



# Progresivní strojírenské materiály

## Materiály pro stavbu karoserie automobilu



# Požadavky na automobil

## Uplatnění na trhu

- nízká prodejní cena
- moderní design
- minimální dodatečný servis a údržba
- splnění legislativních požadavků EU



## Snižování výrobních nákladů

- zefektivnění předvýrobních etap
- zkracování výrobního procesu
- použití levnějších materiálů
- recyklovatelnost

## Snižování hmotnosti

- použití nových materiálů
- použití nových výrobních technologií

## Bezpečnost

- maximální požadavky na bezpečnost pasažérů
- zvyšování bezpečnosti chodců

# Bezpečnost automobilu

## Crash testy



Čelní náraz do deformovatelné překážky (přesazení 40%)



# Bezpečnost automobilu

## Crash testy

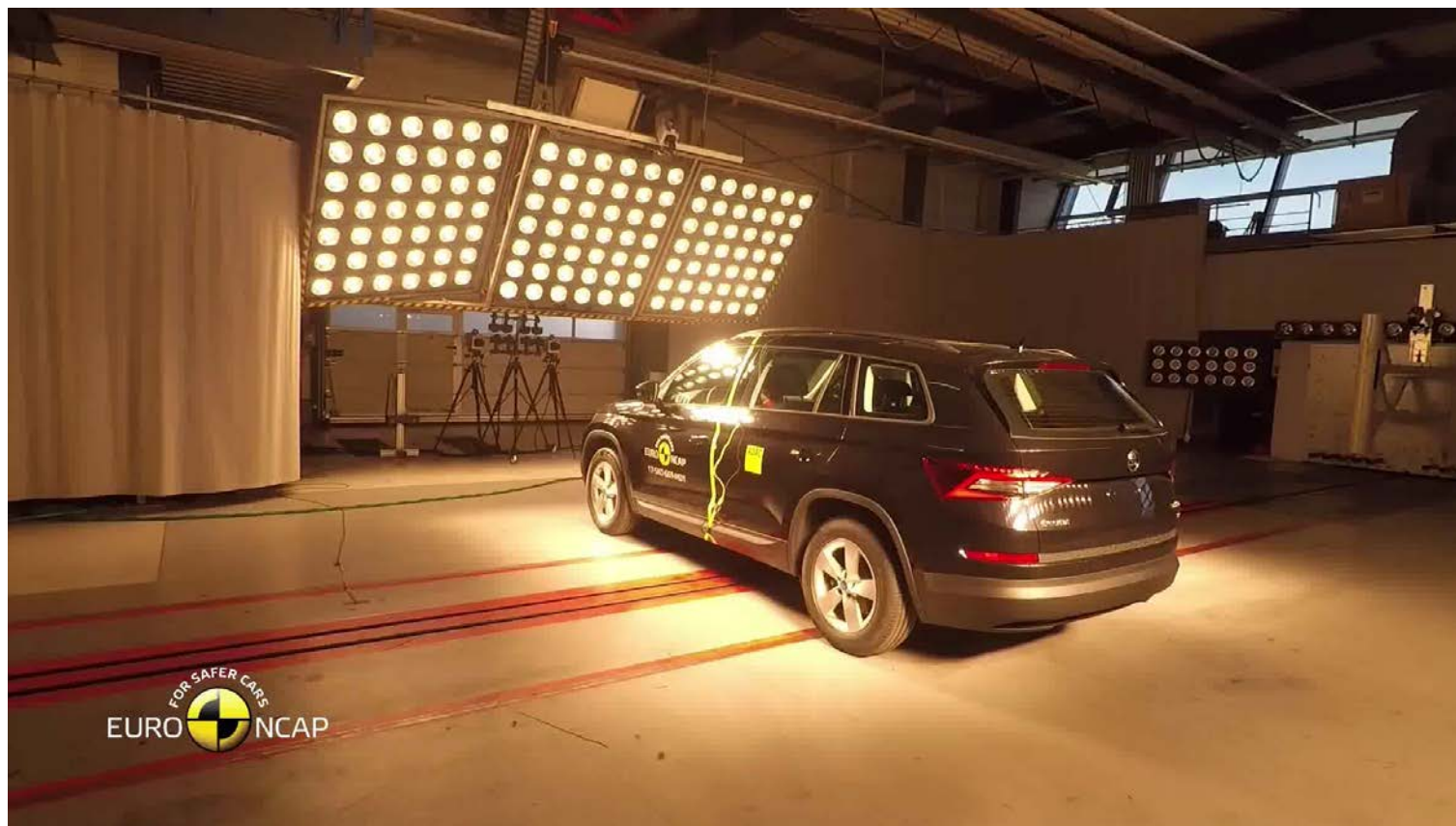


Čelní náraz do pevné překážky



# Bezpečnost automobilu

## Crash testy



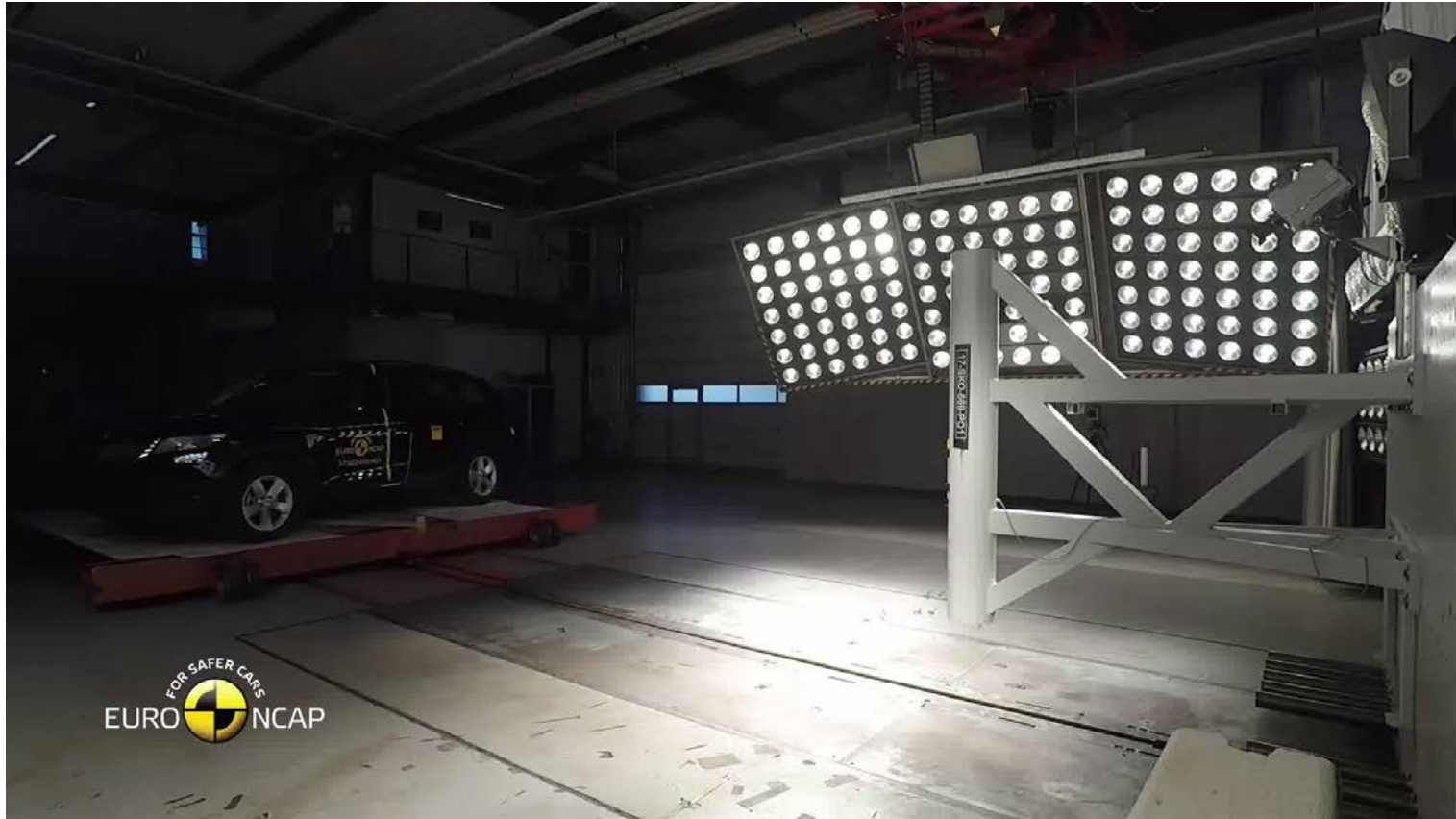
Boční náraz





# Bezpečnost automobilu

## Crash testy



Boční náraz do sloupu





# Bezpečnost automobilu

## Crash testy



Bezpečnostní testy pro chodce





# Bezpečnost automobilu

## Crash testy



Testy bezpečnostních systémů vozidla



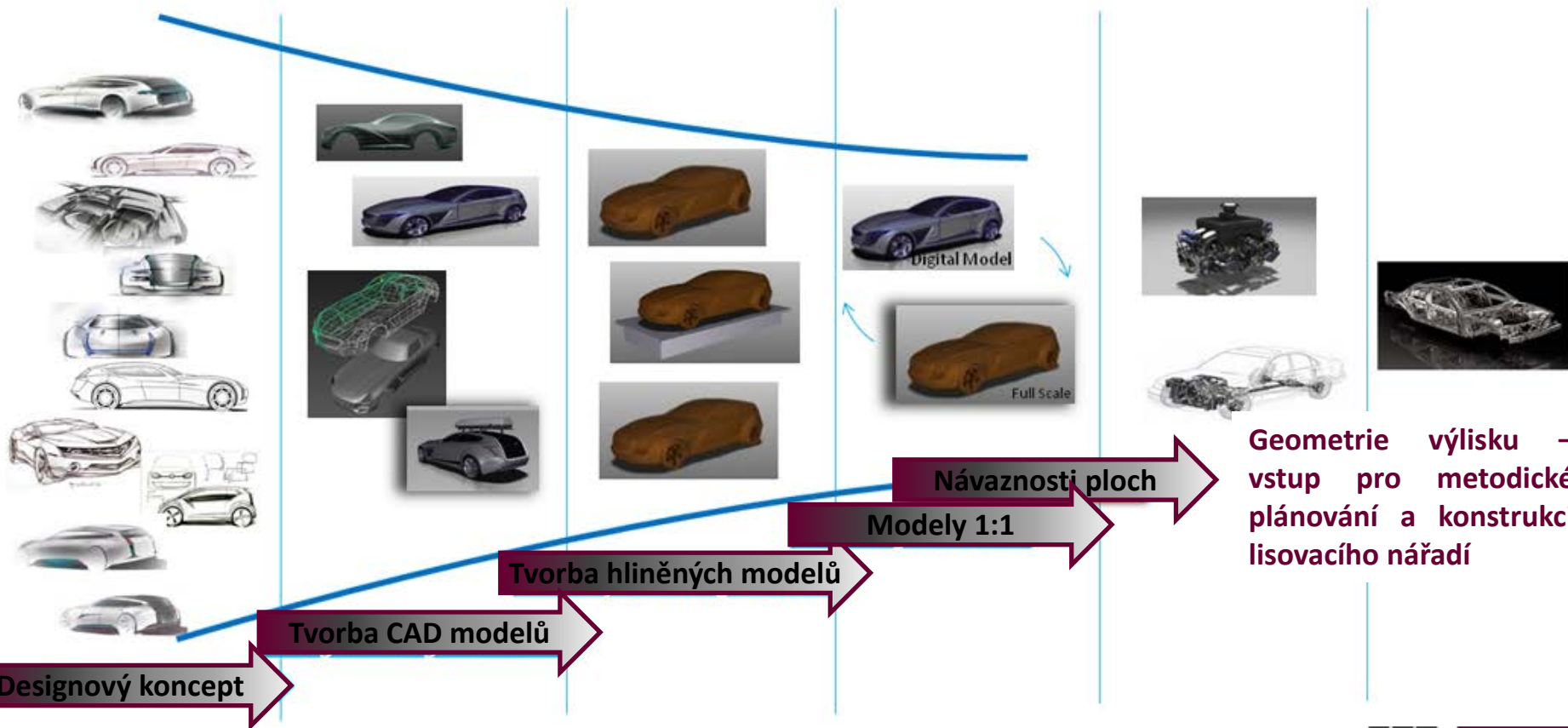




# Proces vývoje karoserie

cca 3 roky do SOP  
(Start of the Production)

cca 2 roky do SOP  
(Start of the Production)

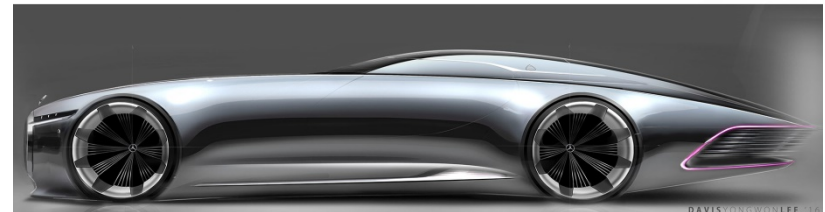
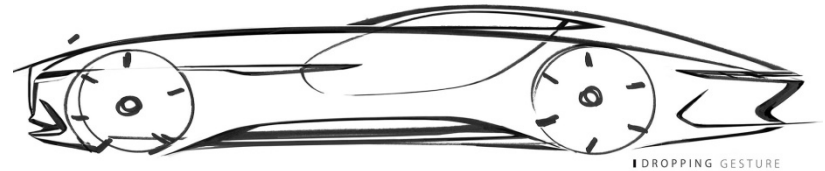


# Proces vývoje karoserie

## Designový koncept



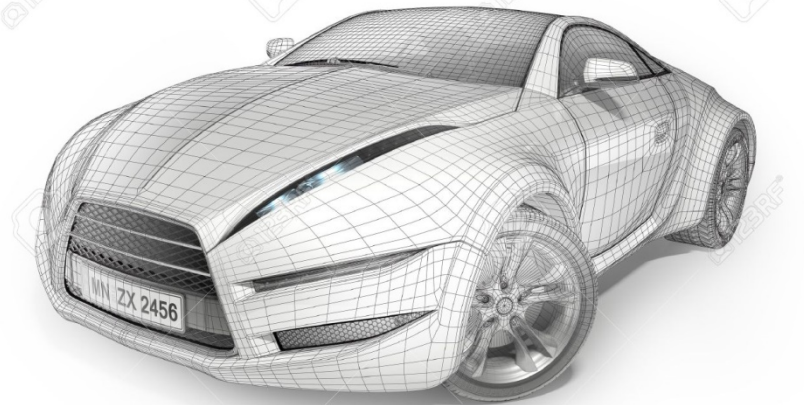
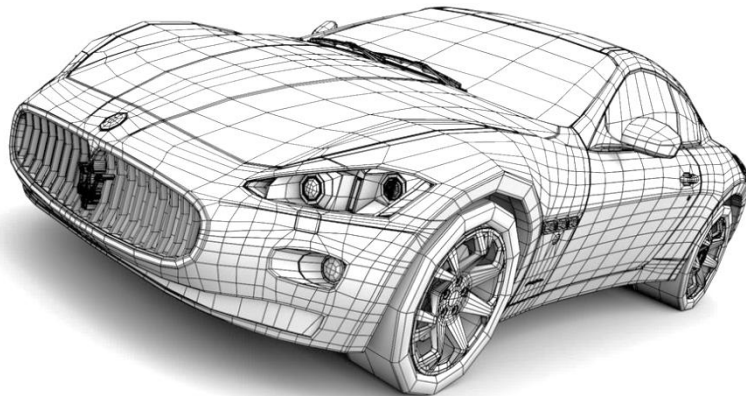
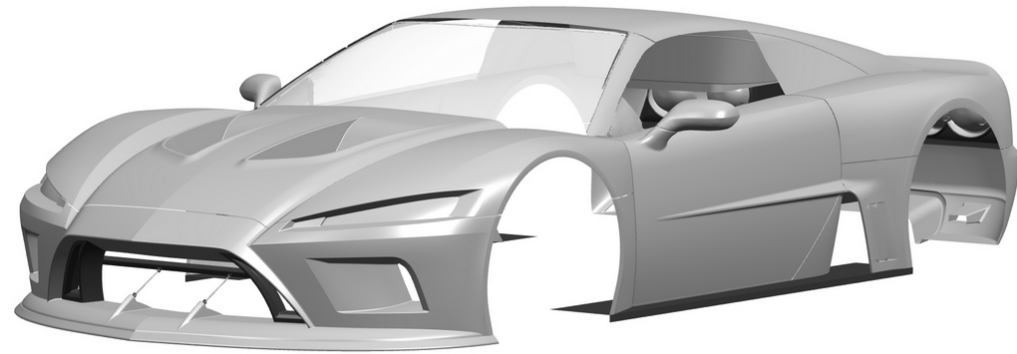
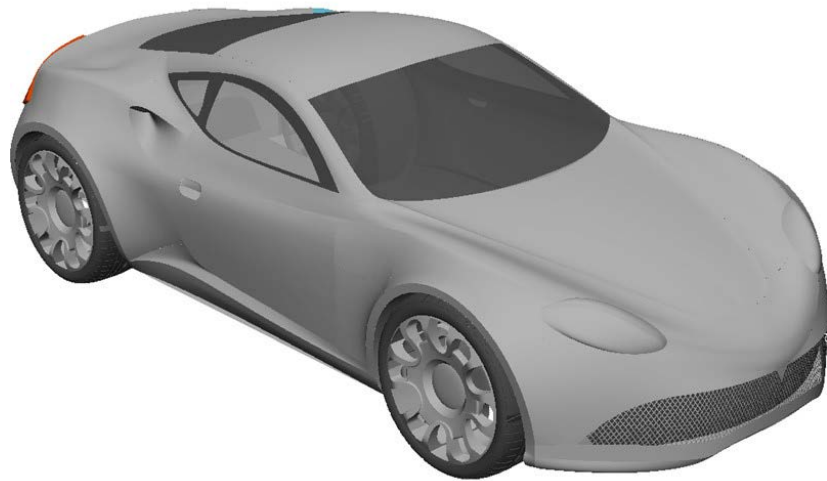
Skica





# Proces vývoje karoserie

## Tvorba CAD modelů



# Proces vývoje karoserie

## Tvorba hliněných modelů



**Stolní model**

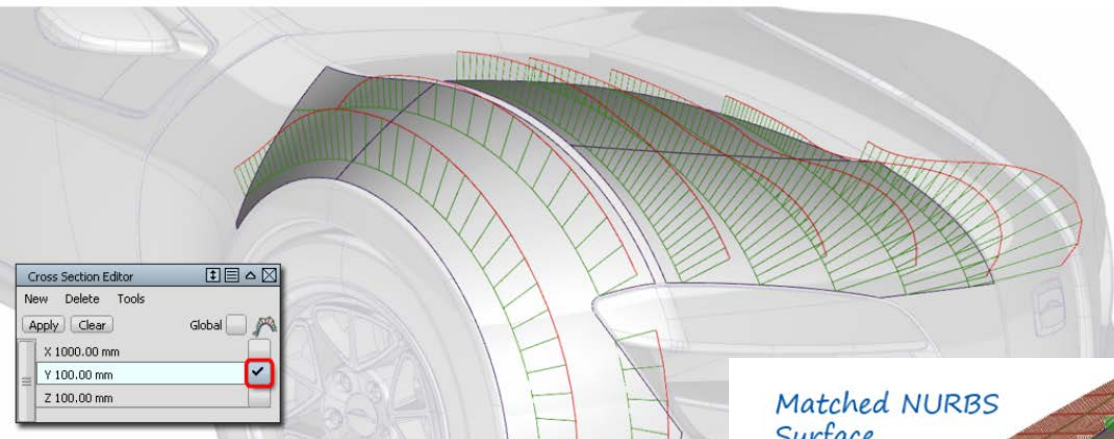


**Model 1:1**



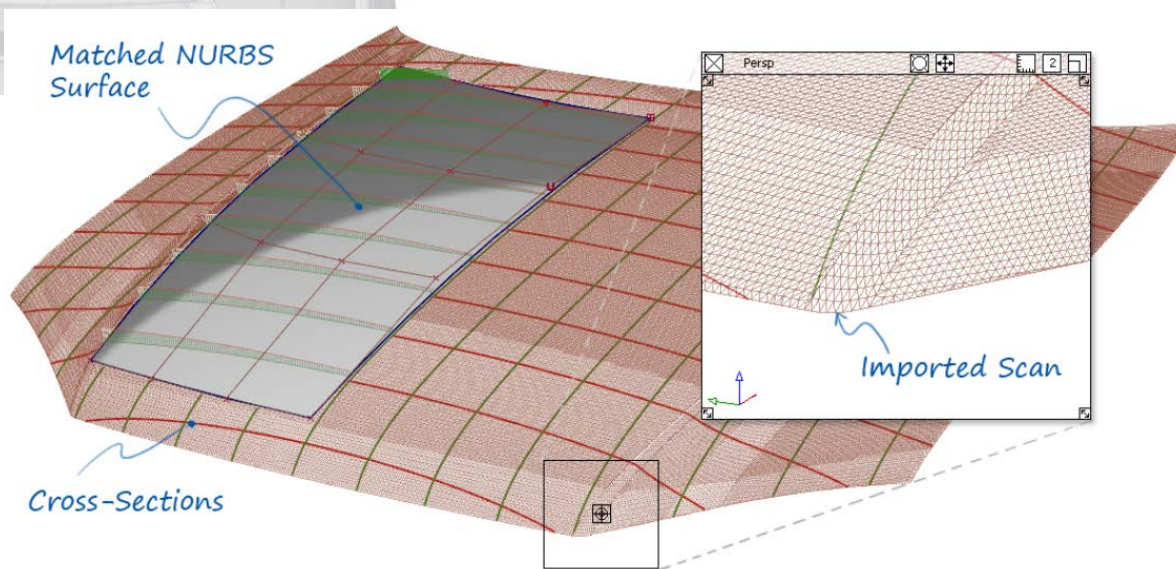
# Proces vývoje karoserie

## Návaznosti ploch



Reverzní inženýrství – modelování pomocí hliněného modelu a následné naskenování a úprava 3D dat

Analýza křivosti ploch – tzv. Highlightů



# Koncepce karoserie

## Samonosná konstrukce

- samonosná karoserie plně přejímá funkci nosného rámu
- dostatečně tuhý prostorový celek karoserie je tvořen převážně z plechových výlisků bez nutnosti výroby nosného pomocného rámu
- v místech upevnění náprav, motoru a převodovky je možné konstrukci zpevnit výztuhami
- pro spojování jednotlivých výlisků do sestav jsou dnes používány prakticky všechny technologie rozebíratelného i nerozebíratelného spojování (svařování, pájení, lepení, šroubové spoje, spojování tvářením atd.)

Porsche Panamera



Škoda Superb II



Mazda 6

# Koncepce karoserie

## Rámová konstrukce

- základem karoserie je prostorový rám složený z profilů, tenkostěnných odlitků a výlisků
- materiálem pro výrobu jsou převážně slitiny hliníku (některé díly mohou být i ze slitin hořčíku)
- pro terénní automobily jsou rámy tvořeny ocelovou konstrukcí
- vysoká tuhost karoserie vozidla
- obtížné spojování jednotlivých prvků karoserie, vyšší cenová náročnost

### Der neue Audi A8 L

Audi Space Frame in Multimaterialbauweise  
The new Audi A8 L  
Multimaterial Audi Space Frame

04/17



Aluminium-Blech Aluminum sheet	Ultrahochfester Stahl (warmumgeformt) Ultra-high strength steel (hot-formed)	Magnesium
Aluminium-Profil Aluminum section	Konventioneller Stahl Conventional steel	
Aluminium-Guss Aluminum castings	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK) Carbon fiber-reinforced plastic (CFRP)	



Fisker Karma



# Koncepce karoserie

## Skořepinová konstrukce - Monocoque

- základem karoserie je kompozitní skořepina z uhlíkových vláken s integrovanými pomocnými rámy z lehkých slitin
- vzhledem k vysoké finanční náročnosti je tento koncept používán převážně u luxusních sportovních automobilů
- pro svoji nízkou hmotnost nachází v současnosti uplatnění i u elektromobilů a vozidel s hybridním pohonem

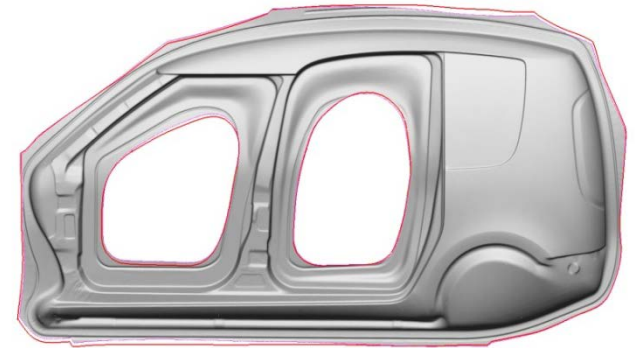




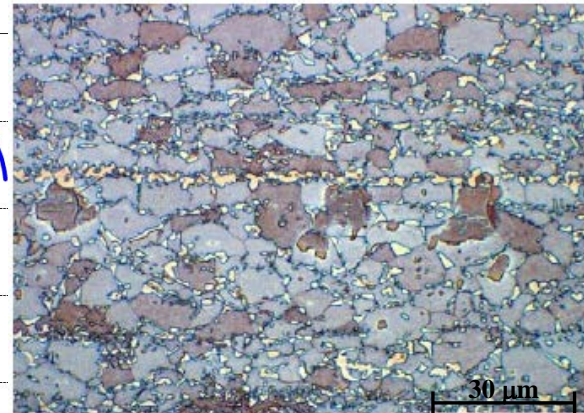
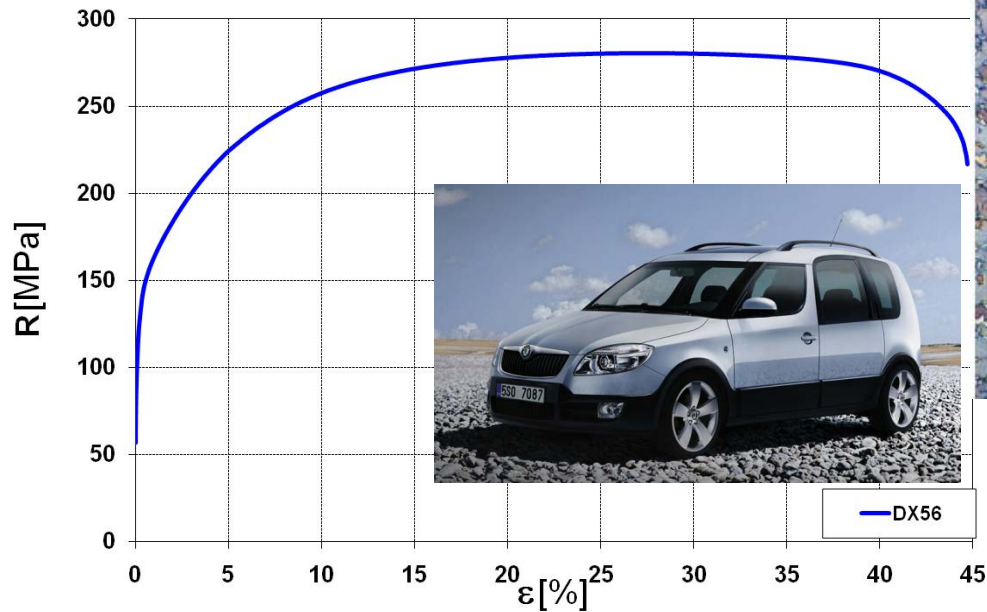
# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## IF ocele (Interstitial Free Steels)

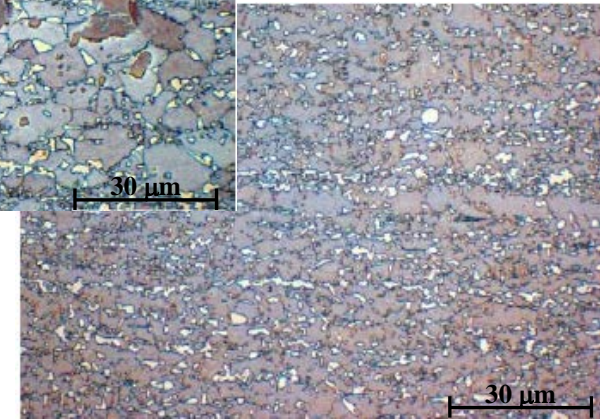
- nízké mechanické hodnoty
- vysoká tažnost
- čistě feritická struktura legovaná Al, Ti, Nb
- použití na tvarově náročné výlisky pohledových dílů karoserie



Výlisek z IF ocele



Nelegováno Nb



Legováno Nb



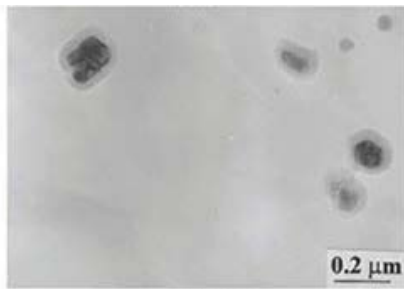
# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## IF ocele (Interstitial Free Steels)

- součet intersticiálních atomů C a N menší než 40 ppm
- Al, Ti, Nb – tvoří karbidy a nitridy, „čistí“ feritickou strukturu od intersticií C a N
- S – podporuje přednostní vytváření precipitátů TiN a TiC (S:C:N = 1:10:10)
- S – stabilizuje vytváření jemných precipitátů  $Ti_4C_2S_2$  (S:C:N = 1:1:1)
- Mn, Si, P – zvyšují pevnost struktury
- vyšší obsah P- segregace na hranicích zrn – tzv. refofosforizované ocele, nutno kombinovat s vyšším obsahem Nb (zjemňuje zrno)



(c) TiN

(d)  $Ti_4C_2S_2$ 

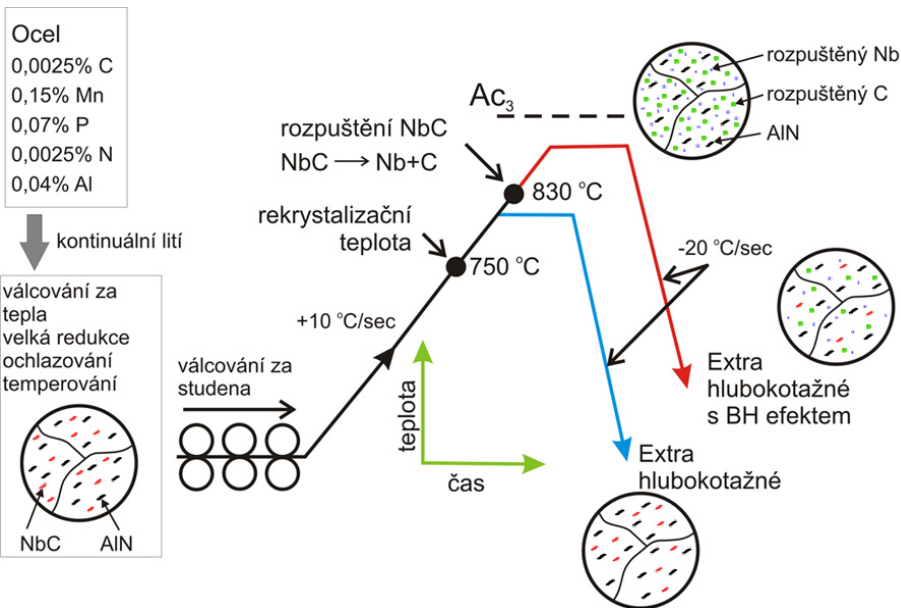
### Typické chemické složení IF ocele

ArcelorMittal name	Generic name	Max. C (%)	Max. Si (%)	Max. Mn (%)	Max. P (%)	Max. S (%)	Min. Al (%)	Max. Ti (%)	Max. Nb (%)	Max. Cu (%)
CR180IF	IF180	0.01	0.3	0.7	0.06	0.025	≥ 0.01	0.12	0.09	0.2

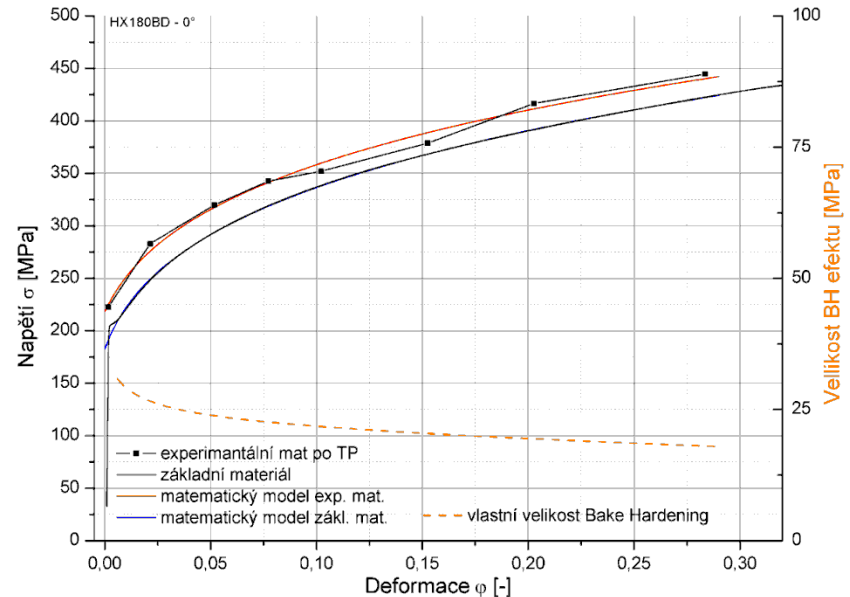
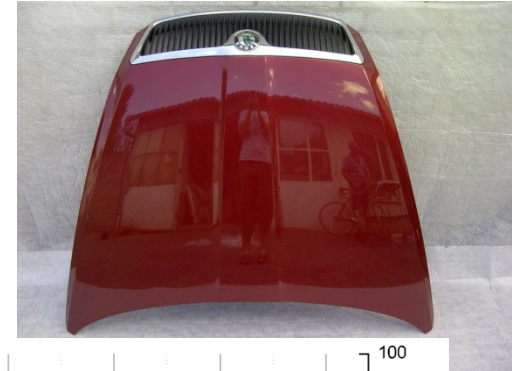
# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## IF ocele s BH efektem (Bake Hardening)

### Tepelné zpracování plechů s BH efektem



### Využití plechů s BH efektem

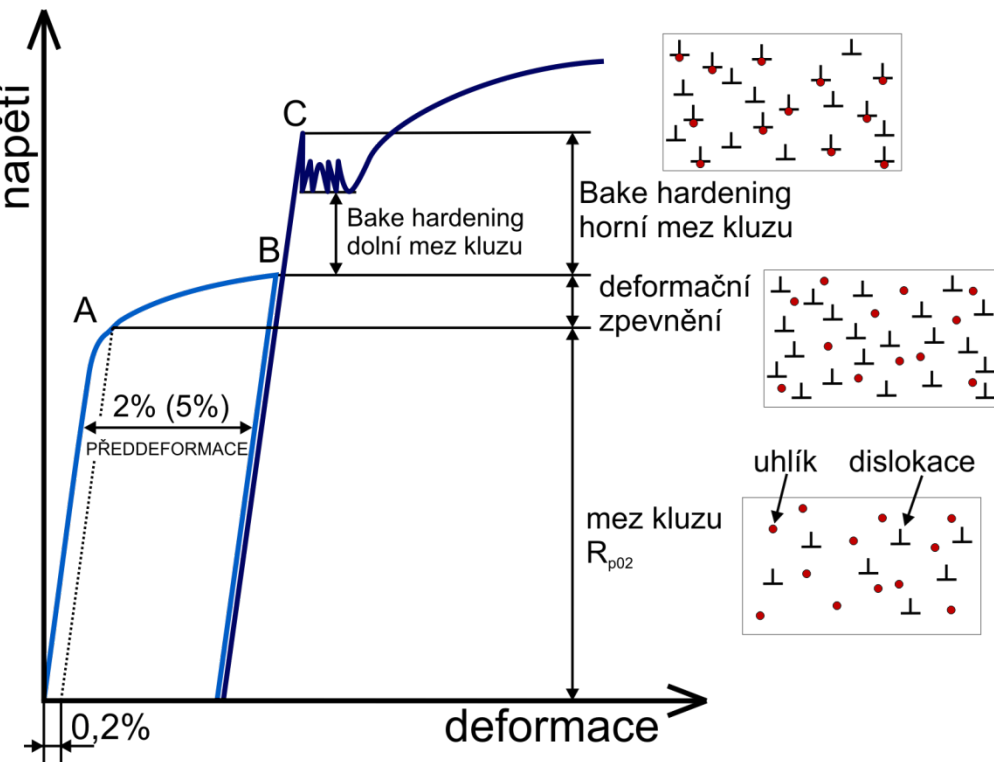


### Vliv velikosti deformace na velikost BH efektu

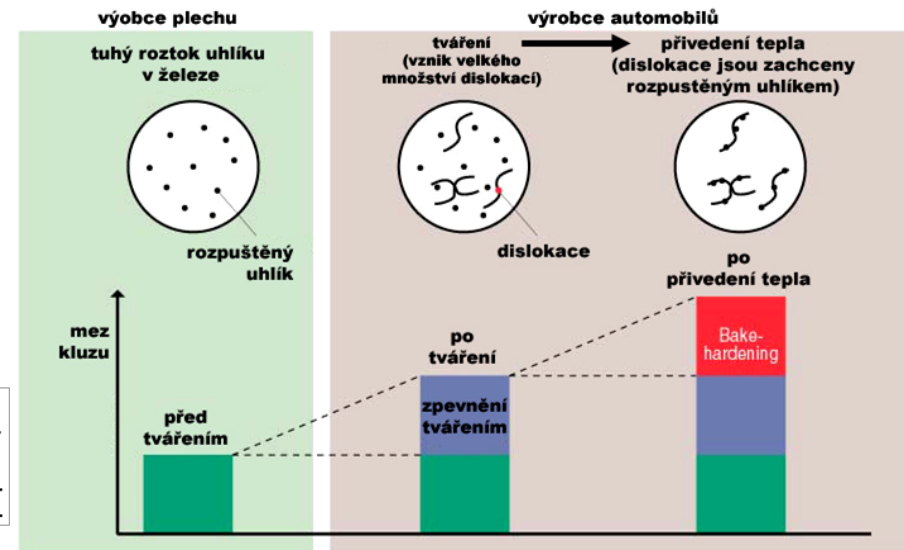


# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## IF ocele s BH efektem (Bake Hardening)



### Bake Hardening proces




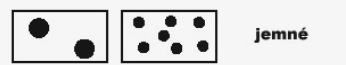


Použití pro panelové výlisky s malou deformací. BH efektu se docílí při vypalování laku karoserie.

# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## Mikrolegované ocele (HSLA-High Strenght Low-Alloy Steels)

- materiály legované Ni, V, Ti, Mn, Mo, Zr, B, Cr atd.
- zpevnění materiálu je dosahováno pomocí precipitačního vytvrzování legujících prvků, které přispívají k vytváření karbidů, nitridů, příp. karbido-nitridů a dále k zjemňování zrna
- kombinace příměsí malého množství legujících prvků a velmi jemnozrné struktury má za následek výborný poměr pevnosti a houževnatosti
- lze vyrábět oceli s požadovanými mechanickými hodnotami tzv. „ocel na míru“
- využití pro materiály do pevnosti cca 700 až 800 MPa
- nevýhodný poměr  $R_e/R_m$

Mechanismus	Princip
Tuhý roztok	
Bake Hardening efekt	
Velikost zrn struktura	
Precipitací	

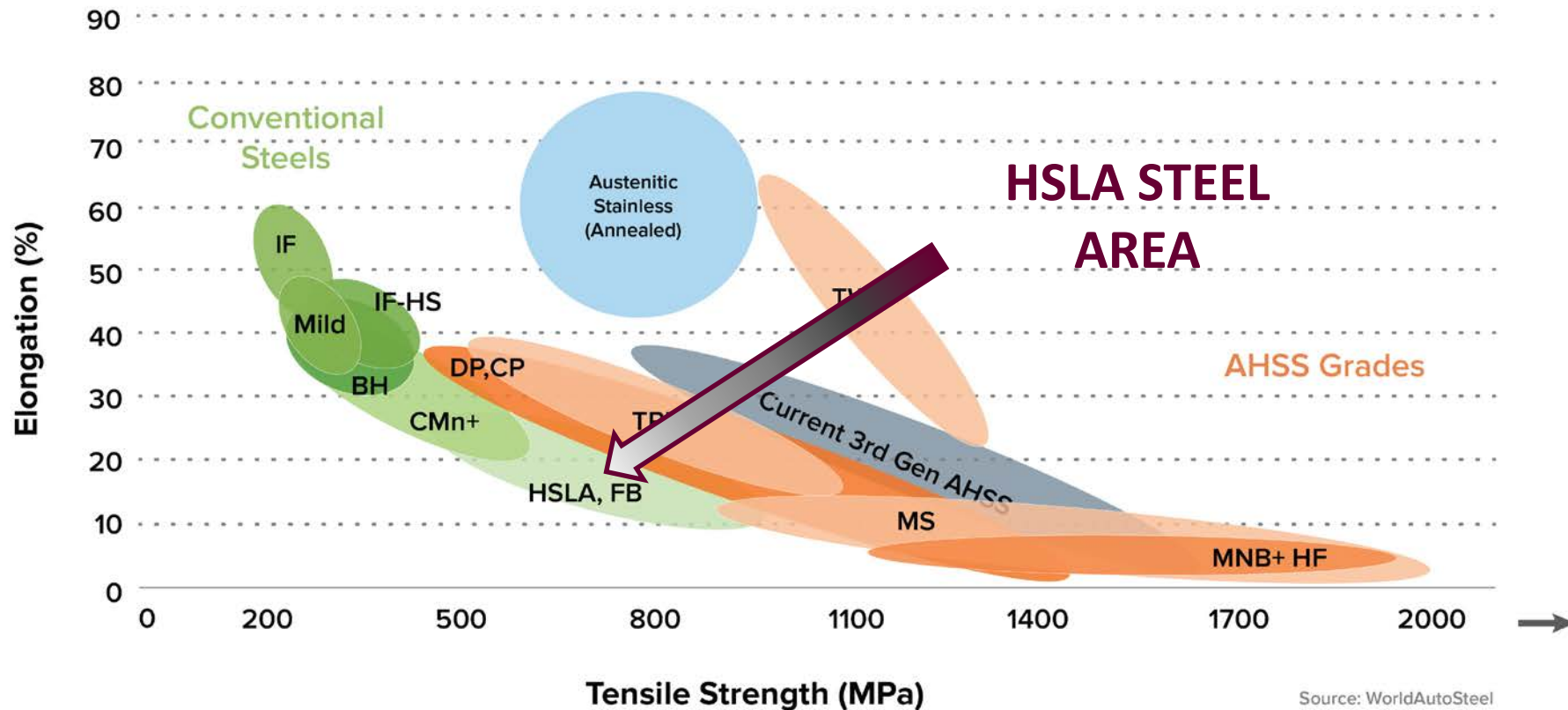


# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## Mikrolegované ocele (HSLA-High Strength Low-Alloy Steels)

- **typické složení (max 0,1% C, 0,5-1,7% Mn, 0,05-0,3% Si, mikrolegury Nb, V, Ti v součtu cca 0,1%)**
- **během válcování za tepla legující prvky zabraňují nadměrnému růstu austenitických zrn (v důsledku jemných precipitátů)**
- **mangan (Mn) - je austenitotvorný prvek, snižuje teplotu transformace austenitu na ferit**
- **niob (Nb) - brzdí rekrytalizaci v tuhém roztoku, tvorba jemných precipitátů stabilních i při vyšších teplotách, středně silné precipitační zpevnění**
- **vanad (V) - tvorba jemných precipitátů ve feritické matici během ochlazování, vykazuje silné precipitační zpevnění**
- **titan (Ti) - nad 0,05% vykazuje silné precipitační zpevnění, ale zvyšuje křehkost feritu**

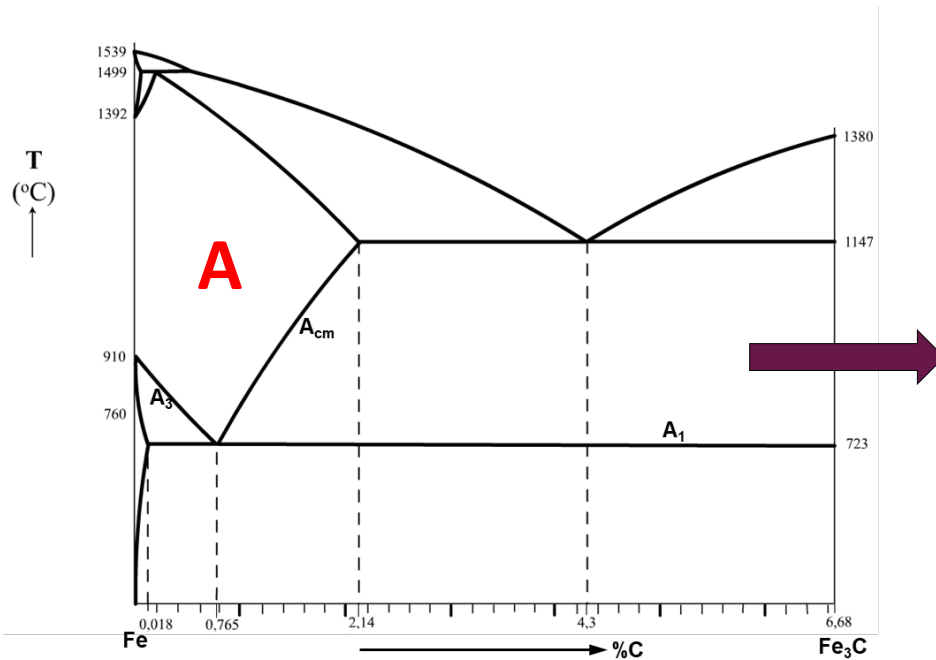
## Mikrolegované ocele (HSLA-High Strenght Low-Alloy Steels)



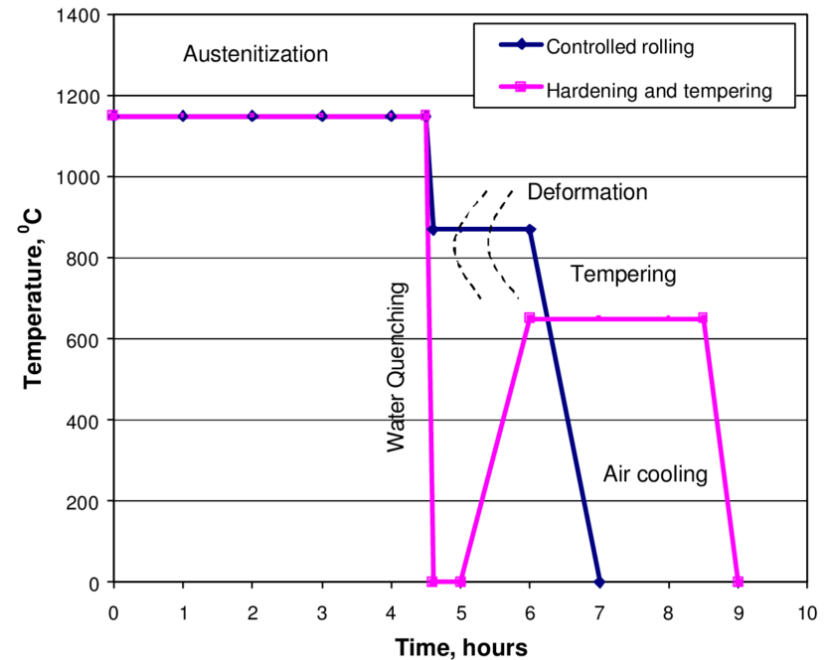
# Mikrolegované ocele (HSLA-High Strength Low-Alloy Steels)

## Výroba

- konvenční válcování za tepla
- řízené válcování
- válcování za studena + žíhání



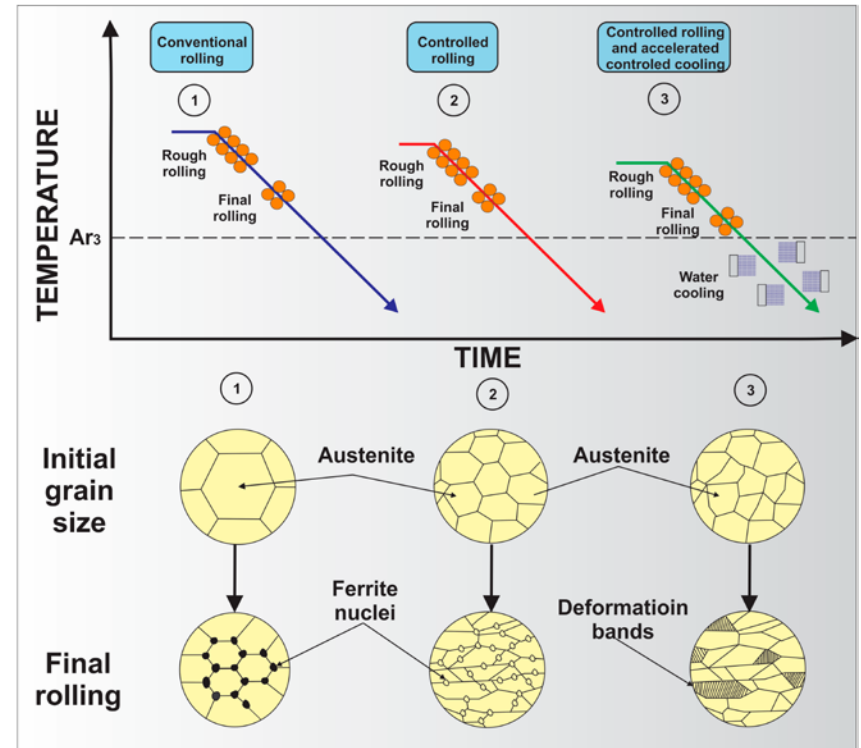
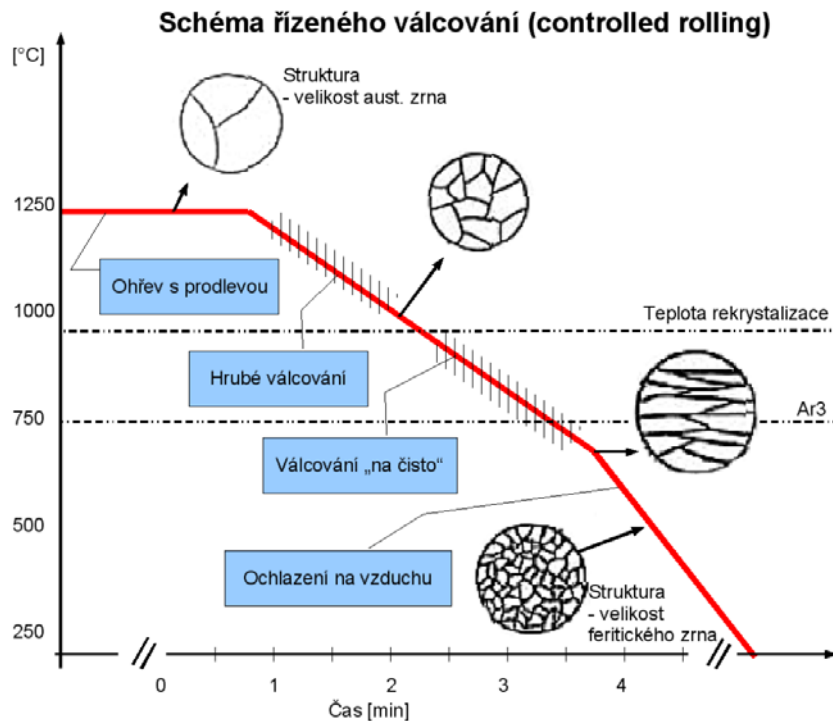
Treatment Parameters for HSLA steel



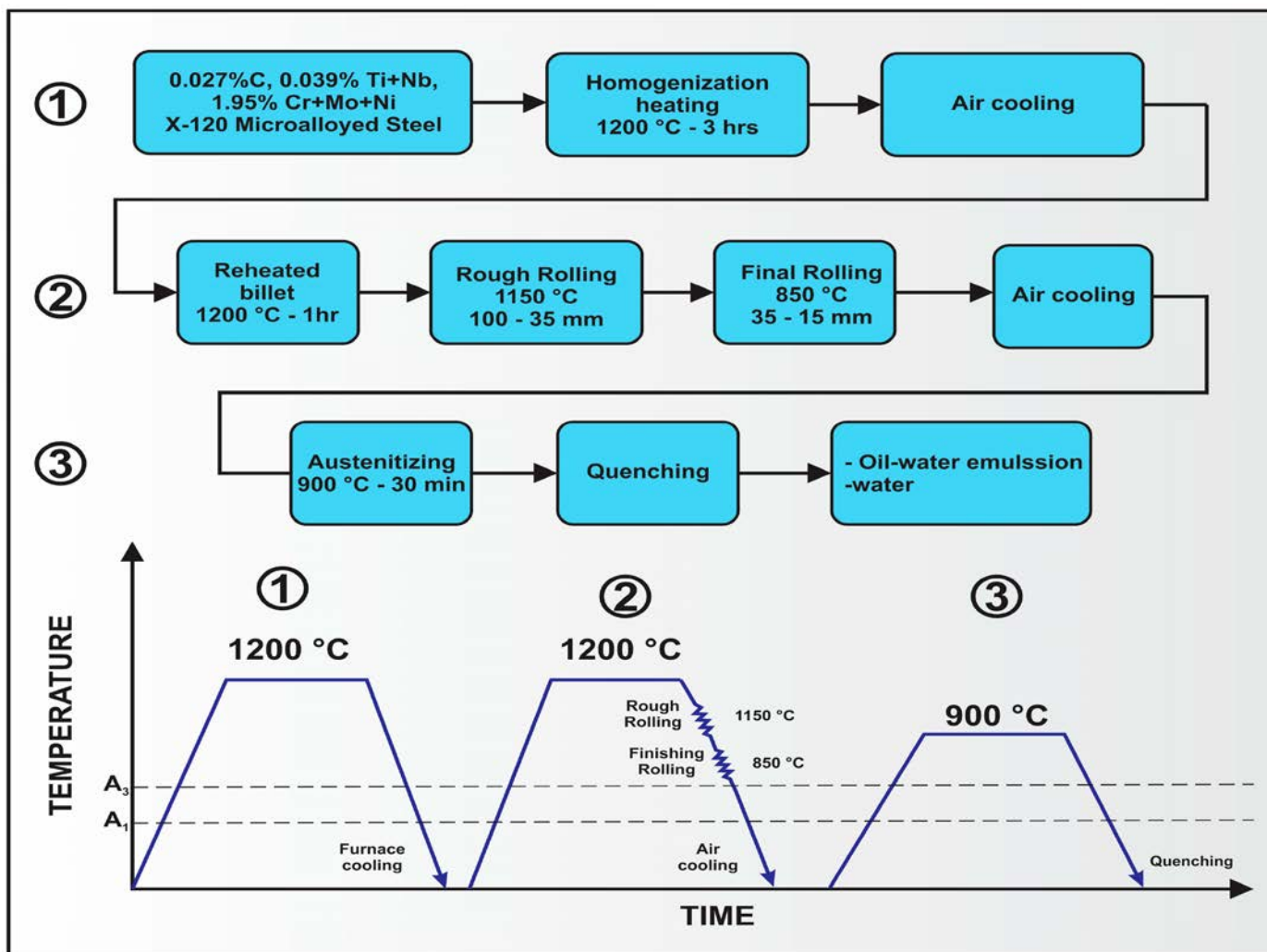


## Mikrolegované ocele (HSLA-High Strength Low-Alloy Steels)

- řízené válcování je založeno na principu klasického tváření v oblasti austenitu při teplotě okolo  $1100^{\circ}\text{C}$  a následném tváření při nižších teplotách okolo  $800^{\circ}\text{C}$
- nižší teplota dokončování ( $750-800^{\circ}\text{C}$ ) zajišťuje oproti konvenční metodě válcování pomalejší rekrytalizaci i růst zrna

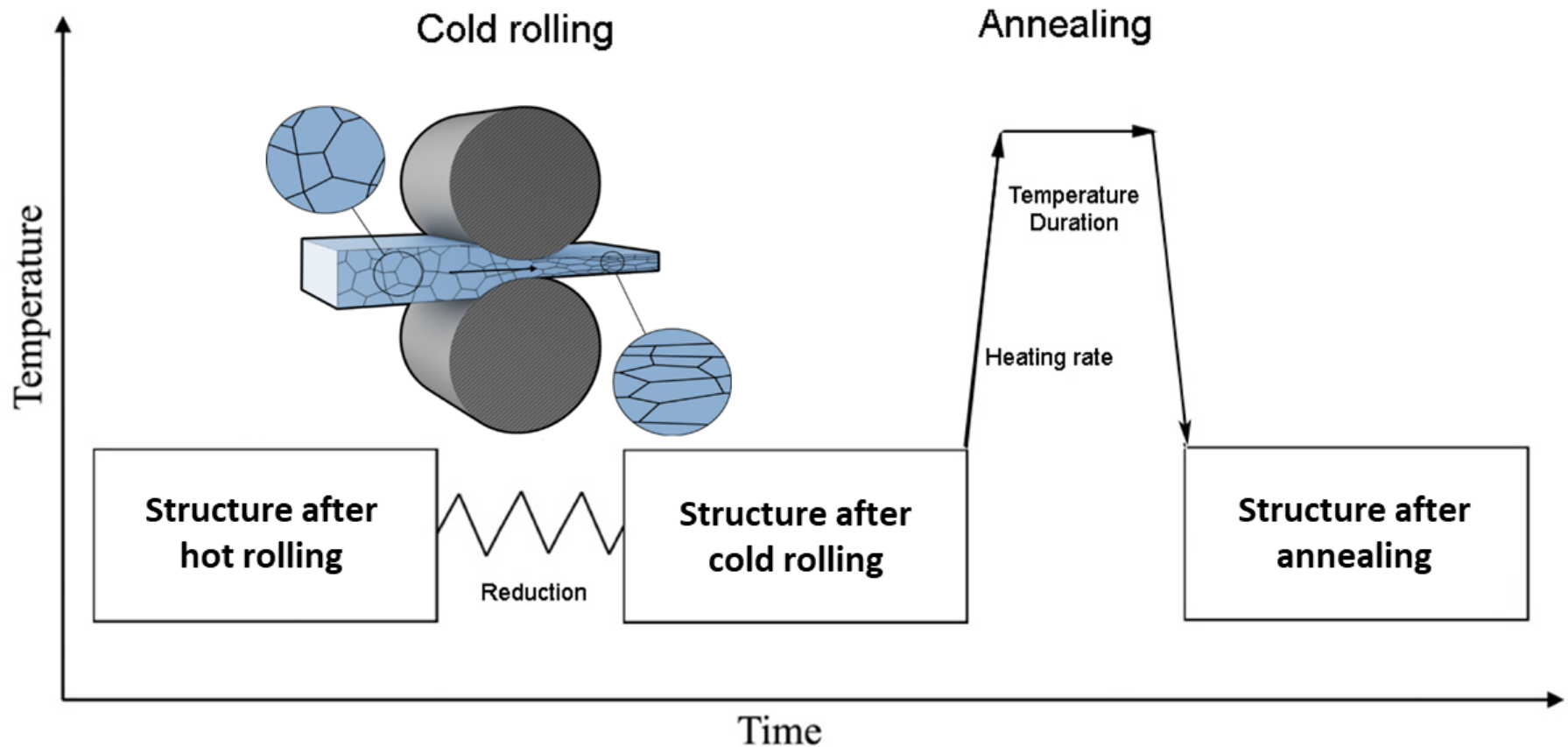


## Mikrolegované ocele (HSLA-High Strenght Low-Alloy Steels)



Řízené válcování s dochlazením (kalením)

## Mikrolegované ocele (HSLA-High Strength Low-Alloy Steels)



**Válcování za studena + žíhání**

## Mikrolegované ocele (HSLA-High Strength Low-Alloy Steels)

### Oceli válcované za studena

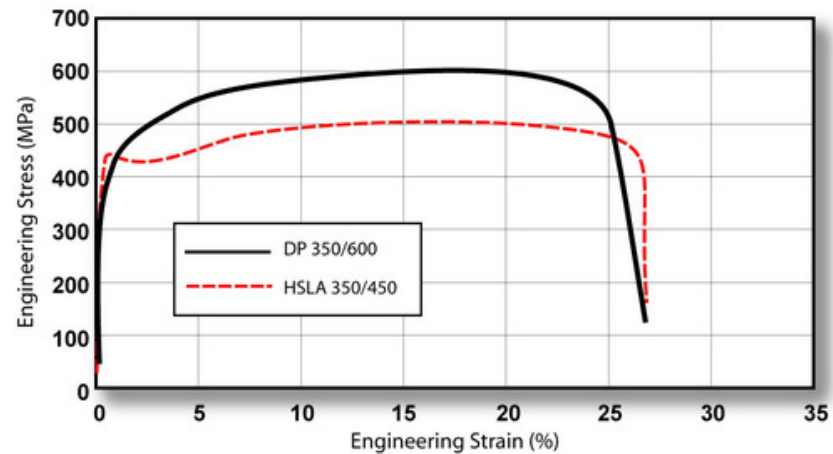
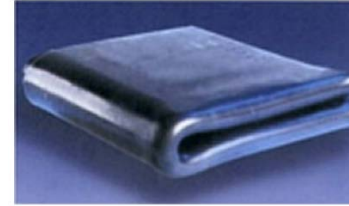
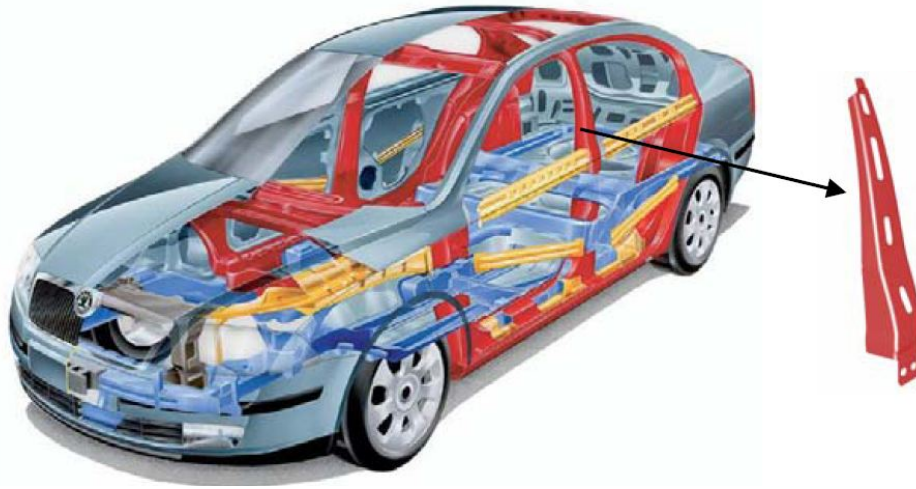
Značení	Značení dle EN 10268	Chemické složení v %			Mechanické vlastnosti		
		C	Mn	Si	$R_e [N/mm^2]$	$R_m [N/mm^2]$	$A_{80} [%]$
HSLA 260	HC 260 LA	0,08	0,5	0,04	260 - 320	350 - 410	≥28
HSLA 300	HC 300 LA	0,08	0,6	0,04	300 - 360	390 - 450	≥26
HSLA 340	HC 340 LA	0,08	0,7	0,04	340 - 400	420 - 490	≥23
HSLA 380	HC 380 LA	0,08	0,9	0,35	380 - 450	460 - 530	≥20
HSLA 420	HC 420 LA	0,14	1,6	0,4	420 - 520	470 - 590	≥17

### Oceli válcované za tepla

Značení	Značení dle EN 10149	Chemické složení v %			Mechanické vlastnosti		
		C	Mn	Si	$R_e [N/mm^2]$	$R_m [N/mm^2]$	$A_{80} [%]$
HSLA 320	S315MC	0,08	0,5	0,03	325 - 385	415 - 470	≥28
HSLA 360	S355MC	0,08	0,6	0,03	360 - 435	450 - 520	≥25
HSLA 420	S420MC	0,08	0,75	0,03	420 - 500	490 - 570	≥23
HSLA 460	S460MC	0,12	1,6	0,4	460 - 550	550 - 650	≥21
HSLA 500	S500MC	0,09	1,5	0,03	500 - 590	570 - 670	≥19
HSLA 560	S550MC	0,09	1,65	0,35	550 - 650	650 - 730	≥18



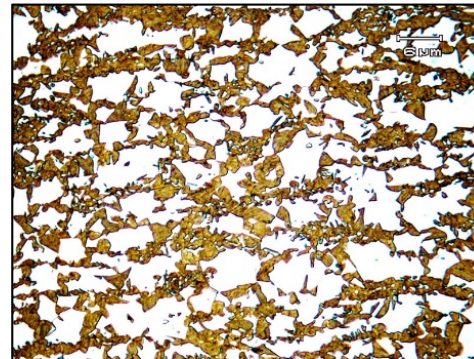
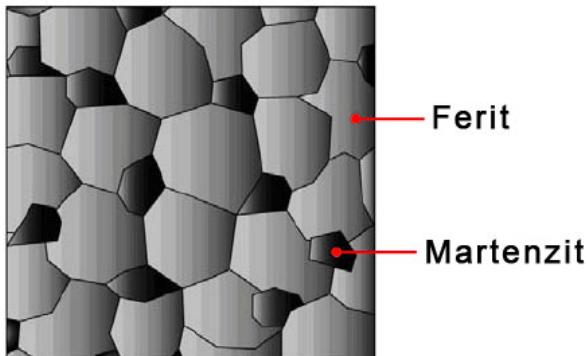
# Mikrolegované ocele (HSLA-High Strength Low-Alloy Steels)



# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## Dvoufázové ocele (DP Steels - Dual Phase Steels)

- ocel založena na bázi mangan-křemíkové slitiny
- struktura je založena na feritické matrici, uvnitř které se vyskytují malé oblasti tvrdého martenzitu (5 až 50% objemu materiálu) s možným obsahem zbytkového austenitu
- feritická matrice zajišťuje dobrou tvárnost a oblasti martenzitické fáze zajišťují vysoké hodnoty pevnosti materiálu
- oproti HSLA ocelím mají výhodný poměr  $R_e/R_m$
- využití pro různé typy výztuh
- vysoký koeficient deformačního zpevnění

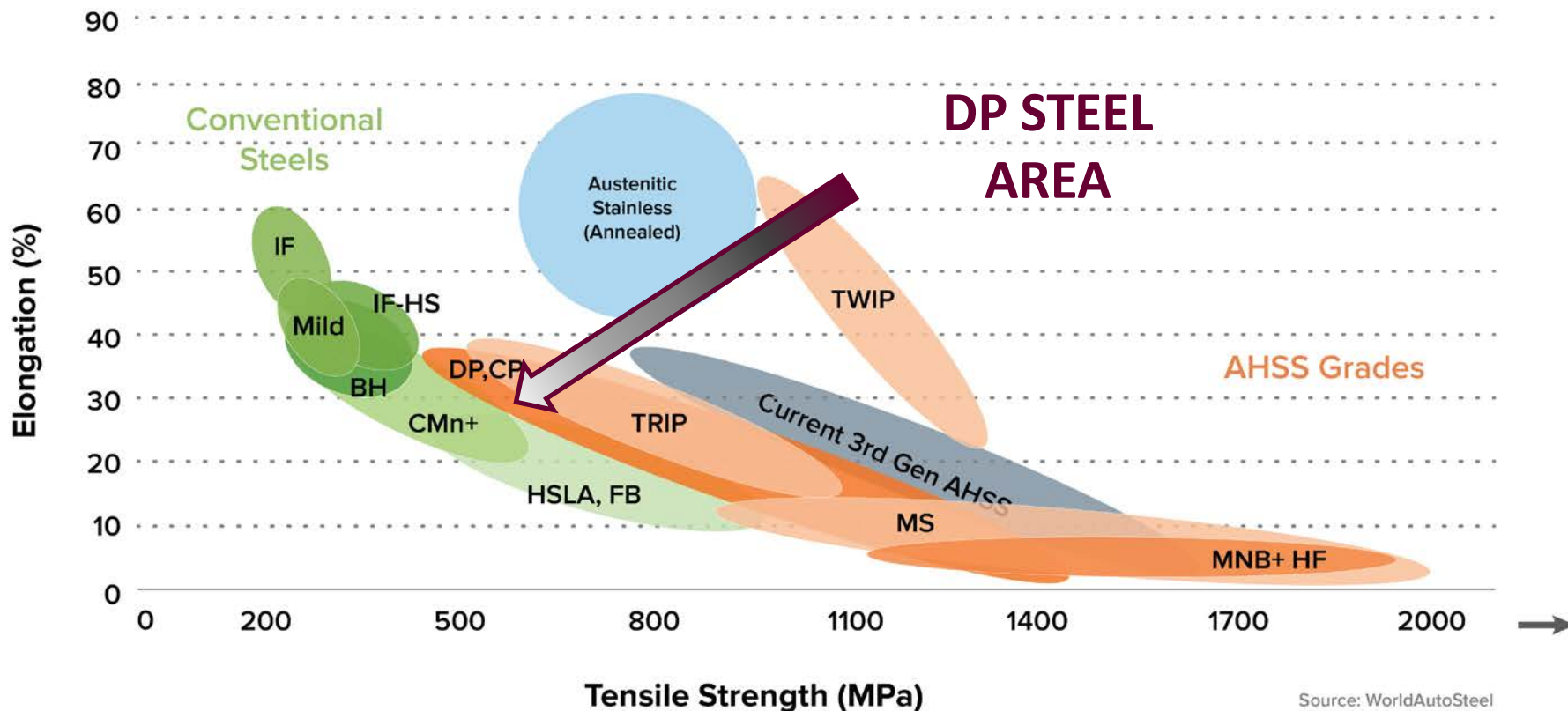


## Dvoufázové ocele (DP Steels - Dual Phase Steels)

- **typické složení (0,1-0,2% C, 1,5% Mn, 1,5% Si, 0,04% Al, další prvky Cr, Mn, Mo...)**
- **uhlík (C) - určuje distribuci jednotlivých fází, stabilizuje zbytkový austenit**
- **mangan (Mn) - je austenitotvorný prvek, potlačuje perlitickou transformaci**
- **křemík (Si) - je feritotvorný prvek, zpevňuje ferit, zabraňuje tvorbě cementitu**
- **hliník (Al) - je silně feritotvorný prvek, zabraňuje tvorbě cementitu, zvyšuje Ms**



## Dvoufázové ocele (DP Steels - Dual Phase Steels)

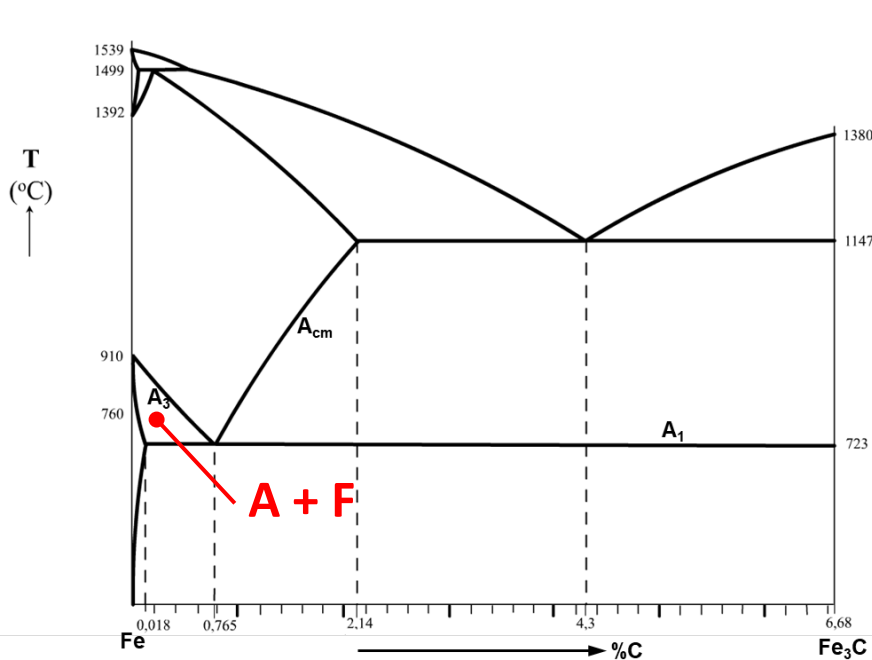




## Dvoufázové ocele (DP Steels - Dual Phase Steels)

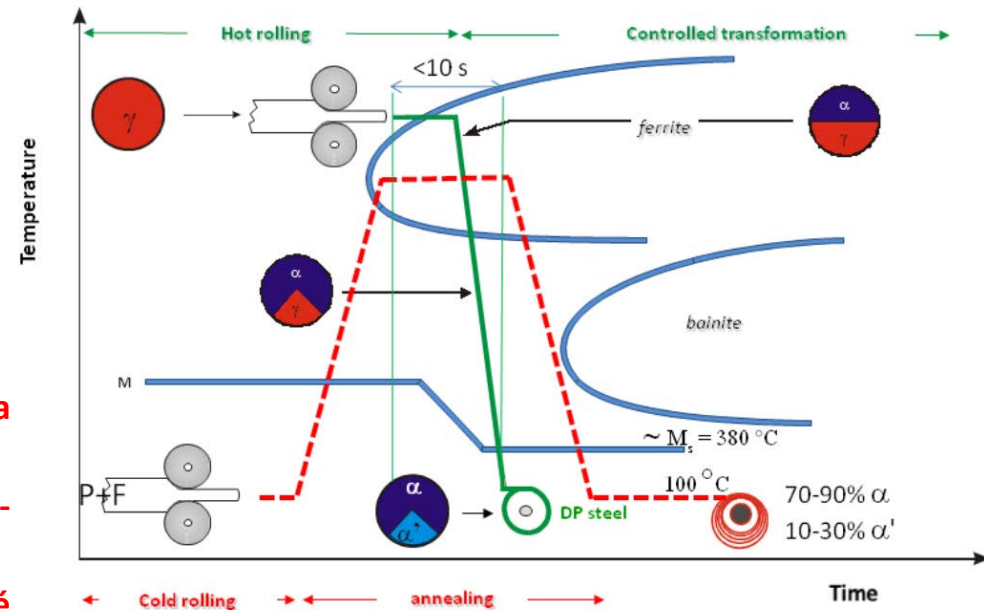
- DP oceli se vyrábějí řízeným ochlazováním austenitické nebo dvoufázové feriticko-austenitické struktury v kombinaci s válcováním
  - válcování za tepla
  - válcování za studena
- princip výroby DP oceli
  - austenitizace polotovaru (cca 750-800°C) - tvorba čistě austenitické nebo dvoufázové feriticko-austenitické struktury
  - tvorba feritické fáze obsahující zbytkový austenit
  - řízené ochlazování - zbytkový austenit se mění na martenzit
  - dochlazení na teplotu okolí

## Dvoufázové ocele (DP Steels - Dual Phase Steels)



### Válcování za tepla

- válcování výchozí struktury oceli složené z austenitické fáze
- ochlazení a výdrž na teplotě feritické přeměny
- rychlé řízené ochlazení pod teplotu M<sub>s</sub> následované transformací zbytkového austenitu na martenzit



### Válcování za studena

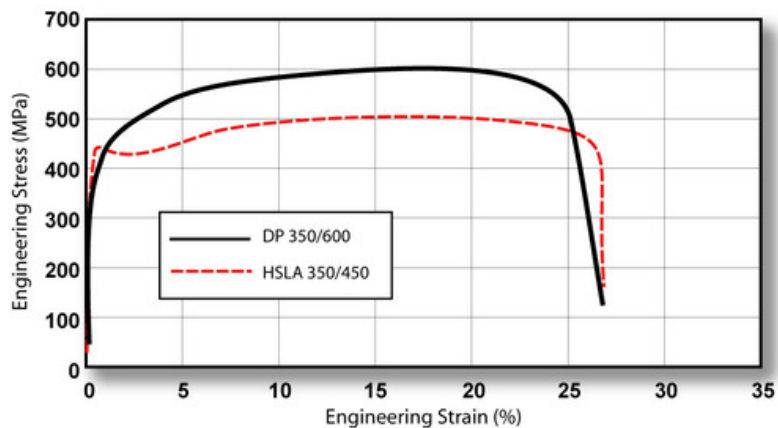
- válcování výchozí struktury oceli složené z feritické a perlitické fáze
- ohřev a výdrž na teplotě cca 800°C (austenit + ferit) - INTERKRITICKÉ ŽÍHÁNÍ
- rychlé řízené ochlazení pod teplotu M<sub>s</sub> následované transformací zbytkového austenitu na martenzit

## Dvoufázové ocele (DP Steels - Dual Phase Steels)

Značení	Značení dle EN 10338	Chemické složení v %			Mechanické vlastnosti		
		C	Mn	Si	$R_e [N/mm^2]$	$R_m [N/mm^2]$	$A_{80} [%]$
<b>Válcováno za studena</b>							
<b>DP 450</b>	HCT450X	0,08	1,6	0,4	280 - 340	450 - 530	$\geq 27$
<b>DP 500</b>	HCT490X	0,14	1,6	0,4	300 - 380	500 - 600	$\geq 25$
<b>DP 600</b>	HCT590X	0,14	2,1	0,4	330 - 410	600 - 700	$\geq 21$
<b>DP 780</b>	HCT780X	0,17	2,2	0,6	450 - 550	780 - 900	$\geq 15$
<b>DP 980</b>	HCT980X	0,11	2,9	0,7	600 - 750	980 - 1100	$\geq 10$
<b>DP 1180</b>	HCT1180G2	0,18	2,4	0,6	900 - 1100	$\geq 1180$	$\geq 5$
<b>Válcováno za tepla</b>							
<b>DP 600</b>	HDT580X	0,09	1,0	0,25	330 - 460	580 - 670	$\geq 22$
<b>DP 780</b>	-	0,09	1,0	0,3	$\geq 450$	$\geq 750$	$\geq 15$

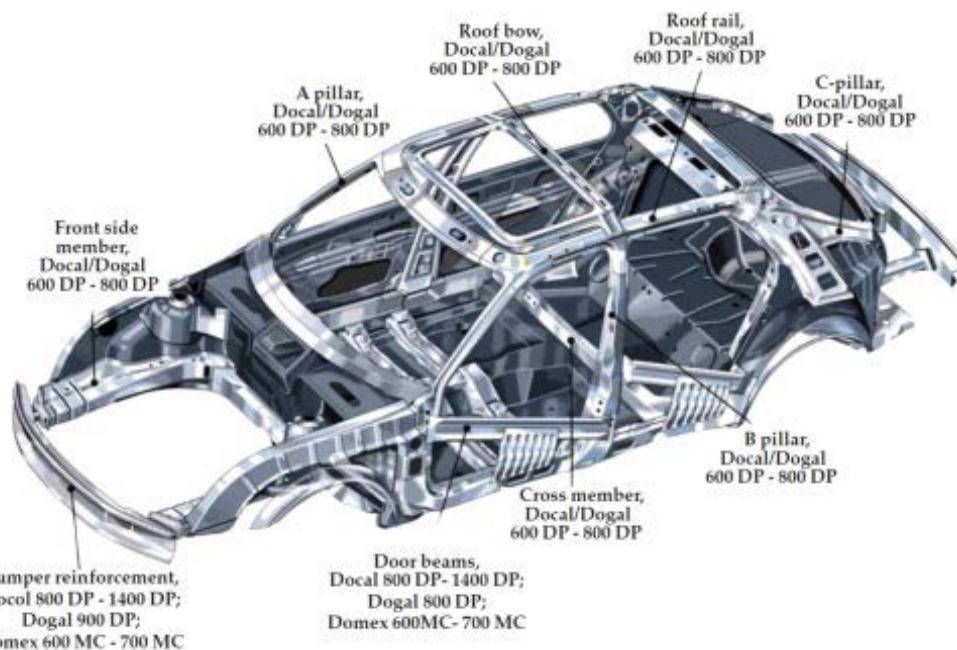
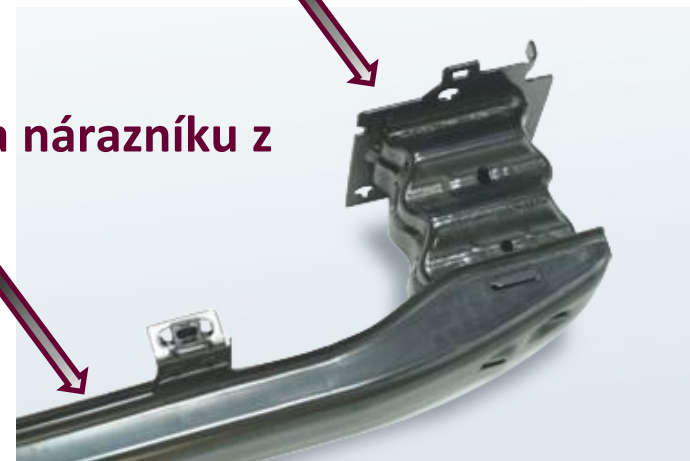


## Dvoufázové ocele (DP Steels - Dual Phase Steels)



Deformační člen z  
HSLA 300

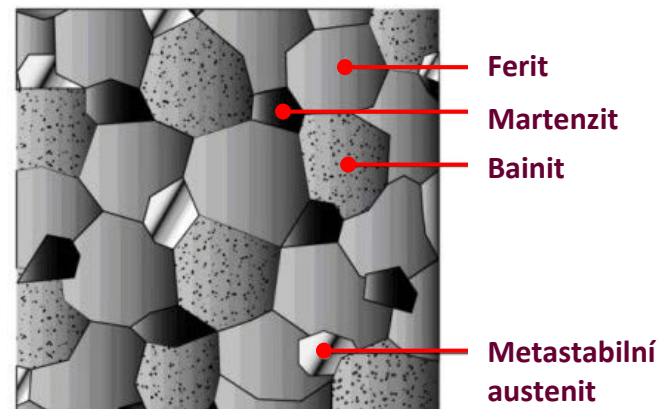
Výztuha nárazníku z  
DP 780



# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## Vícefázové TRIP ocele (Transformation Induced Plasticity Steels)

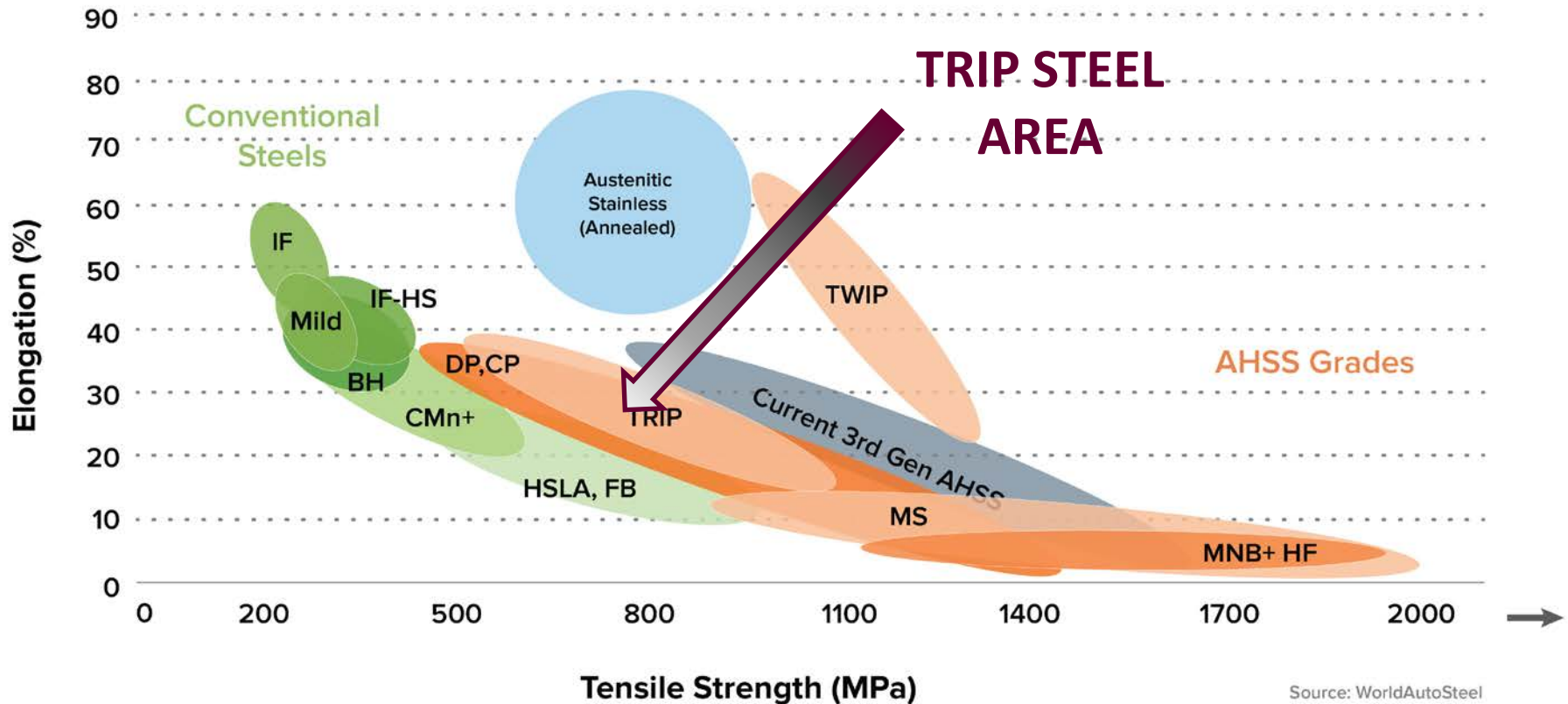
- struktura je založena feriticko-bainitické matrici s výskytem 5 až 15 procent zbytkového metastabilního austenitu, který se během následné deformace transformuje na martenzit (trip effect)
- mechanismus zpevnění kombinuje důsledkem zvyšujícího se podílu martenzitu při současném hromadění dislokací kolem hranic zrn martenzitické fáze uvnitř feriticko-bainitické matrice
- vysoký exponent deformačního zpevnění, při daných mechanických hodnotách výborná tvářitelnost
- určen pro deformační výztuhy



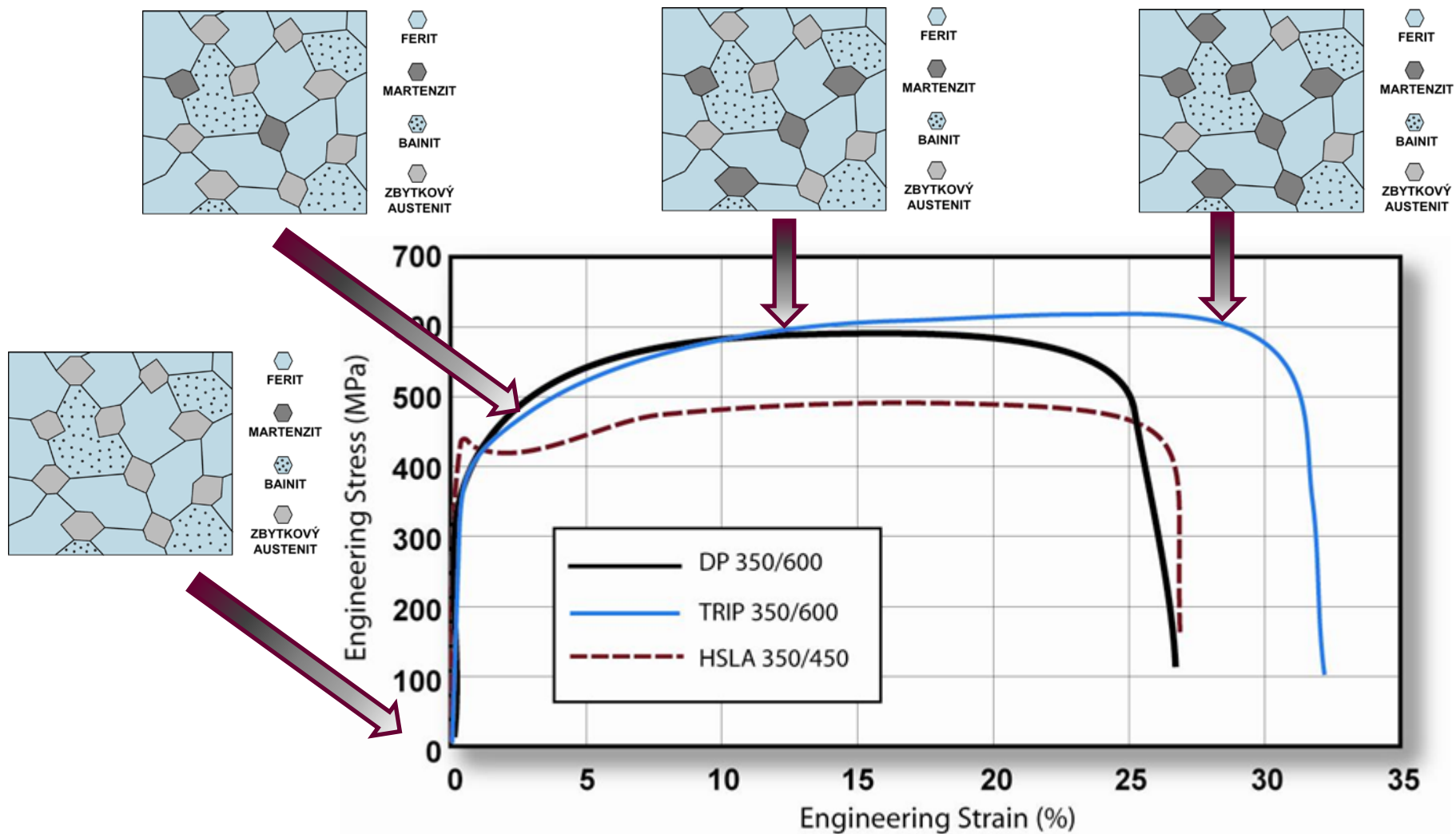
## Vícefázové TRIP ocele (Transformation Induced Plasticity Steels)

- **typické složení (0,2% C, 1,5% Mn, 1,8% Si – Si někdy nahrazován Al, další prvky P, S, Cu, Cr, Ni.....)**
- **uhlík (C) - určuje distribuci jednotlivých fází, stabilizuje zbytkový austenit**
- **mangan (Mn) - je austenitotvorný prvek, potlačuje perlitickou transformaci**
- **křemík (Si) - je feritotvorný prvek, zpevňuje ferit, zabraňuje tvorbě cementitu**
- **hliník (Al) - je silně feritotvorný prvek, zabraňuje tvorbě cementitu, zvyšuje Ms**
- **chemické složení podobné DP ocelím**
- **podmínkou pro přítomnost zbytkového austenitu ve struktuře je volba vhodného tepelného resp. termo-mechanického zpracování**
  - **válcování za tepla**
  - **válcování za studena**

# Vícefázové TRIP ocele (Transformation Induced Plasticity Steels)

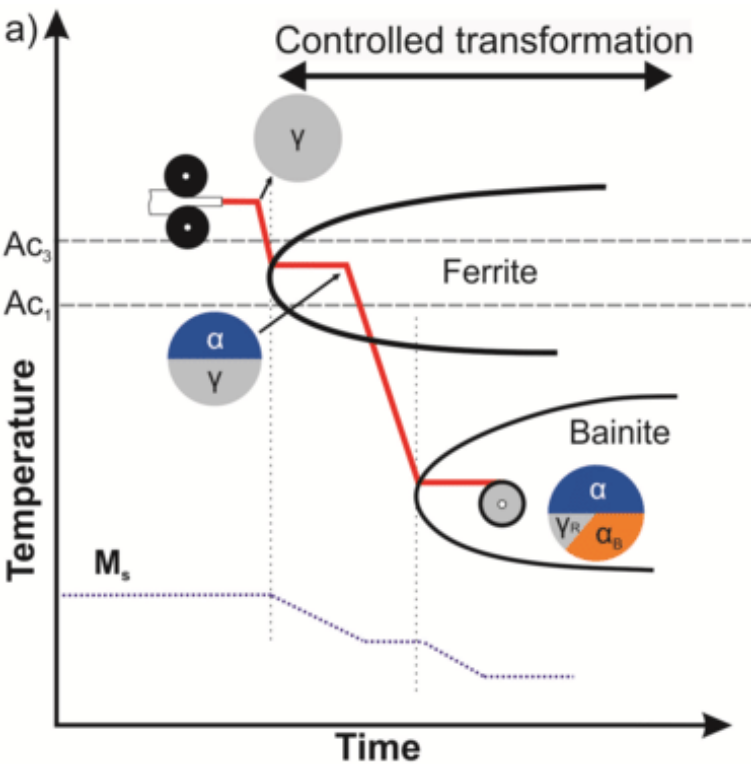


## Vícefázové TRIP ocele (Transformation Induced Plasticity Steels)





## Vícefázové TRIP ocele (Transformation Induced Plasticity Steels) Válcování za tepla

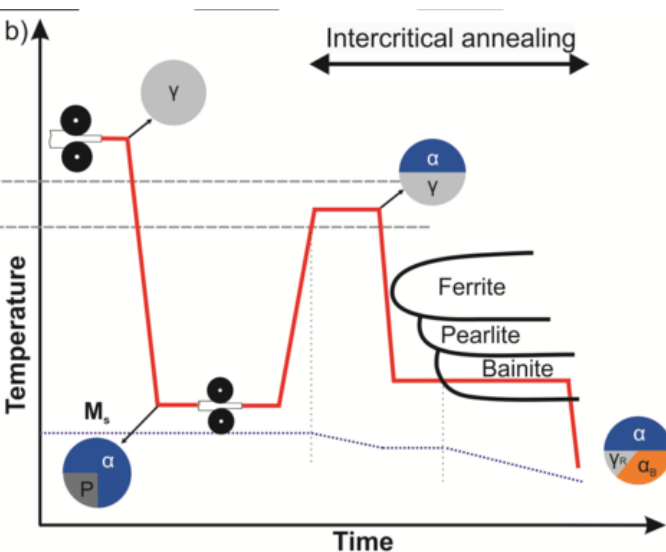


- válkování za tepla, ochlazení a výdrž na teplotě feritické přeměny - důležité je zamezení vzniku perlitu
- ochlazení a výdrž na teplotě bainitické přeměny - důležité je potlačení precipitace cementitu ze zadržného metastabilního austenitu, kterého se dosahuje pomocí rychlého ochlazení na teplotu svinování ležící v oblasti bainitu okolo 350- 490°C (difuze uhlíku je dostatečně potlačena)

■  $\gamma$ -austenite,  $\gamma_R$ -retained austenite ■  $\alpha$ -ferrite ■  $\alpha_B$ -bainite ■ P-pearlite

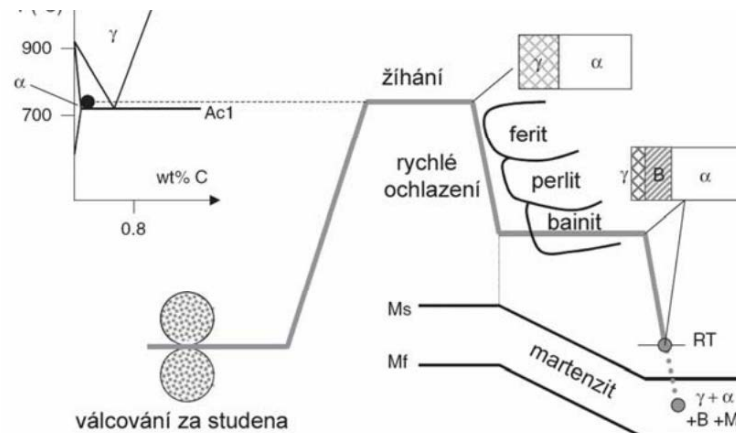
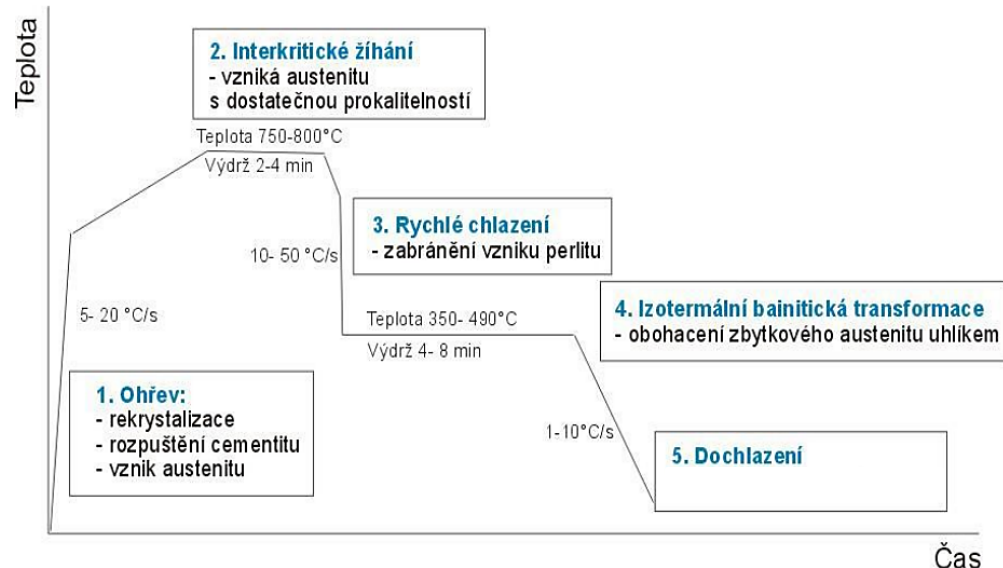


# Vícefázové TRIP ocele (Transformation Induced Plasticity Steels) Válcování za studena



$\gamma$ -austenite,  $\gamma_r$ -retained austenite
   $\alpha$ -ferrite

$\alpha_B$ -bainite
  P-pearlite

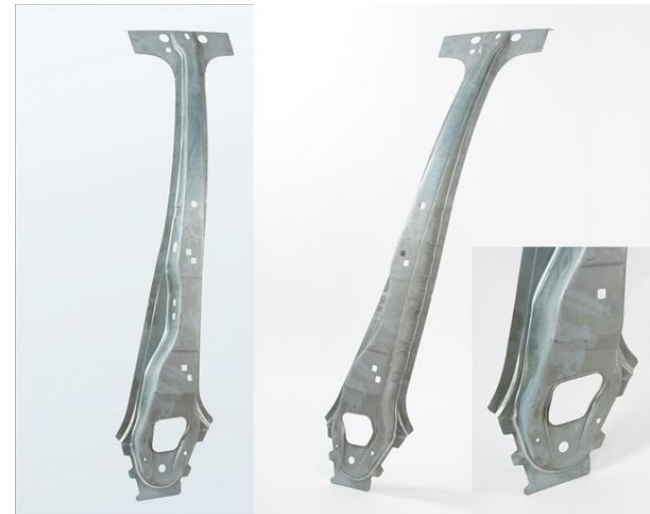
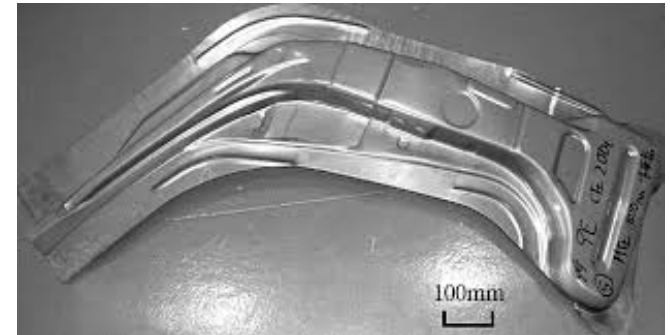
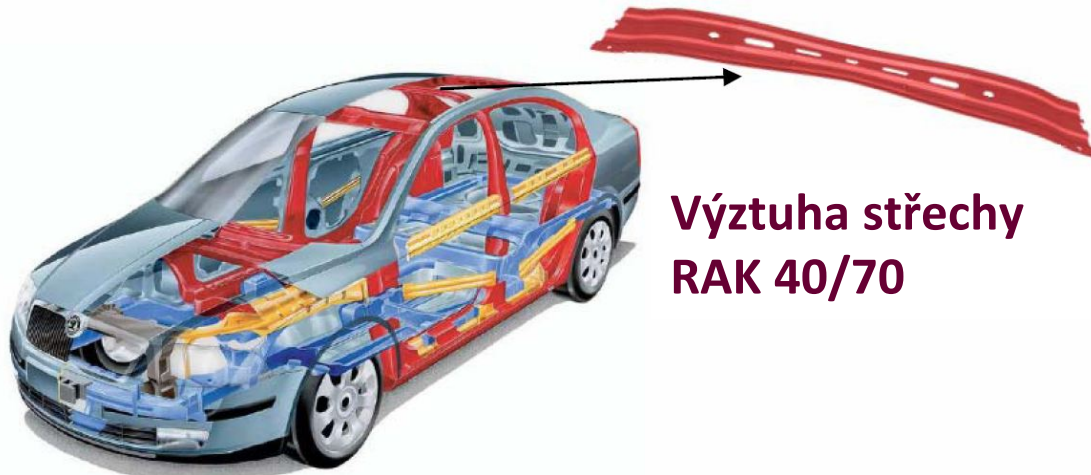


## Vícefázové TRIP ocele (Transformation Induced Plasticity Steels)

Značení	Značení dle EN 10346	Chemické složení v %			Mechanické vlastnosti		
		C	Mn	Al+Si	$R_e [N/mm^2]$	$R_m [N/mm^2]$	$A_{80} [%]$
TRIP 690	HCT690T	0,2	2	2	410 - 510	690 - 800	$\geq 25$
TRIP 780	HCT780T	0,250	2	2	450 - 550	780 - 900	$\geq 23$



## Vícefázové TRIP ocele (Transformation Induced Plasticity Steels)



**Materiál vyvinutý pro deformační členy  
automobilů – vysoká absorpce energie při  
nárazu**

# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## Vícefázové CP ocele (Complex Phase Steels)

- CP oceli se vyrábějí obdobně jako TRIP oceli řízeným ochlazováním austenitické struktury v kombinaci s válcováním, jsou upraveny tak, aby obsahovaly menší množství zbytkového austenitu
- jemnozrnná struktura
- křivka ochlazování je taktéž velmi podobná křivce udávající výrobu TRIP oceli s tím rozdílem, že je využito i martenzitické přeměny (protnutí Ms)

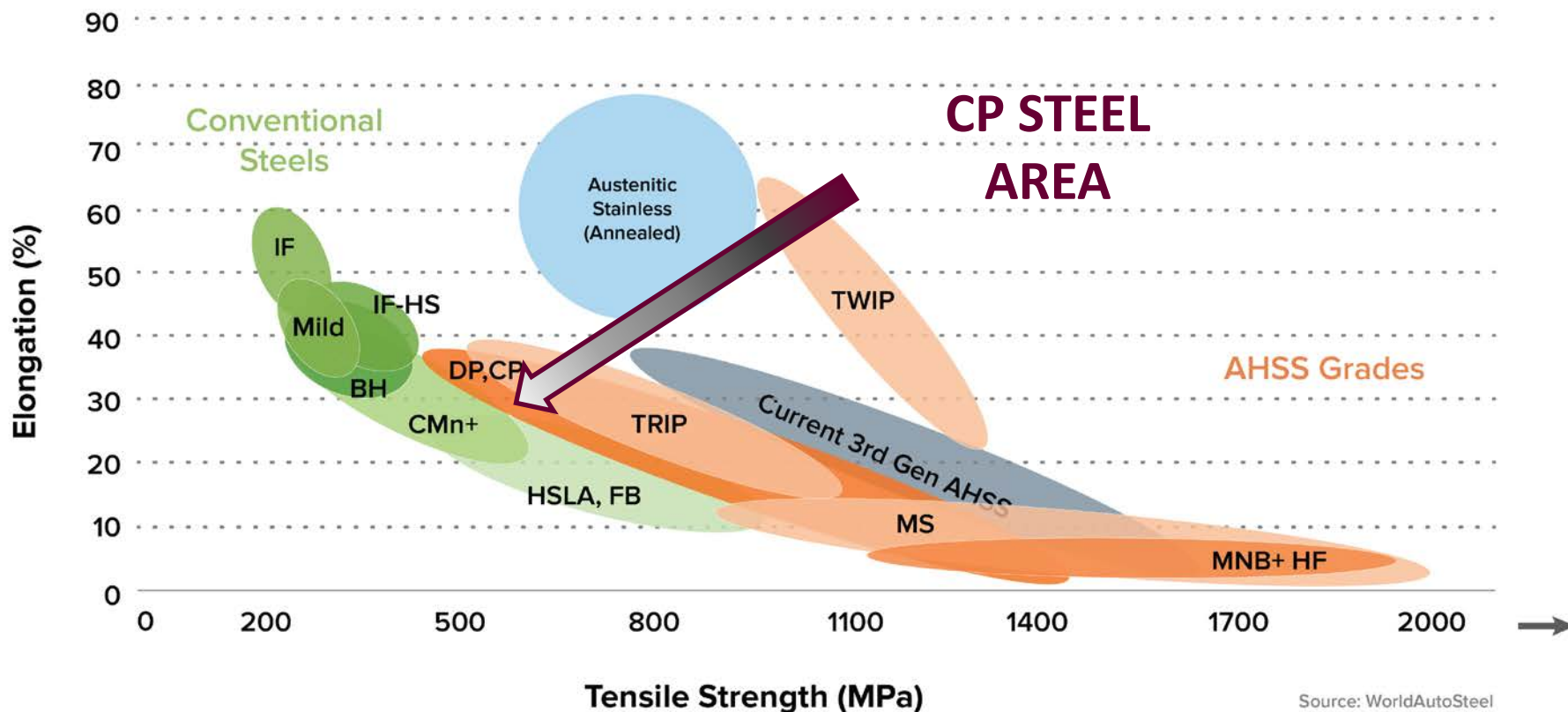


## Vícefázové CP ocele (Complex Phase Steels)

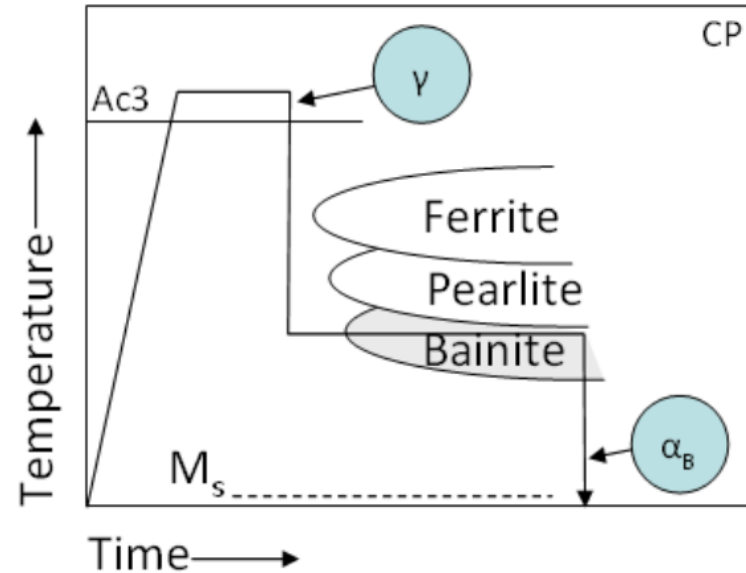
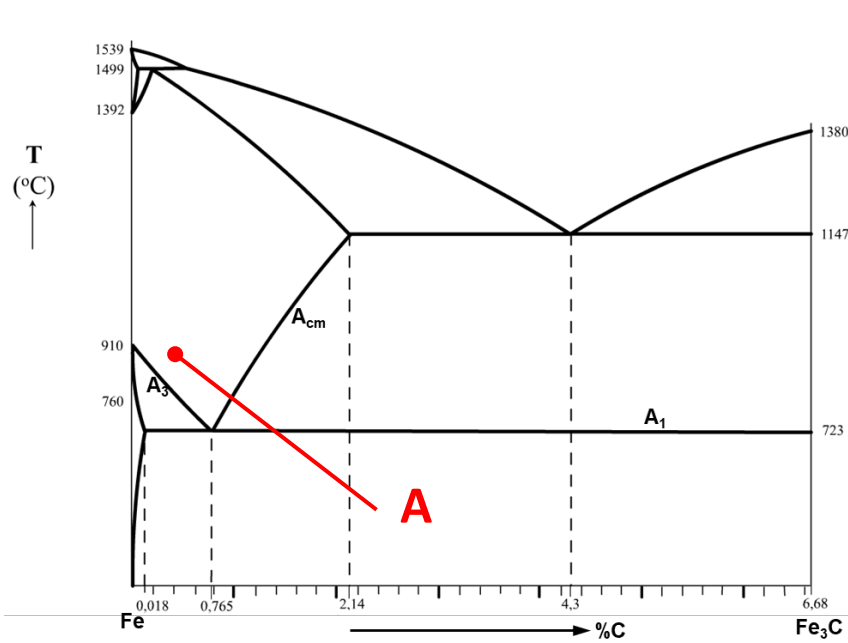
- **typické složení (0,1 až 0,2% C, 1,5 až 2,7% Mn, 0,2 až 0,8% Si, další prvky Ti, V, Nb...)**
- **uhlík (C) - určuje distribuci jednotlivých fází, stabilizuje zbytkový austenit**
- **mangan (Mn) - je austenitotvorný prvek, potlačuje perlitickou transformaci**
- **křemík (Si) - je feritotvorný prvek, zpevňuje ferit, zabraňuje tvorbě cementitu**
- **titan (Ti), vanad (V) a niob (Nb) zajišťují tvorbu velmi jemnozrnné struktury a umožňují vznik jemných precipitátů při „kalení“**
- **princip výroby CP oceli**
  - **zjemnění zrna (pomalá rekrystalizace + legury)**
  - **austenitizace polotovaru (nad  $A_{c3}$ ) - tvorba čistě austenitické struktury!**
  - **homogenizace uhlíku na rovnovážné složení (uhlík potlačuje tvorbu feritu při ochlazování)**
  - **řízené ochlazování a následná výdrž na teplotě bainitické přeměny**
  - **řízené ochlazení přes teplotu  $M_s$  (část zbytkového austenitu transformuje na martenzit)**



## Vícefázové CP ocele (Complex Phase Steels)



## Vícefázové CP ocele (Complex Phase Steels)



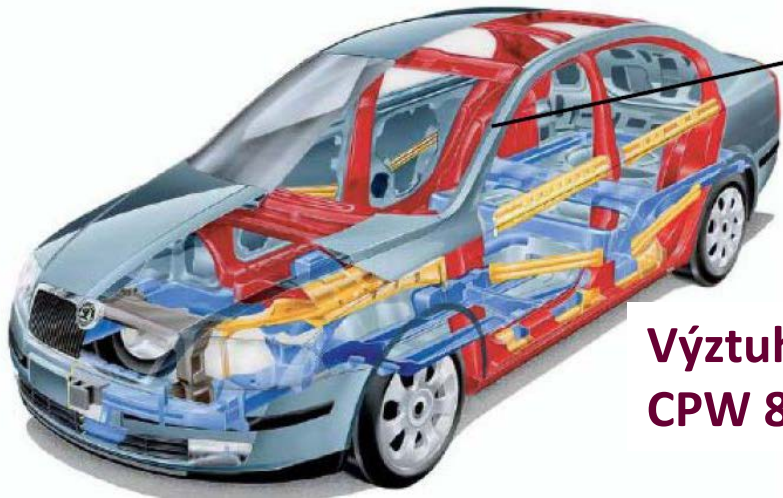


## Vícefázové CP ocele (Complex Phase Steels)

Značení	Značení dle EN 10346	Chemické složení v %			Mechanické vlastnosti		
		C	Mn	Si	$R_e [N/mm^2]$	$R_m [N/mm^2]$	$A_{80} [%]$
<b>Válcováno za studena</b>							
<b>CP 600</b>	HCT600T	0,10	1,6	0,4	360 - 440	600 - 700	≥19
<b>CP 800</b>	HCT780T	0,17	2,2	0,6	600 - 700	780 - 900	≥10
<b>CP 1000</b>	HCT980C	0,2	2,7	0,8	800 - 950	980 - 1130	≥6
<b>Válcováno za tepla</b>							
<b>CP 750</b>	HDT750C	0,25	1,4	0,4	620 - 750	≥ 750	≥10
<b>CP 800</b>	HDT780C	0,10	2,0	0,25	680 - 830	≥ 780	≥10
<b>CP 1000</b>	HDT950C	0,14	1,7	0,25	800 - 950	≥ 950	≥10



## Vícefázové CP ocele (Complex Phase Steels)



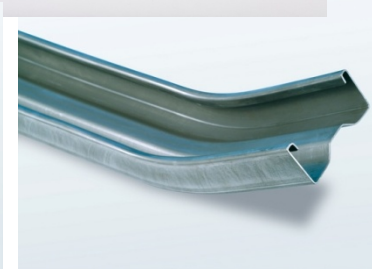
Výztuha sloupku  
CPW 800

- vysoká schopnost absorpce deformační energie
- vysoká zbytková deformace pro crash
- jemnozrnná struktura

- Martenzit
- Dolní bainit
- Horní bainit
- Ferit
- Zbytkový austenit



Příklady výrobků z CP oceli



# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## Vícefázové TWIP ocele (Twinning Induced Plasticity Steel)

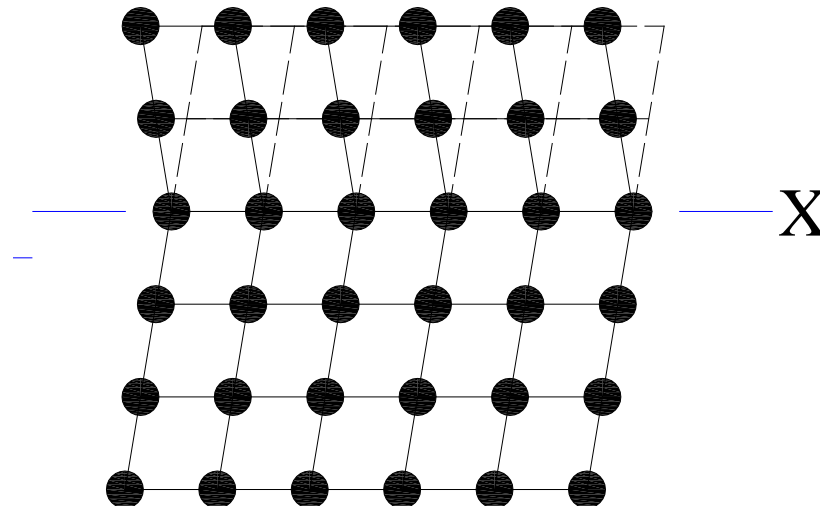
- ve výchozím stavu je struktura založena na plně austenitické matici ve spojení s vysokým podílem legujících prvků (15 až 35% Mn + Si a Al), které stabilizují austenit při pokojové teplotě
- deformace pomocí „mechanických dvojčat“ (dvojčatění) při běžných teplotně rychlostních podmínkách je umožněn velkým množstvím manganu, který snižuje energii vrstevných chyb (SFE) a tím se dvojčatění jeví oproti skluzu dislokací jako energeticky výhodnější mechanismus deformace
- vysoká pevnost (až 1300 MPa) současně s extrémní tažností (více jak 50%)
- vývojový materiál vhodný pro pevnostní výlisky složitých tvarů, deformační členy a různé výztuhy karoserie
- nevýhodou je vysoká cena a obtížná svařitelnost pomocí standardních metod svařování karoserie automobilu



## Vícefázové TWIP ocele (Twinning Induced Plasticity Steel)

### Energie vrstevné chyby (SFE - Stacking fault energy )

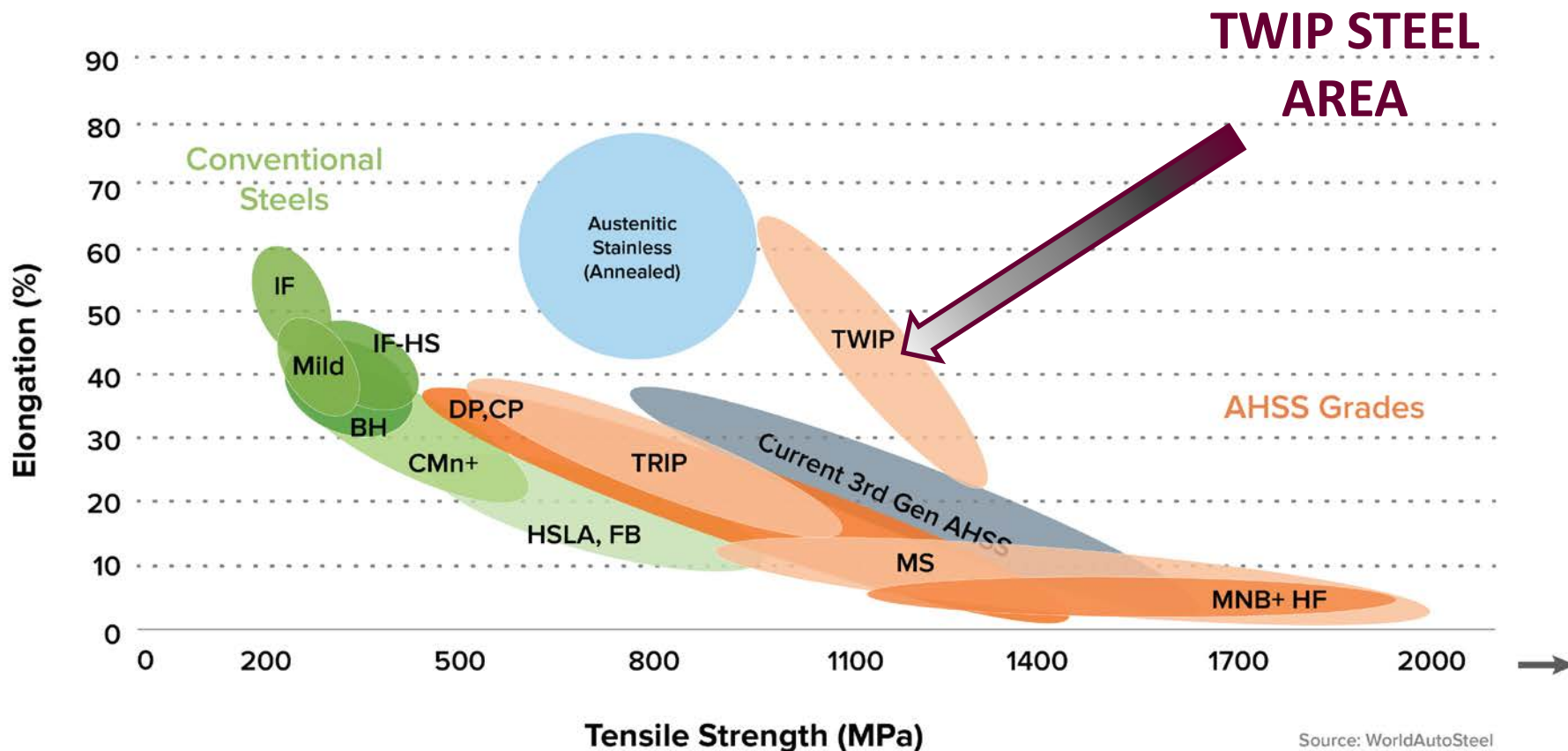
- $SFE < 20 \text{ mJ/m}^2$  je upřednostňována tvorba martenzitu (TRIP effect)
- $SFE > 20 \text{ mJ/m}^2$  potlačuje tvorbu martenzitu a upřednostňuje systém mechanického dvojčatění (ideální stav je při 20 až 30  $\text{mJ/m}^2$  vysoká hustota a homogenní rozložení dvojčat)
- $SFE > 60 \text{ mJ/m}^2$  stává se dominantním skluz dislokací



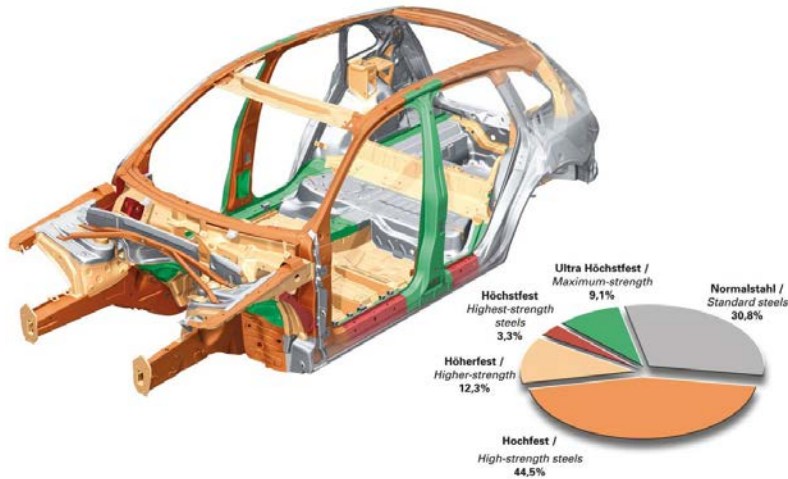
## Vícefázové TWIP ocele (Twinning Induced Plasticity Steel)

- **typické složení (0,4 až 0,9% C, 15 až 35% Mn, 2 až 4% Si, 2 až 4% Al, další prvky Cr, Ti, Ni, B...)**
- **uhlík (C) – zvyšuje pevnost tuhého roztoku, stabilizuje zbytkový austenit**
- **mangan (Mn) - hlavní legující prvek, díky jeho velkému množství stabilizuje austenit a umožňuje dvojčatění i za pokojové teploty**
- **křemík (Si) - zvyšuje pevnost tuhého roztoku, snižuje množství FCC fáze, podporuje přeměnu austenitu na martenzit během chladnutí a deformace**
- **hliník (Al) - stabilizuje austenit a zvyšuje pevnost tuhého roztoku, zabraňuje tvorbě martenzitu**

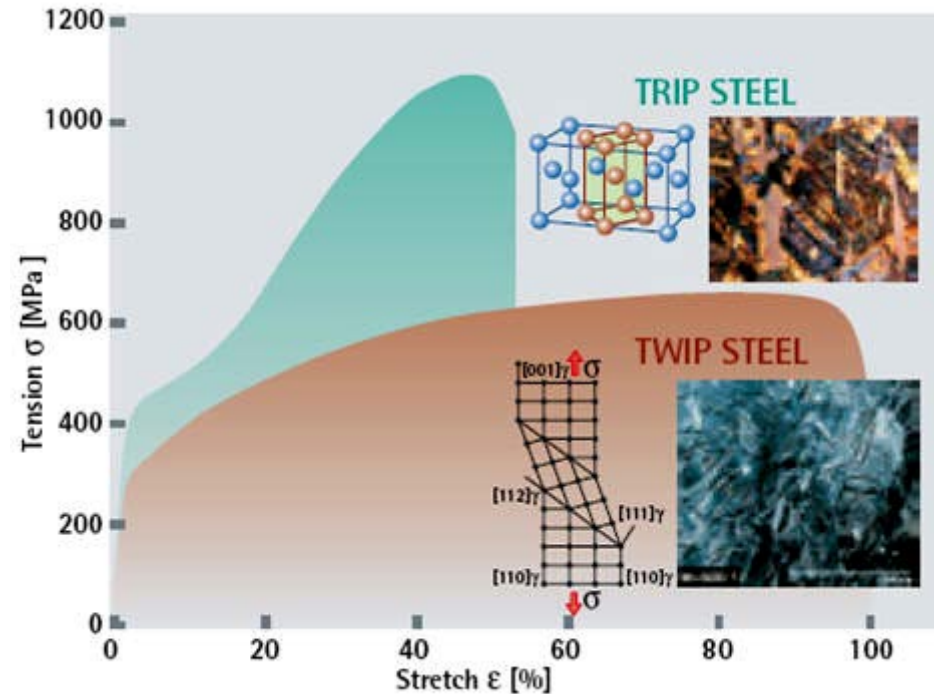
## Vícefázové TWIP ocele (Twining Induced Plasticity Steel)



# Vícefázové TWIP ocele (Twinning Induced Plasticity Steel)

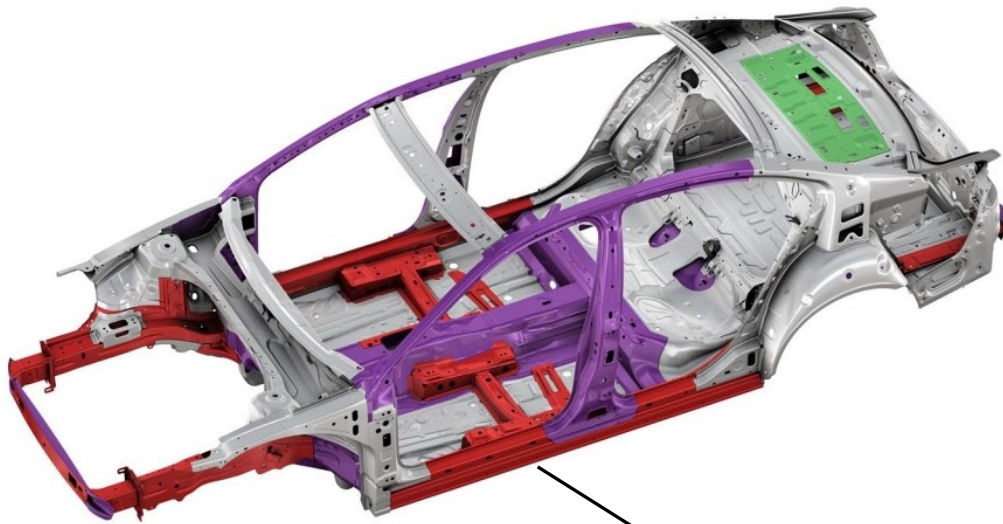


Využití TWIP efektu u hlubokotažných materiálů (deformace > 1000 %)



# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## Vícefázové MS ocele (Martensite Steels)

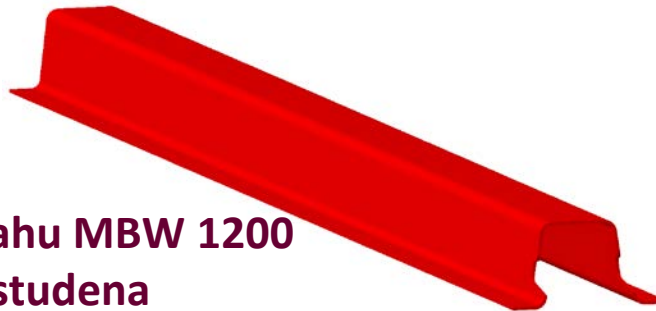


- bezpečnostní výztuhy
- extrémně vysoká pevnost
- po tváření minimální zbytková deformační schopnost
- k absorpci deformační energie při nárazu musí docházet pouze v pružném stavu
- jednoduché výlisky lze zpracovávat za studena
- složité výlisky se lisují za tepla



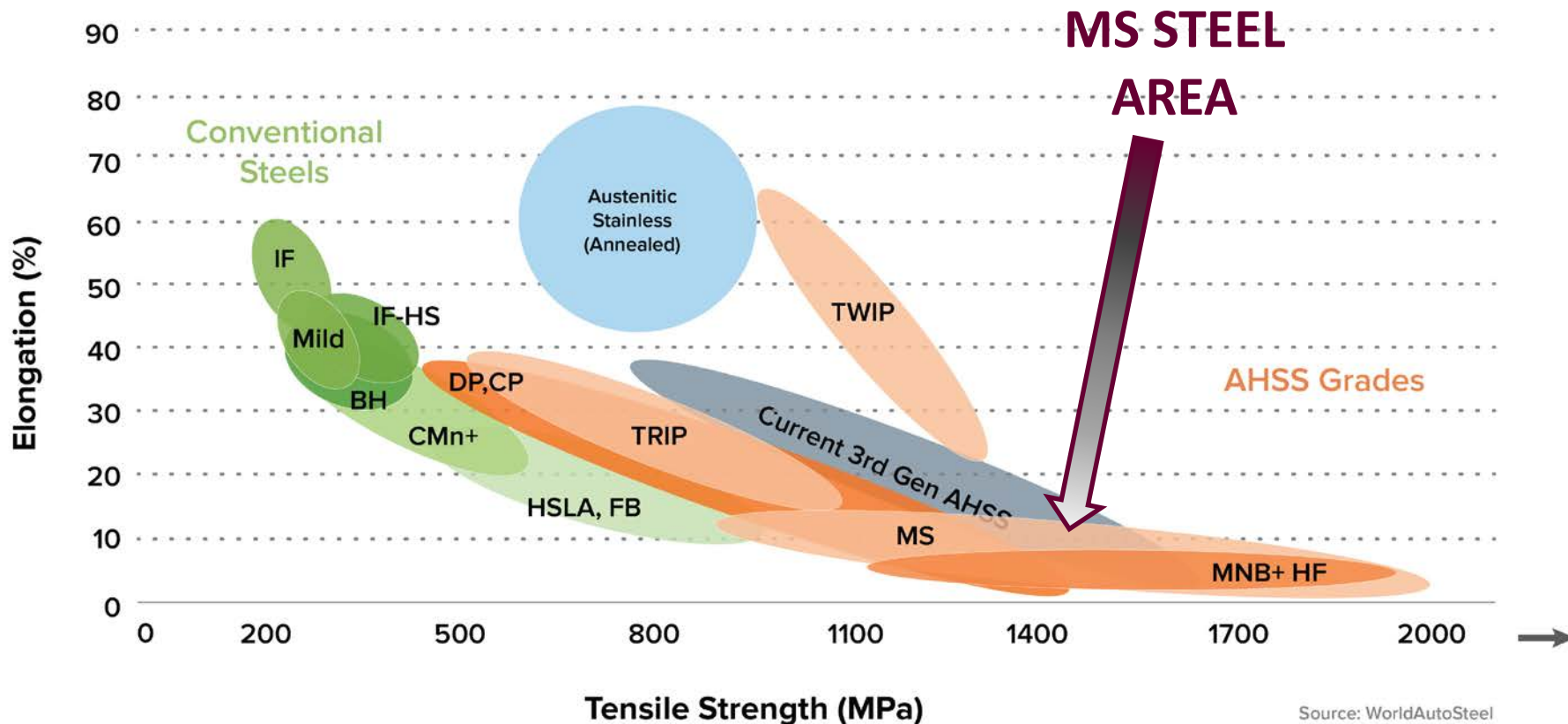
■ Martenzit  
■ Ferit

Výztuha prahu MBW 1200  
tvářená za studena



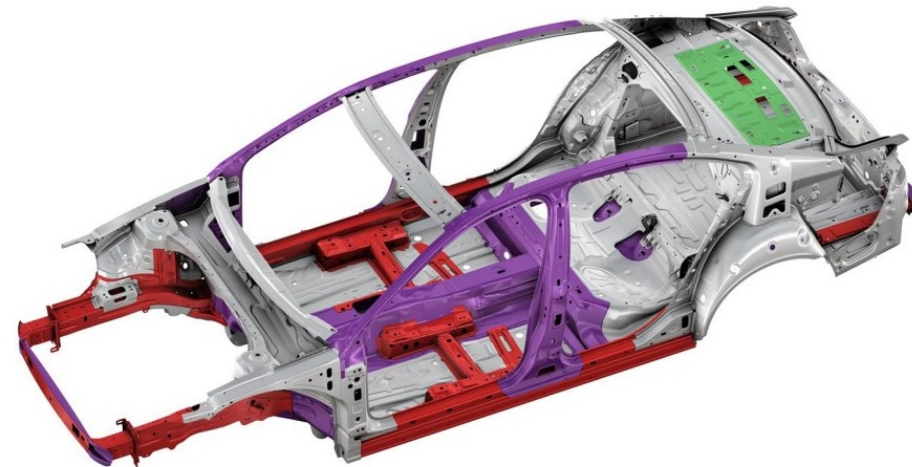


## Vícefázové MS ocele (Martensite Steels)



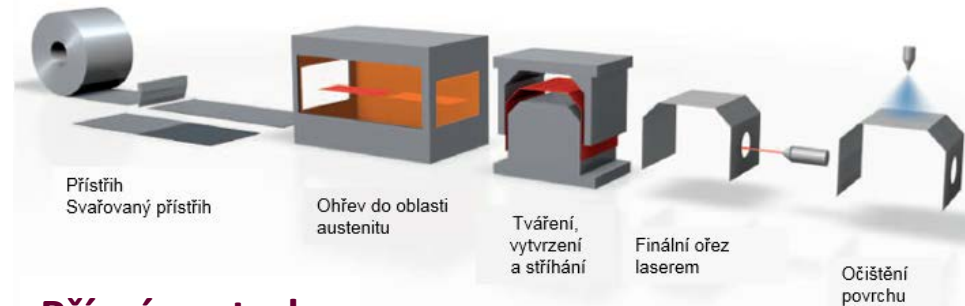
# Lisování za tepla

## Technologie PHS (Press Hardening Process)



Díly tvářené za tepla technologií PHS  
(Press Hardening Process)

- ohřev na teplotu 880°C až 950°C (z důvodu teplotních ztát při manipulaci cca 150°C nad  $A_{C3}$ )
- rychlost ochlazování > 30°C/sec pro dosažení martenzitické struktury
- použití pecí s ochrannou atmosférou  $N_2$ , vakuových pecí, nebo materiálů s povrchovou ochrannou vrstvou na bázi Al-Si-Fe



### Přímá metoda



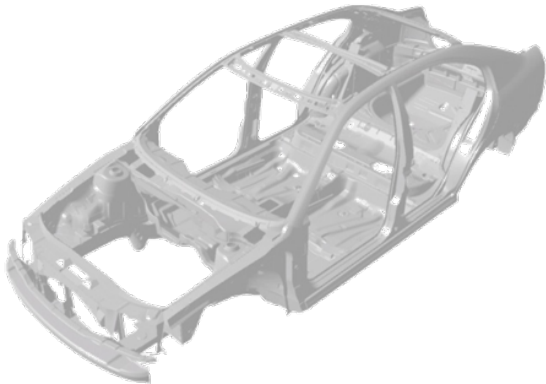
### Nepřímá metoda



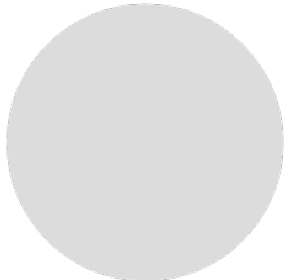
# Lisování za tepla

## Technologie PHS (Press Hardening Process)

Octavia I - 1996



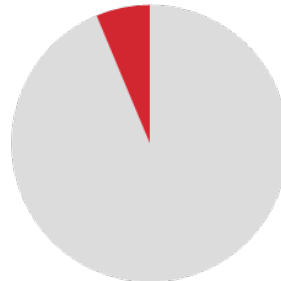
0%



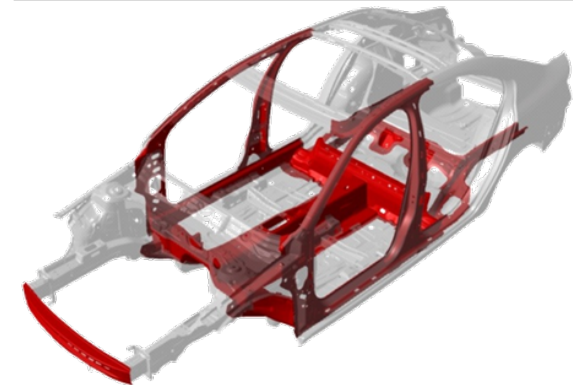
Octavia II - 2004



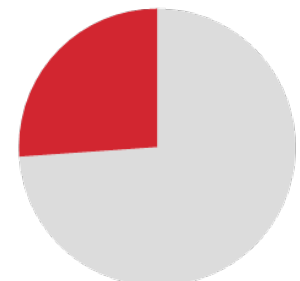
6,3%



Octavia III - 2012

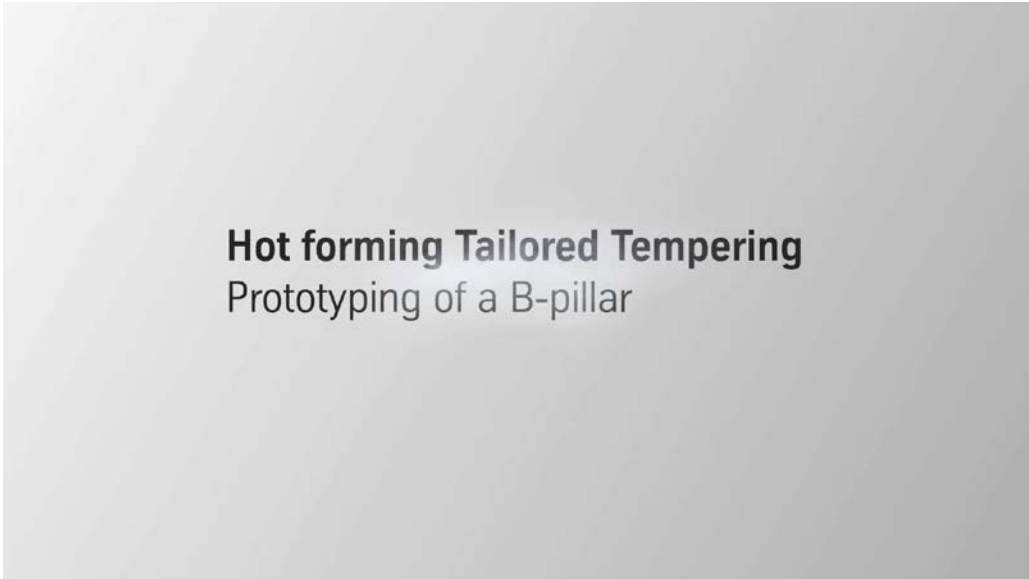


26,1%

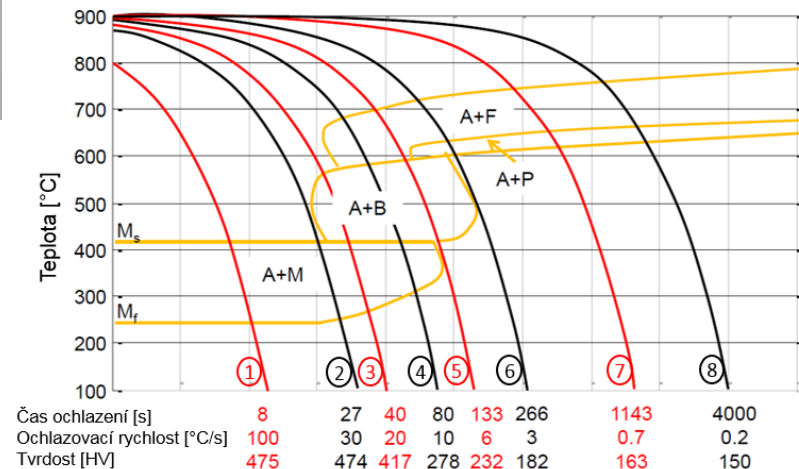
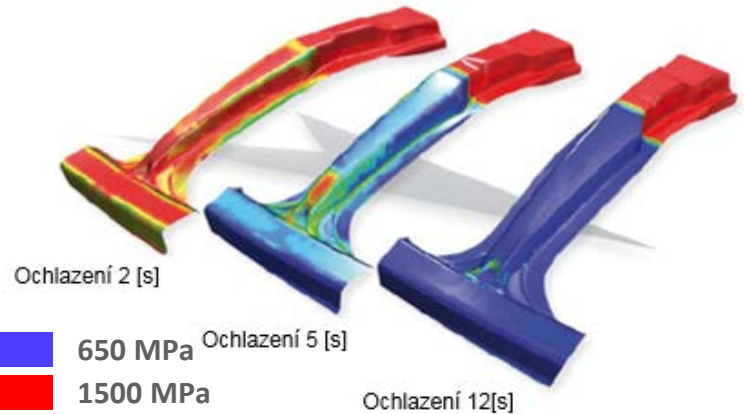


# Lisování za tepla

## Proces parciálního kalení



Hot forming Tailored Tempering  
Prototyping of a B-pillar



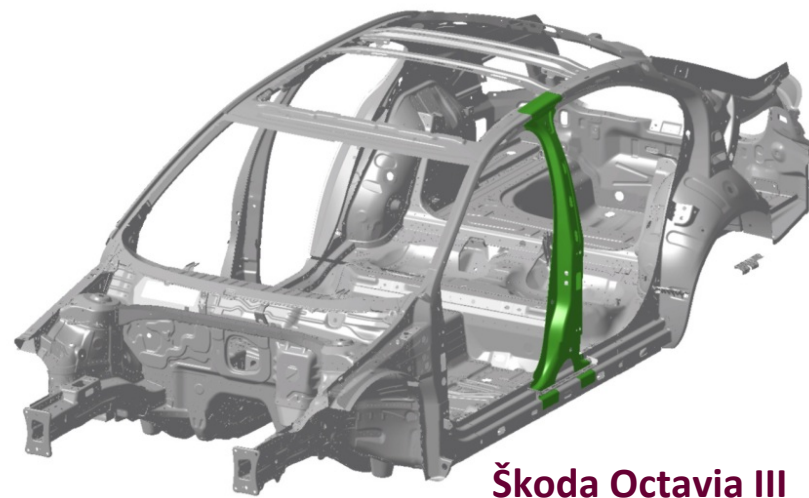
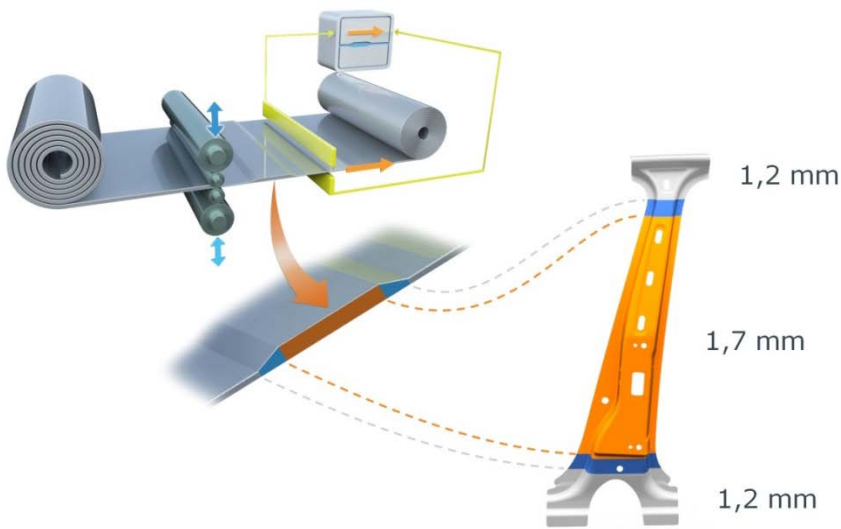
### Proces parciálního kalení materiálu

- změna mechanických vlastností materiálu v ploše výlisku je dána rozdílnou rychlostí ochlazování v jednotlivých místech
- oproti svařovaným přístřihům (TWB-Tailored Welding Blanks) nedochází ke skokové změně mechanických vlastností
- technologii parciálního kalení lze kombinovat s materiály s proměnnou tloušťkou

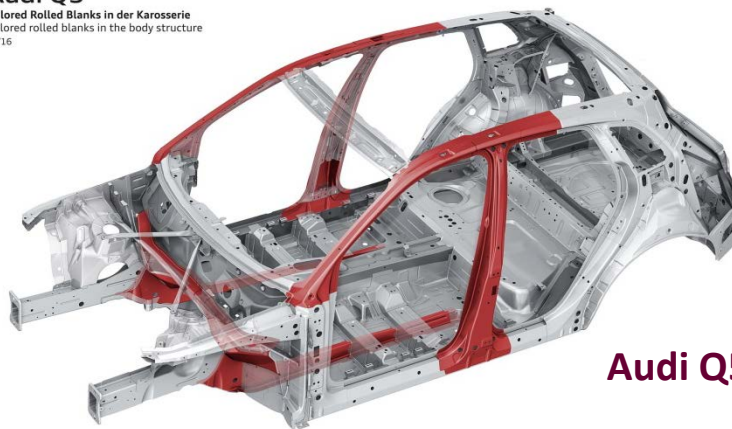


# Materiály s proměnnou tloušťkou

## Technologie TRB (Tailored Rolled Blanks)



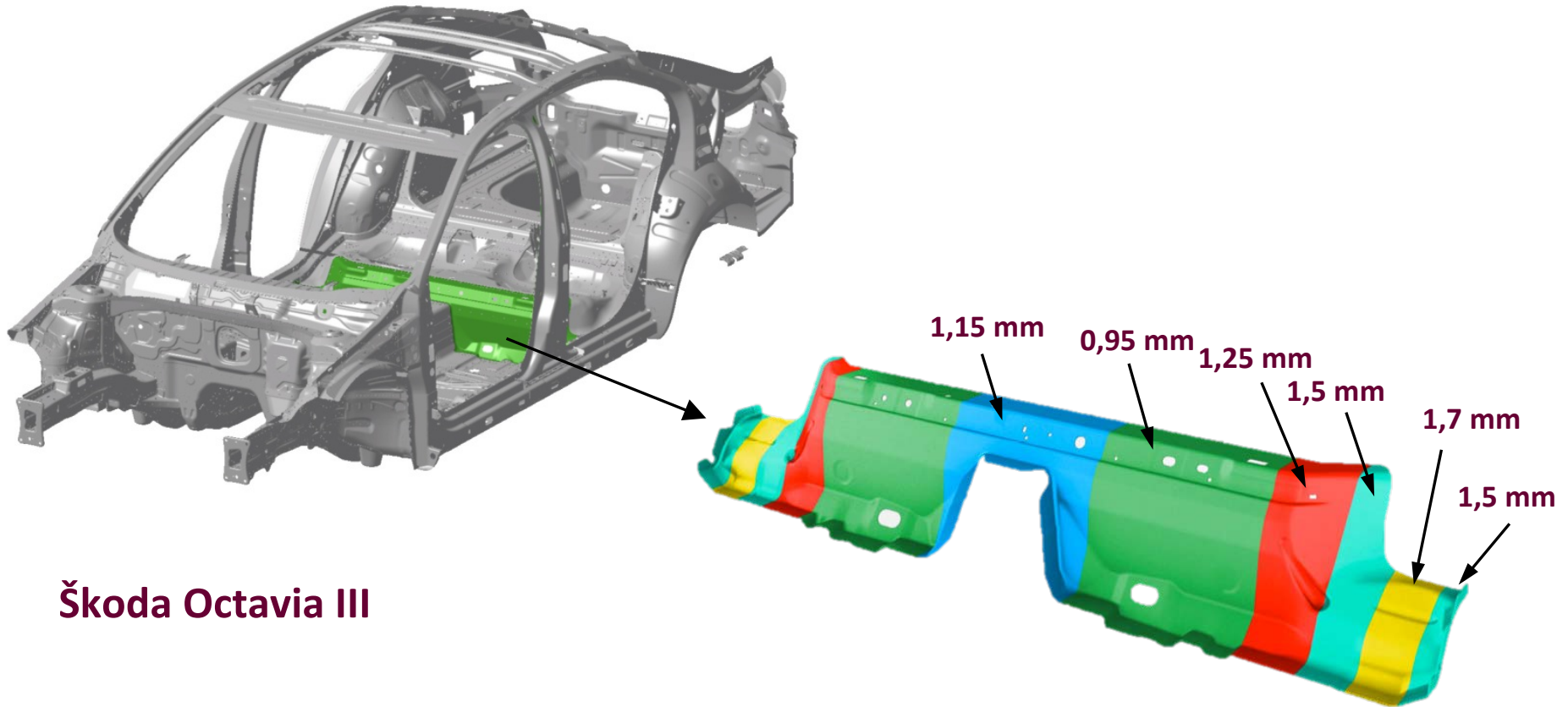
**Audi Q5**  
Tailored Rolled Blanks in der Karosserie  
Tailored rolled blanks in the body structure  
09/16



- plynulý přechod tloušťky materiálu
- úspora hmotnosti
- nelze kombinovat různé materiály
- náročná technologie výroby
- pouze pro polotovary s omezenou velikostí

# Materiály s proměnnou tloušťkou

## Technologie TRB (Tailored Rolled Blanks)

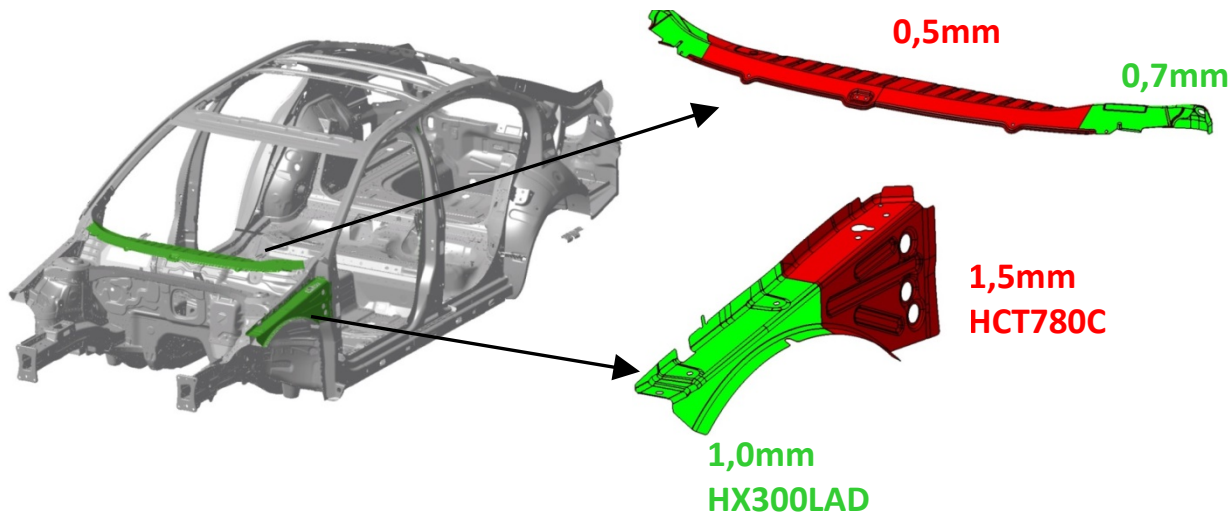
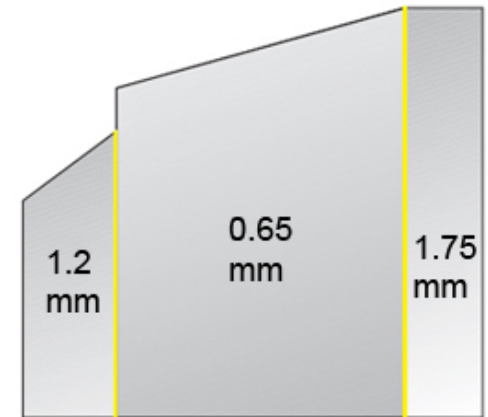


Škoda Octavia III

# Svařované přístřihy

## Technologie TWB (TWB - Tailor Welded Blanks)

- umožňuje kombinovat materiály s různými mechanickými vlastnostmi a zároveň lze měnit i tloušťku materiálu
- umožňuje vysokou variabilitu při výběru materiálu a tloušťky ve vztahu k požadovaným vlastnostem dílu
- v oblasti svaru dochází ke změně mechanických vlastností, nebezpečí snížení plastických schopností materiálu (silně závisí na použité kombinaci svařovaných materiálů)
- technologii lze využít pouze pro nepohledové díly karoserie



# Svařované přístřihy

## Technologie TWB (TWB - Tailor Welded Blanks)



Lisování



Vytvoření přístřihu  
plechu pro lisování  
(stříháním nebo řezáním  
laserem)



Svařování laserem





# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## Slitiny Al

### Výhody

- nízká měrná hmotnost 2698 kg/m<sup>3</sup>
- vysoká korozní odolnost
- snadná recyklovatelnost
- stabilní dodavatelská základna

### Nevýhody

- vysoké kolísání ceny hliníku na světových trzích
- nižší tvářitelnost oproti ocelím
- obtížnější svařitelnost oproti ocelím
- nízký Youngův modul pružnosti - cca 70 GPa

### Slitiny pro tváření používané v automobilovém průmyslu

EN AW 2xxx legováno Al-Cu

EN AW 5xxx legováno Al-Mg

EN AW 6xxx legováno Al-Mg-Si

EN AW 7xxx legováno Al-Zn-Cu

### Slitiny pro slévání používané v automobilovém průmyslu

Al-Si-0,7 Silafont 36, Castasil 37, Aural 2,3  
Mercalloy 366, 367

Al-Si-Mg Magsimal 59, Pertfoundal 50,  
Thermodur 72



# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## Slitiny Al



### Der neue Audi A8 L

Audi Space Frame in Multimaterialbauweise

The new Audi A8 L

Multimaterial Audi Space Frame

04/17



- Aluminium-Blech  
Aluminum sheet
- Aluminium-Profil  
Aluminum section
- Aluminium-Guss  
Aluminum castings

- Ultrahochfester Stahl (warmumgeformt)  
Ultra-high strength steel (hot-formed)
- Konventioneller Stahl  
Conventional steel
- Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK)  
Carbon fiber-reinforced plastic (CFRP)

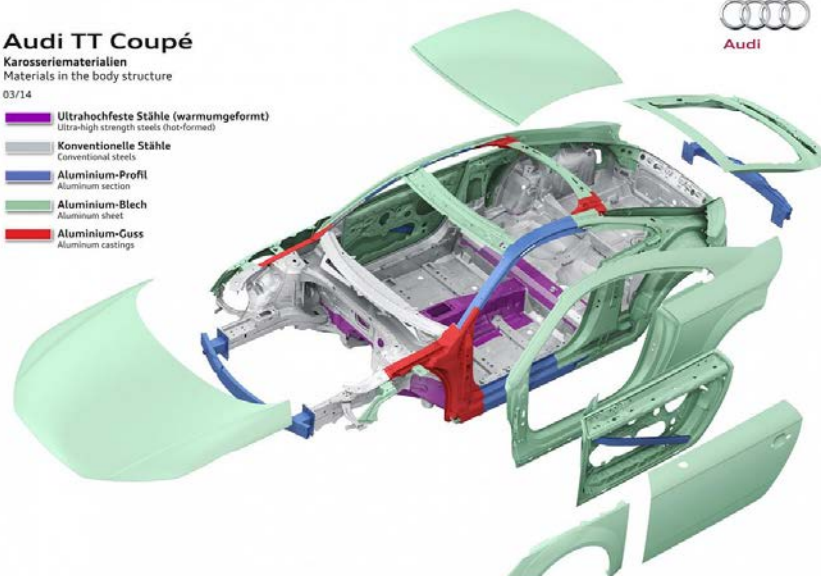
Magnesium

### Audi TT Coupé

Karosseriematerialien  
Materials in the body structure

03/14

- Ultrahochfeste Stähle (warmumgeformt)  
Ultra-high strength steels (hot-formed)
- Konventionelle Stähle  
Conventional steels
- Aluminium-Profil  
Aluminum section
- Aluminium-Blech  
Aluminum sheet
- Aluminium-Guss  
Aluminum castings



# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

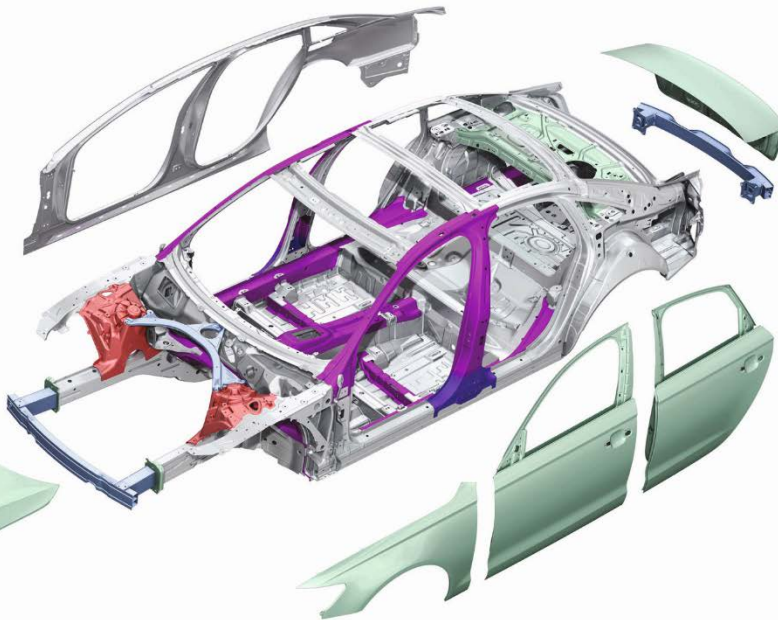
## Slitiny Al

### Audi A6

Karoseriematerialien  
Materials in the body structure

01/11

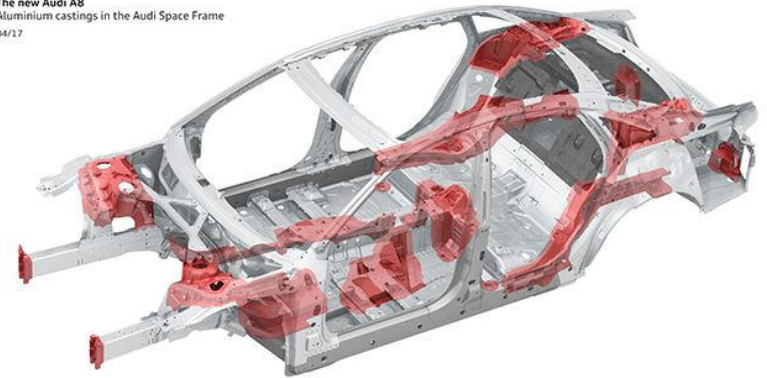
-  Aluminiumblech  
Sheet aluminium
-  Aluminiumguss  
Cast aluminium
-  Aluminiumprofil  
Aluminium sections
-  Stahl warmumgeformt  
Hot-formed steel
-  Stahl kaltumgeformt  
Cold-formed steel



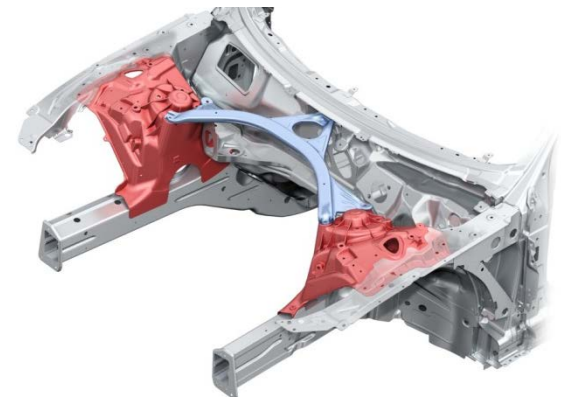
Materiálový koncept Audi A6

### Der neue Audi A8

Aluminium-Gussknoten im Audi Space Frame  
The new Audi A8  
Aluminium castings in the Audi Space Frame  
04/17

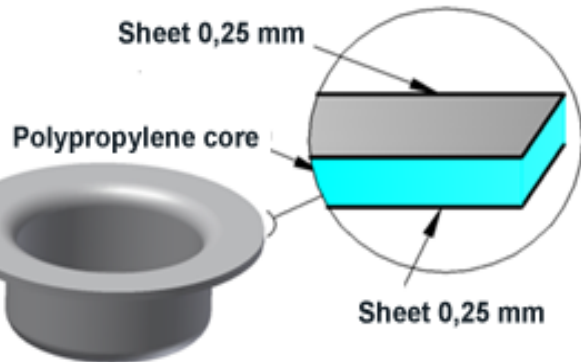


Využití odlitků Al v konstrukci karoserie



# Materiály pro stavbu karoserie automobilu

## Nekonvenční materiály



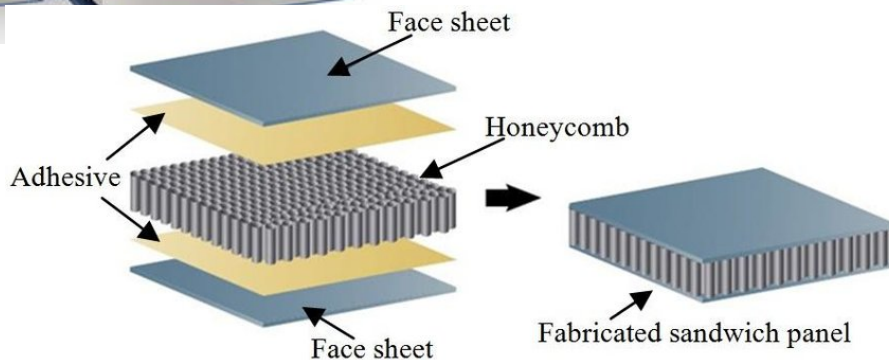
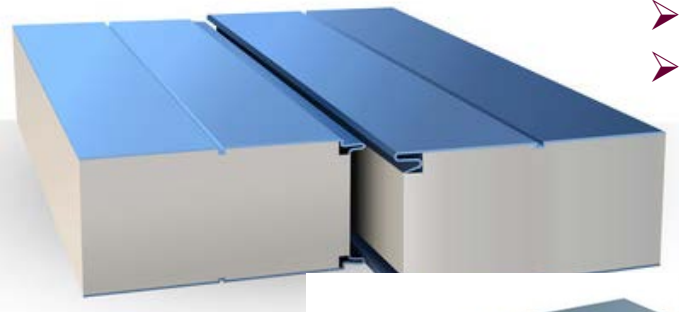
### Sandwich

- nízká měrná hmotnost
- tepelná a vibro-akustická izolace
- špatná svařitelnost
- nelze lakovat spolu s karoserií
- vysoká cena

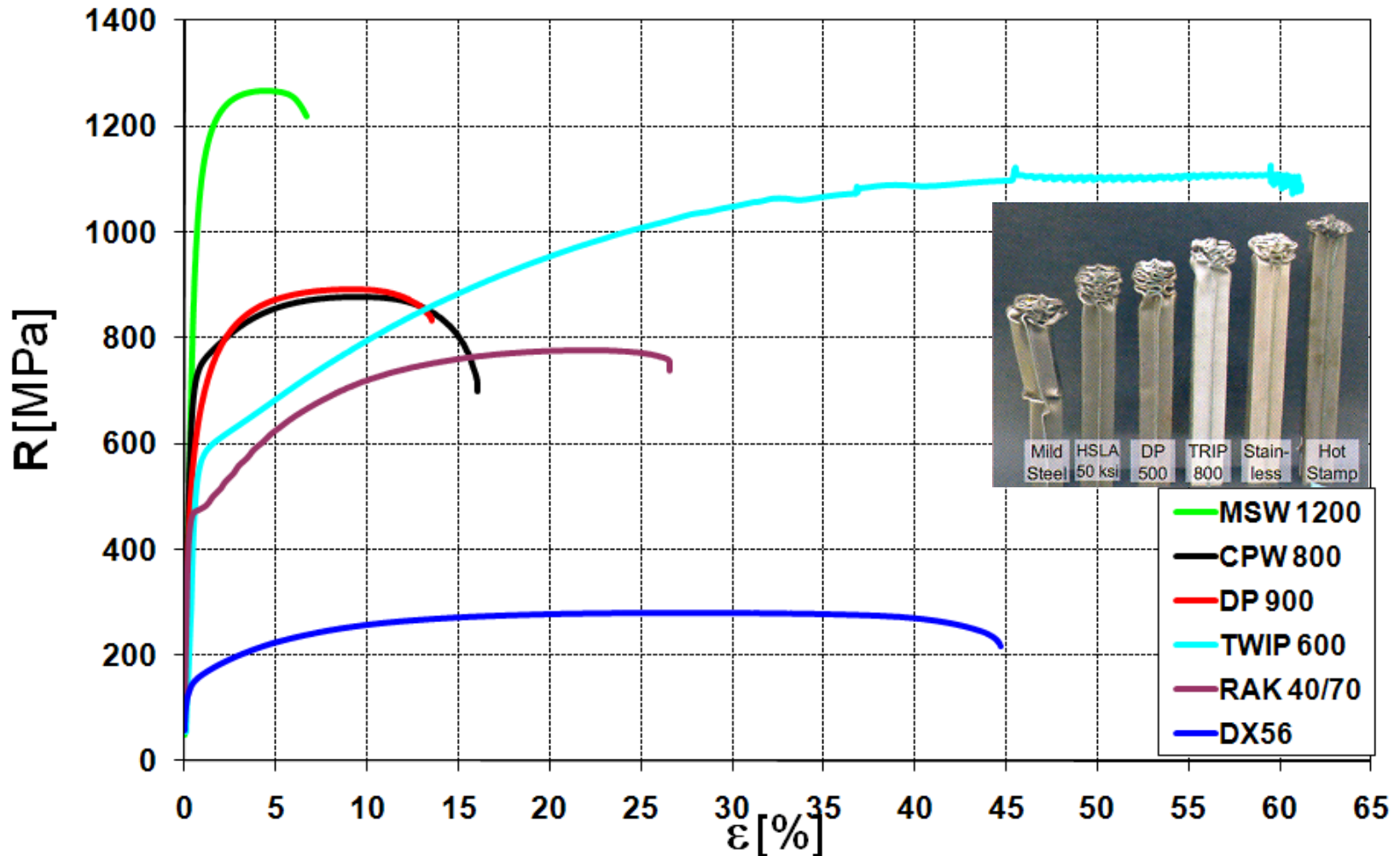


### Hliníkové pěny

- nízká měrná hmotnost
- nevýhodou jsou nízké mechanické hodnoty



# Materiály pro stavbu karoserie automobilu



**Děkuji za pozornost.**

**Lektor:** doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.  
**E-mail:** [pavel.solfronk@tul.cz](mailto:pavel.solfronk@tul.cz)  
**Tel.:** +420 605 957 404

