

OZET

Yüksek Mekanik Dirence ve Aşınma Direncine Sahip Olan Çelik

5

Buluşun amacı, özellikleri bilinen çeliklerin özelliklerine eşdeğer olan ancak ayrık damar zararı büyük ölçüde azaltılmış olan bir çeliğin elde edilmesine yönelik bir aracın sunulması suretiyle bu dezavantajın giderilmesidir.

İSTEMLER

1. Yüksek mekanik direnç ve yüksek aşınma direncine sahip olan çelik olup, kimyasal bileşiği ağırlıkça % olarak aşağıdakileri içermektedir:

5

$$%0,35 \leq C \leq \%1,47$$

$$%0,05 \leq Si \leq \%1,5$$

$$Mn \leq \%1,95$$

$$Ni \leq \%2,9$$

10

$$%1,1 \leq Cr \leq \%7,9$$

$$%0 \leq Mo \leq \%4,29$$

$$%0,21 \leq W \leq \%4,9$$

$$%0,61 \leq Mo + W/2 \leq \%4,4$$

$$%0 \leq Ti \leq \%1,49$$

15

$$%0 \leq Zr \leq \%2,9$$

$$%0,21 \leq Ti + Zr/2 \leq \%1,49$$

- $V \leq \%1,45$; $Nb \leq \%1,45$; $Ta \leq \%1,45$ ve $V + Nb/2 + Ta/4 \leq \%1,45$ olacak şekilde oranlarda, isteğe bağlı olarak vanadyum, niyobyum ve tantal arasından seçilen bir ya da daha fazla element,
- isteğe bağlı olarak %0,1'e kadar bir oranda bor,
- %0,005'den az bir oranda kükürt,
- isteğe bağlı olarak %0,01'e kadar bir oranda kalsiyum,
- isteğe bağlı olarak %0,5'e kadar bir oranda nadir toprak elementleri,
- isteğe bağlı olarak %1'e kadar bir oranda alüminyum,
- isteğe bağlı olarak %1'e kadar bir oranda bakır,

20

25

geri kalanı demir ve hazırlama işleminden kaynaklanan katışkılarıdır, bileşim aşağıdaki koşulları karşılamaktadır:

30

$$(Ti + Zr/2)/W \geq 0,20$$

$$(Ti + Zr/2) \times C \geq 0,07$$

$$\%0,3 \leq C^* \leq \%1,42$$

$$800 \leq D \leq 1150$$

5 burada,

$$D=540 (C^*)^{0,25} + 245 (Mo + W/2 + 3V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)^{0,3} \\ + 125 Cr^{0,20} + 15,8 Mn + 7,4 Ni + 18 Si$$

10 ve

$$C^* = C - Ti/4 - Zr/8,$$

ayrıca $C^* \geq \%0,51$ ise ve $\%2,5 \leq Cr \leq \%3,5$ ise o zaman $Mo < \%1,21$ ise $W \leq \%0,85$ ve $Mo \geq \%1,21$ ise $W/Mo \leq 0,7$ 'dir.

15

2. İstem 1'e göre çelik olup;

$$C^* \leq \%1,1$$

ile karakterize edilmektedir.

20 3. İstemler 1 veya 2'ye göre çelik olup;

$$W \leq \%0,85$$

ile karakterize edilmektedir.

25 4. İstemler 1 ila 3'ten herhangi birine göre çelik olup;

$$Si \geq \%0,45$$

ile karakterize edilmektedir.

30 5. İstemler 1 ila 3'ten herhangi birine göre çelik olup;

$$Si < \%0,45$$

ile karakterize edilmektedir.

6. İstemler 1 ila 5'ten herhangi birine göre çelik olup;

$$Mo + W/2 \geq \%2,2$$

ile karakterize edilmektedir.

5

7. İstemler 1 ila 6'dan herhangi birine göre çelik olup;

$$Cr \geq \%3,5$$

ile karakterize edilmektedir.

10

8. İstemler 1 ila 7'den herhangi birine göre çelik olup;

$$C \leq \%0,85$$

ile karakterize edilmektedir.

15

9. İstemler 1 ila 7'den herhangi birine göre çelik olup;

$$C > \%0,85$$

ile karakterize edilmektedir.

20

10. İstemler 1 ila 9'dan herhangi birine göre çelik olup;

$$Ti + Zr/2 < \%0,7$$

ile karakterize edilmektedir.

25

11. İstemler 1 ila 9'dan herhangi birine göre çelik olup;

$$Ti + Zr/2 \geq \%0,7$$

ile karakterize edilmektedir.

30

12. İstemler 1 ila 11'den herhangi birine göre çelik bir parçanın imal edilmesine yönelik yöntem olup, aşağıdakiler ile karakterize edilmektedir:

- erimiş çelik banyosu içinde bölgesel titanyum ve/veya zirkonyum aşırı konsantrasyonları her zaman önlenerek, erimiş çelik banyosu içinde titanyum ve/veya zirkonyum oranlarının ayarlanması suretiyle arzu edilen bileşime sahip olan bir sıvı çeliğin hazırlanması;
- bir yarı mamul ürünün elde edilmesi için söz konusu çeliğin dökülmesi;

35

- daha sonra söz konusu parçanın elde edilmesi için, söz konusu yarı mamul ürünün sıcak plastik deformasyonu ile bir biçimlendirme işlemine ve, isteğe bağlı olarak bir ısıtma işlemine tabi tutulması.

- 5 **13.** Titanyum ve/veya zirkonyum ilavesinin, titanyum ve/veya zirkonyumun sıvı çelik banyosunu kaplayan bir cürufa kademeli olarak eklenmesi suretiyle ve titanyum ve/veya zirkonyumun sıvı çelik banyosu içinde yavaşça yayılmaya bırakılması suretiyle gerçekleştirilmesi **ile karakterize edilen**, İstem 12'ye göre yöntem.
- 10 **14.** Titanyum ve/veya zirkonyum ilavesinin, titanyum ve/veya zirkonyumu içeren bir telin sıvı çelik banyosu içine sokulurken, banyonun karıştırılması ile gerçekleştirilmesi **ile karakterize edilen**, İstem 12'ye göre yöntem.
- 15 **15.** İstemler 12 ila 14'ten herhangi birine göre yöntem ile elde edilmeye uygun olan, İstemler 1 ila 11'den herhangi birine göre çelik parça.

parçaların yoğun darbeler ve esneme kuvvetlerine karşı direncini bölgesel olarak büyük ölçüde indirgeyebilen kırılğan bölgeler oluşturmaktadır.

5 Mevcut buluşun amacı, özellikleri bilinen çeliklerin özelliklerine eşdeğer olan ancak ayrık damar zararı büyük ölçüde azaltılmış olan bir çeliğin elde edilmesine yönelik bir aracın sunulması suretiyle bu dezavantajın giderilmesidir.

10 Bu amaçla, aşağıda ayrık damar zararının azaltılacak şekilde, buluşa uygun olmayan bileşimi ağırlık olarak aşağıdakileri içeren, yüksek mekanik direnç ve yüksek aşınma direncine sahip olan bir çelik açıklanmaktadır:

$$\begin{aligned} \%0,30 &\leq C \leq \%1,42 \\ \%0,05 &\leq Si \leq \%1,5 \\ M &\leq \%1,95 \\ Ni &\leq \%2,9 \\ \%1,1 &\leq Cr \leq \%7,9 \\ \%0,61 &\leq M \leq \%4,4 \end{aligned}$$

- aşağıdaki şekilde oranlarda, isteğe bağlı olarak vanadyum, niyobyum ve tantal arasından seçilen bir ya da daha fazla element,

15

$$V \leq \%1,45, Nb \leq \%1,45, Ta \leq \%1,45 \text{ ve } V + Nb/2 + Ta/4 \leq \%1,45$$

- isteğe bağlı olarak %0,1'e kadar bir oranda bor,
- isteğe bağlı olarak %0,19'a kadar bir oranda kükürt, %0,38'e kadar bir oranda selenyum ve %0,76'ya kadar bir oranda tellür, $S + Se/2 + Te/4$ toplamı %0,19'a eşit veya daha düşük bir oranda kalmaktadır,
- isteğe bağlı olarak %0,01'e kadar bir oranda kalsiyum,
- isteğe bağlı olarak %0,5'e kadar bir oranda nadir toprak elementleri,
- isteğe bağlı olarak %1'e kadar bir oranda alüminyum,
- 25 - isteğe bağlı olarak %1'e kadar bir oranda bakır,

geri kalanı demir ve hazırlama işleminden kaynaklanan katışkılarıdır, Bileşim ayrıca aşağıdakini karşılamaktadır:

30

$$800 \leq D \leq 1150$$

burada:

$$D=540 (C)^{0,25} + 245 (Mo + 3V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)^{0,30} + 125 Cr^{0,20} + 15,8Mn + 7,4 Ni + 18 Si$$

5 Bu amaçla:

- tungsten W oranı %0,21'e eşit veya daha yüksek olacak şekilde bir çift tungsten odanı ile molibden tamamen veya kısmen ikame edilmektedir,
- ve esas olarak katılma sırasında büyük karbürlerin oluşturulması için tasarlanan titanyum ve/veya zirkonyum ve karbon oranı ayarlama sonrasında $C' = C$ ayarlama öncesi + $Ti/4 + Zr/8$ 'e eşit olacak şekilde, $Ti/4 + Zr/8$ 'e eşit karbon tedariki δC eklenmektedir.

Eklenen titanyum ve/veya zirkonyum oranları aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$15 \quad Ti + Zr/2 \geq 0,2 \times W$$

$$(Ti + Zr/2) \times C' \geq 0,07$$

başka bir ifadeyle şu hesaba katılmalıdır $C' = (C + Ti/4 + Zr/8)$ (burada C = ayarlama öncesi karbon oranı) :

$$(Ti + Zr/2) \geq 2 (-C + \sqrt{C^2 + 0,07})$$

ve,

$$25 \quad Ti + Zr/2 \leq \%1,49$$

Erken titanyum ve/veya zirkonyum karbürlerini oluşturan eklenen karbon miktarı δC artık mevcut değildir ve molibden, tungsten, vanadyum ve ikincil olarak krom karbürlerini sertleştiren ikincil çökeltisi içine dahil edilmemektedir. Bu, serbest karbona bağlıdır, C^* ayarlama sonrası $= C' - Ti/4 - Zr/8$. Bunun sonucunda çeliğin sertleşmesi, çelik fabrikasında hedeflenen yapılandırma uygulaması dağılımlarına bağlı olan yakın dağılım ile değişmemektedir. Bu amaçla yük D üzerinde ortaya çıkan dağılımın, aşağıdakiler arzu edilecek şekilde $\pm \%5$ 'i aşmadığı hesaplanmaktadır:

$$35 \quad 0,95 \times D \text{ ayarlama öncesi} \leq D \text{ ayarlama sonrası} \leq 1,05 \times D \text{ ayarlama öncesi, burada D ayarlama sonrası} = 540 (C' - Ti/4 - Zr/8)^{0,25} + 245 (Mo \text{ ayarlama sonrası} + W/2 + 3 V +$$

$1,5\text{Nb} + 0,75\text{Ta})^{0,30} + 125\text{Cr}^{0,20} + 15,8\text{Mn} + 7,4\text{Ni} + 18\text{Si}$.

Tercihen D ayarlama sonrası = D ayarlama öncesi olması için bileşim ayarlanmaktadır.

5 Krom oranı %2,5 ve 3,5 arasında bulunduğu zaman ve karbon, titanyum ve zirkonyum oranlarının $C \geq \%0,51$ ayarlama öncesi olacak şekilde olması durumunda, tercihen W oranları ayarlama sonrasında, $Mo < \%1,21$ ise $W \leq \%0,85$ ve $Mo \geq \%1,21$ ise $W/Mo \leq 0,7$ olacak şekilde sınırlandırılmaktadır.

10 Dolayısıyla buluş yüksek mekanik dirence ve yüksek aşınma direncine sahip olan, isteğe bağlı olarak buluşa göre yöntem ile elde edilmeye uygun olan çelik ile ilgili olup, bunun kimyasal bileşiği ağırlık olarak aşağıdakileri içermektedir:

$$\%0,35 \leq C \leq \%1,47$$

$$\%0,05 \leq Si \leq \%1,5$$

15

$$Mn \leq \%1,95$$

$$Ni \leq \%2,9$$

$$\%1,1 \leq Cr \leq \%7,9$$

$$\%0 \leq Mo \leq \%4,29$$

$$\%0,21 \leq W \leq \%4,9$$

20

$$\%0,61 \leq Mo + W/2 \leq \%4,4$$

$$\%0 \leq Ti \leq \%1,49$$

$$\%0 \leq Zr \leq \%2,9$$

$$\%0,2 \leq Ti + Zr/2 \leq \%1,49$$

25

- $V \leq \%1,45$, $Nb \leq \%1,45$, $Ta \leq \%1,45$ ve $V + Nb/2 + Ta/4 \leq \%1,45$ olacak şekilde oranlarda, isteğe bağlı olarak vanadyum, niyobyum ve tantal arasından seçilen bir ya da daha fazla element,

- isteğe bağlı olarak %0,1'e kadar bir oranda bor,

- %0.005'den az bir oranda kükürt,

30

- isteğe bağlı olarak %0,01'e kadar bir oranda kalsiyum,

- isteğe bağlı olarak %0,5'e kadar bir oranda nadir toprak elementleri,
- isteğe bağlı olarak %1'e kadar bir oranda alüminyum,
- isteğe bağlı olarak %1'e kadar bir oranda bakır,

5 geri kalanı demir ve hazırlama işleminden kaynaklanan katışkılarıdır, bileşim aşağıdaki koşulları karşılamaktadır:

$$(Ti + Zr/2)/W \geq 0,20$$

$$(Ti + Zr/2) \times C \geq 0,07$$

10

$\%0,3 \leq C^* \leq \%1,42$, ve tercihen $\leq \%1,1$

$$800 \leq D \leq 1150$$

15 burada

$$D = 540 (C^*)^{0,25} + 245 (Mo + W/2 + 3V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)^{0,3} + 125 Cr^{0,20} + 15,8 Mn + 7,4 Ni + 18 Si$$

20 ve

$$C^* = C - Ti/4 - Zr/8,$$

ayrıca $C^* \geq \%0,51$ ise ve $\%2,5 \leq Cr \leq \%3,5$ ise, o zaman $Mo < \%1,21$ ise $W \leq \%0,85$ 'dir
25 ve $Mo \geq \%1,21$ ise $W/Mo \leq 0,7$ 'dir.

Tercihen çelik ayrıca aşağıdaki koşullardan bir ya da daha fazlasını karşılayabilmektedir:

ısı iletkenliğine odaklanması arzu ediliyor ise $Si < \%0,45$, veya
30 sıcakta çalışma uyumuna odaklanması arzu ediliyor ise $Si \geq \%0,45$, veya:

çeliğin yumuşama direncinin artırılması ve çeliğe yüksek bir direncin verilmesi için
 $Mo + W/2 \geq \%2,2$;
hem sertleştirilebilirlik hem de sertliğe katkıda bulunulması için $Cr \geq \%3,5$;
35 malzeme yokluğuna odaklanması arzu ediliyor ise $C \leq \%0,85$
veya
mümkün olan en yüksek aşınma direncinin elde edilmesi arzu ediliyor ise

C>%0,85.

Ayrıca çelik aşağıdaki şekilde olabilmektedir:

5
$$Ti + Zr/2 < \%0,7$$

bu malzeme tokluğuna odaklanması amacını taşımaktadır.
veya aşağıdaki şekilde:

10
$$Ti + Zr/2 \geq \%0,7$$

bu aşınma direncine odaklanması amacını taşımaktadır.

15 Buluş aynı zamanda aşağıdakiler doğrultusunda, buluşa uygun bir çelik parçanın imal edilmesine yönelik bir yöntem ile ilgilidir:

- tercihen erimiş çelik banyosu içinde bölgesel titanyum ve/veya zirkonyum aşırı konsantrasyonları her zaman önlenerek, erimiş çelik banyosu içinde titanyum ve/veya zirkonyum oranlarının ayarlanması suretiyle arzu edilen bileşime sahip olan bir sıvı çeliğin hazırlanması;
- bir yarı mamul ürünün elde edilmesi için söz konusu çeliğin dökülmesi;
- daha sonra söz konusu yarı mamul ürünün sıcak plastik deformasyonu ile bir biçimlendirme işlemine ve, isteğe bağlı olarak söz konusu parçanın elde edilmesi için bir ısıtma işlemine tabi tutulması.

25 Tercihen sıvı banyo içinde geçiş aşırı konsantrasyonlarının sınırlandırılması amacıyla, titanyum ve/veya zirkonyum ilavesi, titanyum ve/veya zirkonyumun sıvı çelik banyosunu kaplayan bir cürufa kademeli olarak eklenmesi suretiyle ve titanyum ve/veya zirkonyumun sıvı çelik banyosu içinde yavaşça yayılmaya bırakılması suretiyle
30 gerçekleştirilmektedir.

Titanyum ve/veya zirkonyum ilavesi, titanyum ve/veya zirkonyumu içeren bir telin sıvı çelik banyosu içine sokulurken, banyonun karıştırılması ile gerçekleştirilmektedir.

35 Buluş son olarak, buluşa göre imalat yöntemi ile elde edilmeye uygun olan buluşa göre bir çelik parça ile ilgilidir.

Buluş şimdi daha ayrıntılı olarak ancak kısıtlayıcı nitelikte olmaksızın açıklanacaktır ve

örnekler ve farklı çelikler için $(Ti+Zr/2) / W$ oranına göre tungsten ayrılma oranını temsil eden tek şekil tarafından gösterilecektir.

5 Tungstenin, çeliğin özellikleri üzerine olan etkileri molibdeninkiler ile karşılaştırılabilir olan bir alaşım elementi olduğu bilinmektedir. Özellikle tungstenin, bir molibden kısmı için iki tungsten kısmı oranında molibdeninkiler ile karşılaştırılabilir olan ısıl yumuşama direnci ve sertleşme etkilerine sahip olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte tungsten, mevcut buluşun ilgilendiği çok alaşımlı bazı çelikler hariç olmak üzere az kullanılmaktadır ve 10 bunun özellikle, molibdenden çok daha pahalı olmasıdır. Üstelik tungsten, molibden gibi, çok sert ve çok kırılğan ayrık damarların oluşumuna neden olması ve çok yüksek ayrılma dezavantajına sahiptir.

Bununla birlikte buluş sahipleri, yeni ve şaşırtıcı bir şekilde, yeterli titanyum veya zirkonyum miktarlarının varlığında tungsten ayrılmasının çok büyük ölçüde azaldığını 15 ortaya koymuştur; bu ayrıca molibden oranı nispeten yüksek olduğu zaman faydalanılması amaçlanan, özellikle ilgi çeken etkidir.

Bu beklenmedik sonuç üzerinde sonradan ışık tutabilecek olan bir hipotez aşağıdaki şekilde olabilmektedir:

- 20
- molibden ve tungsten gibi elementler, matrisi sertleştiren ve böylece çelik için arzu edilen sertliğin elde edilmesine olanak sağlayan çökelmiş ince parçalar formunda karbürler oluşturmaktadır. Özellikle molibden ve tungsten aşırı konsantrasyonları ile karakterize edilen ayrık damarlar, sertleşen çökeltilerin yoğunluğunun şiddetli bir artışa 25 ve dolayısıyla sertlik ve kırılğanlıkta bölgesel bir şiddetli artışa sahiptir.
 - Titanyum veya zirkonyum da karbürleri oluşturmaktadır. Ancak bu karbürler nispeten büyüktür ve sonuç olarak karşılaştırmalı olarak az sayıdadır ve metalik matrisin üzerinde fark edilir sertleşme etkisine sahip değildir.
 - buluş sahipleri yeni ve şaşırtıcı bir şekilde, çelik eş zamanlı olarak bir yandan 30 titanyum ve/veya zirkonyum ve diğer yandan tungsten barındırdığı zaman tungstenin, sertleşmeyen çökelmiş büyük parçaların oluşumu için titanyum ve/veya zirkonyum ile birlikte çökelmeye meyilli olduğunu ortaya koymuştur.

Dolayısıyla bu gözlemler hesaba katıldığı zaman, titanyum ve/veya zirkonyumun 35 varlığında, tungsten oranı ve dolayısıyla ince çökelmiş sertleşen karbür parçalarının yoğunluğunun azaldığı ve bunun, daha özellikle titanyum veya zirkonyum büyük karbür parçalarının yine ayrılma nedeniyle çok daha fazla sayıda bulunduğu ayrık damarlar

seviyesinde gerçekleştirildiği düşünülebilmektedir. Sonuç olarak ayrı damarlar ve ayrılmamış bölgeler arasındaki sertlik farkı büyük ölçüde azaltılmaktadır ve ayrı damarların zararı (özellikle kırılabilirliğe sahip bölgelerin artması, işlemenin zorlaşması, perdahlama ve öğütmeye heterojen karşılık, kaynaklama yükü...) azalmaktadır.

5

Bu gözlemler ve aşağıdaki formüle edilecek olan hipotezden hareketle buluş sahipleri, önemli ölçüde molibden oranı barındıran çelik artık damarlarına ilişkin dezavantajlar büyük ölçüde azaltılırken, göz önünde bulundurulmuş çeliğin esas kullanım özelliklerinin tümü muhafaza edileceği bir yol tasarlamıştır.

10

Bu azalma, buluşa uygun olmayan, ayarlama öncesinde esas olarak %0,30 ila %1,42 karbon, %0,05 ila %1,5 silisyum, %1,95'ten az manganez, %2,9'dan az nikel, %1,1 ila %7,9 oranında krom, %0,61 ila %4,4 oranında molibden, isteğe bağlı olarak %1,45'e kadar vanadyum, %1,45'e kadar niyobyum, %1,45'ten az tantal barındıran, burada $V+Nb/2+Ta/4 \leq 1,45$ olduğu bir çeliğe uygulanmaktadır. Bu çelik, aşağıda ayrıntılandırılacak olan 800 ve 1150 arasında bulunan bir sertlik indisine (D) sahiptir. Bu ayrıca %0,1'e kadar bor, %0,19'a kadar kükürt, %0,38'e kadar selenyum, %0,79'a kadar tellür; $S + Se/2 + Te/4$ toplamı %0,19'dan az bir oranda kalmaktadır, isteğe bağlı olarak %0,01'e kadar kalsiyum, %0,5'e kadar nadir toprak elementleri, %1'e kadar alüminyum ve %1'e kadar bakır barındırabilmektedir.

15

Molibdenin tamamı veya bir kısmı büyük ölçüde çift tungsten oranı ile ikame edilmektedir; çelik içine katılan tungsten miktarları hesaba katılarak yeterli miktar titanyum ve/veya zirkonyum elde edilecek şekilde titanyum ve/veya zirkonyum eklenmektedir ve özellikle çeliğin sertliği büyük ölçüde değişmeden kalacak şekilde karbon içeriği eklenmektedir.

25

Bunun için örnek olarak aşağıda ayrıntılandırılacak olan sertlik indisinin (D) hesaplanmasına olanak sağlayan formülün kullanılması suretiyle veya teknikte uzman kişiler tarafından bilinen başka herhangi bir araç ile, özellikle sertlik açısından arzu edilen çalışma özellikleri elde edilecek şekilde tungstensiz çelik için hedeflenen bileşim seçilmektedir. Daha sonra hedeflenen bileşim, tungsten oranının seçilmesi suretiyle, sonuç olarak molibden oranının ve özellikle sertlik açısından esas çalışma özelliklerinden en az birisi büyük ölçüde değişmeden kalacak şekilde titanyum veya zirkonyum ve karbon oranlarının ayarlanması suretiyle değiştirilmektedir. Daha sonra değiştirilen analize karşılık gelen bir çelik hazırlanmaktadır. «Büyük ölçüde değişmeyen» ifadesinden örnek olarak bileşimin ayarlanması sonrasında çelik sertliğinin, %5 oranı

35

dahilinde, bileşim ayarlanmasından önceki çelik sertliğine eşit olduğu anlaşılmaktadır. Bu tolerans, yukarıda belirtilen özelliklere birebir sahip olan bir çeliğin yapılandırılacağı zor uygulamalar hesaba katılarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, elde edilen özelliklerin, bileşimin ayarlanmasından önce çelik için hedeflenen özelliklere mümkün olduğunca yakın olması arzu edilmektedir. Ayrıca toleransın sadece %2 oranında olması arzu edilmektedir ve sadece hedeflenen özellikler ile ilgilenilmesi halinde, bileşimin ayarlanmasından sonra hedeflenen sertlik özelliklerinin, bileşimin ayarlanmasından önce hedeflenen sertlik özelliklerine eşit olması daha tercih edilmektedir.

Eklenen tungsten miktarı %0,21'e eşit veya daha yüksek, tercihen %0,4'ün üzerinde, daha iyi olması açısından %0,7'nin üzerinde ve daha iyi olması açısından %1,05'in üzerinde olmalıdır. Nitekim molibdenin tungsten ile ikame edilmesi ne kadar fazla olur ise ayrılmalar üzerindeki etki de o kadar belirgin olmaktadır. Bununla birlikte bu etki titanyum veya zirkonyum oranlarına bağlıdır ve genel olarak tungstenin maksimal ilavesinin sınırlandırılmasına neden olmaktadır.

Ayrılmalar üzerinde arzu edilen etkinin elde edilmesi için, titanyum ve zirkonyum oranları, $Ti+Zr/2$ toplamı $0,2 \times W'$ 'ye eşit veya daha yüksek, tercihen $0,4 \times W'$ 'ye eşit veya daha yüksek, daha iyi olması açısından $0,6 \times W'$ 'ye eşit veya daha yüksek olacak şekilde olmalıdır. Bununla birlikte aşağıda açıklanacak olan nedenlerden dolayı titanyum veya zirkonyum oranlarının aşırı derecede artırılması arzu edilmemektedir. Bu dolaylı olarak tungsten ilavelerinin maksimum %4,9 oranında sınırlandırılmasına neden olmaktadır. Genel olarak tungsten oranı %2,9'un altında, daha iyi olması açısından %1,9 ve hatta %0,85'e eşit veya daha düşük, hatta %0,49 oranında kalmaktadır.

Ayrıca titanyum ve/veya zirkonyum oranlarına göre karbon oranı, serbest karbon oranının $C^*=C'-Ti/4-Zr/8$ büyük ölçüde sabit olarak kalması için, başka bir ifadeyle bileşimin ayarlanmasından sonra serbest karbon oranının C^* , büyük ölçüde bileşimin ayarlanmasından önceki karbon oranına C eşit olması için ayarlanmalıdır (bu formülde C' bileşimin ayarlanmasından sonra çeliğin karbon oranını temsil etmektedir). Bu koşul, çeliğin ısıl yumuşama direnci ve sertliğinin büyük ölçüde sabit bir oranda tutulması için gereklidir. D , aşağıda açıklanacak olan sertlik indisidir, aşağıdakilere sahip olunması hedeflenmektedir:

$0,95 \times D$ ayarlama öncesi $\leq D$ ayarlama sonrası $\leq 1,05 \times D$ ayarlama öncesi

veya daha iyi olması açısından:

0,98 x D ayarlama öncesi ≤ D ayarlama sonrası ≤ 1,02 x D ayarlama öncesi

veya daha iyi olması açısından:

5 D ayarlama sonrası = D ayarlama öncesi.

Uygulamada ayarlanacak olan oranların seçilmesine ilişkin prosedür aşağıdakileri içermektedir:

- 10 - arzu edilen ayrılma azaltmaya ilişkin minimal dereceye göre, molibdenin yarısı ile ikame edilecek olan tungsten oranının seçilmesi (tablolar 2, 3, 4 veya şekil bu amaçla kılavuz oluşturabilmektedir);
- aşınma direncine mi yoksa malzeme tokluğuna mı odaklanıldığına göre ve öte yandan $(Ti + Zr/2) \geq 0,2W$ olması gerektiği için tungsten ilavesine göre yeterli olması
- 15 gereksinimi açısından az ya da çok yüksek olarak Ti ve/veya Zr oranının seçilmesi.
- yukarıdaki oranlara göre hedeflenecek olan karbon artışının belirlenmesi, yani $\delta C = Ti/4 + Zr/8$.

Şimdi buluşa göre yöntem ile elde edilmeye uygun olan ve önceki tekniğe uygun olan, aynı sertlik derecelerine sahip olan çeliklerinkinden daha az zararlı olan ayrık damarlara sahip olma avantajı sergileyen buluşa uygun çelik açıklanacaktır.

Buluşa uygun olan çelik, yeterli karbürün oluşturulabilmesi ve elde edilmesi arzu edilen sertlik seviyesine ulaşılması amacıyla en az %0,35 oranında, tercihen %0,51'den fazla ve daha iyi olması açısından %0,65 oranında ancak çeliğin aşırı kırılgan hale gelmesinin önlenmesi amacıyla %1,47'ye kadar ve tercihen %1,1den az ve daha iyi olması açısından %0,98'dan daha az bir oranda karbür barındırmaktadır. Yukarıda da belirtildiği üzere çelik titanyum ve zirkonyum barındırmaktadır ve bu elementler, birincil karbürlerin oluşturulması için karbon ile yüksek sıcaklıkta birleştirilmektedir. Böylece titanyum ve zirkonyumun birincil karbürlerinin oluşturulmasından sonra, matrisin özellikleri üzerine etki etmeye elverişli olarak kalan, «serbest» olarak adlandırılan karbon serbest, titanyum ve zirkonyum ile birleştirilmemiş olan karbondur. Titanyum ve zirkonyum ile birleştirilmemiş olan, C* ile gösterilen bu karbon miktarı aşağıdaki şekildedir: $C^* = C - Ti/4 - Zr/8$ (C, Ti ve Zr sırasıyla karbon, titanyum ve zirkonyum oranlarıdır; aşağıda C aynı zamanda «toplam karbon oranı» olarak adlandırılacaktır). Bu uygun karbon miktarı, ikincil karbürlerin ve özelliklerde tungsten, molibden veya çelik içine eklenen diğer elementlerin karbürlerinin çökmesine olanak sağlanması için yeterli miktarda olmalıdır

ve bu amaçla, bu serbest karbon C* miktarı %0,3'e eşit veya daha yüksek olmalıdır. Bununla birlikte bu oran, matrisin kendisinin malzeme tokluğuna fazla zarar verilmemesi için %1,42'yi aşmamalıdır ve tercihen %1,1 veya daha iyi olması açısından %0,98 veya daha iyi olması açısından %0,79 oranında olmalıdır.

5

Öte yandan imalat işlemlerinin kolaylaştırılması amacıyla, özellikle de külçelerin veya plakaların soğutulması için alınan önlemlerin azaltılması amacıyla, toplam maksimum karbon oranının C %0,85 veya daha iyi olması açısından %0,79 ile sınırlandırılması arzu edilebilmektedir; dolayısıyla serbest karbon C* oranının %0,60'ın altında, hatta %0,50 oranında kalması tercih edilmektedir. Aksine çeliğin mekanik direncinin ve aşınma direncinin iyileştirilmesi amacıyla, toplam karbon C oranının %0,85 oranında seçilmesi arzu edilebilmektedir. Bu seçim, çelik için öngörülen kullanıma göre durumdan duruma göre yapılmaktadır.

10

15

Çelik, bu element deoksidan olduğu için en az %0,05 silisyum içermektedir. Ayrıca bu çeliğin sertleşmesine az katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte silisyum oranı, örnek olarak laminasyon ile sıcak plastik deformasyonuna uyumunun çok azaltılmasının ve çeliğin aşırı kırılma hale gelmesinin önlenmesi amacıyla %1,5'e eşit veya daha düşük ve tercihen %1,1'e eşit veya daha düşük, daha iyi olması açısından %0,9 ve daha iyi olması açısından %0,6'ya eşit veya daha düşük bir oranda kalmalıdır. Ayrıca çeliğin işlenebilirliğinin iyileştirilmesi ve oksidasyon direncinin de iyileştirilmesi amacıyla minimal silisyum oranının %0,45 ve daha iyi olması açısından %0,6 oranında olması arzu edilebilmektedir. Oksidasyon direncinde iyileşme özellikle, çelik 450°C ila 600°C arasında nispeten yüksek sıcaklıklarda çalışılması için tasarlanan parçaların imalatı için kullanıldığı zaman arzu edilmektedir ve bu yeterli yumuşama direnci gerektirmektedir. Bununla birlikte bu tür çalışma koşulları için yeterli yumuşama direncinin elde edilmesi arzu edildiği zaman Mo + W/2 oranının %2,2'ye eşit veya daha düşük olması arzu edilebilmektedir. Bu nedenle %0,45 veya daha iyi olması açısından %0,6 oranında bulunan minimal silisyum değerleri daha özellikle, molibden ve tungsten oranları, özel bir nitelik olmaksızın, Mo + W/2 toplamı %2,2'ye eşit veya daha yüksek olacak şekilde olduğu zaman ilgi çekmektedir. Bununla birlikte bazı uygulamalar için, çeliğin ısı iletkenliğinin mümkün olduğunca yüksek olması arzu edilmektedir. Bu durumda silisyum oranının %0,45'in altında ve tercihen mümkün olduğunca düşük olması arzu edilmektedir.

20

25

30

35

Çelik, çeliğin sertleştirilebilirliğinin iyileştirilmesi amacıyla ağırlık olarak %1,95'e kadar bir oranda manganez içermektedir ancak bu oranın tercihen, kötü biçimlendirilebilirlik ve

yetersiz malzeme tokluğunu tetikleyen ayrılmaların sınırlandırılması amacıyla %1,5'e eşit veya daha düşük ve daha iyi olması açısından %0,9'a eşit veya daha düşük olması gerekmektedir. Çeliğin özellikle kükürdün sabitlenmesi amacıyla yüzde birkaç onluk oranda olacak şekilde çok küçük bir oranda manganez barındırdığına dikkat edilmelidir
5 ve Mn oranının ise en az %0,4 olması tercih edilmektedir.

Çelik, sertleştirilebilirliğin ayarlanması ve malzeme tokluğunun iyileştirilmesi için %2,9'a kadar bir oranda nikel barındırmaktadır. Ancak bu element çok pahalıdır. Ayrıca genel olarak %0,9'u veya hatta %0,7'yi aşan bir miktarda nikel arzu edilmemektedir. Çelik nikel
10 içermeyebilmektedir ancak nikel kasıtlı olarak eklenmediği zaman, çelikte hazırlama işleminden kaynaklanan kalıntılar formunda %0,2'ye kadar, hatta %0,4'e kadar bir oranda bulunması ilgi çekmektedir.

Çelik yeterli sertleştirilebilirliğin elde edilmesi ve menevişleme sırasında sertleşmenin artırılması amacıyla en az %1,1 oranında ve daha iyi olması açısından %2,1'in üzerinde ve daha iyi olması açısından %3,1'in üzerinde ve hatta %3,5'in üzerinde bir oranda ancak sertleşme açısından krom karbürlerinden daha etkili olduğu için özellikle Mo ve/veya W barındıran ikincil karbürlerin oluşumuna müdahale edilmemesi amacıyla
15 %7,9'a kadar ve daha iyi olması açısından %5,9'un altında ve daha iyi olması açısından %4,9'un altında bir oranda krom barındırmaktadır.

Bu ikincil (başka bir ifadeyle yeniden östenitlenme sonrasında soğutma sırasında ve özellikle de menevişleme veya menevişlemeler sırasında oluşturulan) karbürler, ledebüritli karbürlere (isteğe bağlı olarak katılma sonunda elde edilmektedir) göre daha
25 ince ve daha fazla sayıda bulunmaktadır. Bunlar böylece menevişleme sonrasında metalik matrisin sertleşmesine yüksek oranda katkıda bulunmaktadır. Bunlar aynı zamanda matrisin aşınma direncinin artırılması suretiyle, çeliğin aşınma direncini tamamlayıcı yüksek oranda bir katkı sağlayan çok sert ve büyük titanyum ve/veya zirkonyum karbürlerinin kabarma riskini sınırlandırmak için faydalıdır.

30 Bu krom oranı alanı dahilinde, tercih edilen iki alt alana ayrılması arzu edilmektedir. Nitekim krom oranı yeterince yüksek olduğu zaman bu element, özellikle ayrı damarlar içinde, büyük olan ve dallantılararası ağlarda az veya çok bulunan ledebüritli türde karbürler oluşturmaya meyillidir. Bu karbürler, aşınma direnci üzerinde desteklenebilir
35 belirli bir etkiye rağmen, matrisin en azından bölgesel olarak kırılğan hale getirilmesine katkıda bulunmaktadır. Malzeme tokluğu zararına sertlik ve aşınma direncine odaklanması arzu edildiği zaman, ledebüritli türde karbürlerin varlığını destekleyecek

şekilde krom oranının %3,5'e eşit veya daha yüksek oranda seçilmesi arzu edilmektedir. Buna karşılık, aşınma direncine hafif bir azalmanın kabul edilmesiyle çeliğin malzeme tokluğunun desteklenmesi arzu edildiği zaman krom oranının %2,5'e eşit veya daha düşük olması tercih edilmektedir. Bununla birlikte %2,5 ila 3,5'lik ortalama krom aralığında ya serbest karbon oranının %0,51'den az bir oranda sınırlandırılması ya da tungsten oranının ve tungstenin molibdene olan oranının sınırlandırılması suretiyle malzeme tokluğuna odaklanması mümkündür; çünkü tungsten, molibdeninkilere göre sıcakta daha stabil olan karbürler oluşturabilmesi sayesinde, tercihen birbirleri ile alaşımlanarak kromun ledebüritli karbürlerinin oluşumunu desteklemeye meyillidir.

Çeliğin molibden ve tungsten oranları, Mo + W/2 toplamı %0,61'e eşit veya daha yüksek, tercihen %1,1'e eşit veya yüksek ve daha iyi olması açısından %1,6'ya eşit veya yüksek olacak şekilde olmalıdır. Bunun önemli bir sertleşmenin yanı sıra, daha iyi bir ısıl yumuşama direncinin elde edilmesi amacıyla, özellikle çeliğin kullanımı yaklaşık olarak 450°C'yi aşabilen sıcaklıklara ısıtılmasını gerektirdiği zaman %2,2'nin üzerinde olması arzu edilmektedir. Örnek olarak çeliğin yarı sıcakta çalışma aletlerinin yapılandırılması için kullanılan çeliklerin durumu söz konusudur. Bu durumda Mo + W/2 toplamı, parçalar üzerinde gerçekleştirilmesi istenen menevişleme sıcaklığı ve arzu edilen sertliğe göre %2,9'a kadar, hatta %3,4, hatta %3,9 oranında olabilmektedir. Matris için çok yüksek bir aşınma direnci seviyesine ulaşılması ve bozma etkisinin maksimum oranda sınırlandırılması ve Ti veya Zr büyük karbürlerinin kabarmasının maksimum oranda geciktirilmesi için Mo + W/2 %4,4'e kadar bir oranda olabilmektedir.

(Mo + W/2) oranının artırılmasına, başka bir ifadeyle yöntemin uygulanmasından önce Molibden oranına ilişkin ilgi, yöntemin uygulanması dışında, karbür oluşturan Mo ayrılmasının bu elementlerin oranı ile birlikte arttığı için göz önünde bulundurulması açısından daha ilgi çekici hale gelmektedir.

Mo + W/2 birleşik oranları için yukarıda açıklanan kapsamda tungsten oranı, tungstenin spesifik etkisinden en iyi şekilde faydalanılması amacıyla minimum %0,21, tercihen en az %0,41, daha iyi olması açısından en az %0,61 oranında olacaktır.

Tungsten oranı, yukarıda da belirtildiği üzere arzu edilen ayrılmaların zararındaki azalma derecesine bağlıdır ve aynı zamanda alaşım maliyetine entegre edilebilmektedir. Bu oran %4,9'a kadar bir orana çıkabilmektedir ancak alışlageldiği üzere %1,9'u aşmayacaktır; genel olarak %0,90'a veya hatta %0,79'a eşit veya daha düşük oranlar tercih edilmektedir.

Molibden oranı eser miktarda olabilmektedir ancak tercihen en az %0,51'e eşit ve daha iyi olması açısından en az %1,4'e eşit; daha iyi olması açısından en az %2,05'e eşittir. Diğer yandan hedeflenen direnç seviyesine göre, %4,29, tercihen %3,4 veya daha iyi olması açısından %2,9'luk sınır oranları aşmaması gerekli olmayacaktır, bu sınırlamalar, sertleşen ayrılmalara Molibdenin katkılarının azaltılmasına olanak sağlamaktadır.

Bununla birlikte krom oranı yaklaşık olarak %2,5 ve %3,5 oranında olduğu zaman ve serbest karbon oranı $C^* = C - Ti/4 - Zr/8$ %0,51'e eşit veya yüksek olduğu zamanda, çok yüksek bir tungsten oranı, tungsten ile az veya çok alaşımlanan krom karbürlerinin oluşumuna neden olabilmektedir. Ledebüritle türde, büyük ve dallantılararası ağlarda az ya da çok bulunan bu karbürler, matrisin en azından bölgesel olarak kırılğan hale getirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu dezavantajın önlenmesi amacıyla, krom oranı %2,5 ve %3,5 arasında bulunduğu zaman serbest karbon oranı C^* %0,51'e eşit veya daha yüksektir, dolayısıyla molibden oranı %1,21'in altında olduğu zaman tungsten oranı %0,85'ten fazla olmayacak şekilde sınırlandırılmaktadır ve molibden oranı %1,21'e eşit veya daha yüksek olduğu zaman tungsten/molibden oranı 0,7'den fazla olmayacak şekilde sınırlandırılmaktadır

Titanyum ve zirkonyum oranları, ayrık damarların zararının azaltılmasına ilişkin arzu edilen etkinin elde edilmesi için, $Ti + Zr/2$ toplamı en az %0,21'e eşit olacak ve tercihen %0,41'e eşit veya daha yüksek veya daha iyi olması açısından %0,61'e eşit veya daha yüksek olacak şekilde ayarlanmalıdır. Üstelik bu elementler, aşınma direncini iyileştiren büyük karbürlerin oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte bu toplam, malzeme tokluğunun fazla bozulmaması amacıyla %1,49'un altında ve tercihen %1,19'un altında, hatta %0,99'un altında veya %0,79'un altında kalmalıdır. Ayrıca titanyum ve zirkonyum oranları, çeliğin malzeme tokluğuna mı yoksa aşınma direncine mi odaklanıldığına göre ayarlanmalıdır. Bu amaçla, çeliğin malzeme tokluğuna odaklanıldığı zaman $Ti + Zr/2$ toplamı tercihen %0,7'nin altında kalmalıdır. Çeliğin aşınma direncine odaklanıldığı zaman $Ti + Zr/2$ toplamı tercihen %0,7'ye eşit veya daha yüksek olmalıdır. Son olarak etkili olması, başka bir ifadeyle büyük karbürlerin oluşumuna neden olunması için, titanyum ve zirkonyum oranları toplam karbon oranına C göre yeterli olmalıdır. Bunun için $(Ti + Zr/2) \times C$ çarpımı 0,07'ye eşit veya daha yüksek, tercihen 0,12'ye eşit veya daha yüksek ve daha iyi olması açısından 0,2'ye eşit veya daha yüksek olmalıdır.

$Ti + Zr/2$ için belirtilen oranlar alanı dahilinde kalınması amacıyla minimal titanyum oranı %0 veya eser miktarda olabilmektedir ancak en az %0,21'e eşit ve daha iyi olması

açısından %0,41, daha iyi olması açısından %0,61 oranında olması tercih edilmektedir; minimal zirkonyum oranı ise %0 veya eser miktar olabilmektedir ancak en az %0,06 oranında ve daha iyi olması açısından en az %0,11 oranında olması tercih edilmektedir. Maksimal Titanyum oranı %1,49'dır ancak %1,19'a veya %0,99'a, daha iyi olması 5 açısından %0,79'a, hatta %0,7'ye kadar azaltılabilmekteyken, maksimal Zirkonyum oranı ise %2,9, tercihen %0,9, daha tercihen %0,49 oranındadır.

Çelik isteğe bağlı olarak %1,45'e kadar vanadyum, %1,45'e kadar niyobyum, %1,45'e kadar tantal barındırmaktadır; $V + Nb/2 + Ta/4$ toplamı %1,45'in altında, daha iyi olması 10 açısından %0,95'in altında ve hatta %0,45'in altındadır. Minimal oran %0 veya eser miktardadır ancak en az %0,11'e eşit ve daha iyi olması açısından en az %0,21'e eşit olması tercih edilmektedir. $V + Nb/2 + Ta/4$ toplamı seviyesi, direncin ve indisin (D) formülasyonunda belirtildiği üzere menevişleme yanıtının sabitlenmesine katkıda bulunmaktadır.

15 Bu elementler, MC türünde karbürlerin çökmesi ile yumuşama direncini şiddetli ölçüde iyileştirme avantajına sahiptir. Bu elementler arasında vanadyumun seçilmesi ve %0,11 ve %0,95 arasında bulunan oranlarda eklenmesi tercih edilmektedir. Niyobyum, kullanılabilmesine rağmen, vanadyumdan daha yüksek sıcaklıkta çökme dezavantajına 20 sahiptir ve bu çeliğin biçimlendirilebilirliğini önemli ölçüde düşürmektedir. Bu nedenle niyobyum varlığı önerilmemektedir ve her durumda, niyobyum oranının %1'in altında, hatta %0,5 veya daha iyi olması açısından %0,05'in altında kalması arzu edilmektedir.

25 %0,005'in altında olan bir kükürt oranı, daha iyi bir malzeme tokluğu arzu edildiği zaman tercih edilmektedir.

Çelik karbürlerin tohumlanması kolaylaştırılması ve yapının düzeltilmesi için isteğe bağlı olarak %0,5'e kadar bir oranda nadir toprak elementleri ve sertleştirilebilirliğin iyileştirilmesi amacıyla isteğe bağlı olarak %0,1 oranında bor barındırmaktadır.

30 Çelik aynı zamanda %1'e kadar olan bir oranda bakır barındırabilmektedir. Bu element arzu edilmemektedir ancak ayıklanması çok maliyetli olduğu için ham maddeler tarafından getirilebilmektedir. Bununla birlikte bakır oranının sınırlandırılması gerekmektedir, çünkü bu element sıcak sünekliği üzerinde arzu edilmeyen bir etkiye 35 sahiptir. Bu amaçla, en azından bakır oranı yaklaşık olarak %0,5'i aştığı zaman, en az bakırınkine eşit olan Ni varlığı arzu edilmektedir. Nitekim yeterli nikel oranı bakır zararını azaltmaktadır.

Aynı şekilde çelik, silisyum gibi sıvı metalik deoksidasyonuna katkıda bulunabilen alüminyum barındırabilmektedir. Alüminyum oranı eser miktarda veya daha iyi olması açısından en az %0,006'ya eşit, daha iyi olması açısından en az %0,020'ye eşit olacaktır. Diğer yandan bu element oranı, yeterli bir temizliğin sağlanması için %1'e eşit
5 veya daha düşük olmalıdır ve tercihen %0,100'ü aşmamalıdır, daha iyi olması açısından %0,050'nin altında olacaktır.

Bileşimin geri kalanı, hazırlama işleminden kaynaklanan katışkılar ve demirden oluşmaktadır. Bir element hazırlama sırasında kasıtlı olmadan eklendiği zaman bunun
10 oranı %0 veya eser miktarda, başka bir ifadeyle elemente göre ya analiz yöntemleri tarafından saptama sınırlarına ya da özellikleri üzerinde önemli bir etki olmaksızın ham maddeler tarafından getirilen miktarlara karşılık gelmektedir.

Bu çeliğin menevişlenmesi sırasında elde edilen sertleşme, manganez, nikel ve silisyum
15 gibi matris içinde çözünen elementlere ancak özellikle molibden, tungsten, vanadyum, niyobyum gibi karbür oluşturmaya elverişli olan elementlere ve daha az miktarda kromun yanı sıra, matris içinde serbest karbon, başka bir ifadeyle titanyum ve zirkonyum tarafından sabitlenmemiş olan karbona bağlıdır. Yukarıda da belirtildiği üzere serbest karbon oranı $C^* = C - Ti/4 - Zr/8$ 'dir.

20 Buluş sahipleri, bu çeliğin sertleşmesinin, aşağıdaki formül aracılığıyla kimyasal bileşime göre değerlendirilebildiğini ortaya koymuştur:

$$D = 540 (C^*)^{0,25} + 245 (Mo + W/2 + 3 V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)^{0,30} + 125Cr^{0,20} + 15,8Mn + 7,4Ni + 18Si.$$

D, standart menevişleme koşulları (1 saat boyunca 550°C) için menevişlemeden elde edilen sertleşmeyi temsil eden bir sertlik indisidir. D değeri ne kadar yüksek olursa belirli sıcaklıkta menevişlemeden sonraki sertlik de o kadar yüksek olacaktır veya belirli bir
30 sertlik seviyesine ulaşılmasına olanak sağlayan sertlik o kadar yüksek olacaktır.

Öte yandan belirli D değerinde sertlik, teknikte uzman kişiler tarafından bilindiği üzere menevişleme sıcaklığı ve süresine göre değişmektedir.

35 Bu formülün, buluşa göre çelik veya buluşa göre yöntem ile elde edilen çeliğe uygulanabileceğine dikkat edilmelidir. Her durumda hesaba katılacak olan oranlar, hesaplamaların yapılacağı etkili çelik oranlarıdır.

Genel bir şekilde D katsayısı 800 ve 1150 arasında bulunmaktadır. Bununla birlikte bu aralık, kullanıcı tarafından arzu edilen sertlik seviyesi ve öngörülen menevişleme sıcaklığı doğrultusunda alt aralıklara ayrılabilir. Özellikle D değeri aşağıdaki aralıklar içinde bulunacaktır:

- 5
- 800 ve 900 arasında
 - 901 ve 950 arasında
 - 951 ve 1000 arasında
 - 1001 ve 1075 arasında
- 10
- 1076 ve 1150 arasında

Bu aralıklarda, bir saat boyunca 550°C'de menevişleme sonrasında elde edilen tipik sertlik seviyeleri örnek olarak sırasıyla şu şekildedir: 45HRC, 52 HRC, 57 HRC, 60 HRC ve 63 HRC.

15

yukarıda da belirtilen tüm koşullar hesaba katıldığı zaman, buluşa göre çelik için aşağıda belirtildiği üzere bileşimin tercih edilen alanı seçilebilmektedir:

$$0,55 \leq C \leq \%1,1$$

20

$$\%0,21 \leq Ti \leq$$

$$\%1,19$$

Zr : %0 veya eser

$$\%0,05 \leq Si \leq \%0,9$$

$$Mn \leq \%0,9$$

25

$$Ni \leq \%0,9$$

$$\%2,1 \leq Cr \leq \%4,9$$

$$\%2,05 \leq Mo \leq \%2,9$$

$$\%0,21 \leq W \leq \%0,79$$

$$\%0,21 \leq V \leq \%0,45$$

30 Nb: 0%veya eser

Bu alanın içerisinde, aşınma direnci veya malzeme tokluğuna az ya da çok odaklanılmasına karşılık gelen ve karbon ve titanyum oranlarının aralığı tarafından belirlenen alanlar veya gruplar altında tanımlanabilmektedir.

5

Bu gruplar aşağıdaki şekildedir:

Grup A:

10

$$%0,85 \leq C \leq \%1,1$$

$$%0,70 \leq Ti \leq$$

$$%1,19$$

Grup B:

15

$$%0,65 \leq C \leq \%1,1$$

$$%0,61 \leq Ti \leq \%0,99$$

Grup C:

20

$$%0,65 \leq C \leq$$

$$%0,98 \leq Ti \leq \%0,41$$

$$\leq \%0,79$$

25

Grup D:

$$%0,51 \leq C \leq \%0,85$$

$$%0,21 \leq Ti \leq \%0,70$$

30

Bu grupların her birisinin içerisinde sertlik seviyesi, sertlik indisinin (D) ifade edilmesi ile belirlenen farklı alaşım elementlerinin etkisinin hesaba katılması suretiyle ayarlanabilmektedir.

Belirli bir sertlik seviyesinde A, B, C ve D sırasıyla farklı gruplar, aşınma direncinde azalma ile malzeme tokluğu seviyesinde bir takviye yönünde olacaktır.

5 Özellikle ilgi çeken, malzeme tokluğu açısından tercih edilen bir seçime karşılık gelen bir yapılandırma biçimi aşağıdakilerin elde edilmesi amacıyla bileşimin ayarlanmasından oluşmaktadır:

10 $W = \%0,2$ ila $0,9$ ve $(Ti + Zr/2)$ en az $\%0,35$ 'e eşit ancak $\%0,49$ 'un altında, burada $(Mo + W/2 + 3 V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)$ minimal değerlerde $\%2,5$, daha iyi olması açısından $\%3,0$, ve maksimal değerlerde $\%4,5$, daha iyi olması açısından $\%3,5$ oranındadır; serbest karbon C* öte yandan $\%0,51$ ve $\%1$, daha iyi olması açısından, $\%0,6$ ve $\%0,9$ arasında bulunmaktadır.

15 Özellikle ilgi çeken, aşınma direnci açısından tercih edilen bir seçime karşılık gelen bir yapılandırma biçimi ise aşağıdakiler elde edilecek şekilde bileşimin ayarlanmasından oluşmaktadır.

20 $W = \%0,2$ ila $0,9$ ve $(Ti + Zr/2)$ en az $\%0,49$ 'a eşit ancak $\%0,95$ 'in altında, burada $(Mo + W/2 + 3 V + 1,5 Nb + 0,75 Ta)$ minimal değerlerde $\%2,5$, daha iyi olması açısından $\%3,0$, ve maksimal değerlerde $\%4,5$, daha iyi olması açısından $\%3,5$ oranındadır; serbest karbon C* öte yandan $\%0,51$ ve $\%1$, daha iyi olması açısından, $\%0,6$ ve $\%0,9$ arasında bulunmaktadır.

25 Buluşa göre özellikle ilavede n hemen sonra sıvı içindeki titanyum ve zirkonyumun geçiş aşırı konsantrasyonları sıvı çelik içinde her zaman bulunan çözünmüş azot oranları hesaba katıldığında çok fazla olduğu zaman, titanyum ve zirkonyumun, sıvı çelik içinde ortaya çıkmaya uygun olan nitrürler formunda değil, birincil karbürler formunda bulunması arzu edilmektedir.

30 Ayrıca buluşa göre çeliğin hazırlanması amacıyla, bu iki element azot ile az oranda reaksiyona girecek ve esas olarak karbon ile reaksiyona girecek şekilde titanyum ve zirkonyum eklenebilmektedir. Bu, sıvı çelik fazında, Ti ve Zr ilaveleri sırasında Ti veya Zr geçiş aşırı konsantrasyonlarını önlenecek şekilde elde edilmektedir.

Buluşa göre bir çelik parçanın imalatı için aşağıdakiler gerçekleştirilebilmektedir:

- 35
- ilk olarak, titanyum ve/veya zirkonyum haricinde, buluşa göre nüans elementlerinin tümünün eritilmesi ile bir sıvı çelik hazırlanmaktadır,
 - daha sonra erimiş çelik banyosu içinde bölgesel titanyum ve/veya zirkonyum aşırı konsantrasyonları her zaman önlenerek, erimiş çelik banyosu içine titanyum ve

zirkonyum eklenmektedir.

Daha sonra çelik bir külçe veya plaka gibi bir yarı mamul ürün formunda dökülmektedir, sıcak plastik deformasyonu ve örnek olarak laminasyon ile yarı mamul ürün biçimlendirilmektedir, daha sonra elde edilen ürün isteğe bağlı ısıl işleme tabi tutulmaktadır.

Bölgesel herhangi bir aşırı konsantrasyon önlenerek sıvı çelik içine titanyum ve zirkonyumun eklenmesi için çeşitli yollar ve özellikle aşağıdakiler gerçekleştirilebilmektedir:

- ya titanyum ve zirkonyum çelik banyosu içinde yavaşça yayılmaya bırakılarak, sıvı çelik banyosunu kaplayan cüruf içine titanyum ve/veya zirkonyum eklenmektedir.
- ya gaz ile veya uygun başka herhangi bir yöntem ile sıvı çelik banyosu karıştırılarak, bu element veya elementlerden oluşan bir tel aracılığıyla kesintisiz bir şekilde titanyum ve/veya zirkonyum eklenmektedir.
- ya da gaz veya başka herhangi bir yöntem ile banyo karıştırılarak sıvı asit banyosu içine bu element veya elementleri barındıran bir yozun üflenmesi suretiyle titanyum ve/veya zirkonyum eklenmektedir.

Mevcut buluş kapsamında, açıklanacak olan farklı yapılandırma biçimlerinin kullanılması tercih edilmektedir. Ancak titanyum ve/veya zirkonyumun bölgesel aşırı konsantrasyonun önlenmesine olanak sağlayan herhangi bir yöntem de kullanılabilir.

Ti ve Zr'un eklenmesine yönelik bu özel prosedür, burada göz önünde bulundurulan çeliğin hazırlanması için gerekli değildir ancak bir seçenek sunmaktadır.

İmal edilen parçanın tabi tutulabileceği ısıl işlemler, aletlere yönelik çelik fabrikası için klasik türdedir. Bu tür bir ısıl işlem, isteğe bağlı olarak kesme ve işlemenin kolaylaştırılması için bir ya da daha fazla tavlama, daha sonra östenitleme, ardından kalınlığa uygun bir biçim doğrultusunda soğutma, örneğin havalı veya yağlı soğutma, isteğe bağlı olarak ardından ulaşılması arzu edilen sertlik seviyesine göre bir ya da daha fazla menevişleme içerebilmektedir.

Açıklanacak olan yöntem ile önceki tekniğe göre çelik parçalara göre aynı esas kullanım özelliklerine sahip olan çelik parçalar elde edilmektedir. Ancak bu parçalar, önceki tekniğe göre parçaların üzerinde gözlemlenenlere göre çok hafiflemiş ayırık damarlara sahiptir. Sonuç olarak bu parçaların, önceki teknikteki parçalara göre işlenmesi veya

kaynaklanması daha kolaydır ve daha dayanıklıdır.

Ornek olarak ve tungsten ve titanyum veya zirkonyum arasındaki sinerji etkisinin gösterilmesi için, nominal bileşimleri Tablo 1'de verilen çeliklerde parçalar yapılandırılabilir. Kimyasal bileşimleri gösteren bu tabloda, sertlik indisi değeri D ve ayrılma indisi Γ_s , ikincil sertleştirmeyi oluşturmaya uygun olan artık damarlar içinde Molibden ve Tungsten birikmiş, sertleşmiş ve kırılma hale gelmeye neden olmaktadır. Bu amaçla bu büyük titanyum ve zirkonyum karbürleri içinde sabitlenebilmelerinin dışında, matris içinde Molibden ve Tungsten oranlarının daha iyi bir şekilde hesaba katılması amacıyla büyük titanyum karbürlerinin gizlenmesi suretiyle, ayrı damarlar içinde (Mos ve Ws) ve dışında (Moh ve Wh) molibden ve tungsten oranları bir mikro sonra aracılığıyla ölçülmektedir (bunlar karışık karbürler (Ti Zr Mo W) C nedeniyle oluşan molibden ve tungsten barındırmaya uygundur). Bu şekilde, metalik matrise göre Mo ve W'nin sertleşmiş ve kırılma hale gelmiş kısımları değerlendirilmektedir.

Böylece aşağıdakilere eşit olan, ayrılma oranları, Γ_s MW, birikmiş (Mo + W/2) oranları belirlenmektedir:

$$\Gamma_s \text{ MW} = ((\text{Mos} + \text{Ws}/2) - (\text{Moh} + \text{Wh}/2)) / (\text{Moh} + \text{Wh}/2)$$

Mo + W/2 kriteri, bunların dışındaki ayrı damarlar olarak, Mo ve W elementlerinin birikmiş sertleşme katkısını temsil ettiği için dahil edilmiştir.

TABLO 1

| | | C | Ti | Zr | C* | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | W | V | Nb | Mo+W/2 | D | Γ_s MW |
|----------------|------|------|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|-----|------|----|--------|------|---------------|
| a ₁ | krşl | 0,31 | 0 | 0 | 0,31 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 3 | 0,75 | 0 | 0,10 | 0 | 0,75 | 825 | 133 |
| a ₂ | krşl | 0,31 | 0 | 0 | 0,31 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 3 | 0,55 | 0,4 | 0,10 | 0 | 0,75 | 825 | 137 |
| a ₃ | Blş | 0,41 | 0,40 | 0 | 0,31 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 3 | 0,55 | 0,4 | 0,10 | 0 | 0,75 | 825 | 106 |
| b ₁ | krşl | 0,6 | 0,4 | 0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 6,5 | 2,2 | 0 | 0,3 | 0 | 2,2 | 999 | 128 |
| b ₂ | krşl | 0,75 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 6,5 | 2,2 | 0 | 0,3 | 0 | 2,2 | 999 | 131 |
| b ₃ | Blş | 0,75 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 6,5 | 1,5 | 1,4 | 0,3 | 0 | 2,2 | 999 | 98 |
| c ₁ | krşl | 0,80 | 0,25 | 0 | 0,74 | 0,9 | 0,45 | 0,25 | 3,9 | 2,1 | 0 | 0,28 | 0 | 2,1 | 1028 | 130 |
| c ₂ | Blş | 0,80 | 0,25 | 0 | 0,74 | 0,9 | 0,45 | 0,25 | 3,9 | 1,2 | 1,8 | 0,28 | 0 | 2,1 | 1028 | 121 |
| c ₃ | Blş | 0,95 | 0,85 | 0 | 0,74 | 0,9 | 0,45 | 0,25 | 3,9 | 1,2 | 1,8 | 0,28 | 0 | 2,1 | 1028 | 93 |
| d ₁ | krşl | 1,25 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,5 | 0,2 | 5 | 2,4 | 0 | 0,6 | 0 | 2,4 | 1117 | 127 |
| d ₂ | Blş | 1,25 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,5 | 0,2 | 5 | 2,0 | 0,8 | 0,6 | 0 | 2,4 | 1117 | 107 |
| d ₃ | Blş | 1,25 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,5 | 0,2 | 5 | 1,5 | 1,8 | 0,6 | 0 | 2,4 | 1117 | 91 |

Örnekler a_1 , b_1 , c_1 ve d_1 referans çeliklerine, başka bir ifadeyle bileşimi buluşa göre yöntemin uygulanmasından önce seçilen çeliklere karşılık gelmektedir. Diğer örnekler, tungsten ve titanyuma ilişkin koşulların karşılanmadığı örnekler a_2 ve b_2 hariç olmak üzere, buluşa göre yöntem ile elde edilen bu referans çeliklerinden türetilmiştir.

- 5 Örnekler a_1 , a_2 ve a_3 aynı sertliğe sahiptir. Örnek a_2 , titanyum ilavesi olmaksızın, %0,40 titanyum ile %0,20 molibdenin değiştirilmesi suretiyle örnek a_1 'den türetilmiştir. Ayrılma oranının önemli oranda değişmediğine dikkat edilmelidir.

- 10 Buluşa uygun olan örnek a_3 sadece %0,40 titanyum ile %0,20 molibdenin değiştirilmesi ile değil, aynı zamanda ayrıca %0,40 oranında titanyumun eklenmesi ve sonuç olarak karbonun ayarlanması ile örnek a_1 'den türetilmiştir. Bu çeliğin ayrılma oranının, örnekler a_1 ve a_2 'ye göre büyük ölçüde çok azaldığı göz önünde bulundurulmalıdır.

- 15 Aynı şekilde örnekler b_1 , b_2 ve b_3 tungsten ilavesi olmaksızın titanyum ve zirkonyum ilavesinin etkisinin olmadığını (karşılaştırmalar b_1 , b_2) göstermekten, arzu edilen etki molibden ile kısmen ikame edilen tungsten varlığında ortaya çıkmaktadır (karşılaştırmalar b_2 , b_3).

- 20 Örnekler c_1 , c_2 ve c_3 , tungstene eşit ilave ile, titanyum ilavesinde bir artışın ayrılmalar üzerinde desteklenebilir bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Aynı şekilde örnekler d_1 , d_2 , ve d_3 tungsten oranında bir artışın, titanyum veya zirkonyum oranları yeterli olduğu sürece desteklenebilir bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

- 25 $(Ti+Zr/2) / W$ oranının tungsten ayrılması üzerine olan etkisinin gösterilmesi için aynı zamanda, ref. döküm hariç olmak üzere, tümü buluşa karşılık gelen ref, 5, 7, 1, 9, 6, 2, 18, 13, 17 ve 3 döküm çeliklerine karşılık gelen örnekler hesaba katılabilmektedir. Bu dökümlerin esas elementlerinin oranı tablo 2'de verilmiştir; bileşimin geri kalanı demir ve hazırlama işleminden kaynaklanan katışkılarıdır.

30

TABLO 2

| Döküm No. | C | Ti | Zr | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | W | V | Nb |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ref | 0,82 | 0 | 0 | 0,35 | 1,15 | 0,25 | 5,00 | 0,90 | 0,57 | 0,11 | 0,00 |
| 5 | 0,37 | 0,20 | 0,00 | 1,00 | 0,50 | 0,20 | 3,00 | 1,50 | 0,60 | 0,20 | 0,00 |
| 7 | 0,62 | 0,55 | 0,21 | 0,50 | 0,40 | 1,20 | 2,20 | 1,00 | 1,50 | 0,20 | 0,15 |
| 1 | 0,37 | 0,35 | 0,00 | 1,00 | 0,50 | 0,20 | 3,00 | 1,50 | 0,60 | 0,20 | 0,00 |
| 9 | 0,75 | 0,80 | 0,40 | 0,50 | 0,50 | 0,30 | 6,50 | 1,40 | 1,50 | 0,30 | 0,00 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6 | 0,50 | 0,50 | 0,00 | 0,40 | 0,60 | 0,20 | 5,00 | 1,20 | 0,60 | 0,25 | 0,10 |
| 2 | 0,41 | 0,42 | 0,00 | 0,20 | 0,70 | 0,40 | 3,00 | 0,40 | 0,50 | 0,10 | 0,00 |
| 18 | 0,95 | 0,85 | 0,00 | 0,90 | 0,45 | 0,25 | 2,10 | 1,60 | 0,95 | 0,28 | 0,00 |
| 13 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,60 | 0,60 | 0,20 | 3,80 | 1,00 | 1,00 | 0,25 | 0,20 |
| 17 | 1,25 | 1,00 | 0,00 | 1,00 | 0,50 | 0,20 | 5,00 | 2,40 | 0,80 | 0,60 | 0,00 |
| 3 | 0,55 | 0,95 | 0,00 | 0,25 | 0,70 | 0,30 | 2,50 | 0,45 | 0,45 | 0,10 | 0,00 |

Tablo 3'te, nominal tungsten oranlarına göre ayrıık damarlar içindeki tungsten oranları açısından Ti+Zr/2 toplamı, W içerikleri, (Ti +Zr/2)/W oranları ve Ws / W oranları gösterilmektedir.

5

Ws / W oranı değerleri, (Ti+Zr/2)/W oranı değerlerine göre şeklin grafiğinde gösterilmiştir.

TABLO 3

| döküm no. | Ti+Zr/2 | W | (Ti+Zr/2)/W | Ws/W |
|-----------|---------|------|-------------|------|
| ref | 0 | 0,57 | 0 | 2,7 |
| 5 | 0,2 | 0,6 | 0,33 | 1,95 |
| 7 | 0,66 | 1,5 | 0,44 | 1,55 |
| 1 | 0,35 | 0,6 | 0,58 | 1,73 |
| 9 | 1 | 1,5 | 0,67 | 1,15 |
| 6 | 0,5 | 0,6 | 0,83 | 1,48 |
| 2 | 0,42 | 0,5 | 0,84 | 1,52 |
| 18 | 0,85 | 0,95 | 0,89 | 1,12 |
| 13 | 1 | 1 | 1 | 1,09 |
| 17 | 1 | 0,8 | 1,25 | 0,94 |
| 3 | 0,95 | 0,45 | 2,11 | 0,79 |

10 Grafikte Ws / W oranının, (Ti+Zr/2)/W'nin 0,2'yi aşmaması için büyük ölçüde 2'nin altına indiği görülmektedir. Aynı zamanda Ws / W'nin (Ti+Zr/2)/W arttığı zaman düzenli olarak azaldığı, ne titanyum ne de zirkonyum içeren referans döküm için 2,7 olduğu görülmektedir.

15 Buluş aynı zamanda, tüm durumlarda 1,6'nın altında olan ve 0,67'ye ulaşabilen, Ws/W oranını gösteren tablo 4'te gösterilen analizlere karşılık gelen örnekler ile gösterilmektedir.

TABLO 4

| Döküm No. | C | Ti | Zr | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | W | V | Nb | Ws/W |
|-----------|---|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|------|
|-----------|---|----|----|----|----|----|----|----|---|---|----|------|

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 21 | 0,82 | 0,41 | eser | 0,9 | 0,6 | 1,5 | 2,7 | 2,2 | 0,5 | 0,25 | eser | 1,51 |
| 22 | 0,95 | 0,83 | 0,2 | 0,8 | 0,6 | 0,2 | 4,1 | 2,3 | 0,3 | 0,25 | eser | 0,67 |
| 23 | 0,94 | 0,92 | eser | 0,7 | 1,3 | 0,2 | 3,2 | 2,5 | 0,5 | 0,4 | eser | 0,84 |
| 24 | 0,81 | 0,42 | eser | 0,9 | 0,8 | 0,2 | 4,4 | 1,4 | 0,7 | 0,15 | 0,20 | 1,65 |
| 25 | 0,72 | 0,4 | eser | 0,9 | 0,3 | 0,2 | 5,5 | 1,6 | 0,5 | 0,15 | eser | 1,52 |
| 26 | 0,79 | 0,71 | 0,4 | 0,9 | 0,6 | 0,2 | 4,4 | 1,5 | 0,5 | 0,15 | eser | 0,85 |
| 27 | 1,02 | 0,38 | eser | 0,9 | 0,9 | 0,3 | 2,1 | 1,5 | 0,5 | 0,15 | eser | 1,54 |

(devamı)

| | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 28 | 0,8 | 0,44 | eser | 0,2 | 0,6 | 1,4 | 2,7 | 2,1 | 0,5 | 0,25 | eser | 1,42 |
| 29 | 0,95 | 0,85 | eser | 0,3 | 0,6 | 0,2 | 4,0 | 2,3 | 0,4 | 0,20 | eser | 0,77 |
| 30 | 0,95 | 0,88 | eser | 0,2 | 1,4 | 0,2 | 3,1 | 2,6 | 0,5 | 0,4 | eser | 0,83 |
| 31 | 0,8 | 0,42 | eser | 0,3 | 0,9 | 2,1 | 4,7 | 1,5 | 0,7 | 0,15 | eser | 1,57 |
| 32 | 0,7 | 0,4 | eser | 0,3 | 0,3 | 1,2 | 3,5 | 1,4 | 0,5 | 0,15 | 0,25 | 1,47 |
| 33 | 0,8 | 0,9 | eser | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 3,2 | 1,5 | 0,5 | 0,15 | eser | 0,82 |
| 34 | 1 | 0,44 | eser | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 4,5 | 1,2 | 0,5 | 0,15 | eser | 1,44 |
| 35 | 0,71 | 0,41 | eser | 0,4 | 1,6 | 0,2 | 6,1 | 1,2 | 0,5 | 0,75 | eser | 1,46 |
| 36 | 0,91 | 0,92 | eser | 0,1 | 0,9 | 0,4 | 5,7 | 0,6 | 0,8 | 0,65 | eser | 1,03 |
| 37 | 1,25 | 0,95 | eser | 0,9 | 0,6 | 1,7 | 4,1 | 3,1 | 0,9 | 0,35 | 0,35 | 1,03 |

Bu örnekler aynı zamanda silisyum oranının çeliğin ısı iletkenliği üzerine etkisini ve dolayısıyla çelik, iyi bir ısı iletkenliğinin arzu edildiği aletler için yapılandırılmak üzere tasarlandığı zaman çok düşük silisyum oranının kullanılmasının faydasını ortaya koymaktadır. Bu etki, örnek çiftleri 21 ve 28, 22 ve 29, 23 ve 30 tarafından gösterilmektedir. Bu çiftlerden her birisinde örnekler esas olarak sadece silisyum oranları açısından farklıdır. Isı iletkenlikleri aşağıdaki şekildedir:

| | | |
|----|-------------------------|------------------------------|
| 10 | Örnek No. 21: Si = %0,9 | ısı iletkenliği = 20,6 W/m/K |
| | Örnek No. 28: Si = %0,2 | ısı iletkenliği = 25,1 W/m/K |
| | Örnek No. 22: Si = %0,8 | ısı iletkenliği = 21,3W/m/K |
| | Örnek No. 29: Si = %0,3 | ısı iletkenliği = 24,4 W/m/K |
| 15 | Örnek No. 23: Si = %0,7 | ısı iletkenliği = 20,7 W/m/K |
| | Örnek No. 30: Si = %0,2 | ısı iletkenliği = 23,6 W/m/K |

Silisyumun azaltılmasının, ısı iletkenliğinin önemli ölçüde arttırılmasına olanak sağladığı görülmektedir. Örneklerin durumunda bu artış yaklaşık olarak %15 ila yaklaşık olarak %25 oranında olacaktır.

