

Yüksek Mukavemetli Yapı Çelikleri ve  
Zırh Çeliklerinin Kaynağı  
(09 Aralık 2016)

# YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERİN ÜRETİMİ VE SINIFLANDIRILMASI

*Dr. Caner BATIGÜN*



ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene  
Araştırma/Uygulama Merkezi  
Ankara



# YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKLERİN ÜRETİMİ VE SINIFLANDIRILMASI

## Alt Başlıklar:

- Genel tanım, yapı çelikleri ile benzerlik ve farkları
- Yüksek mukavemetli çelik türleri
- Standartlar bazında grupların sınıflandırılması  
EN, ISO ve ASTM standartlarından örnekler
- Başlıca grupların üretim koşulları  
N ve TM çelikleri farkı, DP, TRIP, TWIP, M ...  
çelikleri
- Son söz: “bir case study”: Aşırı kaynak tamirinin sonuçları: bir mikro yapı inceleme çalışması.





## Çeliklerde Mukavemet Artırma Yöntemleri:

Çeliklerdeki mukavemet artırma yöntemleri dislokasyon hareketini az ya da çok ölçekte azaltmaya yönelik önlemlerden oluşmaktadır:

- Soğuk deformasyon
- Çökeltilelerle sertleştirme
- Katı çözeltili oluşturma (alaşımlama)
- Denge dışı kristal yapı dönüşümü (Martensit)
- Tane küçültme (tane sınırı miktarının artırılması)

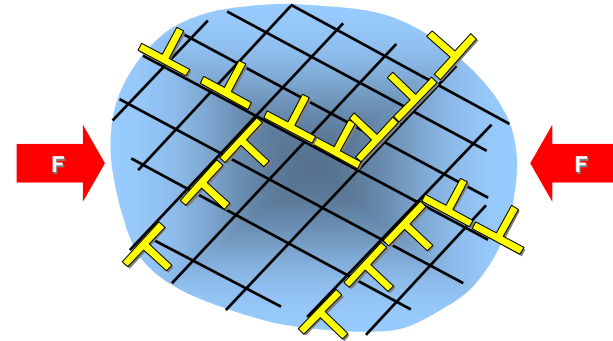
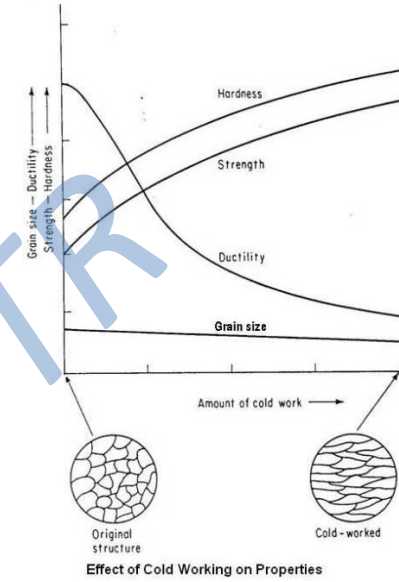


## Soğuk Deformasyon

Çeliğin rekristalizasyon sıcaklığı altında plastik deforme edilerek mukavemetinin artırılması.

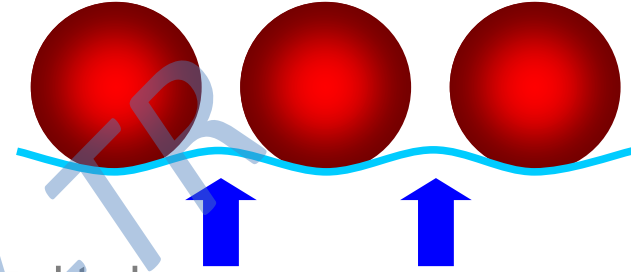
Bu esnada, dislokasyon yoğunluğu artmakta ve dislokasyonlar tane sınırları gibi engeller önünde sıkışmaktadır.

Daha fazla deformasyon için daha yüksek kuvvetler gerekir.



## Çökeltilerle Sertleştirme

Kristal yapı içerisinde çökelen parçacıklar, dislokasyon hareketini önleyen engeller olarak görev yapmaktadır.



Burada, çökeltilerin büyüklüğü ve dağılımı mukavemet artışı üzerinde önemli rol oynar.

Yüksek mukavemetli çeliklerde bu çökeltileri oluşturmak üzere Ti, Nb, V, ... gibi elementler kullanılır. Çökeltiler, nitrür ve/veya karbonitrür formunda oluşturulur. Bunlar aynı zamanda rekristalizasyon prosesi esnasında tane yapısının incelmesini sağlar.

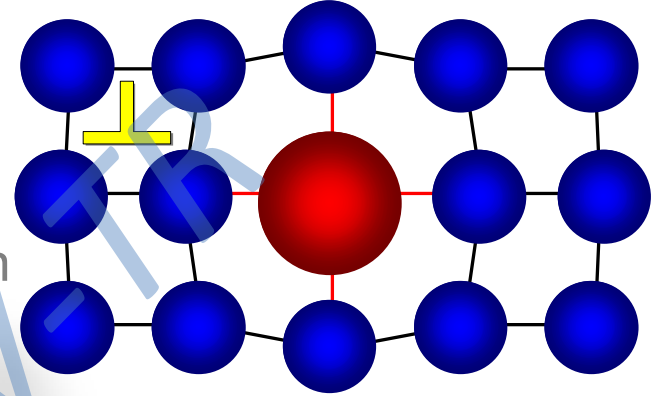


## Katı Çözelti Oluşturma (alaşımılama)

Kristal yapıdaki atom boyutundan daha büyük metal atomları ile elde edilebilir.

Kristal yapı elastik gerilme altındadır. Bu sayede dislokasyon hareketi önemli ölçüde azaltılabilir.

Örnek: Ni ile alaşımlandırma.



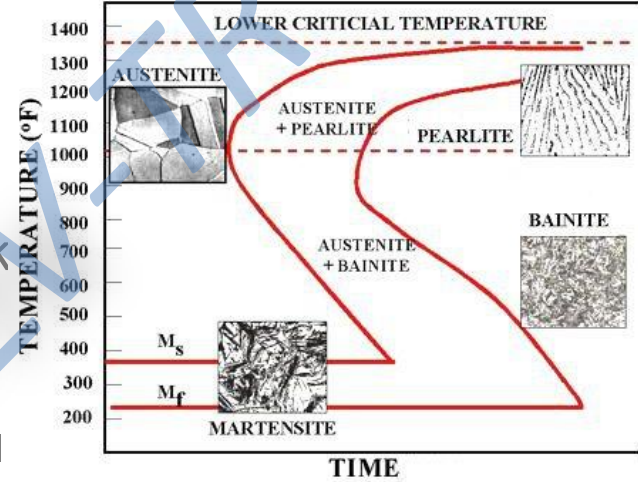
## Denge Dışı Kristal Yapı Dönüşümü

Klasik su verme prosesi.

Çelik, östenit yapıdan kritik soğuma hızından daha yüksek bir hızda soğutulur.

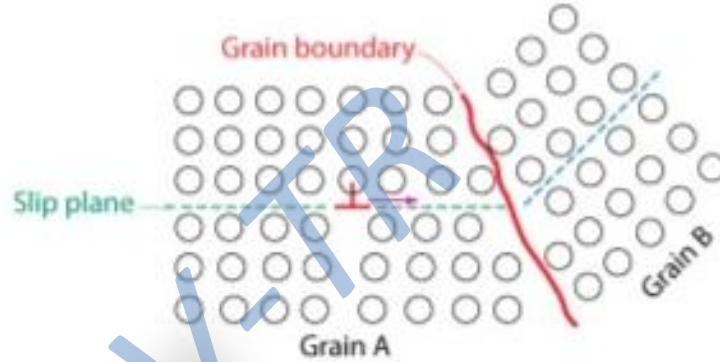
Bu esnada karbon difüzyonu baskılandığından denge yapısı sağlanamaz.

Mikro ve makro düzeyde iç gerilmeler altında kalan bir yapı elde edilir.



## Tane Küçültme

Tane sınırları  
Dislokasyon hareketini  
Sınırlayan bariyerlerdir.



Küçük tane boyutları, bu hareketi önleme konusunda daha etkin olduğundan yüksek mukavemet sağlamaktadır.

Hall-Petch denklemi:

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k_y}{\sqrt{d}}$$





## Yüksek Mukavemetli Çelikler

Akma sınırı 350 N/mm<sup>2</sup> üzerinde olan  
İnce taneli veya özel kalite çeliklerdir.

CEN ISO/TR 15608 kapsamında 1.3, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2 ve 3.3  
alt gruplarında yer alırlar.

veya

ASTM standartlarında HSLA çelikleri olarak karşımıza  
çıkılmaktadır. Örneğin A242, A572, A588, A606, A607, A618,  
A633, ..... A871



## CEN ISO/TR 15 608'e göre Malzeme Grupları (alıntı)

Yapı Çelikleri – İnce Taneli (N)		
1		Kimyasal analiz: %: C ≤ 0,25; Si ≤ 0,60; Mn ≤ 1,70; Mo ≤ 0,70; S ≤ 0,045; P ≤ 0,045; Cu ≤ 0,40; Ni ≤ 0,5b; Cr ≤ 0,3; Nb ≤ 0,05; V ≤ 0,12; Ti ≤ 0,05
	1.3	Belirtilen minimum akma sınırı $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$ olan normalize edilmiş ince taneli yapı çelikleri
		EN 10 025-3 (S460NH)

Yapı Çelikleri – İnce Taneli (M)		
2		Belirtilen minimum akma sınırı $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$ olan termomekanik haddelenmiş ince taneli yapı çelikleri ve çelik dökümler
	2.1	Belirtilen minimum akma sınırı $360 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$ olan termomekanik haddelenmiş ince taneli yapı çelikleri ve çelik dökümler
	2.2	Belirtilen minimum akma sınırı $R_{eH} > 460 \text{ N/mm}^2$ olan termomekanik haddelenmiş ince taneli yapı çelikleri ve çelik dökümler
		EN 10 025-4 (S275M hariç)
		EN 10 025-4 (S500M)

Yapı Çelikleri – İnce Taneli (Q)		
3		Belirtilen minimum akma sınırı $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$ olan ıslah edilmiş ve çökelti sertleştirmesi uygulanmış (paslanmaz çelikler hariç) çelikler
	3.1	Belirtilen minimum akma sınırı $360 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 690 \text{ N/mm}^2$ olan ıslah edilmiş çelikler
	3.2	Belirtilen minimum akma sınırı $R_{eH} > 690 \text{ N/mm}^2$ olan ıslah edilmiş çelikler
	3.3	Çökelti sertleştirmesi uygulanmış çelikler (paslanmaz çelikler hariç)
		EN 10 025-6 (S460QL den itibaren)
		EN 10 025-6 (960QL e kadar)
		EN 10 137-3 (yürürlükten kalktı)



# EN 10025-3 N - ÇELİKLERİ

EN 10025-3:2004 (D)

Tabelle 3 — Chemische Zusammensetzung nach der Stückanalyse entsprechend den Festlegungen in Tabelle 2

Bezeichnung		C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Al <sub>ges.</sub>	Ti	Cr	Ni	Mo	Cu	N
nach EN 10027-1 und CR 10260	nach EN 10027-2	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
			max.	max.	max. <sup>a</sup>	max. <sup>a,b</sup>	max.	max.	min. <sup>c</sup>	max.	max.	max.	max.	max. <sup>d</sup>	max.
S275N	1.0490	0,20	0,45	0,45 bis 1,60	0,035	0,030	0,06	0,07	0,015	0,06	0,35	0,35	0,13	0,60	0,017
S275NL	1.0491	0,18			0,030	0,025									
S355N	1.0545	0,22	0,55	0,85 bis 1,75	0,035	0,030	0,06	0,14	0,015	0,06	0,35	0,55	0,13	0,60	0,017
S355NL	1.0546	0,20			0,030	0,025									
S420N	1.8902	0,22	0,65	0,95 bis 1,80	0,035	0,030	0,06	0,22	0,015	0,06	0,35	0,85	0,13	0,60	0,027
S420NL	1.8912				0,030	0,025									
S460N <sup>e</sup>	1.8901 <sup>e</sup>	0,22	0,65	0,95 bis 1,80	0,035	0,030	0,06	0,22	0,015	0,06	0,35	0,85	0,13	0,60	0,027
S460NL <sup>e</sup>	18903 <sup>e</sup>				0,030	0,025									

<sup>a</sup> Für Langerzeugnisse dürfen die Gehalte an P und S um 0,005 % höher sein.

<sup>b</sup> Für den Eisenbahnbau kann ein Schwefelgehalt von max. 0,012 % zum Zeitpunkt der Anfrage und Bestellung vereinbart werden.  
Siehe Option 32.

<sup>c</sup> Der Mindestwert für den Gehalt an Al<sub>ges.</sub> gilt nicht, wenn ausreichende Gehalte an anderen Stickstoff abbindenden Elementen vorhanden sind.

<sup>d</sup> Cu-Gehalte über 0,45 % können Warmrissigkeit beim Warmformen verursachen.

<sup>e</sup> V+Nb+Ti ≤ 0,26 % und Mo+Cr ≤ 0,38 %.



# EN 10025-3 N - ÇELİKLERİ

EN 10025-3:2004 (D)

Tabelle 4 — Höchstwerte für das Kohlenstoffäquivalent (CEV)  
nach der Schmelzenanalyse für normalgeglühte Stähle

Bezeichnung		Kohlenstoffäquivalent %, max. für Nenndicken in mm		
nach EN 10027-1 und CR 10260	nach EN 10027-2	≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 250
S275N <sup>a</sup>	1.0490 <sup>a</sup>	0,40	0,40	0,42
S275NL <sup>a</sup>	1.0491 <sup>a</sup>			
S355N <sup>a</sup>	1.0545 <sup>a</sup>	0,43	0,45	0,45
S355NL <sup>a</sup>	1.0546 <sup>a</sup>			
S420N	1.8902			
S420NL	1.8912	0,43	0,50	0,52
S460N	1.8901			
460NL	1.8903	0,53	0,54	0,55

<sup>a</sup> Für die optional bedingte Anhebung von Elementen, die das CEV beeinflussen, siehe 7.4.3.



# EN 10025-3 N - ÇELİKLERİ

**Tabelle 7 — Mindestwerte der Kerbschlagarbeit an Spitzkerb-Querproben für normalgeglühte Stähle  
(sofern bei der Bestellung vereinbart)**

Siehe Option 30.

Bezeichnung		Mindestwert der Kerbschlagarbeit in J bei der Prüftemperatur in °C						
		+ 20	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50
nach EN 10027-1 und CR 10260	nach EN 10027-2							
S275N	1.0490							
S355N	1.0545	31	27	24	20	—	—	—
S420N	1.8902							
S460N	1.8901							
S275NL	1.0491							
S355NL	1.0546	40	34	34	27	23	20	16
S420NL	1.8912							
S460NL	1.8903							



# EN 10025-4 M - ÇELİKLERİ

EN 10025-4:2004 (D)

Tabelle 3 — Chemische Zusammensetzung nach der Stückanalyse entsprechend den Festlegungen in Tabelle 2

Bezeichnung		C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Al <sub>ges.</sub>	Ti	Cr	Ni	Mo	Cu	N
nach EN 10027-1 und CR 10260	nach EN 10027-2	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
		max.	max.	max.	max. <sup>a</sup>	max. <sup>a,b</sup>	max.	max.	min. <sup>c</sup>	max.	max.	max.	max.	max. <sup>d</sup>	max.
S275M	1.8818	0,15 <sup>e</sup>	0,55	1,60	0,035	0,030	0,06	0,10	0,015	0,06	0,35	0,35	0,13	0,60	0,017
S275ML	1.8819				0,030	0,025									
S355M	1.8823	0,16 <sup>e</sup>	0,55	1,70	0,035	0,030	0,06	0,12	0,015	0,06	0,35	0,55	0,13	0,60	0,017
S355ML	1.8834				0,030	0,025									
S420M	1.8825	0,18 <sup>f</sup>	0,55	1,80	0,035	0,030	0,06	0,14	0,015	0,06	0,35	0,85	0,23	0,60	0,027
S420ML	1.8836				0,030	0,025									
S460M	1.8827	0,18 <sup>f</sup>	0,65	1,80	0,035	0,030	0,06	0,14	0,015	0,06	0,35	0,85	0,23	0,60	0,027
S460ML	1.8838				0,030	0,025									

<sup>a</sup> Für Langerzeugnisse dürfen die Gehalte an P und S um 0,005 % höher sein.

<sup>b</sup> Für den Eisenbahnbau kann ein Schwefelgehalt von max. 0,012 % zum Zeitpunkt der Anfrage und Bestellung vereinbart werden. Siehe Option 32.

<sup>c</sup> Der Mindestwert für den Gehalt an Al<sub>ges.</sub> gilt nicht, wenn ausreichende Gehalte an anderen Stickstoff abbindenden Elementen vorhanden sind.

<sup>d</sup> Cu-Gehalte über 0,45 % können Warmrissigkeit beim Warmumformen verursachen.

<sup>e</sup> Bei Langerzeugnissen beträgt der Kohlenstoffgehalt max. 0,17 % für Sorte S275 und max. 0,18 % für Sorte S355.

<sup>f</sup> Bei Langerzeugnissen aus den Sorten S420 und S460 beträgt der Kohlenstoffgehalt max. 0,20 %.



Tabelle 4 — Höchstwerte für das Kohlenstoffäquivalent (CEV) nach der Schmelzenanalyse für thermomechanisch gewalzte Stähle<sup>a</sup>

Bezeichnung		Kohlenstoffäquivalent %, max. für Nennstärken in mm				
		≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 120	> 120 ≤ 150 <sup>b</sup>
nach EN 10027-1 und CR 10260	nach EN 10027-2					
S275M	1.8818 <sup>b</sup>					
S275ML	1.8819 <sup>b</sup>	0,34	0,34	0,35	0,38	0,38
S355M	1.8823 <sup>b</sup>	0,39	0,39	0,40	0,45	0,45
S355ML	1.8834 <sup>b</sup>					
S420M	1.8825	0,43	0,45	0,46	0,47	0,47
S420ML	1.8836					
S460M	1.8827	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48
S460ML	1.8838					

<sup>a</sup> Für die optional bedingte Anhebung von Elementen, die das CEV beeinflussen, siehe 7.4.3.

<sup>b</sup> Diese Werte gelten nur für Langerzeugnisse.



# EN 10025-4 M - ÇELİKLERİ

**Tabelle 7 — Mindestwerte der Kerbschlagarbeit an Spitzkerb-Querproben für thermomechanisch gewalzte Stähle (sofern bei der Bestellung vereinbart)**

Siehe Option 30.

Bezeichnung		Mindestwert der Kerbschlagarbeit in J bei der Prüftemperatur in °C						
nach EN 10027- 1 und CR 10260	nach EN 10027-2	+ 20	0	- 10	- 20	- 30	- 40	- 50
S275M	1.8818							
S355M	1.8823	31	27	24	20	—	—	—
S420M	1.8825							
S460M	1.8827							
S275ML	1.8819							
S355ML	1.8834	40	34	30	27	23	20	16
S420ML	1.8836							
S460ML	1.8838							





## EN 10025-6 Q - ÇELİKLERİ

Tabelle 3 — Chemische Zusammensetzung nach der Stückanalyse entsprechend den Festlegungen in Tabelle 2<sup>a</sup>

Sorte	Gütegruppe	C	Si	Mn	P	S	N	B	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Ti	V	Zr
		% max.	% max.	% max.	% max.	% max.	% max.	% max.	% max.	% max.	% max.	% max.	% max. <sup>b</sup>	% max.	% max. <sup>b</sup>	% max. <sup>b</sup>
Alle Sorten	(kein Symbol)				0,030	0,017										
	L	0,22	0,86	1,80	0,025	0,012	0,016	0,0060	1,60	0,55	0,74	0,07	2,1	0,07	0,14	0,17
	L1				0,025	0,012										

<sup>a</sup> Je nach der Dicke der Erzeugnisse und den Herstellbedingungen kann der Hersteller zur Erzielung der vorgeschriebenen Eigenschaften eines oder mehrere der Legierungselemente (siehe 7.2.2) bis zu den hier angegebenen Höchstwerten dem Stahl zusetzen.

<sup>b</sup> Mindestens eines der korrespondierenden Elemente, zu denen auch Aluminium gehört, muss mit einem Mindestanteil von 0,010 % vorhanden sein. Im Falle von Aluminium gilt der Mindestwert von 0,010 % für das lösliche Aluminium; dieser Wert gilt auch als erreicht, wenn der Aluminiumgesamtanteil mindestens 0,013 % beträgt; in Schiedsfällen ist der Gehalt an löslichem Aluminium zu bestimmen.



# EN 10025-6 Q - ÇELİKLERİ

Tabelle 4 — Höchstwerte für das Kohlenstoffäquivalent (CEV) nach der Schmelzenanalyse für vergütete Stähle<sup>a</sup>

Bezeichnung		Kohlenstoffäquivalent %, max. für Nenndicken in mm		
		≤ 50	> 50 ≤ 100	> 100 ≤ 150
nach EN 10027-1 und CR 10260	nach EN 10027-2			
S460Q S460QL S460QL1	1.8908 1.8906 1.8916	0,47	0,48	0,50
S500Q S500QL S500QL1	1.8924 1.8909 1.8984	0,47	0,70	0,70
S550Q S550QL S550QL1	1.8904 1.8926 1.8986	0,65	0,77	0,83
S620Q S620QL S620QL1	1.8914 1.8927 1.8987	0,65	0,77	0,83
S690Q S690QL S690QL1	1.8931 1.8928 1.8988	0,65	0,77	0,83
S890Q S890QL S890QL1	1.8940 1.8983 1.8925	0,72	0,82	—
S960Q S960QL	1.8941 1.8933	0,82	—	—

<sup>a</sup> Für die optional bedingte Anhebung von Elemente, die das CEV beeinflussen, siehe 7.4.3.



# EN 10025-6 Q - ÇELİKLERİ

Tabelle 6 — Mindestwerte der Kerbschlagarbeit an Spitzkerb-Längsproben für vergütete Stähle

Bezeichnung		Mindestwerte der Kerbschlagarbeit in J bei der Prüftemperatur, in °C			
nach EN 10027-1 und CR 10260	nach EN 10027-2	0	- 20	- 40	- 60
S460Q	1.8908				
S500Q	1.8924				
S550Q	1.8904				
S620Q	1.8914	40	30	—	—
S690Q	1.8931				
S890Q	1.8940				
S960Q	1.8941				
S460QL	1.8906				
S500QL	1.8909				
S550QL	1.8926				
S620QL	1.8927	50	40	30	—
S690QL	1.8928				
S890QL	1.8983				
S960QL	1.8933				
S460QL1	1.8916				
S500QL1	1.8984				
S550QL1	1.8986				
S620QL1	1.8987	60	50	40	30
S690QL1	1.8988				
S890QL1	1.8925				



# ASTM HSLA - ÇELİKLERİ

Table 2 Summary of characteristics and intended uses of HSLA steels described in ASTM specifications

ASTM specification	Title	Alloying elements <sup>(a)</sup>	Available mill forms	Special characteristics	Intended uses
A 242	High-strength low-alloy structural steel	Cr, Cu, N, Ni, Si, Ti, V, Zr	Plate, bar, and shapes ≤100 mm (4 in.) in thickness	Atmospheric-corrosion resistance four times that of carbon steel	Structural members in welded, bolted, or riveted construction
A 572	High-strength low-alloy niobium-vanadium steels of structural quality	Nb, V, N	Plate, bar, shapes, and sheet piling ≤150 mm (6 in.) in thickness	Yield strengths of 290 to 450 MPa (42 to 65 ksi) in six grades	Welded, bolted, or riveted structures, but mainly bolted or riveted bridges and buildings
A 588	High-strength low-alloy structural steel with 345 MPa (50 ksi) minimum yield point ≤100 mm (4 in.) in thickness	Nb, V, Cr, Ni, Mo, Cu, Si, Ti, Zr	Plate, bar, and shapes ≤200 mm (8 in.) in thickness	Atmospheric-corrosion resistance four times that of carbon steel; nine grades of similar strength	Welded, bolted, or riveted structures, but primarily welded bridges and buildings in which weight savings or added durability is important
A 606	Steel sheet and strip, hot-rolled and cold-rolled, high-strength low-alloy with improved corrosion resistance	Not specified	Hot-rolled and cold-rolled sheet and strip	Atmospheric-corrosion resistance twice that of carbon steel (type 2) or four times that of carbon steel (type 4)	Structural and miscellaneous purposes for which weight savings or added durability is important
A 607	Steel sheet and strip, hot-rolled and cold-rolled, high strength low-alloy niobium and/or vanadium	Nb, V, N, Cu	Hot-rolled and cold-rolled sheet and strip	Atmospheric-corrosion resistance twice that of carbon steel, but only when copper content is specified; yield strengths of 310 to 485 MPa (45 to 70 ksi) in six grades	Structural and miscellaneous purposes for which greater strength or weight savings is important
A 618	Hot-formed welded and seamless high-strength low-alloy structural tubing	Nb, V, Si, Cu	Square, rectangular, round, and special-shape structural welded or seamless tubing	Three grades of similar yield strength; may be purchased with atmospheric-corrosion resistance twice that of carbon steel	General structural purposes, included welded, bolted, or riveted bridges and buildings
A 633	Normalized high-strength low-alloy structural steel	Nb, V, Cr, Ni, Mo, Cu, N, Si	Plate, bar, and shapes ≤150 mm (6 in.) in thickness	Enhanced notch toughness; yield strengths of 290 to 415 MPa (42 to 60 ksi) in five grades	Welded, bolted, or riveted structures for service at temperatures at or above -45 °C (-50 °F)
A 656	High-strength, low-alloy, hot-rolled structural vanadium-aluminum-nitrogen and titanium-aluminum steels	V, Al, N, Ti, Si	Plate, normally ≤16 mm (5/8 in.) in thickness	Yield strength of 552 MPa (80 ksi)	Truck frames, brackets, crane booms, rail cars, and other application for which weight savings is important
A 690	High-strength low-alloy steel H-piles and sheet piling	Ni, Cu, Si	Structural-quality H-piles and sheet piling	Corrosion resistance two to three times greater than that of carbon steel in the splash zone of marine structures	Dock walls, sea walls, bulkheads, excavations, and similar structures exposed to seawater

(a) In addition to carbon, manganese, phosphorus, and sulfur. A given grade may contain one or more of the listed elements, but not necessarily all of them; for specified compositional limits, see Table 1. (b) Obtained by producing killed steel, made to fine grain practice, and with microalloying elements such as niobium, vanadium, titanium, and zirconium in the composition



# ASTM HSLA - ÇELİKLERİ

Table 2 (continued)

ASTM specification	Title	Alloying elements <sup>(a)</sup>	Available mill forms	Special characteristics	Intended uses
A 709, grade 50 and 50W	Structural steel	V, Nb, N, Cr, Ni, Mo	All structural-shape groups and plate ≤100 mm (4 in.) in thickness	Minimum yield strength of 345 MPa (50 ksi). Grade 50W is a weathering steel	Bridges
A 714	High-strength low-alloy welded and seamless steel pipe	V, Ni, Cr, Mo, Cu, Nb	Pipe with nominal pipe size diameters of 13 to 660 mm (1/2 to 26 in.)	Minimum yield strengths ≤345 MPa (50 ksi) and corrosion resistance two to four times that of carbon steel	Piping
A 715	Steel sheet and strip, hot-rolled, high-strength low-alloy with improved formability	Nb, V, Cr, Mo, N, Si, Ti, Zr, B	Hot-rolled sheet and strip	Improved formability(c) compared to A606 and A607; yield strengths of 345 to 550 MPa (50 to 80 ksi) in four grades	Structural and miscellaneous applications for which high strength, weight saving improved formability, and good weldability are important
A 808	High-strength low-alloy steel with improved notch toughness	V, Nb	Hot-rolled steel plate ≤65 mm (2 1/2 in.) in thickness	Charpy V-notch impact energies of 40–60 J (30–45 ft.-lb) at –45 °C (–50 °F)	Railway tank cars
A 812	High-strength low-alloy steels	Y, Nb	Steel sheet in coil form	Yields strengths of 450–550 MPa (65–85 ksi)	Welded layered pressure vessels
A 841	Plate produced by thermomechanical controlled processes	V, Nb, Cr, Mo, Ni	Plates ≤100 mm (4 in.) in thickness	Yield strengths of 310–345 MPa (45–50 ksi)	Welded pressure vessels
A 847	Cold-formed welded and seamless high-strength low-alloy structural tubing with improved atmospheric-corrosion resistance	Cu, Cr, Ni, Si, V, Ti, Zr, Nb	Welded tubing with maximum periphery of 1625 mm (64 in.) and wall thickness of 16 mm (0.625 in.) or seamless tubing with maximum periphery of 810 mm (32 in.) and wall thickness of 13 mm (0.50 in.)	Minimum yield strengths ≤345 MPa (50 ksi) with atmospheric-corrosion resistance twice that of carbon	Round, square, or specially shaped structural tubing for welded, riveted, or bolted construction of bridges and buildings
A 860	High-strength butt-welding fittings of wrought high-strength low-alloy steel	Cu, Cr, Ni, Mo, V, Nb, Ti	Normalized or quenched-and-tempered wrought fittings	Minimum yield strengths ≤485 MPa (70 ksi)	High-pressure gas and oil transmission lines
A 871	High-strength low-alloy steel with atmospheric corrosion resistance	V, Nb, Ti, Cu, Mo, Cr	As-rolled plate ≤35 mm (1 3/8 in.) in thickness	Atmospheric-corrosion resistance four times that of carbon structural steel	Tubular structures and poles

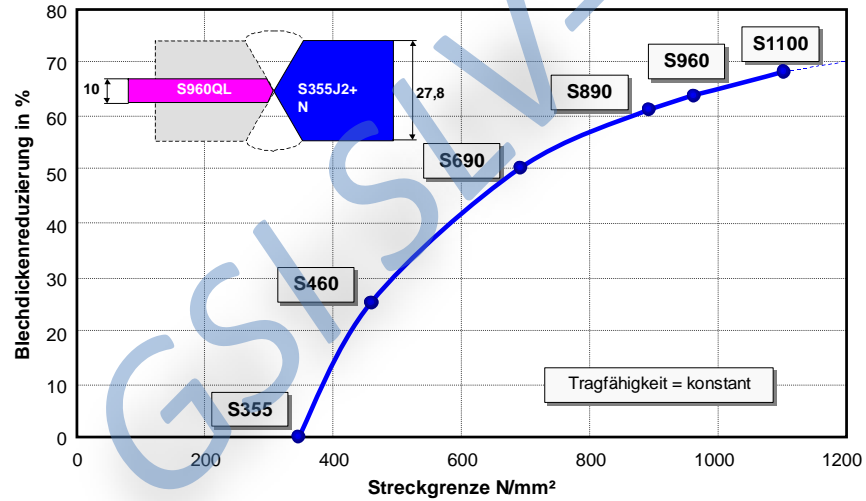
(a) In addition to carbon, manganese, phosphorus, and sulfur. A given grade may contain one or more of the listed elements, but not necessarily all of them; for specified compositional limits, see Table 1. (b) Obtained by producing killed steel, made to fine grain practice, and with microalloying elements such as niobium, vanadium, titanium, and zirconium in the composition



## Avantajlar

Genel ağırlıkta azalma

Malzeme ve imalat maliyetlerinin azalması



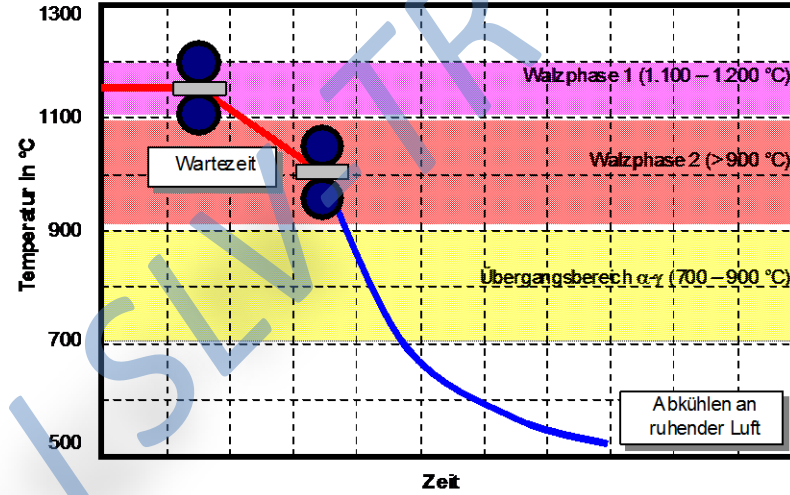
## İnce Taneli Yapı Çelikleri

Tür	Adlandırma (Standart)	Akma Sınırı [N/mm <sup>2</sup> ]	Temel alaşımı (Parça analizi %)	Mukavemet kazandırma metodu
N	Normalize haddelenmiş ince taneli yapı çeliği (EN 10 025-3)	275 - 460	C ≤ 0,22; Si ≤ 0,65; Mn ≤ 1,80; Al ≥ 0,015; İlave mikro alaşımlar: V ≤ 0,22; Nb ≤ 0,06; Ti; ≤ 0,06 Σ ≤ 0,26	Tane küçültme, Makro alaşım, Çökeltiler
M	Termomekanik haddelenmiş ince taneli yapı çeliği (EN 10 025-4)	275 - 500 (norm.) 275 - 700 (ticari.)	C ≤ 0,18; Si ≤ 0,65; Mn ≤ 1,80; Al ≥ 0,015; Mikro alaşımlar: V ≤ 0,14; Nb ≤ 0,06; Ti; ≤ 0,06	Tane küçültme, Makro alaşım, Soğuk deformasyon
Q	Su verilmiş, ıslah edilmiş ince taneli çelikler (EN 10 025-6)	460 - 960 (norm.) 460 - 1.300 (ticari.)	C ≤ 0,22; Si ≤ 0,86; Mn ≤ 1,80; Al ≥ 0,010; Mikro alaşımlar: V ≤ 0,14; Nb ≤ 0,07; Ti; ≤ 0,07 ve: Cr ≤ 1,6; Ni ≤ 2,1; Mo ≤ 0,74 kısmen: Zr veya B	Tane küçültme, Makro alaşım, Dönüştürme, Soğuk deformasyon



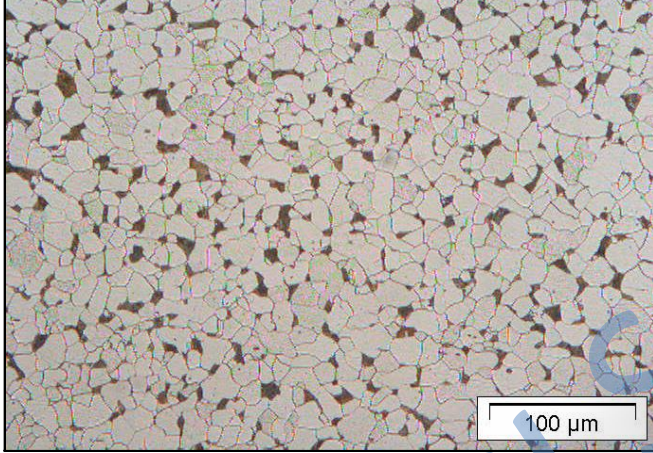
# Normalize Edilmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri

EN 10 025-3:05
S275N
S275NL
S355N
S355NL
S420N
S420NL
S460N
S460NL

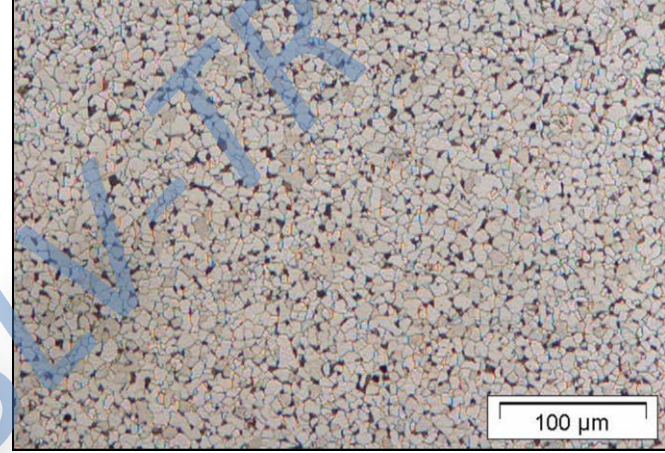




## Normalize Edilmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri



Normalize edilmiş yapı çeliği S355J2+N

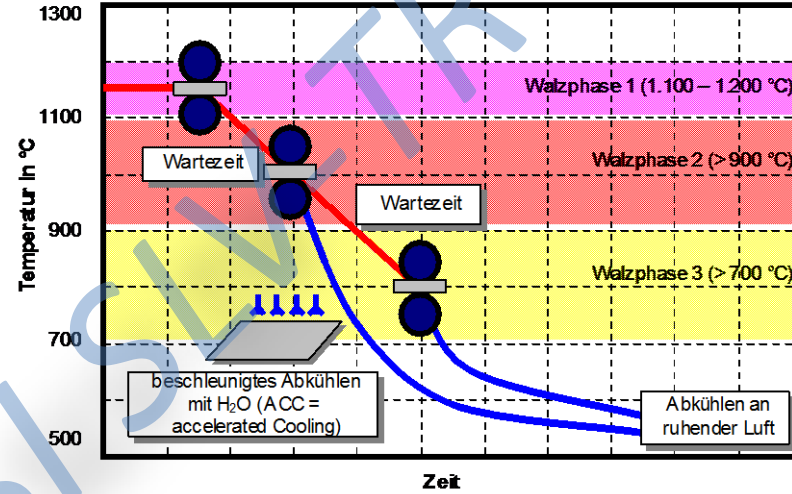


Normalize edilmiş ince taneli yapı çeliği S355N

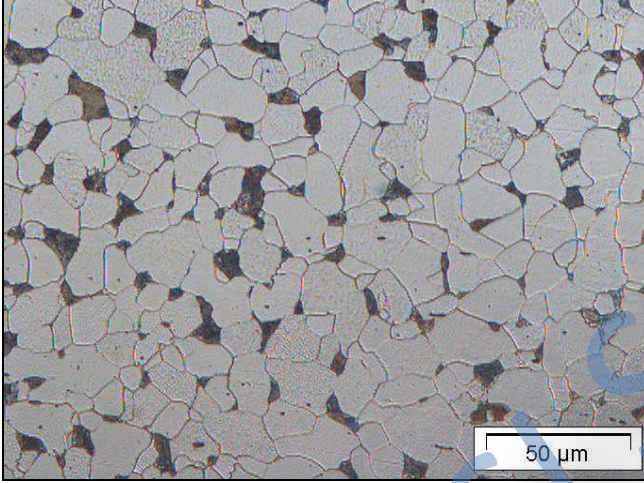


# Termomekanik Haddelenmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri

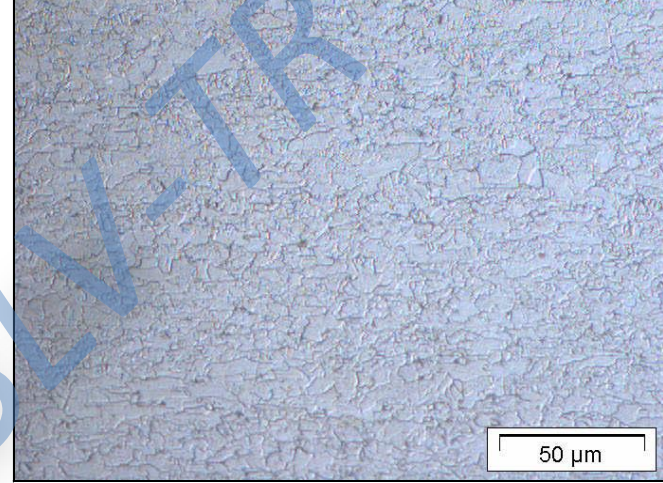
<b>EN 10 025-4:05</b>
<b>S275M</b>
<b>S275ML</b>
<b>S355M</b>
<b>S355ML</b>
<b>S420M</b>
<b>S420ML</b>
<b>S460M</b>
<b>S460ML</b>
<b>(S500M)</b>



## Termomekanik Haddelenmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri



Normalize edilmiş yapı çeliği S355J2+N

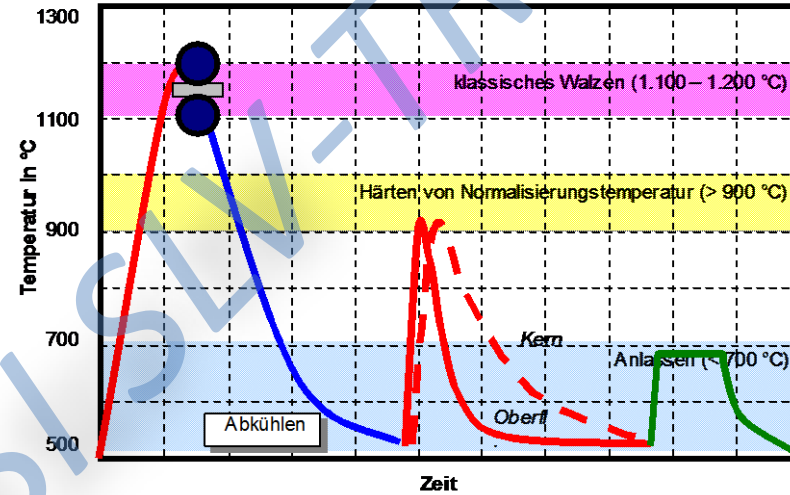


Termomekanik haddelenmiş ince taneli yapı çeliği S460M

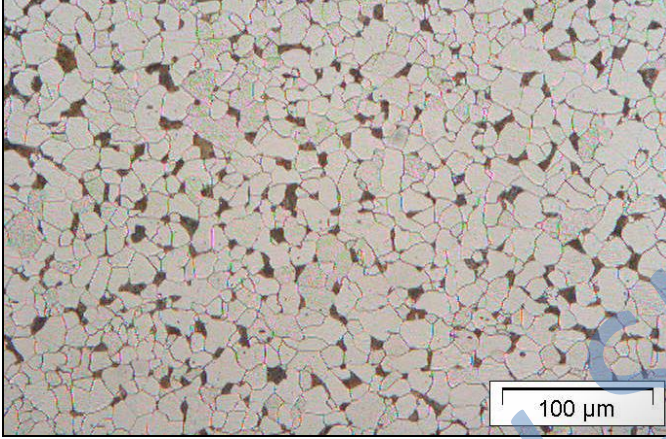


# Islah Edilmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri

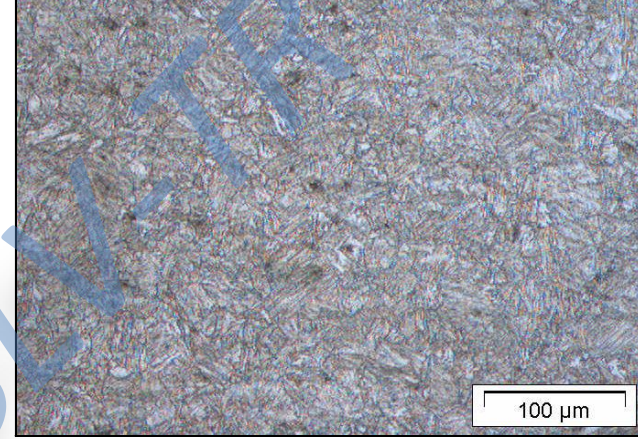
EN 10 025-6:05
S460Q
S460QL
S460QL1
S500Q
S500QL
S500QL1
S550Q
S550QL
S500QL1
S620Q
S620QL
S620QL1
S690Q
S690QL
S690QL1
S890Q
S890QL
S890QL1
S960Q
S960QL



## Islah Edilmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri



Normalize edilmiş yapı çeliği S355J2+N



Islah edilmiş ince taneli yapı çeliği S690Q



*Dr. Caner BATIGÜN*  
ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene  
Araştırma/Uygulama Merkezi  
Ankara

[bgun@metu.edu.tr](mailto:bgun@metu.edu.tr)

