпоран хром (II) хлорид CrCl_2 који се може добити редукцијом хром (III) хлорида са цинком. Добијен светло плави раствор створен од растварања хром (II) хлорида је стабилан само при неутралном pH. Нека друга значајнија хром (II) једињења укључују хром (II) оксид CrO и хром (II) сулфат CrSO_4 . Познато је и много хромних карбоксилата, од којих је најпознатији црвени хром (II) ацетат ($\text{Cr}_2(\text{O}_2\text{CCH}_3)_4$) који има четвороструку везу.

Већина једињења хрома (I) се добија искључиво оксидацијом комплекса хром (0) који су богати електронима. Други комплекси хрома (I) садрже циклопентадиенилне лиганде. Као што је потврђено дифракцијом рендгенских зрака, такође је Cr-Cr описана петострука веза (дужина $183,51\text{pm}$). Изузетно гломазни монодентатни лиганди стабилизују ово једињење тако што штите петоструку везу од даљих реакција.

Већина једињења хрома (0) су деривати једињења хром хексакарбонил или бис (бензен) хрома.

3.3. Биолошка улога

О биолошки корисним ефектима хрома (III) и даље се расправља. Неки стручњаци верују да они одражавају фармаколошке а не нутриционистичке одговоре, док други указују да су то заправо нуспојаве отровног метала. Хром је прихваћен од стране Америчког националног института за здравље (U.S National Institutes of Health) као микроелемент у својој улози деловања инсулина, хормона критичног за метаболизам и складиштење угљених хидрата, масти и протеина. Тачан механизам његових активности у телу, међутим није потпуно дефинисан, и оставља питање да ли је хром уопште непходан за здраве људе.

Насупрот томе, хексавалентни хром (Cr(VI) или Cr⁶⁺) је високо токсичан и мутаген када се удише. Гутање хрома (VI) у води је повезиван са тумором желуца, и може такође изазвати и алергијски контактни дерматитис (ACD).

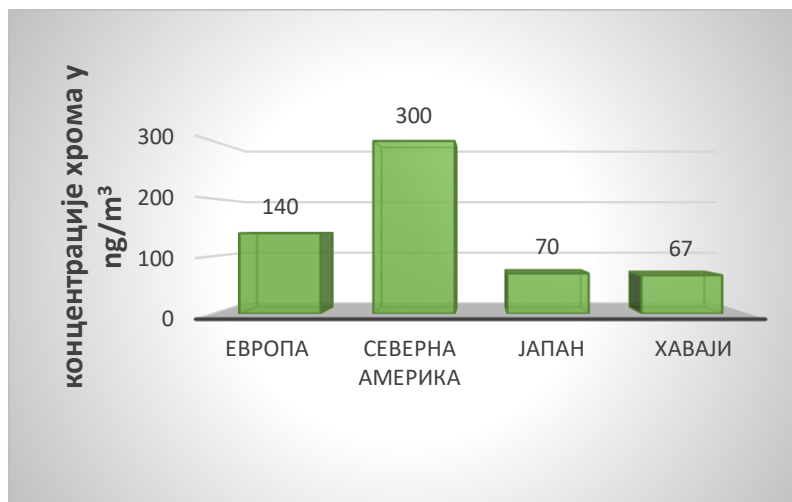
Лоша карактеристика хрома која се везује за недостатак Cr (III) или можда неког његовог комплекса у организму (пр. фактор толеранције глукозе) је контроверзна. Неке студије указују на то да се биолошки активни облик хрома (III) преноси у организму преко олигопептида који се назива нискомолекуларна хром-везујућа супстанца (LMWCr) и може играти улогу у сигналном путу инсулина.

Садржај хрома у обичној храни је генерално ниска (1-13 микрограма по оброку). Такође његов садржај у храни варира у великој мери због разлика у минералном садржају земљишта, вегетације, врсти биљака и контаминације током обраде.

3.3.1. Ваздух

Угаљ из многих извора може садржати онолико хрома колико и тло и стене тј. до 54mg/kg, сходно томе сагоревање угља може допринети нивоима хрома у ваздуху, посебно у градовима. Честице емитоване из термоелектрана на угаљ, садржале су (2,3-31)mg/kg хрома, у зависности од типа паљења котла, а емитовани гасови са садржали (0,22-2,2)mg/m³. Ове концентрације редуковане су сакупљањем летећег пепела на (0,19-6,6)mg/kg и (0,018-0,5)mg/m³. Показало се да летећи пепео садржи око (1,4-6,1)mg/kg хрома.

Пријављено је да је концентрација хрома у ваздуху на Јужном Полу је износила $0,005\text{ng}/\text{m}^3$. Концентрације у узорцима узетих преко Атланског океана кретале су се од $0,007$ до $1,1\text{ng}/\text{m}^3$. Концентрације хрома у ваздуху биле су $0,7\text{ng}/\text{m}^3$ на Шетландским острвима у Норвешкој, $0,6$ у северозападној Канади, $1-140$ у Европи, $1-300$ у Северној Америци, $20-70$ у Јапану и $45-67$ на Хавајима (слика 3.5).



Слика 3.5 Графички приказ концентрације хрома у ваздуху

3.3.2. Вода

Концентрације хрома у води у природи настају услед минералних процеса исушивања растворљивог органског хрома, таложења седимената и падавина. Утврђено је да концентрације хрома у рекама износе $(1-10)\mu\text{g}/\text{l}$.

Хром (и хексавалентни и тровалентни) се обично налази у нижим концентрацијама у морској води (знато испод $1-10\mu\text{g}/\text{l}$) него у рекама и бунарима. Процењено је да се сваке године у океане додаје $6,7$ милиона килограма хрома. Као резултат тога велики део хрома изгубљен из земље ерозијом и рударством се на крају депонује на дно океана.

Површинске и подземне воде загађене отпадним водама од операција галванизације, производње текстила или путем таложења хрома у ваздуху такође могу бити извори изложености хрому. Други извори су чврсти отпади који настају у корацима пржења и испирања хромата и неправилног одлагања комуналног отпада на депонијама.

3.3.3. Тло и биљке

Хром је присутан у земљишту на нивоима који могу варирати од трагова до 250mg/kg (пр. хромни (III) оксид) и посебно је заступљен у земљишту добијеном од базалта или серпентина.

Такође, практично све биљке садрже уочљиве нивое хрома, узете из корена или кроз листове. За поврће из 25 ботаничких породица утврђено је да садрже хром у количини која варира од 10 до $1000\mu\text{g/kg}$ суве материје, при чему је већина узорака у рангу између $100\text{--}500\mu\text{g/kg}$. Јаке сезонске варијације у нивоима хрома нађене су и у три врсте траве.

Садржај хрома у маховини сакупљеним 1951. године у удаљеном руралном подручју у Данској, упоређен је са истим биљкама сакупљеним 1975. године и примећен је пораст од око 62%, што се подудара са повећањем индустријске активности и изгарањем фосилних горива.

Садржај хрома у дувану цигарета Ирак $(8,6\text{--}14,6)\text{mg/kg}$, Иран $(4,3\text{--}6,2)\text{mg/kg}$, Сједињене Америчке Државе $(0,24\text{--}6,3)\text{mg/kg}$.

3.3.4. Људска ткива и секрет

Као и код већине метала који се јављају у траговима, нормалне концентрације хрома у људским ткивима обично се погрешно пријављују због додатних додатака током узроковања и анализе.

Међутим, недавни развој у аналитичкој хемији хрома омогућава поуздано рутинско одређивање нанограмских количина у биолошким узорцима.

Одабране тренутне референтне вредности концентрације хрома у неколико биолошких материјала приказане су у табели 3.2.

Табела 3.2 Концентрација хрома код људи

Узорак	Оптимална вредност	Опсег
Серум	0,19	$(0,12\text{--}2,1)\mu\text{g/l}$
Крв	< 0,5	—
Урин	0,4	$(0,24\text{--}1,8)\mu\text{g/l}$

3.4. Улога хрома у корозији

Корозија је нежељено разарање метаних производа услед хемијског и електрохемијског дејства корозионе средине. Израз „корозија“ потиче од латинске речи, односно глагола *corrumpere* (кородере) што значи нагризати. Под корозијом се обично подразумева корозија метала, односно процес оксидације метала са кисеоником или неком другом оксидационом материјом.

При корозији метал губи карактеристична (метална) својства као што су: електрична и топлотна проводљивост, сјај, механичка чврстоћа, ковност и сл. Услед корозије метални предмети могу да изгубе и своју првобитну димензију.

Хром се одликује великом тврдоћом и постојаношћу на корозију и хабање. Атрактивни сјај и висока тврдоћа основни су разлози примене хрома у декоративне и индустријске сврхе. Као чист метал примењује се једино за добијање превлака, а у осталим случајевима примењује се као легирајућа компонента.

Стандардни потенцијал хрома ($E_{Cr-Cr^{3+}}$) износи $-0,744\text{ V}$. Иако има негативан потенцијал, хром је постојан у многим срединама.

Одлична отпорност хрома на корозију се приписује његовој способности да постане пасиван у атмосферским и другим неутралним или алкалним срединама. Изузеци су неке киселе средине, нарочито концентрована хлороводонична и сумпорна киселина (табела 3.3 је заснована на 24-часовном тесту при неких 15°C).

Табела 3.3 Корозија ливеног хрома у разним киселинама

Киселина	Брзина корозије, mm/god
Концентрована хлороводонична киселина	0,4
32% азотна	1,2
17% сумпорна	2,8
10% сирћетна	2,6
10% фосфорна	0,2

Хром као превлака подлеже водоничној кртости. Уклањање водоника из превлаке постиже се загревањем предмета на температури од 250°C до 300°C у трајању од једног часа.

3.4.1 Хроматне превлаке

Хроматне превлаке настају од тровалентних и шестовалентних једињења хрома. Наносе се најчешће на алуминијум, цинк и кадмијум ради повећања њихове корозионе постојаности.

Поступак се врши у врућим и хладним купатилима, потапањем или прскањем и траје обично од неколико секунди до неколико минута. Дебљина превлаке се креће од 0,01 до 1mm. Превлака је порозна, па уколико треба да служи као самостална заштита од корозије мора се накнадно обрадити ради смањења порозности. Најчешће се користи као основа за премазе.

Боја превлаке зависи од дебљине, врсте основног метала и састава средства за хроматизацију. Боја се креће од провидне, практично безбојне, преко жуте и маслинасто зелене.

Свеже хроматне превлаке су механички и корозионо мање отпорне него превлаке после природног или вештачког старења при чему долази до дехидратације, отврдњавања и веће постојаности. За повећање корозионе постојаности хроматне превлаке се накнадно обрађују у растворима који поред хромата или хромне киселине садрже фосфорну или оксалну киселину.

Превлаке хрома на цинку и кадмијуму имају за циљ да сачувају једноличан изглед предмета. Познато је да цинк и галванске превлаке после извесног времена губе метални изглед и добијају сивкасту боју. Зато се одмах након галванизације предмети са поцинкованим превлакама обрађују у раствору за хроматизацију.

3.4.2 Декоративне превлаке

Концепт декоративних превлака заснивају се на саставима бакра-никла-хрома. Услед танкоће декоративног хрома и његове порозности, доња превлака од никла или бакар-никла требало би да обезбеди корозиону заштиту основног материјала. Завршна превлака од хрома ствара пожељну светлу површину, отпорну на тамњење.

Дебљина и састав доње превлаке може да варира, а у многоме зависе од корозивности средине којој ће део бити изложен, од основног метала на који је превлака нанета и жељене трајности односно радног века. Уопштено, трајање или заштита било којег основног метала зависе првенствено од дебљине доње насlage бакра или бакра и никла.

3.4.3 Индустијске хромне превлаке

Да би се постигла корозиона заштита основног метала, индустријска примена превлака од хрома захтева веће дебљине него примена у декоративне сврхе. Често се избор дебљине равна према захтевима заштите од хабања или према количинама материјала неопходних за успостављање димензија похабаних делова, него према захтевима заштите корозије. У индустријским применама обично се ослањамо на дебљину, а не на врсту хромне превлаке.

Објављени су бројни подаци о хемијској отпорности електро-превлака од хрома према више од 100 супстанци, укључујући киселине, соли и разне органске материјале. Ови подаци су добијени излагањем електропревлаке од хрома која је била скинута са своје основе и као таква била слободна од било каквог галванског дејства са основом.

3.4.4 Дејство превлаке хрома на механичка својства

Ефикасност катоде у поступку превлачења хромом је таква да долази до издвајања водоника, што има за последицу развој кртости на осетљивим материјалима. Ослобођење од водоничне кртости може се постићи загревањем на 150 до 260°C у току једног до пет часова. Температура и дужина обраде зависе од интензитета развијања кртости и дебљине предмета.

Хромна превлака смањује отпорност челика веће чврстоће на замор чак и до 60 процената.

Напон у хромном слоју, који може варирати према врсти слоја, оцењен је као најважнији фактор. Има података да извесни флуоридни поступци који стварају слојеве са ниским напонам, имају најмање негативно дејство на чврстоћу према замору. Однос између мере прскања и напона у хромним слојевима је дефинисан математички, а губитак чврстоће према замору је изражен као функција напона.

4. Добијање хрома

4.1. Налазиште хрома

До данас је познато само 10 места где се може пронаћи чист хром. Због тога се највећи део хрома може наћи искључиво у облику једињења као део минерала хромита (руда гвожђе – хром) FeCr_2O_4 у којем се удео хрома креће око 46% у површинским коповима, и нешто мање у јамским коповима. Осим њега, постоје и минерали који садрже много више хрома, попут ферохрома (око 87% хрома) и грималдита (око 61% хрома), али се ти минерали јављају много ређе и у мањим количинама у односу на хромит. По подацима из 2010, била су позната 103 минерала која садрже хром.

По подацима из 2003, Јужноафричка Република произвођила је око 50% укупне светске производње хрома. Осим ње, значајни произвођачи хрома јесу Казахстан (15,2%), Индија (12,1%), Зимбабве (3,7%) и Финска (3%). По подацима ICDA (International Chromium Development Association) највећи произвођачи руде у 2013. години били су Јужна Африка (48%), Казахстан (13%), Турска (11%), Индија (10%) и заједно неколико других земаља учествују у осталих 18% светске производње (слика 4.1). Током Другог светског рата Турска је била најважнији извозник хрома за нацистичку Немачку.



Слика 4.1 Налазиште хрома у свету

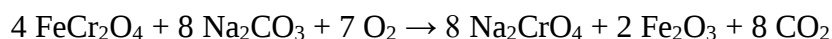
Године 2000. у свету је ископано око 15 милиона тона руде хромита намењеног тржишту. Од те количине добијено је око 4 милиона тона ферохрома, чија је тржишна вредност процењена на око 2,5 милијарди америчких долара. Метални хром врло се ретко може наћи на налазиштима. У руднику Удачна у Русији пронађена је рудна жила кимберлита, који садржи, између осталог, дијаманте. У његовој редукованој матрици стварају се дијаманти и заостаје метални хром.

4.2. Добијање хемијски чистог хрома

Два главна производа прераде хромне руде су ферохром и метални хром. За те производе процес топљења руде знатно се разликује.

За производњу ферохрома, хромна руда (FeCr_2O_4) је редукована у великој мери у електролучним пећима или у мањим топионицама са алуминијумом или сицилијумом у алуминотермичкој реакцији.

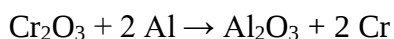
За производњу чистог хрома (слика 4.2), гвожђе мора бити одвојено од хрома у процесу двоструког пржења и испирања. Хромитна руда се загрева мешавином калцијум карбоната и натријум карбоната уз присуство ваздуха. Хром оксидира у хексовалентну форму, док гвожђе формира стабилан Fe_2O_3 . Накнадно испирање при вишим температурама раствара хромате и оставља нерастворни оксид гвожђа.



Хромат се конвертује сумпорном киселином у дихромат.

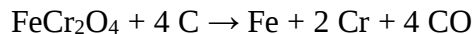


Дихромат се конвертује у хром (III) оксид редукцијом са угљеником а потом се редукује у алуминотермичкој реакцији у хром.



Слика 4.2 Чист комад хрома, добијен алуминотермијском редукцијом

Хром се не може добити из оксидисане руде редукцијом са угљем јер таквом реакцијом настаје хром карбид. Чисти хром због тога се добија електролитичким издвајањем јона Cr^{3+} из раствора сумпорне киселине. Одговарајући раствори добијају се растварањем хром(III) оксида или ферохрома у сумпорној киселини. Ферохром као полазни материјал у производњи хрома се добија уз претходно одстрањивање гвожђа. Хром високе чистоће може се добити даљњим корацима чишћења у тзв. Ван Аркел де Боеровом (Eduard van Arkel and Jan Hendrik de Boer) процесу. Ферохром се добија редукцијом хромита у лучној пећи на температури од око 2800°C :



Из показане хемијске реакције јасно се види да се издваја Cr, затим Fe и ослобађа угљенмоноксид (CO).

5. Хром као легирајући елемент

Хром се у нискоугљеничним челицима обично налази у количинама до 0,3%, у легираним челицима (0,7-3,5)%, у хромовим челицима (12-18)% и у хром-никловим челицима (9-35)%. Повишен садржај хрома у угљеничним и нискоугљеничним челицима погоршава њихову заварљивост на рачун побољшања прокаљивост. Повећава ватроотпорност аустенитних челика у оксидационим условима али делује мање ефикасно него нпр. молибден или ванадијум. При садржају хрома изнад 12% челик је веома отпоран према корозији. Даљим повећањем садржаја хрома расте јачина и отпорност челика према корозији, али при $\text{Cr} > 20\%$ видно опада пластичност. Хром образује веома стабилне карбиде Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 и Cr_3C_2 , који се у челику могу налазити у слободном стању или повезани са Fe_3C . Ако челик садржи више угљеника него што је потребно за образовање перлита, то настају услови за појаву слободних карбида хрома, који се издвајају по границама зрна, што може изазвати међукристалну корозију. Критична температура издвајања карбида износи $(500-800)^\circ\text{C}$. Хром изазива повећање критичне температуре A_{C1} , што доводи до тога да брзина растварања карбида у аустениту буде знатно мања од брзине растварања Fe_3C у угљеничним челицима. Због тога је при каљењу Cr -челика потребна виша температура и дуже време прогревања. Легуре Fe-Cr-C по очвршћивању могу имати следеће структуре:

- подеутектоидну;
- надеутектоидну;
- ледебуритну;
- феритно-карбидну.

Практичну примену имају легуре свих структура. Са порастом садржаја хрома смањује се термичка проводност што захтева предострожност при загревању челика, нпр. при преради на топло, термичкој обради или заваривању.

5.1. Аустенитни нерђајући челик

Аустенитни нерђајући челик (слика 5.1) је врста нерђајућег челика који се може заваривати и састоји се од легуре никла (24%), хрома (22%) и молибдена (6,3%) са траговима других елемената као што је азот. Висок садржај никла и молибдена у овој легури даје јој добру отпорност на корозију. Молибден даје отпорност и на апсорпцију и задржавање хлорида. Садржај азота додатно повећава отпорност на појаву рупица и даје му већу чврстоћу од типичних аустенитних нерђајућих челика.



Слика 5.1 Цеви од нерђајућег челика

Овај челик се обично користи на високим температурама и производњи хране са ниским рН вредностима, нпр. сок од парадајза кородира нерђајући челик X2 CrNiMo 17-12-2 (Š4570) на температурама пастеризације од 100°C (210°F).

Табела 5.1 Хемијски састав

%	Cr	Ni	Mo	C	N	Mn	Si	P	S	Cu	Fe
MIN	20,00	23,50	6,00	-	0,18	-	-	-	-	-	Балансирано
MAX	22,00	25,50	7,00	0,03	0,25	2,00	1,00	0,04	0,03	0,75	Балансирано

Употреба ове легуре:

- десалинација;
- водоводни системи;
- случајеви трансформатора у морским срединама;
- опрема за прераду хране;
- обрнута осмоза;
- измењивачи топлоте.

5.2. Нерђајући челик специјалне намене

Представља аустенитни нерђајући челик развијен за примене у којима се користи сумпорна киселина. Његова отпорност на корозију такође проналази и друге примене у хемијској производњи енергије али и у индустрији пластике. Његов хемијски састав је приказан у табели 5.2.

Овај челик је отпоран на корозију хлорида, може парирати нерђајућем челику X2 CrNiMo 17-12-2 (Č4570), бољи је од нерђајућег челика X5 CrNi 18-10 (Č4580), док је садржај бакра штити од сумпорне киселине. Често се користи за решавање проблема појаве корозије под напоном који се могу појавити код нерђајућег челика X2 CrNiMo 17-12-2 (Č4570).

Табела 5.2 Хемијски састав

%	Cr	Ni	Mo	C	Mn	Si	Nb	Cu	Fe
MIN	19,00	32,00	2,00	-	-	-	-	3,00	31,00
MAX	21,00	38,00	3,00	0,06	2,00	1,00	1,00	4,00	44,00

5.3. Хромел

Хромел је легура са око 90% никла и 10% хрома која се користи за израду позитивних проводника термоелектричних батерија, типа Е (хромел-константан) и типа К (хромел-алумел). Може се користити на температурама и до 1100°C (2010°F) у атмосфери оксидације. Хромел је регистровани заштитни знак компаније Concept Alloys, Inc.

- Хромел А:

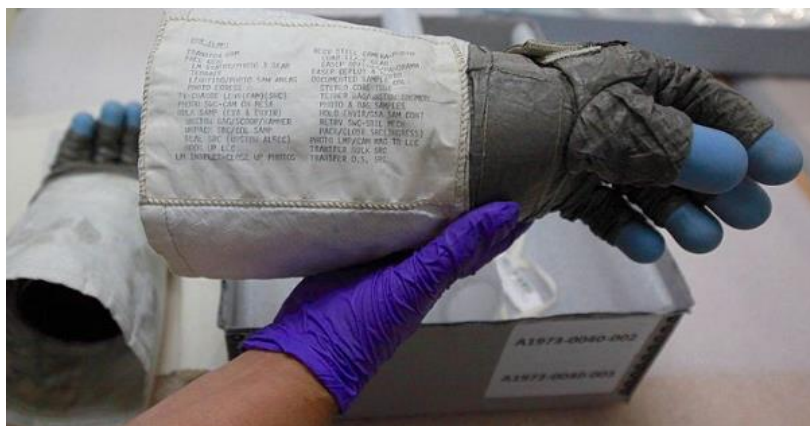
Представља легуру која садржи приближно 80% никла и 20% хрома. Прецизније – хром 20%, гвожђе 0,5%, силицијум 1% док остатак представља проценат никла. Користи се због одличне отпорности на високотемпературну корозију и оксидацију. Такође, често се назива и Нихром 80 – 20 и користи се за електричне грејне елементе.

- Хромел С:

Ова легура садржи 60% никла, 16% хрома и 24% гвожђа. Такође, обично се назива Нихром 6 и користи се за грејне елементе, отпорнике и резаче врућих жица.

- Хромел – R:

Легура са саставом од 20% хрома и 80% никла. Ову легуру развила је компанија Litton Industries за употребу NASA-е у оквиру Gemini i Apollo програма (слика 5.2).



Слика 5.2 Apollo 11 рукавица, сиви делови су направљени од Хромел – R

5.4. Хромни хидриди

Хромни хидриди су једињења хрома и водоника уз евентуалну присутност других елемената. Такође, постоје интерметална једињења са не сасвим стехиометријским количинама водоника, као и високо реактивни молекули. Када су присутни у малим концентрацијама, водоник и неки други елементи легирани хромом, делују као средства за омекшавање и омогућавају кретање дислокација које иначе не постоје у кристалу решетке атома хрома.

Варирање количине водоника и других легирајућих елемената и њихове форме у хлориду хрома као елемената раствора, убрзава кретање дислокација у хрому, и тиме контролише квалитете као што су тврдоћа, дуктилност и затезна чврстоћа добијеног хром хидрида.

Чак и у уском распону концентрација које чине хром хидриди, смеше водоника и хрома могу формирати бројне и различите структуре са веома различитим својствима. Разумевање ових својстава је од суштинског значаја за израду квалитетног хромовог хидрида.

На собној температури најстабилнији облик истог хрома је кубна (ВСС) структура α -хрома. То је прилично тврд метал који може да раствори само малу концентрацију водоника.

Може се појавити као тамно смеђа или тамно сива чврста супстанца у два различита кристална облика:

1. Кубна са формулом CrH_2
2. Густо пакована хексагонална чврста супстанца са формулом CrH .

Хром хидрид је важан у хромирању јер представља интермедијер код формирања хромне плоче.

5.5. Co-Cr легура

Co-Cr легуре су првобитно развијене за моторе авиона и материјале отпорне на топлоту.

Co-Cr легуре показују одлична механичка својства као што су: чврстоћа, жилавост, ливност, отпорност на корозију и отпорност на хабање. Њихова отпорност на корозију боља је од нерђајућег челика, а отпорност на хабање боља је од нерђајућег челика и титанијумових легура, међутим њихова пластичност и обрадивост ниже су од оних присутних код нерђајућег челика и титанијумових легура. Првобитно су коришћене за ливене легуре јер је на њима тешко радити.

За биомедицинску употребу, ливене легуре Co-Cr-Mo боље су познате као виталијум (Vitallium). Отпорне су на корозију и пукотине.

Коване легуре Co-Cr дизајниране су да би се избегла оштећења у ливеним Co-Cr легурама, а њихова чврстоћа и издужење повећавају се топлотном обрадом раствора и хладним радом на скоро истом нивоу као код нерђајућег челика. Отпорност на корозију кованих Co-Cr легура мања је од те отпорности код ливених Co-Cr легура али већа од отпорности нерђајућег челика. Управо због тога, коване легуре користе се за: жице за навођење, споне, ортодонтски мост (слика 5.3), катетере итд.



Слика 5.3 Co-Cr ортодонтски мост коришћен у протетичарске сврхе

Површински оксидни слој Co-Cr-Mo легуре је окарактерисан да садржи оксиде кобалта и хрома без молибдена, док је слој на другој легури Co-Cr-Mo механички полиран у

дејонизованој води, састављен од оксидних врста кобалта (хром и молибден имају дебљину око 2-3 nm). Овај површински слој састоји се од великог броја OH^- оксида који је хидриран или оксихидроксиран. Кобалт се раствара у легури Co-Cr-Mo током урањања у Хенксов раствор и медијум за ћелијску културу, као и током инкубације у култури ћелија. Након растварања, површински оксид се састоји од хромовог оксида (Cr^{3+}) који је садржао оксид молбидена (Mo^{4+} , Mo^{5+} и Mo^{6+}). На горњој површини такође се формира калцијум фосфат.

Co-Cr легуре замењују челике у ортопедији, посебно као носиве површине повезане са тоталном заменом зглобова. Ове легуре, у погледу механичких својстава, могу се упоредити са челицима, тако да и поред тога што постоје разлике у погледу површине, тврдоће, отпорности на хабање и сложености обраде, нема јаке покретачке силе за употребом ових легура пре него челика.

Co-Cr легуре номинално су једнаке када се говори о садржају хрома и кобалта, тако да су на приказаном дијаграму савитљиве у средини. Co-Cr једињење и његове легуре обично имају густо паковану хексагоналну кристалну решетку (HCP) при чему и хром и кобалт имају позиције заменских дефекта у другом кристалу.

Легирање Co-Cr са молибденом и никлом ствара друге заменске дефекте који јачају легуру и смањују капацитет обраде ливених легираних облика. Медицински степени Co-Cr легура идентификовани од стране FDA (Food and Drug Administration) приказани су у табели 5.3.

Табела 5.3 Састав Co-Cr легуре

	F75	F799	F90	F562
Co	59,9% - 69,5%	58% - 59%	45% - 56,2%	29% - 38,8%
Cr	27% - 30%	26% - 30%	19% - 21%	19% - 21%
Mo	5% - 7%	5% - 7%	-	9% - 10,5%
Mn	1% max	1% max	1% - 2%	0,15% max
Ni	1% max	1% max	9% - 11%	33% - 37%
Fe	0,75% max	1,5% max	3% max	1% max
Si	1% max	1% max	0,4% max	0,15% max
C	0,25% max	0,35 % max	0,1% номинално	-
Други	-	N: 0,25% max	P: 0,04% max	Ti: 1% max
				S: 0,01% max
W	-	-	14% - 16%	-

Као и код нерђајућих челика, присуство довољног садржаја хрома на спољашној површини пасивизира површину. Главне разлике између различитих облика легура су или метода ливења, или поступци накнадне обраде као што су ковање, жарење или други поступци врућег рада.

F75 је ливени облик, а F799 и F562 су обично коване конструкције. Све ово може бити накнадно жарено да би се повећала обрадивост без великог утицаја на дуктилност.

Употреба одређених кованих Co-Cr легура у клиничким применама сеже од 1950.-их година, замењујући ливене компоненте захваљујући бољим механичким својствима.

Упркос чињеници да постоје многи биоматеријали на бази кобалта, користе се две главне легуре, ливене Co-Cr легуре и коване Co-Cr легуре.

Присуство никла побољшава ковање Co-Cr легура. Из перспективе биокомпатибилности, кобалт, хром и никл се не преферирају јер је откривено да појединачни јони (никл, кобалт) изазивају алергије док је хром токсичан.

Иако израђена легура Co-Cr као таква не изазива никакву токсичност, елуција металних јона је озбиљна брига, јер је никл такође канцероген. Стога, садржај никла би требало да се смањи или елиминише како би се избегла токсичност. Ово доводи до контрадикторне ситуације при чему уклањање никла има утицај на обрадивост материјала.

Коване Co-Cr легуре су вруће коване и може бити потребно прелазно жарење пре доласка до коначног облика. Због потешкоћа које се везују за обраду ових легура пожељно је извести затворену операцију ковања како би се минимизирала завршна обрада.

Ковање ових легура обично захтева софистицирану пресу са топлотно отпорним алатом како је тешко радити на нижим температурама, а пожељно је и изотермно или вруће ковање са процесом средњег жарења.

Металургија легура Co-Cr је идентична металургији супер-легура на бази кобалта а јачање чврстих раствора се производи присуством легирајућих елемената.

Препоручена пракса је да се легуре Co-Cr топлотно третирају у границама од 900°C до 1150°C пре ковања.

Уколико се контролише однос ковања, микроструктура Co-Cr легура може се контролисати да би се добила чврстоћа као и отпорност на хабање. Ковање ових легура врши се на сличан начин као код титана, осим у погледу промене радне температуре која варира 1150°C – 1300°C.

5.6. Ферохром (FeC)

Ферохром је врста феролегура тј. легура између хрома и гвожђа која обично садржи 50 до 70% хрома по маси.

Ферохром се добија електричном лучном карботермном редукцијом хромита. Већина светских ферохрома се производи у Јужној Африци, Казахстану и Индији који имају велике домаће хромитне ресурсе. Међутим, све већи износи долазе из Русије и Кине. Производња челика је највећи потрошач ферохрома, посебно производња нерђајућег челика са садржајем хрома од 10 до 20% што представља и његову главну примену.

Преко 80% светског ферохрома користи се у производњи нерђајућег челика. 2006. године произведено је 28 Mt нерђајућег челика. Нерђајући челик зависи од хрома због његовог изгледа и отпорности на корозију. Просечан садржај хрома у нерђајућем челику је око 18%. Користи се и када се жели додати хром угљеном челику. FeCr из Јужне Африке, познат и као "пуњење хрома" и произведен од руде која садржи Cr са ниским садржајем угљеника, најчешће се користи у производњи нерђајућег челика. Алтернативно, високо угљенични FeCr произведен од руде високог квалитета који се налази у Казахстану, се чешће користи у специјалним употребама као што су инжењерски челици где је висок однос хрома и гвожђа, а минималан ниво других елемената као што су сумпор, фосфор и титанијум и важан је за прозводњу готових метала која се одвија у малим електролучним пећима. Руда ферохрома приказана је на слици 4.4.



Слика 5.4 Руда ферохрома

Производња ферохрома је у суштини карботермна редукција која се одвија на високим температурама. Црна руда (оксид хрома и гвожђа) је редукована уљем и коксом у облику легуре гвожђе-хром.

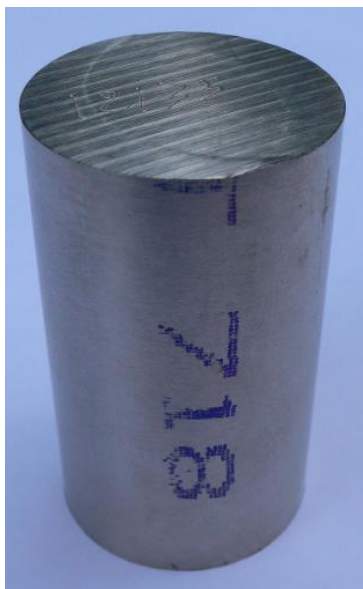
Топлота за ову реакцију може доћи из више облика, али типично је да долази из електричног лука формираног између врхова електрода на дну пећи и огњишта пећи. Овај лук ствара температуру око 2800°C (5070°F). У процесу топљења троше се огромне количине електричне енергије, што чини ову произвоњу прескупом у земљама са високим ценама струје.

Пражњење материјала из пећи врши се повремено. Када се у огњишту пећи накупи довољно ферохрома, буши се отвор за славину и струја растопљеног метала и шљаке се испушта низ удубљење у хладњак или лонац. Ферохром се стврдњава у великим одливцима који се дробе и продају даље.

Ферохром се често класификује према количини угљеника и хрома који садржи. Већина произведених FeCr-а је пуњење хрома из Јужне Африке. Високо угљенични ферохром представља други највећи сегмент праћен мањим секторима нискоугљеничног и средњеугљеничног материјала.

5.7. Инконел

Инконел (слика 4.5) представља породицу аустенитних супер-легура на бази никла и хрома. Ове легуре су материјали отпорни на оксидациону корозију, погодни за рад у екстремним срединама под притиском и топлотом. Када се загреју формирају густ, стабилан, пасивирајући слој оксида који штити површину од могућих напада.



Слика 5.5 Пресек округле шипке направљене од инконела

Инконел задржава снагу у широком температурном опсегу, и згодни су за примену на високим температурама, где би челик и алуминијум подлегли пузању као резултату топлотно индукованих празнина кристала. Висока температурна чврстоћа развијена је чврстим раствором или ојачавањем, у зависности од легуре.

Ове легуре су тешки метали који се могу обликовати и користити у традиционалним техникама хладног обликовања због брзог очвршћавања. Након прве обраде, радно очвршћавање има тенденцију пластичног деформисања или обрадка или алата на наредним пролазима. Из тог разлога, старењем, инконели као што је 718 су машински обрађени помоћу агресивног али спорог резања тврдим алатом, минимизирајући потребан број пролаза. Алтернативно, већина обраде се може извести са израстком у раствореном облику, док се само завршни кораци изводе након старења.

Спољни навоји су машински обрађени помоћу струга или котрљањем навоја у стању третираног раствором (за легуре које се стврдњавају) помоћу машине за вијке.

Инконел 718 такође се може навијати након пуњења употребом индукционог грејања на температури до 700°C (1300°F) без увећања величине зрна. Унутрашњи навоји се такође могу формирати помоћу механичке обраде електричног пражњења (EDM).

Резање плоче се често ради резачем на водени млаз. Нови резачи ојачани керамичким влакнима се такође користе за обраду легура никла. Они уклањају материјал брзином која је отприлике осам пута бржа од цементних резача карбида. Осим ових метода, може се користити и селективно ласерско топљење.

5.8. Виталијум

Виталијум је заштитни знак легуре која садржи 65% кобалта, 30% хрома, 5% молибдена и других супстанци. Легура се највише користи у стоматологији и за израду вештачких зглобова (слика 5.8) због своје отпорности на корозију. Користи се и за компоненте турбокомпресора због своје топлотне отпорности. Виталијум је развио Алберт Мерик (Albert W. Merrick) 1932. године.

За употребу при високим температурама у моторима, посебно у турбокомпресорима, прва легура која је коришћена била је Haynes Stellite № 21, слична виталијуму. Иако су карактеристике материјала очигледно биле довољне за израду лопатица турбопуњача, сматрало се да је немогуће постићи потребну прецизност. Међутим, британски инжењер S. D. Hearn предложио је коришћење ове легуре, узимајући своје протезе виталијума као пример.



Слика 5.6 Делови вештачког кука направљене од виталијума

5.9. Нерђајући челик

Нерђајући челик, или како га жаргонски називају ростфрај, инокс (inox), прохром је челик, легиран у првом реду хромом и никлом. Инокс је откривен 1913. године када је енглески металург Harry Brearly радио на пројекту побољшања квалитета цеви пушака. Случајно је открио да додавањем хрома нискоугљеничном челику долази до отпорности на оштећење односно на корозију. Реч инокс (inox) потиче од енглеске речи inoxidizing, што значи спречавање оксидације, рђе или труљења. Под термином нерђајући челик колоквијално се подразумева „некорозивни челик“. Нерђајући челици су група материјала са низом јединствених карактеристика. Хром као легирајући елемент формира транспарентни и безбојни заштитни слој на површини материјала, а уколико дође до његовог механичког оштећења, веома брзо реагује у присуству кисеоника из воде или ваздуха, и ствара нови заштитни филм, тако да инокс (прохром) не захтева никакву додатну површинску заштиту против корозије. Овде спадају челици отпорни на киселине који се одупиру пре свега електрохемијској корозији (органским и неорганским киселинама, једињењима азота, растворима соли – електролитима, агресивним животним намирницама) и ватроотпорни челици који се не оксидишу на ваздуху и сагорелим гасовима (CO , CO_2 , SO_2) на температури преко 600°C . Челици отпорни на киселине морају да садрже више од 12% хрома, а ватроотпорни челици више од 6% хрома и додатке силицијума и алуминијума ради спречавања дубинске корозије. Појам „нерђајући челик“ означава више од 120 различитих легура са антикорозивним својствима. У последњим годинама може се видети повећана тражња за високолегираним челицима, укључујући и челике високе чврстоће и нерђајуће челике у конструкционој примени.

Високолегирани нерђајући челици могу се поделити у следеће групе у зависности од своје кристалне структуре:

- феритни нерђајући челик;
- аустенитни нерђајући челик;
- мартензитни нерђајући челик;
- феритно – аустенитни нерђајући челик (дулекс челик).

1) Феритни нерђајући челик

Феритни нерђајући челици су подељени у две групе:

- са приближно 11 до 13 % хрома,
- са приближно 17 % хрома.

Захваљујући ниском садржају хрома 10,5 до 13 % уз количину угљеника мању од 0,2 % хромирани челик се укратко описује као „споро корозиони“. Најчешће их називају „хром-челицима“ и не могу да се врше ојачања на њима. Они су нашли примену у оним областима где радни век, сигурност и мало одржавање су од највеће важности и где не постоје посебни захтеви о изгледу. Ово је нпр. случај код контејнера, вагона и конструкције возила.

2) Аустенитни нерђајући челик

Ови челици имају висок проценат хрома, (15-26)% уз (5-25)% никла. Отпорност на киселине и агресивне материје повећава се додавањем (2-6)% молибдена. У овој групи челика су и такозвани „стабилизовани“ нерђајући челици, који поред хрома, никла и молибдена, садрже на пример титанијум. Додавање титанијума омогућава боље понашање нерђајућих челика приликом заваривања, јер спречава појаву непожељних хром-карбида у шаву, који се такође наводи као „хром-никл“ челик, са садржајем никла од преко 8% а често садрже и молибден која је најбоља комбинација у односу на могућност обраде, корозиону отпорност и механичке карактеристике. Представљају најважнију групу нерђајућих челика и због тог разлога препоручује се за најшири опсег употребе у областима где се користе у агресивним срединама, као на пример у случају контакта са морском водом која садржи хлор, у хемијској или прехранбеној индустрији. За разлику од мартензитних, аустенитни нерђајући челици не подвргавају се ојачању температуром. Захваљујући својим својствима веома се лако деформишу на хладно.

3) Мартензитни нерђајући челик

Мартензитни нерђајући челик са (12-18)% хрома и уз учешће угљеника од (0,2-1)% су аустенитски на температурама преко (950-1050)°C. Количина угљеника мора да буде таква да дозвољава термичку обраду – темперовање, што поправља динамичке карактеристике челика. Брзим хлађењем у води формира се мартензитна структура. Ова структура поседује високу тврдоћу посебно у каљеном стању када се додатно повећава са повећањем садржаја угљеника. Овакви челици се користе на пример у производњи оштрица, ножева или маказа. Предуслов за довољну корозиону отпорност је одговарајућа површинска обрада која се може постићи на пример помоћу брушења.

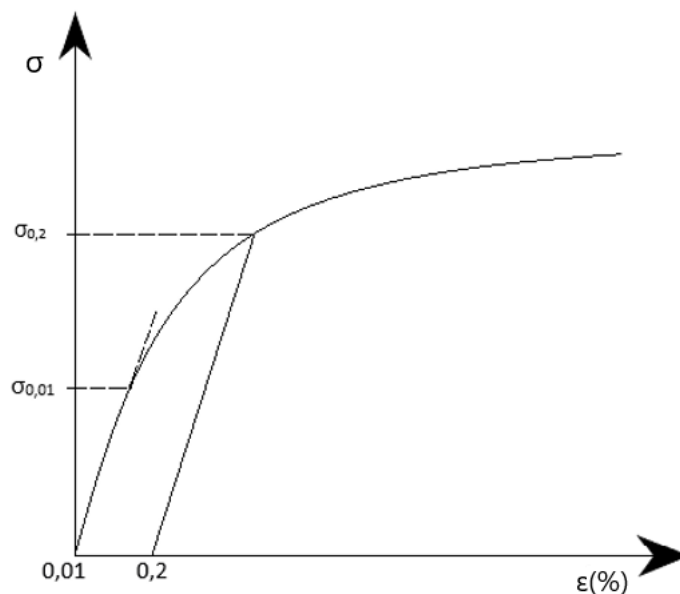
4) Феритно аустенитни нерђајући челик

Феритно аустенитни нерђајући челик се често наводи као дуплекс челик захваљујући својој двокомпонентној структури. Висока дуктилност са истовременим побољшањима корозионе отпорности омогућава овим челицима да се користе посебно у области технологије одговарајућих конструктивних елемената.

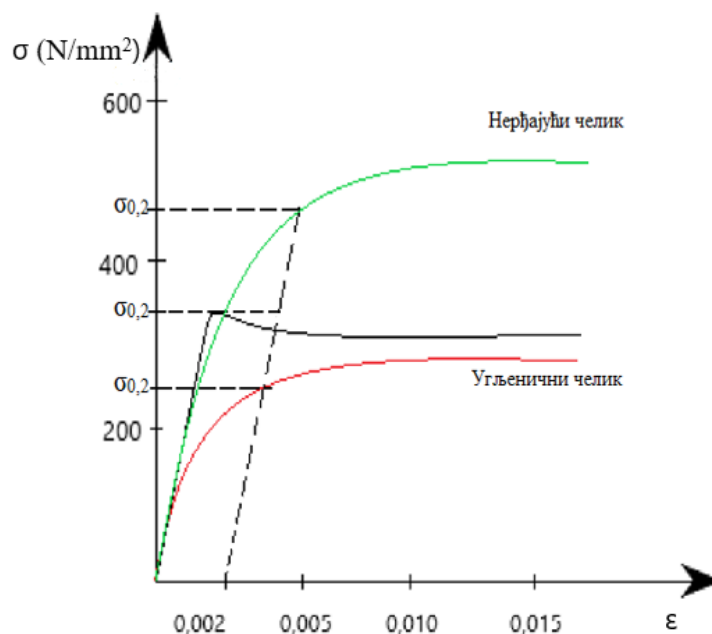
5.9.1. Механичка својства нерђајућих челика

Нерђајући челици поседују низ изузетних својстава које их разликују од осталих класа челика, у односу на угљенични челик као што је: нелегирано и асиметрично – деформацијско понашање, анизотропију, изражен одговор на процес хладног обликовања, различит утицај почетних имперфекција и различите термичка својства, стога распоред заосталих напона и њихов утицај на конструкцију. Ништа мање необично својство је немагнетичност аустенитних нерђајућих челика коју дугују у првом реду никлу као легирајућем елементу, који стабилизује високотемпературну, немагнетичну, површински центрирану кубну модификацију гвожђа – аустенит.

За разлику од угљеничних челика који има јасно изражену границу еластичности ниво течења и умерено очвршћавање, нерђајући челик има заобљену криву напон – деформација уз значајно ојачање дилатација у недостатку јасно дефинисане тачке течења. Напон $\sigma_{0,2}$ је усвојени напон 0,2% из границе пропорционалности дефинисане напоном 0,01% од пластичне дилатације. Додатне главне разлике у облику напонско – деформацијског одговора између пресека од нерђајућег челика су праћене још и различитим техничким својствима, укључујући и специфичну топлоту, термичку проводљивост, термичко ширење. Све ово има утицај на формирање заосталих напона. Специфична топлота нерђајућег челика је око 500 J/kgK , док угљенични челик има ову вредност око 600 J/kgK . Материјал са нижом специфичном топлотом има брже загревање. За температуре испод 1000°C термичка проводљивост нерђајућих челика је нижа од угљеничних челика, на нижим температурама ова разлика је значајна, док преко 700°C разлика је мала. Коефицијент термичког ширења нерђајућег челика је и до 50% већа од угљеничног челика што може имати за последицу већу деформацију материјала током уноса топлоте и више заостале напоне. На слици 4.4 приказан је дијаграм σ/ϵ за нерђајући челик, а на слици 4.5 приказани су упоредно дијаграми σ/ϵ угљеничних и нерђајућих челика.



Слика 5.7 Дијаграм σ/ϵ за нерђајући челик



Слика 5.8 Упоредни дијаграм σ/ϵ за угљенични и за нерђајући челик

Због високог афинитета ка стварању карбида хром дифундује у област границе зрна где ствара крти хром карбид. Пошто антикорозивно својство нерђајућих челика у првом реду обезбеђује хром као легирајући елемент, осиромашење основе хромом узрокује мању отпорност на интеркристалну корозију. Да би се спречило издвајање нежељеног хром–карбида додају се никл и титан који имају већи афинитет према угљенику од хрома. На тај

начин стабилизовани чисто феритни челици са 12 до 18 % хрома као X2 CrTi 12, X2 CrTi 17 представљају данас најважнију групу нерђајућих челика са широком употребом. Феритни ваљани челици садрже (10,5-27)% Cr. Садрже мање угљеника, а више хрома него мартензитни челици па се не могу калити, већ ојачавају само прерадом на хладно. Феритн нерђајући челици су магнетични, а ако садрже довољно Cr и Мо задржавају своју основну микроструктуру све до тачке топљења. У жареном стању јачина кидања ових челика за 50% надмашује угљеничне челике. У табели 5.4 приказани су стандардни нерђајући челици и њихов хемијски састав.

Табела 5.4 Стандардни нерђајући челици и њихов хемијски састав

	Ознака материјала	Cr %	C %	Si %	Mn %	Mo %	Ni %	Ti %
A2	X5 CrNi 18-10	17,0 20,0	<0,07	1,0	2,0	-	8,5 10,0	-
	X2 CrNi 18-11	17,0 20,0	<0,03	1,0	2,0	-	10,0 12,5	-
	X8 CrNi 19-10	17,0 20,0	<0,07	1,0	2,0	-	10,5 12	-
A3	X6 CrNiTi 18-11	17,0 19,0	<0,10	1,0	2,0	-	9,0 11,5	≥5x%C
A4	X5 CrNiMo 17-12	16,5 18,5	<0,07	1,0	2,0	2,0 2,5	10,5 13,5	-
	X2 CrNiMo17-12	16,5 18,5	<0,03	1,0	2,0	2,0 2,5	11,0 14,0	-
A5	X6 CrNiMoTi 17-12	16,5 18,5	<0,07	1,0	2,0	2,0 2,5	10,5 13,5	≥5x%C

6. Механички третман хрома

Поступцима прераде као што су заваривање, ковање, истискивање, резање, полупроизводи од хрома и његових легура облика жице, цеви и плоче обликују се у готове производе. Наведени поступци могу знатно да утичу на својства материјала, било самостално или у комбинацији са другим технолошким обрадама.

6.1. Заваривање

Квалитет завареног споја зависи од састава материјала, поступка заваривања и термичке обраде. Заваривањем се повећава тврдоћа и чврстоћа, а смањује жилавост. Жилавост се накнадно може побољшати термичком обрадом, жарењем при високој температури и спорим хлађењем. Најчешће коришћени поступци електролучног заваривања хрома и његових легура су:

- ТИГ метода;
- плазмом;
- МИГ метода;
- пуњеном жицом;
- обложеном електродом;
- под прашком.

Током заваривања настају различити гасови и димови. Димови при заваривању су аеросоли који садрже металне честице настале комплексним процесима испаравања – кондензације – оксидације или испаравања – оксидације – кондензације током заваривања. Састав дима при заваривању и брзина његовог настајања највише зависе од примењеног поступка заваривања и додатог материјала (ако се користи), који су главни извори дима и имају главни утицај на специфичност метала у диму. На слици 6.1 се може видети изглед заварених цеви.



Слика 6.1. Приказ заварених цеви

6.2. Ковање

Ковање је најчешћи технолошки поступак прераде неког материјала. Њиме се постиже комбинација механичких својстава које није могуће добити примарном обрадом. Ковањем се повећава затезна чврстоћа, динамичка издржљивост и жилавост. Постоје две врсте ковања: слободно ковање и ковање у калупу. Слободно ковање је обрада помоћу универзалних алата чија је основна карактеристика да не морају имати облик који одговара облику обратка. Обликовање се најчешће обавља уз употребу већег броја удараца. Слободним ковањем није лако направити сложен облик цеви.

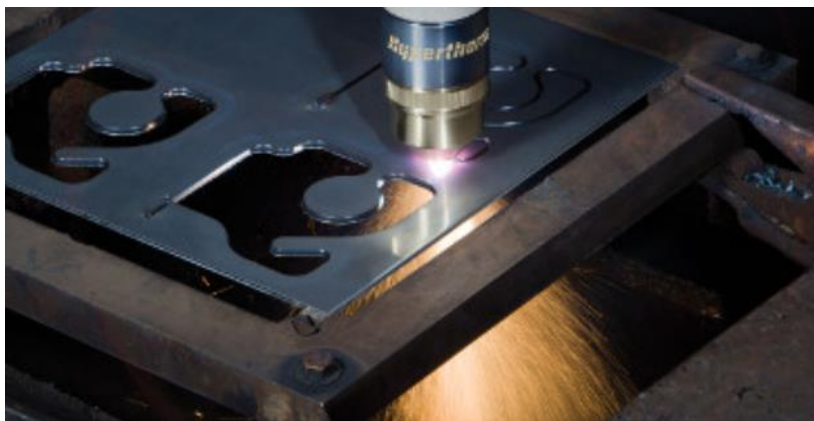
6.3. Истискивање

Истискивање је поступак обраде у хладном, топлом или полутоплом стању. Производи добијени истискивањем су првенствено округли, четвртасти и у облику шипки и цеви, добијени најчешће из обојених и лаких метала.

Истискивањем се производе профили који се другачије не би могли произвести. Технолошки поступак истискивања користи се при производњи дугачких делова константног пресека.

6.4. Резање

Резање хрома и његових легура се врши ласером, плазмом и воденим млазом. Дебљина резања може бити од 1mm до чак 130mm . За резање дебљине до 15mm користе се CNC машине за резање ласером, док се за резање велике дебљине користе CNC машине за резање плазмом (слика 6.2) и воденим млазом.



Слика 6.2 Резање хрома и његових легура плазмом

7. Примена хрома

7.1. Хромирање челика и његова примена

Ефекат јачања формирања стабилних металних карбида и снажно повећање отпорности на корозију учинили су хром важним легирајућим материјалом за челик. Челици за алате садрже између 3 до 5 процената хрома. Нерђајући челик, примарна легура отпорна на корозију, настаје када се хром сусреће са гвожђем при довољним концентрацијама, обично тамо где је концентрација хрома изнад 12%.

Релативно висока тврдоћа и отпорност на корозију нелегираног хрома чини га поузданим металом за површинске премазе; и даље је најпопуларнији метал за облагање лимова са својим надпросечном издржљивошћу у поређењу са другим металима за облагање.

Док тврди хром служи углавном за потребе ремонта машинских делова и алата, декоративни хром налази примену у естетском дотеривању предмета и уједно њиховој заштити од корозије. Разлика међу њима је још у томе што се тврди хром електролитички наноси директно на основни материјал, претежно челик, и то у дебљини слоја углавном до 0,4mm (у зависности од намене дела), док се декоративни хром обично наноси на бакар или никл у дебљини од неколико микрометара.

Тврди хром налази све већу примену због својих добрих механичких својстава па је нашао широку употребу у техници.

Тврди хром се примењује за оправку дотрајалих и истрошених делова, покварених делова у обради, за повећање отпорности на трење (јер то својство зависи углавном од квалитета површине материјала) за отпорност на корозију, продужење века машинских делова и алата, одржавање тачности мера код мерних инструмената итд. Хром мање дебљине, декоративни, примењује се за делове за санитарне уређаје, за прибор за јело итд. јер је много отпорнији на корозију од никла.

Дебљина слоја у декоративном хромирању за заштиту делова од корозије тражи се дебљина хромне превлаке од (0,04-0,05)mm ако се превлачи само хром, што се ређе практикује (нарочито за месинг) због порозности хромног слоја. Обично се ради са претходним слојевима од бакра и никла дебљине свега 0,002mm, тако да укупна дебљина наслага са хромом износи око 0,03mm, што је и економичније због спорог таложења хрома. Исправније је радити са подслојевима, нарочито кад површина има ситних пора (од лива или је наједена од корозије), јер нарочито бакарни талог, има предност што попуњава те пукотине. Потом треба посебно водити рачуна да се не задрже у порама остаци бакарног електролита или нагомиланог водоника, који стварају мрље, односно мехуре на хромираном слоју. Никлову превлаку, уколико се непосредно не ради процес хромирања, треба пре таложења превлаке катодно активирати у разблаженој сумпорној киселини или

полирати. То се препоручује и за бакарну превлаку, јер се полирањем ситне поре попуњавају превлаком метала.

Дебљина тврдог хрома за алате за сечење, бушење, пресовање, резање и стругање (турпије, бургије) алуминијума и алуминијумских легура, бакра, бронзе, ливеног гвожђа, месинга, тврде гуме и пластичних маса износи $(0,003-0,05)mm$ код алата за хладно извлачење метала слој дебљине $(0,03-0,2)mm$, а за ремонтне потребе дебљина слоја се креће до $0,4mm$, а некада и више (до $1mm$) што зависи од функције дела и његове одговорности (види табелу 7.1).

Табела 7.1 Дебљина слоја хрома за одређене делове

Делови:	Дебљина слоја хрома	
	За нови део	При поправци
Резни алат (ножеви, тестере)	$0,003 - 0,008 mm$	$0,003 - 0,008 mm$
Калупи за ливење метала под притиском	$0,1 - 0,2 mm$	$0,05 mm$
Мерни алати и контролници	$0,1 - 0,5 mm$	$0,12 mm$
Калупи за пресовање пластичних маса и др.	$0,04 - 0,06 mm$	$0,10 mm$
Делови машина и уређаја изложени трењу (осовине, клипови, рукавци зупчаника, ваљци)	$0,01 - 0,05 mm$	$0,50 mm$
Кошуљице цилиндра	$0,05 - 0,50 mm$	$0,75 mm$
Хромирање делова због мера без оптерећења (пресовани делови), чауре	-	$1,00 mm$
Клипне карике и цилиндри	$0,12 - 0,25 mm$	до $0,3 mm$

За делове нарочито оптерећене на хабање препоручује се слој хрома од $0,1mm$ уколико је подлога (основни материјал) са великом тврдоћом (око 60 HRC) а ако је мекана подлога (тврдоће 30 – 38 HRC), онда је слој дебљине $(0,3-0,4)mm$.

Као основни материјал за превлаке хрома служи сем челика, ливено гвожђје, бакар, месинг и алуминијумска бронза, али моћ пенетрације хрома је најбоља на челику.

Нови део који ће се тврдо хромирати, а који је изложен оптерећењима на удар или притисак, треба конструкционо да одговара намени, односно да се примени као и без хромирања, док делови који су изложени само трењу не треба да се термички дотерују. Ту тврди хром може да буде замена термичкој обради, што је економичније, јер се може узети јефтинији челик (мање легиран, односно угљенични) у појединим случајевима.

Од конструкционих делова хромирају се разне осовине и осовинице, тањирићи, зупчаници, разне чауре, делови пумпи, полуге, капице, оквири, рукавци радилице и брегасте осовине (слика 7.1), цилиндри, клипне карике (компресионе, клипови преса, разни рукавци, ваљци у графичкој и текстилној индустрији итд.).



Слика 7.1 Хромирана брегаста осовина

Од алата хромирају се секући алати, алати за хладно извлачење, мерни и контролни алати (као шублери, микрометри, дубинометри итд.) матрице, алати за вулканизацију, за израду пластичних маса и др. (хром је отпоран на сумпор, фенол, винил-хлорид, винил-ацетат, азотну киселину из нитро-целулозе итд.).

Хром се добро понаша у спрегу са цементираним и нитрираним деловима, са челиком веће тврдоће од 57 HRC, као и са лежajима веће тврдоће (оловна бронза, алуминијумска бронза, ливено гвожђе, вештачке пресоване масе и др.), док са сребром не даје задовољавајуће резултате. Хром на хром се не примењује јер настаје трошење.

Предност хромног слоја је и у томе што се он може у случају трошења заменити новом превлаком.

Тврдо хромирање је доста дуг процес и слој хрома преко $(0,3-0,4)mm$ је неки пут и неекономичан. Поред тога, дебљи слојеви су мање отпорни на трошење јер имају грубљу структуру, тако да се за оптерећене делове препоручује максимални слој хрома од $(0,25-0,30)mm$. За брушење се оставља вишак хрома у слоју $(0,05-0,15)mm$ у зависности од величине дела и профила.

За услове где се још увек ради о очувању радног века скупих (често и иностраних) делова, питање рентабилности уопште се и не поставља.

Ограничења у примени односе се на компликоване делове, јако оптерећене у раду, нарочито где има слабијих пресека, а посебно још ако су термички или механички напрегнути (брушени) пре хромирања, јер се у том случају напони сабијају. Пре и после тврдог хромирања, односно завршене обраде, одговорни делови треба да се шаљу на магнетни преглед ради установљивања евентуалних прскотина, које су извор лома услед замора материјала. Хром се не препоручује за делове који примају концентричне ударе на једном месту (нпр. опруге).

Хромна превлака не може да се наноси на магнезијум, алуминијум, цинк, кадмијум, олово и њихове легуре.

При хромирању челичних делова у склопу са деловима од електрона (легура магнезијума) и месинга треба водити рачуна о појави њиховог растварања у хромном електролиту, нарочито на рељефним површинама, услед појаве „сенчења“ и при прекиду струје.

Ако је део са хромном површином изложен у току експлоатације повећаној температури, разлици температуре или локалном хлађењу, онда је пожељно узети мањи слој хрома, јер због разног термичког ширења челика и хрома (хром има мањи коефицијент топлотног истезања од ливеног гвожђа и челика, а знатно мањи од бакра и никла) може да наступи одвајање хромне насlage од основног материјала. Насупрот томе, у случају неке челичне основе, нарочито при појави већих оптерећења, танак слој хрома може да се утисне у основу, па настаје трошење хрома, љуштење и др. На квалитет хромног слоја утичу све неправилности у материјалу до дубине од $0,5\text{mm}$ и то у јачој мери уколико је је дебљина слоја већа.

Својство хромне превлаке је да има слабу адхезију према другим материјалима, што је нарочито важно у случају подмазивања. Зато, да би се филм уља задржао на тарућим површинама, примењује се тзв. порозно хромирање јер обичан хром захтева добро подмазивање.

Што се тиче заштитних својства од корозије, због тога што је хромоксид, који се ствара при хромирању и обавија зрна гвожђа, електропозитивнији од гвожђа, та заштита је механичке природе. Да не би наступила још јача корозија дела са хромном превлаком, потребно је да она сасвим прекрије површину и да слој има довољну дебљину. Ако има рупица у материјалу, због настанка корозије између основе и хрома настаје одвајање односно љушћење превлаке.

7.2. Пигмент

Минерални крокаит (crocoite) који је приказан на слици 7.2, се такође назива и оловни хромат PbCrO_4 је коришћен као жути пигмент убрзо након открића. Након што је метода синтезе постала доступна почевши од обилнијег хромита, хром жута је, заједно са кадмијум жутом, један од најчешће коришћених жутих пигмената.



Слика 7.2 Минерал крокаит PbCrO_4

Пигмент не фотодеградира, али има тенденцију да потамни због формирања оксида хрома (III). Има јаку боју и коришћен је за школске аутобусе у Сједињеним Америчким Државама и за поштанску службу у Европи. Употреба хром жуте боје је од тада смањена због еколошких и безбедоносних проблема и замењена је органским пигментима или другим алтернативама које су без олова и хрома. На америчким путевима хромирани пигменти се користе за прављење жутих линија које означавају саобраћајне траке. Пигменти који садрже хром налазе се у различитим козметичким производима.

Остали пигменти који се базирају на хрому су, на пример, дубока нијанса црвеног пигмента хром црвено, што је олово хромат са оловним (II) хидроксидом ($\text{PbCrO}_4 \text{ Pb(OH)}_2$). Утврђено је да је лако оксидовани алкохол битан састојак. Хром зелена је мешавина пруске плаве и хром жуте, док је хром оксид зелени хром (III) оксид.

Оксиди хрома се такође користе као зелени пигмент у области израде стакла, а такође и као глазура за керамику. Зелени хром оксид је изузетно лаган и као такав се користи за премазе облога. То је такође главни састојак у инфрацрвеним рефлектујућим бојама, које оружане снаге користе за фарбање возила.

7.3. Хром у медицини

Постоје два облика хрома: тровалентни хром и хексавалентни хром. Први се налази у храни и суплементима и безбедан је за људе. Други је познати токсин који може изазвати проблеме са кожом и рак плућа. Хром се узима орално ради побољшања контроле шећера у крви код особа са преддијабетесом, дијабетесом типа 1 и типа 2 и високим шећером у крви због узимања стероида и ХИВ третмана.

Узима се орално и за депресију, Турнеров синдром, синдром полицистичних јајника (ПЦОС), снижава „лош“ холестерол, подиже „добар“ холестерол код људи који узимају срчане лекове назване бета блокатори, гојазност, метаболички синдром, срчани удар, шизофренију, биполарни поремећај, поремећаје у исхрани и болест која се зове реактивна хипогликемија.

Хром се такође узима орално за побољшање атлетских перформанси, за повећање енергије и за лечење пада памћења и вештина размишљања код старијих људи. Хром може да помогне да ниво шећера у крви буде нормалан побољшавајући начин на који наша тела користе инсулин.

Може бити ефикасан за:

- Дијабетес: Неки докази показују да узимање хром-пиколината (хемијског једињења које садржи хром) орално, било самостално или заједно са биотином, може снижити шећер у крви, снижити ниво инсулина и помоћи инсулину да ради у случају дијабетеса типа 2. Такође, хром пиколинат може смањити гојење и нагомилавање масти код људи са дијабетесом типа 2 који узимају класу лекова против дијабетеса. Веће дозе хрома могу бити ефикасније и брже делују и код неких људи могу такође смањити ниво одређених масти у крви (холестерол и триглицериди). Рана истраживања показују да би хром-пиколинат могао имати исте користи код људи са дијабетесом типа 1, код људи који имају дијабетес као резултат лечења стероидима и код људи који имају дијабетес који се развија током трудноће.
- Висок ниво холестерола или других масти (липиди) у крви (хиперлипидемија): Нека истраживања показују да узимање 15-200mcg хрома дневно током 6-12 недеља снижава липопротеин ниске густине LDL или „лош“ холестерол и укупни ниво холестерола код људи са мало високим или високим нивоом холестерола. Друга истраживања указују да узимање хрома током 7-16 месеци снижава триглицериде и LDL и повећава липопротеин холестерола високе густине HDL или "добар" холестерол. Такође, чини се да само узимање хрома или заједно са другим суплементима смањује ниво масти у крви код људи са високим нивоом масти у крви.

7.4. Друге употребе

Јони хрома (III) присутни у кристалима корунда (алуминијум оксид) узрокују да буду обојени црвено; када се корунд појављује као такав, познат је и као рубин (слика 7.3). Ако корунд недостаје хромовим (III) јонима, познат је као сафир.



Слика 7.3 Рубин

Вештачки рубин црвене боје може се постићи и допирањем хрома (III) у вештачке кристале корунда, чиме се хром чини обавезним за прављење синтетичких рубина. Такав синтетички рубин произведен је 1960. године и ослањао се на стимулисану емисију светлости из атома хрома у таквом кристалу. Рубински ласер је тамно црвене боје, у распону од 694,3 нанометара.

Због своје токсичности, соли хрома (VI) се користе за очување дрвета. На пример, хромирани бакар арсенат (ССА) се користи у обради дрвета за заштиту од гљивица, инсеката који нападају дрво укључујући термите.

Формулације садрже хром на бази оксида CrO_3 између 35,3 и 65,5%. У Сједињеним Америчким Државама, 1996. године коришћено је 65,300 тона ССА једињења.

Соли хрома (III) посебно хром алуминијум и хром (III) сулфат, користе се у штављењу коже. Хром (III) стабилизује кожу укрштањем колагених влакана. Хромирана штављена кожа може садржати између 4 и 5% хрома, који је чврсто везан за протеине. Иако облик хрома који се користи за штављење није шестовалентна врста, остаје интересовање за управљање хромом у овој индустрији.

Висока отпорност на топлоту и висока температура топљења чине хромит и хром (III) оксид материјал за високотемпературне ватросталне примене, као што су високе пећи, цементне пећи, калупи за печење опека и ливарски пескови за ливење метала. У овим применама, ватростални материјали су направљени од смеша хромита и магнезита. Употреба постепено опада због еколошких правила у вези за могућностима формирања хрома.

Неколико хромових једињења се користи као катализатор за прераду угљоводоника. На пример, Филипсов катализатор, припремљен од хромових оксида, користи се за производњу око половине полиетилена у свету. Мешани оксиди Fe-Cr се користе као катализатори високе температуре за реакцију промене воденог гаса. Бакар хромит је користан катализатор хидрогенације.

Хром је круцијалан у производњи нерђајућег челика. Пошто нерђајући челик не рђа и лако се стерилизује, део је многих предмета које користимо у свакодневном животу. Примена нерђајућих челика је у данашње време веома разнолика најчешће се користи у прехранбеној индустрији (X5 CrNi 18-10) због својих нерђајућих и анти магнетичких својстава а самим тим и високог степена стерилности материјала. У новије време на тржишту је доста доступан у квалитету (X6 Cr 17) који се доста успешно користи за декоративне сврхе кад је реч о опремању ентеријера и простора који нису изложени агресивним атмосферским утицајима. Код овог квалитета је специфично то што није анти магнетан и нема толики степен отпорности као X5 CrNi 18-10 али је истовремено и цена на тржишту знатно нижа, овај нерђајући челик се још популарно назива и водоотпорни.

Неки од најпрепознатљивијих предмета укључују кухињске апарате, опрему за прераду хране и медицински и стоматолошки алат.

Многи делови на аутомобилима (слика 7.4) обложени су хромом. Хром у супер-легурама (легури високих перформанси) омогућава млазним моторима да раде у окружењу високих температура, високог напона и у хемијски оксидационим срединама.



Слика 7.4 Хромирана лајсна за аутомобил

Хромит се користи у машинама које оперишу на високим температурама, као што су пећи и калупи за печење опеке, јер задржава чврстоћу у таквим условима.

8. Закључак

Хром се користио још у древној Кини за време цара Qin Shi Huanga али први пут је приметио Gottlob Lehmann који је открио наранџасто-црвени минерал на Уралу. Будући да га је идентификовао као једињење олова, гвожђа и селена, хром је остао неоткривен.

Тек крајем 18.-ог века Louis - Nicolas Vauquelin је добио (III) оксид Cr_2O_3 из крокоита и хлороводоничне киселине, а годину дана касније издвојио је елементарни хром.

Тачка топљења му је 1907°C што је релативно ниско за разлику од других прелазних метала. Тачка кључања од 2671°C је релативно мања и трећа је најнижа тачка кључања од прелазних метала из периода 4, одмах иза мангана и цинка. Хром има необично високу рефлексiju у односу на друге прелазне метале.

Хром има велику улогу као легирајући елемент. Главни је састојак нерђајућег челика, а откривен је случајно када је енглески металург Harry Brearley радио на пројекту побољшања квалитета цеви пушака. Као легирајући елемент формира транспарентни и безбојни заштитни слој на површини маатеријала, а уколико дође до његовог механичког оштећења, веома брзо реагује у присуству кисеоника из воде или ваздуха, и ствара нови заштитни филм, тако да инокс (прохром) не захтева никакву додатну површинску заштиту против корозије.

Нерђајући челици поседују низ изузетних својства које их разликују од осталих класа челика, у односу на угљенични челик као што је: нелегирано и асиметрично – деформацијско понашање, азинтропију, изражен одговор на процес хладног обликовања, различит утицај почетних имперфекција и различита термичка својства, стога распоред заосталих напона и њихов утицај на конструкцију.

Релативно висока тврдоћа и отпорност на корозију нелегираног хрома чини га поузданим металом за површинске премазе; и даље је најпопуларнији метал за облагање лимова са својим надпросечном издржљивошћу у поређењу са другим металима за облагање.

Литература:

- [1]. М. Јовановић, В. Лазић и Д. Арсић, Наука о материјалима, Крагујевац, 2017.
- [2]. F. L. LaQue, H. R. Copson, Corrosion Resistance of Metals and Alloys, Reinhold Publishing Company, New York, U.S.A. (1965).
- [3]. T. Hanawa, in Metals for Biomedical Devices, 2010.
- [4]. Guan-Ting Pan, Siewhui Chong, Hsuan-Ju Tsai, Wei-Hua Lu, Thomas C.-K. Yang, The Effects of Iron, Silicon, Chromium, and Aluminum Additions on the Physical and Mechanical Properties of Recycled 3D Printing Filaments, 2016.
- [5]. Chromium (Cr) – Properties and Applications, AZoM is the leading online publication for the Materials Science community., (www.azom.com), 2013.
- [6]. В. Вујичић, Корозија и примена заштите метала, Београд, 2002.
- [7]. Xiaolu Pang, Kewei Gao, and Alex A. Volinsky, Microstructure and mechanical properties of chromium oxide coatings, Cambridge University Press, 2011.
- [8]. Chromium, The Plansee Group, (www.plansee.com).
- [9]. Besar Riyadi, Sarjito, Masyrukan, and Ricky Ary Riswan, Mechanical properties of Cr-Cu coatings produced by electroplating, (2017).
- [10]. Edward M. Griffiths, Method of surface treating and extruding die with chromium, Massachusetts, 1954.
- [11]. М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић, Н. Ратковић: Машински материјали, универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, 2003.