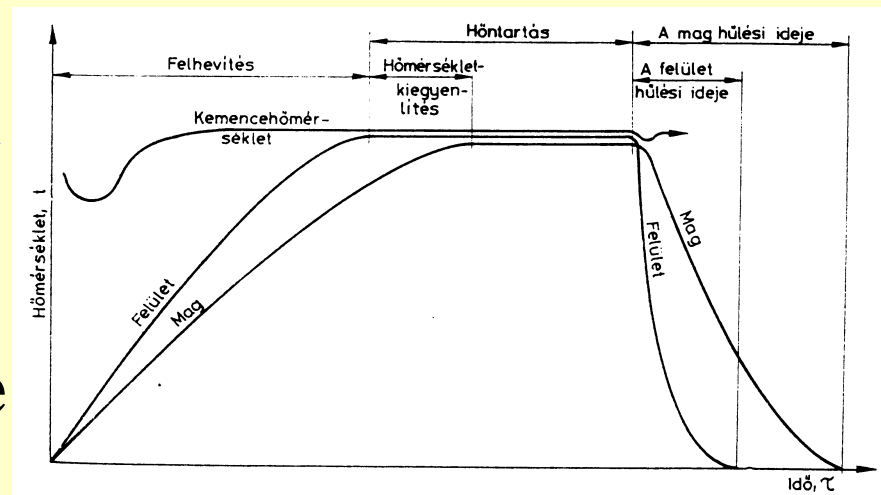


Hőkezelhetőség, hőkezelt alkatrészek vizsgálata

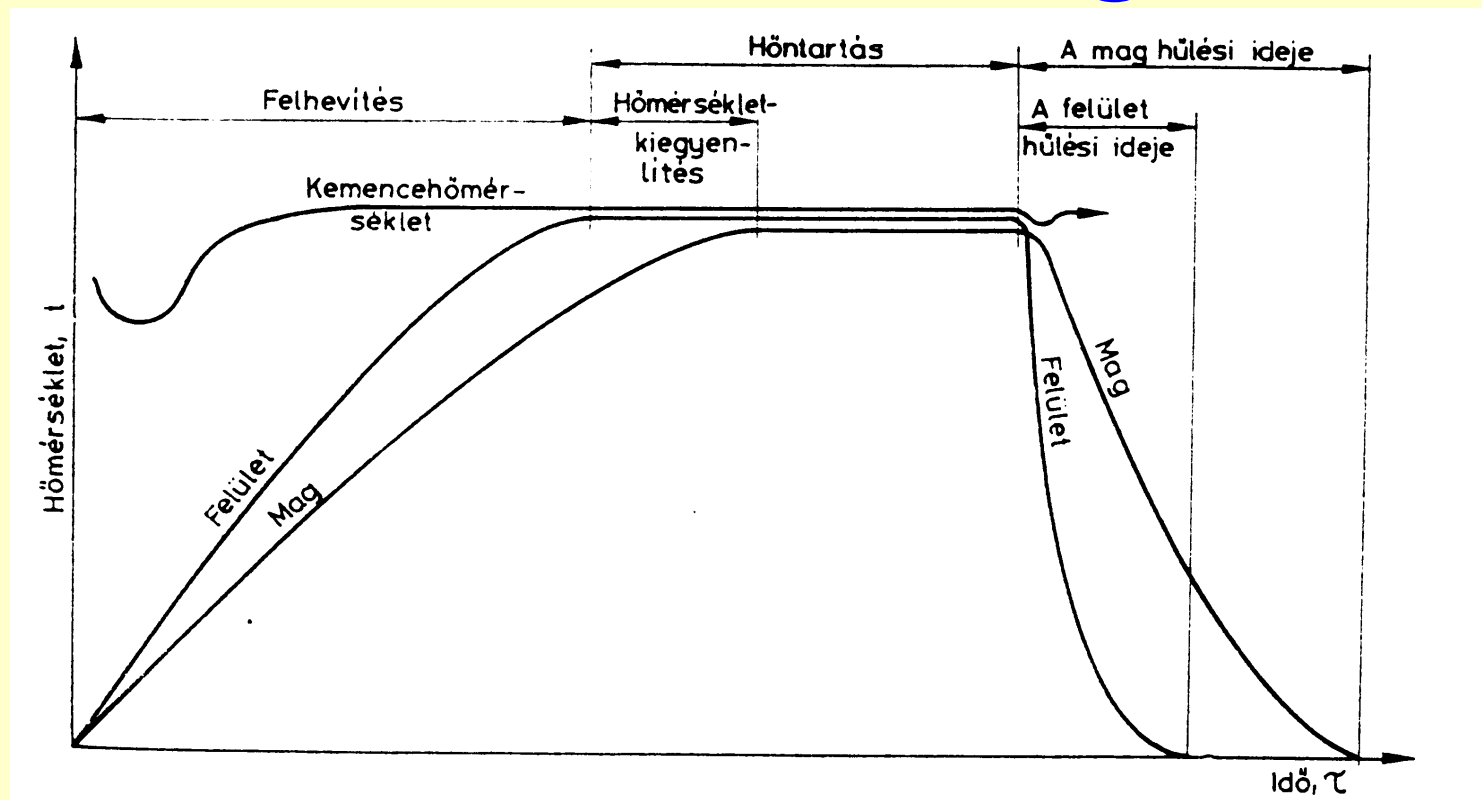
Hőkezelés

- A hőkezelés egy **tervszerűen megválasztott hőmérsékletváltoztatási folyamat**, mely **felhevítésből, hőntartásból és lehűtésből áll**, és célja a munkadarab **szövetszerkezetének illetve feszültségállapotának tudatos megváltoztatása**, az előírt tulajdonságok **elérése céljából**.



Hőkezelés

Hőmérséklet-idő diagram



Hőkezelés közben a szerkezeti anyag szilárd halmazállapotú, részlegesen sem olvad meg, tehát a hőkezelést csak a szolidusznál kisebb hőmérsékleten végezzük!

A hőkezelés alapja lehet:

- **az allotróp átalakulások befolyásolása, az eutektoidos folyamat egyensúlytól való eltérítése (vasötvözetek)**
- **a szilárd állapotban végbemenő oldódás és kiválás befolyásolása**
- **a diffúzió, a szilárd állapotban bekövetkező oldódás , ötvözés tudatos kihasználása**
- **feszültségmentesítés**

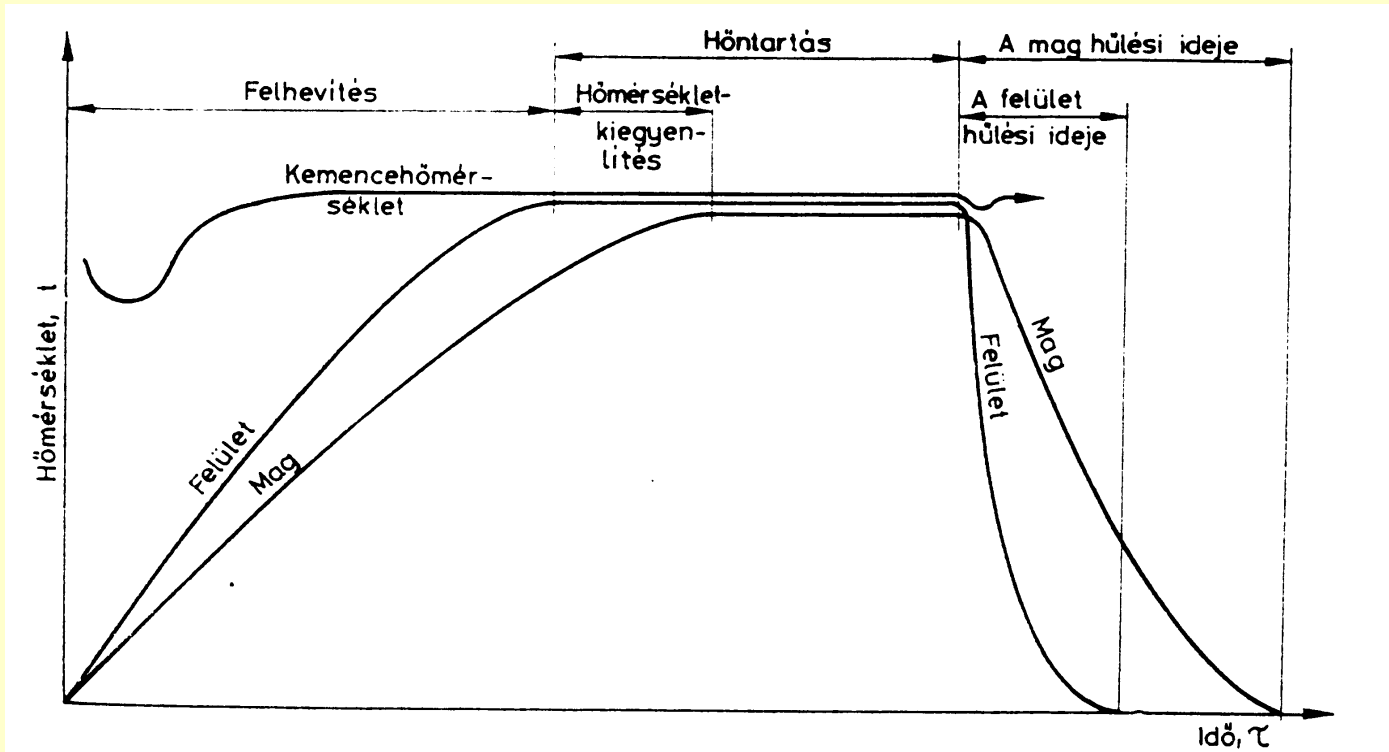
A hőkezelés során lejátszódó folyamatok

A darab és a környezet között **hőcsere** van.

- Megvalósulhat
 - ✱ hővezetéssel,
 - ✱ hőáramlással
 - ✱ hőszugárzással

Munkadarabok hevítése és hűtése (1)

Hevítés és hűlés során a munkadarab felületének és belsejének a hőmérséklete eltérő



Munkadarabok hevítése és hűtése (2)

A felület és a mag közötti hőmérséklet különbséget befolyásoló tényezők:

- **A mdb és a kemence közötti hőmérséklet különbség**
- **A hevítés sebessége**
- **A mdb hővezető képessége**
- **A mdb mérete**
- **A hőátadás módja**

A hőmérséklet különbség belső feszültségeket, repedéseket -hevítésnél és hűtésnél- , vetemedést okozhat!

A repedésveszély elkerülésére a felhevítés lehet szakaszos!

Munkadarabok hevítése és hűntartása (1)

- **A hűntartás célja:**
 - A hőmérséklet különbségek kiegyenlítése
 - A fémtani folyamatok lejátszódása (pl. ausztenítesedés)
- **A kemencében lejátszódó folyamatok:**
 - Oxidáció
 - Dekarbonizáció
 - Tudatos összetétel változtatás

Munkadarabok hevítése és hűntartása (2)

- **Oxidáció vasötvözeteknél:**
 - 200-300 C° között vékony oxid hártya
 - 600 C° fölött vastag, rideg oxidréteg (reve)
- **Dekarbonizáció vasötvözeteknél:**
 - Az elszéntelenedés 700 C° fölött indul meg
 - Ehhez hasonlóan az ötvözők is kiéghetnek
 - Következmény: a felületi kéreg nem edződik meg, kisebb szilárdságú, a húzófeszültségek miatt repedési veszély

Munkadarabok hevítése és hűntartása (3)

Egyéb gázok hatása az acél felületére:

- A hidrogén dekarbonizál**
- A szénmonoxid karbonizál**
- A nitrogén semleges**
- A széndioxid, oxigén és a vízgőz oxidál**
- A kéndioxid 800 C° fölött intenzíven revésít**

Munkadarabok hűtése (1)

- A lehűtés az izzítási hőmérsékletről szobahőmérsékletre szabályozottan történik
- A lehűtés sebességét az **elérni kívánt szövetszerkezeti változás** határozza meg
- A lehűtési sebesség főbb formái:
 - Gyors hűtés (edző, rögzítő hatású)
 - Normál hűtés (rendszerint levegőn)
 - Lassú hűtés (lágylító hatású)

Munkadarabok hűtése (2)

- **Hűtőközegek:**
 - Kemence (szabályozott, lassú hűlés)
 - Levegő (természetes hűlés)
 - Olaj (közepesen gyors hűtés)
 - Sóolvadékok, vizes emulziók, víz (gyors hűtés)
- A hűtési sebesség hatása a munkadarab hőmérséklet eloszlására:
 - Minél gyorsabb a hűtés, annál nagyobbak a hőmérséklet különbségek a felület és a mag között

A hűtőközeggel szemben támasztott követelmények (acél edzésekor)

- **A hűtési sebesség érje el a v_{kr} -t**
- **A hőelvonó képesség az M_s hőmérséklet felett legyen a legnagyobb**
- **Forráspontja, párolgási hője és lobbanáspontja magas legyen**
- **A felületről könnyen eltávolítható legyen**
- **Tulajdonságai a használat közben ne változzanak**

A hűtőközeg kiválasztásának szempontjai

- **Az ausztenitesítési hőmérsékletéről 500 C°-ra való lehűtés idő igénye**
- **A munkadarab tagoltsága, vetemedési hajlama**
- **Az acél átalakulási tulajdonságai (v_{kr})**
- **Szabály: mindig acélnak éppen megfelelő legkevésbé erőteljes hűtőközeget kell választani**

Hűtőközegek: víz

- **A legintenzívebben hűtő közeg**
- **Erősen hajlamos forrásra, ezért adalékokkal javítják (só, műanyag adalékok**
- **A tiszta víz hűtőhatása 300 C°-on a legerősebb, adalékolással a maximum 5-600 C°-ra eltolható, ami edzésnél kedvezőbb**
- **Adalékolással kedvező hűtő hatás állítható be**

Hűtőközegek: edzőolajok

- **Az olajok hűtő hatása enyhébb, mint a vízé, forráspontjuk is magasabb, emiatt az áramlásos hőátadás magasabb hőmérsékletekre tolódik**
- **A lobbanáspontnak magasnak kell lenni, hogy ne gyulladjon be az olaj ($T > 140 \text{ C}^\circ$)**
- **A belobbanás elkerülésére az olaj tömege nagy legyen, hogy a hőmérséklete a lobbanáspont alatt maradjon $40\text{-}60 \text{ C}^\circ$ -al**
- **Az olajok adalékolással javíthatók**

Hűtőközegek: sófürdők

- **Állandó hőmérsékletű fürdőbe helyezik a munkadarabokat (edzésnél 180-220 C°, ausztemperálásnál 500-650 C°)**
- **A hűtősók korábban cian vegyületeket tartalmaztak, ezeket felváltották a cianmentes sók**
- **Nincs gőzhártya képződés, kedvező a hűtő hatásuk**

Hűtőközegek: áramló gázok

- **Nitrogén és hidrogén gáz használható hűtésre**
- **Megfelelő nyomású, áramlási sebességű és hőmérsékletű gázzal elérhető az olaj hűtőhatása**
- **A gázzal való hűtés jól szabályozható, nem marad a felületen, vákuum kemencében ideális hűtőanyag**

A hőkezelhetőség fogalma

- **A hőkezelhetőség alatt a hőkezelésre való alkalmasságot értjük, amely jelenti:**
 - A hőkezelési hibák elkerülését (belső feszültségek, vetemedések, repedések)
 - A kívánt szövetszerkezet elérését a munkadarab keresztmetszetében
- **A hőkezelhetőséget mindig az adott hőkezelési technológiával kapcsolatban vizsgáljuk**

Az acélok hőkezelhetősége

- Az acélok hőkezelhetősége alatt szűkebb értelemben az **átedzhetőséget** értjük
- Az edzés teljes keresztmetszetre kiterjedő hőkezelés, amely erősen hűtési sebesség függő
- A munkadarab felszíne és magja közötti hűlési sebesség különbség indokolja az átedzhetőség vizsgálatát

Az acél edzhetősége, átedzhetősége

- Az acélnak azt a tulajdonságát, hogy ausztenites állapotból v_{kf} -nél nagyobb sebességgel hűtve martenzitessé tehető az acél **edzhetőségének** nevezzük.

Az acél edzhetősége, átedzhetősége

Az edzhetőség feltételei:

- 1. A szövetszerkezet a hűtés megkezdésekor legyen ausztenites.**
 - Hipoeutektoidos acéloknál: $A_{c3} + 30 - 50 \text{ C}^\circ$
 - Eutektoidos acéloknál: $A_{c1} + 30 - 50 \text{ C}^\circ$
 - Hipereutektoidos acéloknál: $A_{c1} + 30 - 50 \text{ C}^\circ$,
- 2. A C tartalom legyen nagyobb, mint 0,2 %**
- 3. A lehűlési sebesség legyen nagyobb, mint a V_{fkf} .**

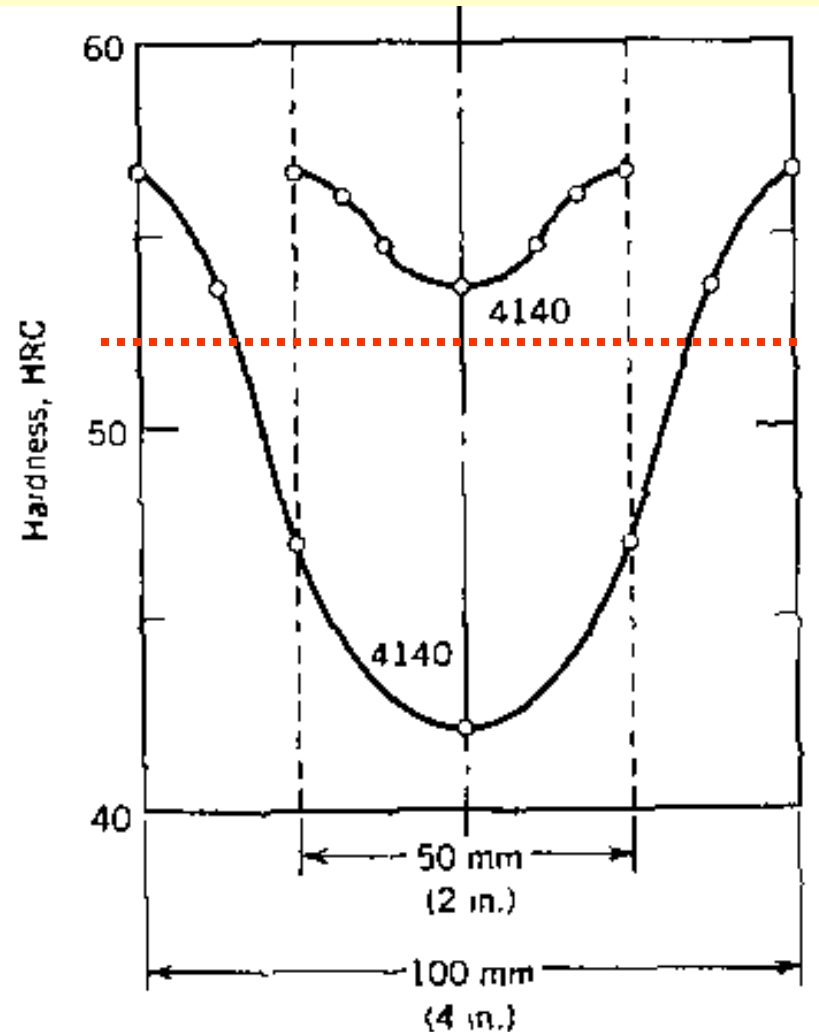
Az átedzhetőség fogalma

- **Ideálisan vagy teljesen átedződő szelvényátmérőnek nevezzük azt az átmérőt, amelynél az adott összetételű mdb teljes keresztmetszete martenzites lesz ($v > v_{kr}$)**
- **átedződő szelvényátmérőnek (DI) nevezzük azt az átmérőt, amelynél az adott összetételű mdb magja 50%-ban martenzites, 50%-ban bénites lesz**
- **A gyakorlatban az átedzhető szelvényátmérőt (DI) tekintjük edzhetőségi kritériumnak**

Keménység eloszlás, mint átedzhetőségi jellemző

Adott összetételű, adott
hűtőközegben hűtött acél
rúd keménység
eloszlásának változása

Amennyiben a magban
eléri a keménység az 50%
martenzit tartalomhoz
rendelt keménységet,
akkor a szelvény átedződő



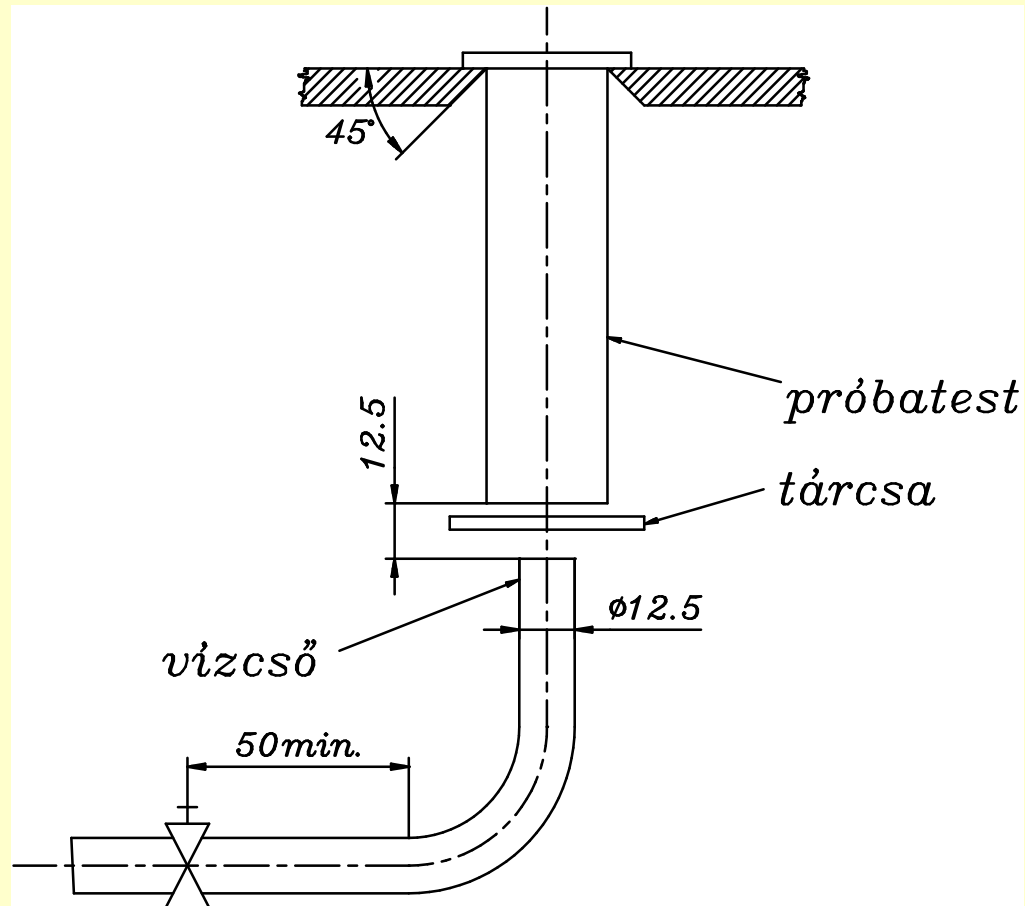
Az edzhetőség vizsgálata Jominy próbával (1)

- **A különböző átmérőjű rudakon végzett kísérletek helyett jól reprodukálható, szabványos vizsgálatot vezettek be, ez a Jominy próba (véglap edzési próba)**
- **A Jominy próba 25,4 mm átmérőjű, 100 mm hosszú hengeres rúd, melyet ausztenitesítés után a véglapon vízsugárral hűtenek**
- **A vizsgálati eredmény a paláston mért keménység eloszlás**

Az edzhetőség vizsgálata Jominy próbával (2)

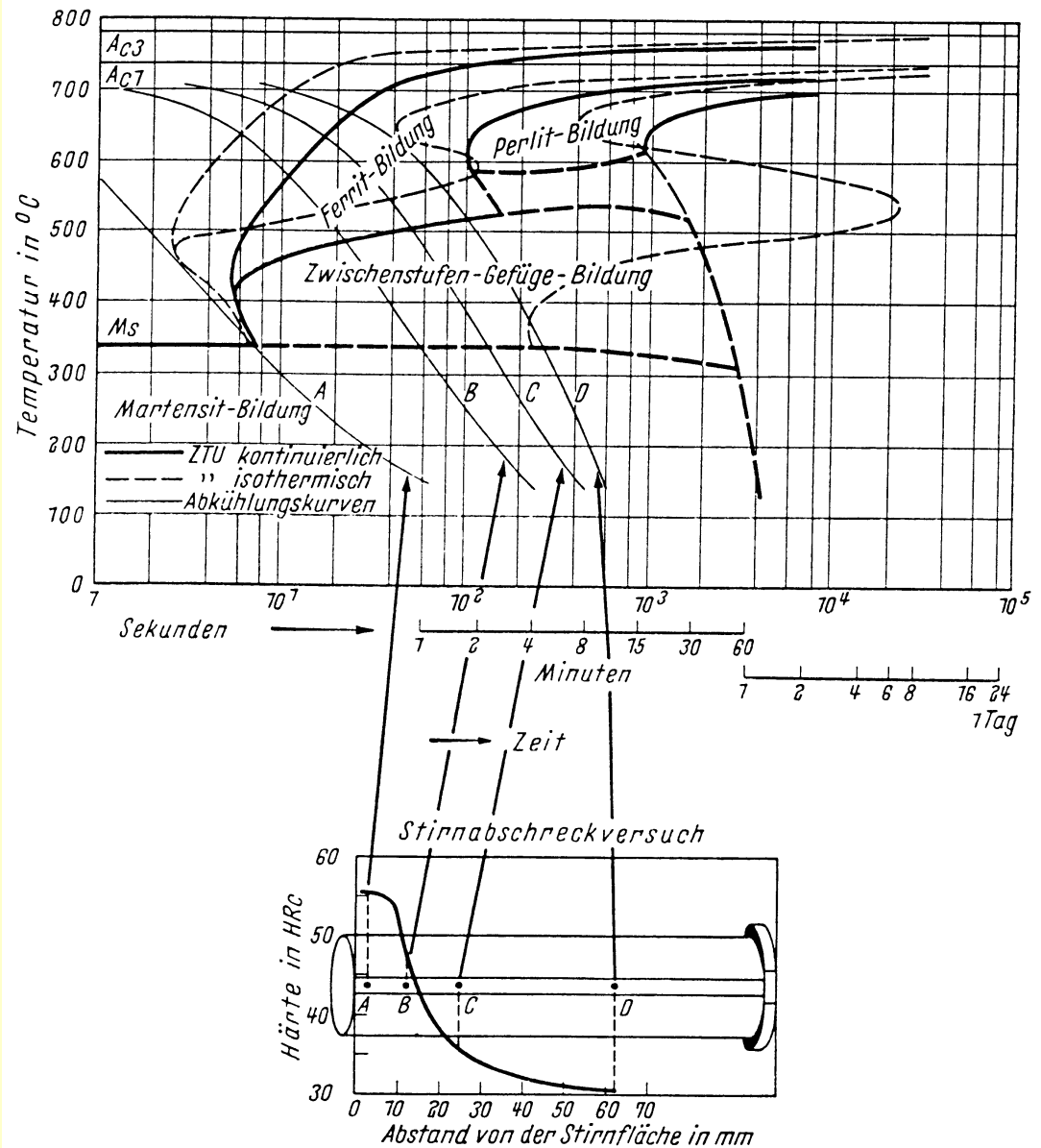
**A Jominy-
vizsgálat kísérleti
elrendezése**

**A vízsugár
intenzitása, ezáltal
a hűlési sebesség
állandósága az
esési magassággal
szabályozott**



Jominy vizsgálat

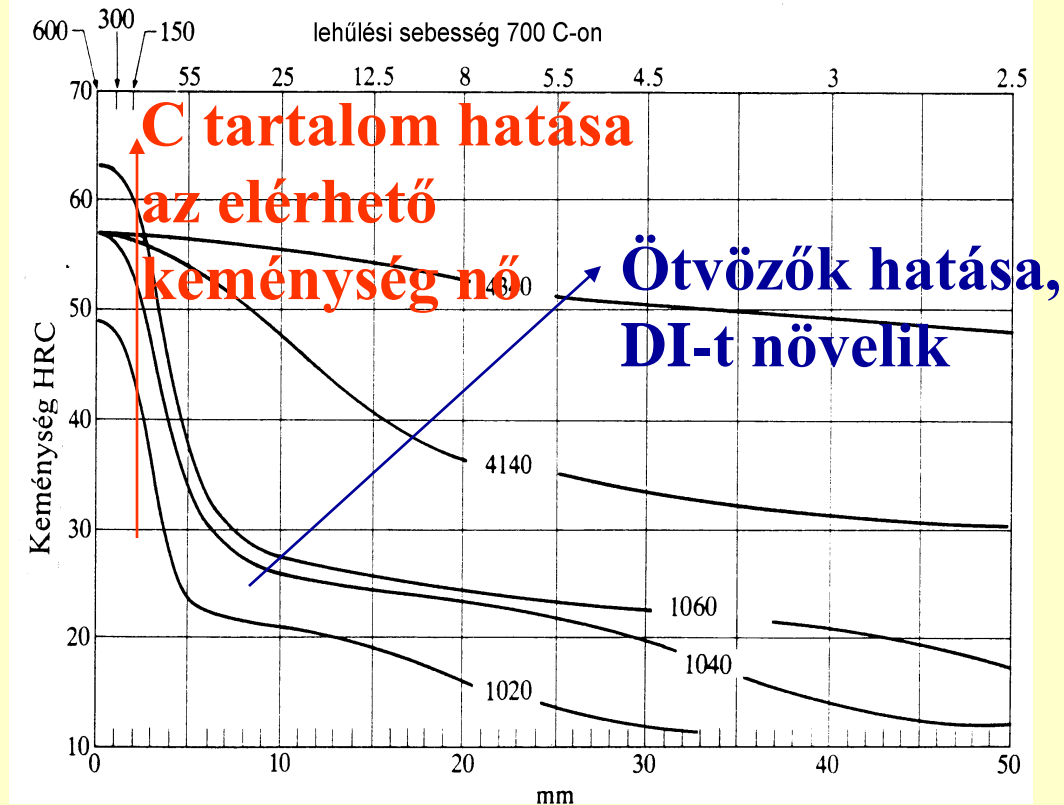
%C	%Mn	%Cr	%Mo	Korngröße
0,37	0,77	0,98	0,27	7 bis 8



A Jominy vizsgálat eredményeinek a megadása

- 1. a keménységi görbék megrajzolásával**
- 2. három pont keménységének megadásával, ahol az első pont az edzett véglaptól 1,5 mm-re, a második keménység csökkenés pontjában (99% martenzit, J_A), továbbá az inflexiós pontban (50% martenzit + 50 % perlit -bainit J_B)**
- 3. két - külön megállapodásban előírt távolságban lévő - pont keménységének megadásával**
- 4. egy - az edzett véglaptól előírt távolságban lévő - pont keménységének megadásával**

Ötvözetlen és ötvözött acélok Jominy görbéi



Jelölés SAE	J404	C%	Mn%	Ni%	Cr%	Mo%
1020		0,20	0,90	0,01	-	-
1040		0,39	0,89	0,01	-	-
1060		0,62	0,81	0,02	-	-
4140		0,38	0,79	0,01	1,01	0,22
4340		0,40	0,75	1,71	0,77	0,30

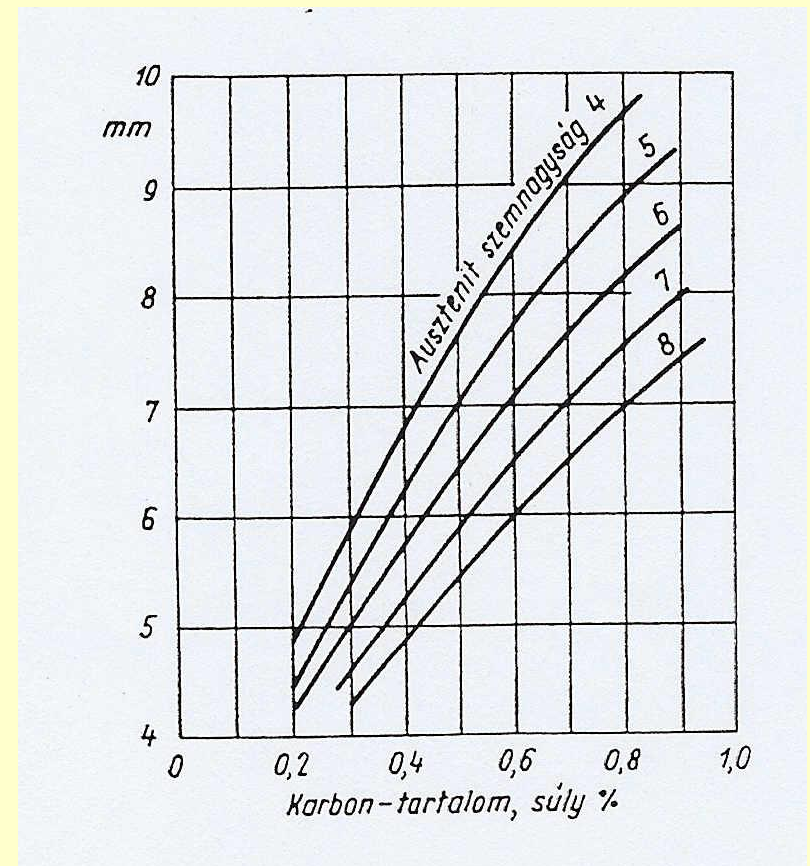
Az átedzhetőséget befolyásoló tényezők (1)

Ausztenit szemnagyság:

A számok 4-8-ig a szemcsenagyságot mutatják, a 8-as a legkisebb szemcse

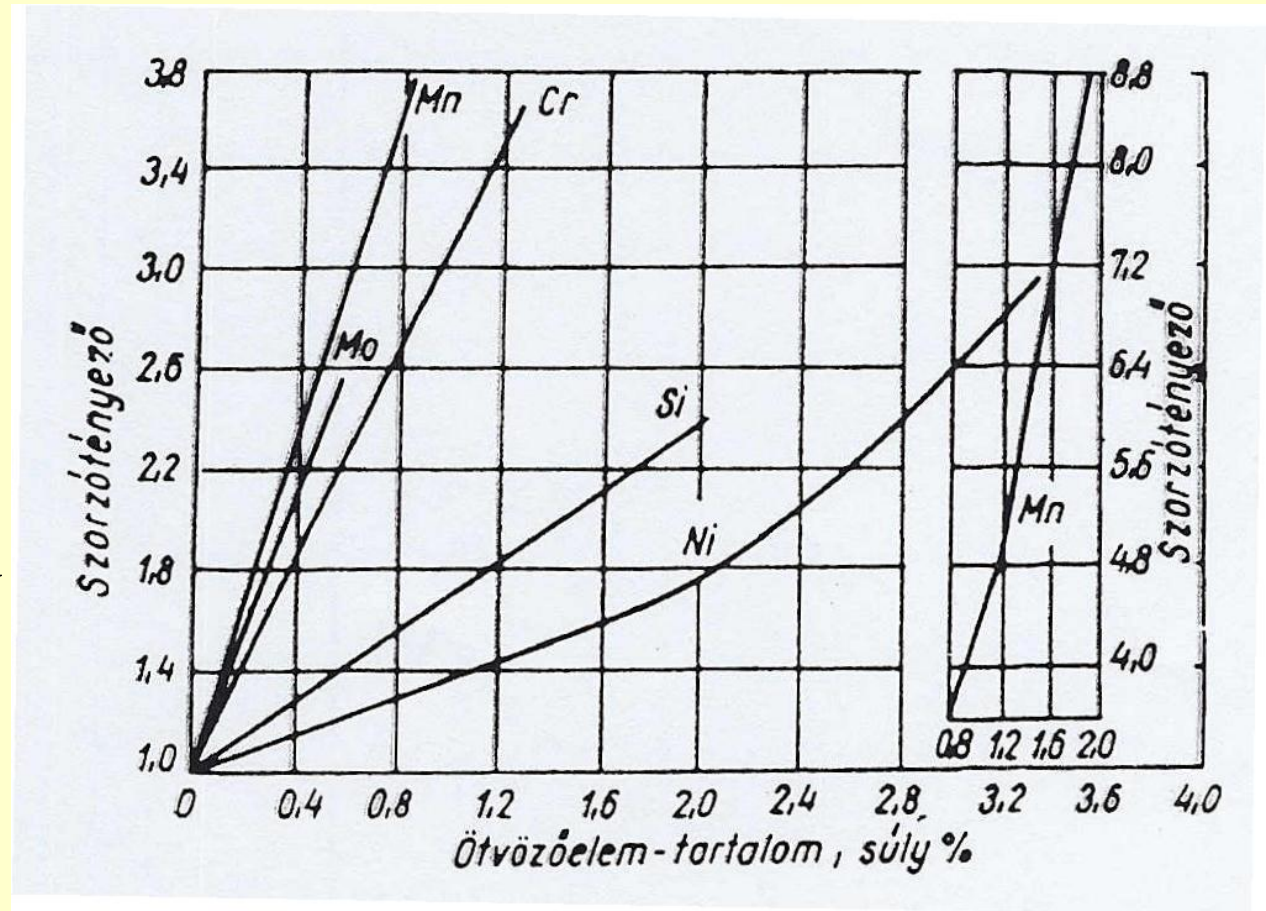
Minél nagyobb az ausztenit szemcsenagyság, annál jobb az átedzhetőség

A karbon tartalom növeli a martenzit keménységét, és az átedzhetőséget



Az átédzhetőséget befolyásoló tényezők (2)

Ötvözőelemek:
az egyes
ötvözők az
átédzhetőséget
eltérő
mértékben
növelik, ezt egy
szorzótényező
fejezi ki



A Jominy görbe és az átedzhető átmérő meghatározása számítással (1)

- **Ismert az acél kémiai összetétele**
- **Pl. a SAE J406-os szabvány tartalmazza az egyes ötvözők szorzófaktorát, melyből az átedzhető szelvényátmérőt (DI) lehet meghatározni**
- **A DI-ből a szabványban ismertetett módon lehet a Jominy görbét származtatni**

A Jominy görbe és az átedzhető átmérő meghatározása számítással (2)

C%	0,35	0,189
Mn%	0,86	3,867
Si%	0,26	1,182
Ni%	0,10	1,036
Cr%	0,96	3,074
Mo%	0,19	1,570
Cu%	0,22	1,080
V%	0,01	1,020

Adott ötvöző%-hoz ↑
tartozó szorzó faktorok

Példa: CrMo 35 acél
(SAE J406-os szabvány)

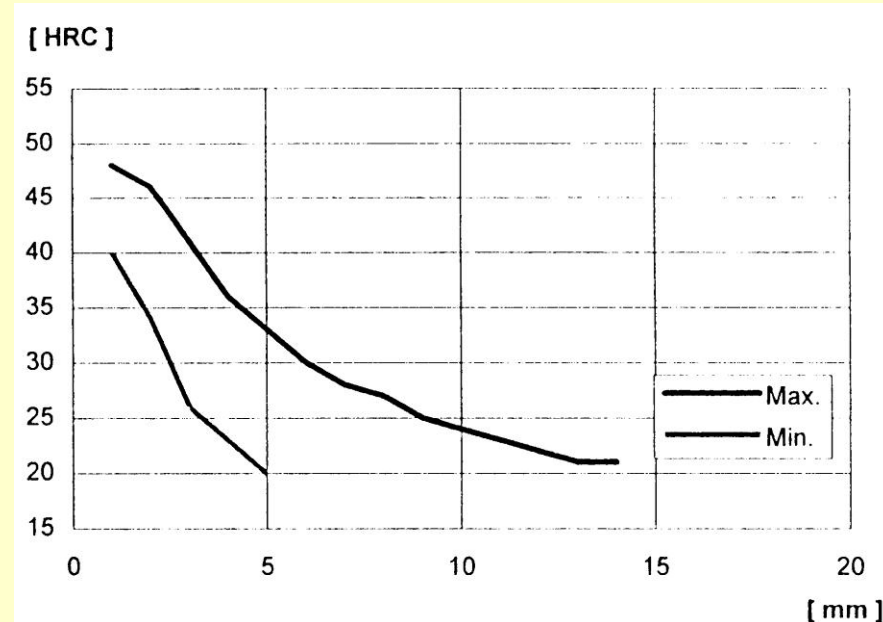
**A szorzó faktorok szorzata
adja az átedződő átmérőt:**
DI = 4,758" = 121 mm

**A Jominy távolságból és az
összetételből a szabványban
lévő szorzótényezőkkel
számítható a keménység**

DI \Rightarrow Jominy-görbe meghatározása

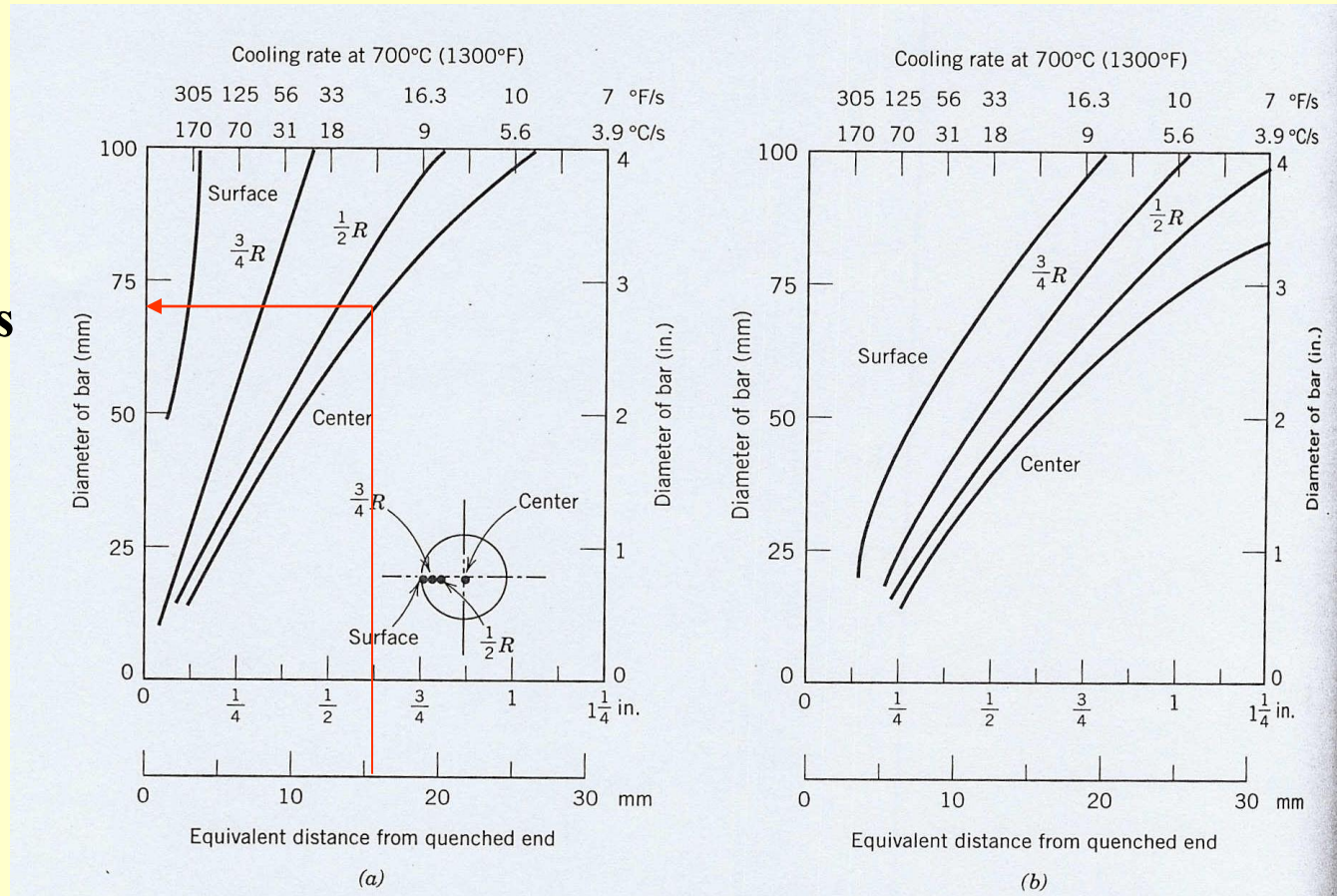
- A görbe első pontja a **karbontartalomhoz tartozó jelző keménység.**
- A görbe többi értékének kiszámításához táblázatból kiolvassuk az **elemeknek megfelelő osztószámot**, majd a megadott kezdeti keménységet ezekkel az **osztószámokkal elosztjuk.** Így kapjuk meg a görbe többi pontját.

Távolság mm	Keménység HRC	
	Minimum	Maximum
1,5	42	45
3	37	44
4,5	29	41
6,0	21	34
7,5	18	28
9,0	16	25



Az átedződő szelvényátmérő és a Jominy próba kapcsolata (2)

Példa:
 a véglaptól mért
 kb. 16 mm-es
 távolságban a
 hűlési sebesség és
 a keménység
 megegyezik a
 70 mm átmérőjű
 rúd középpont-
 jának hűlési
 sebességével és
 keménységével



Edzés vízben

Edzés olajban

Az átedződő szelvényátmérő és a Jominy próba kapcsolata (3)

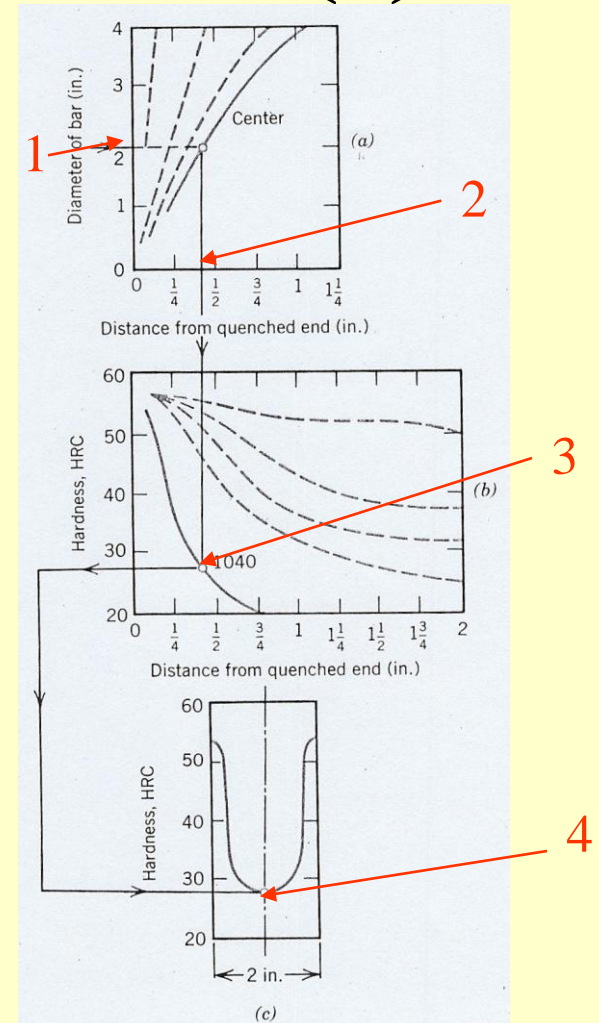
Példa: mekkora lesz a keménység egy 50 mm átmérőjű, vízben edzett rúd közepén?

Az Ø50 mm rúd közepe (1) megfelel 9,5 mm Jominy távolságnak (2)

Az adott Jominy távolsághoz tartozó keménység (3) kb. 28 HRC

Ezt az értéket vetítjük a rúd középvonalára (4)

Az $\frac{1}{2}$; $\frac{3}{4}$ R-hez és a felülethez tartozó értékeket hasonlóan számítjuk ki (30, 39, 54 HRC)



Az átedződő szelvényátmérő és a Jominy próba kapcsolata (4)

Példa: mekkora átmérőjű rúd közepén lesz 35 HRC a keménység?

A b) ábrán a 35 HRC-hez tartozó keménységet rávetítjük a Jominy görbére

Ezt átvetítjük a c) ábra „Center” feliratú görbéjére

A metszéspontot kivetítjük a függőleges tengelyre, ebből az átedzhető átmérő $1''=25,4$ mm

