



Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology

Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

ISSN 1012-2354

Cilt (Volume): 28, Sayı (Issue): 2, Mart/March-2012

<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerde metalürjik mukavemet artırma mekanizmaları

Zakir Taş

Bozok Üniversitesi, MYO, Esentepe Kampüsü, Bahçeşehir, Yozgat

Anahtar Kelimeler:

mikro alaşım elementleri, mukavemet artırma mekanizmaları, tane inceltme, sertleştirme

ÖZET

Yapı çeliklerinin mukavemet kapasitelerinin yetersiz oluşları nedeniyle yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerin üretimi gerçekleştirilmiştir. En önemli mikroalaşım elementleri Nb, V ve kısmen de Ti'dir. Bunların önemleri mikroyapıda karbür, nitrür veya karbonitrür olarak tane inceltici ve sertleştirici etkilerine dayanmaktadır. Tane inceltici etkisi, çok ince çökeltmiş partiküllerin sıcak şekillendirmede tane irileşmesini engellemesi ve östenitin ferrite dönüşümü esnasında doku inceltici yabancı çekirdekler olarak kullanıma hazır halde bulunmalarından kaynaklanmaktadır. Östenit bölgesinde çözünen ve soğutma esnasında çok ince partiküller şeklinde çökelen alaşım elementleri de sertleştirici etkiye sahiptirler. Bileşikleri östenit bölgesinde geç çözünen Nb'nin tane inceltici etkisi ağır basarken, V'un sertleştirici etkisi öne çıkmaktadır.

Metallurgical mechanisms for increasing the strength of high-strength-low-alloy-steels

Keywords:

micro alloying elements, strength increasing mechanisms, grain refining, hardening

ABSTRACT

Due to insufficient capacity of the steels were produced high strength low alloyed steels. The most important micro-alloying elements Nb and V, Ti Their importance is due partly to the fact that they affect the structure as a finely distributed carbides, nitrides or carbonitrides grain refining effect and cures. The grain refining effect arises from the fact that fine particles impede a retired grain growth during hot deformation and the transformation of austenite into ferrite and microstructure-refining foreign microbes are available. Hardening alloy elements work against those who go into solution in austenite and come after appropriate cooling than finely divided particles for excretion. While the predominant Nb, whose compounds dissolve in the austenite difficult, the grain refining effect, going from one strength hardening effect of V.

Giriş

Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı, YDDA yaygın adıyla tanınan mikro alaşımlı çelikler ABD’ de geliştirilmiş ve karbonlu yapı çeliklerinden daha yüksek dayanımları olan çeliklerdir.

Son kırk yılın üretilen miktar açısından en önemli gelişmesini gösteren mikro alaşımlı çelikler, öncelikle yapı çeliklerinin dayanım kapasitelerinin yetersizliği nedeniyle geliştirilmiştir. 70’ li yıllardan sonra hızlanan mikro alaşımlama çalışmaları sonucu oldukça geniş özellikler elde edilmiştir.

Mikro alaşımlı çelikleri piyasada ve literatürde çoğu kez aşağıda verilen farklı isimler ve gösterimler altında görebiliriz.

- Mikro alaşımlı çelikler (Micro alloyed steel, Mikrolegierte stâhle)
- Perlitçe fakir çelikler (Perlitarme stâhle)
- İnce taneli çelikler (Feinkornbau stâhle)
- Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler (YDDA) (High strength low alloys steel HSL A-stâhle)
- Z StE – çelikleri veya ZE çelikleri [1]

Mikro alaşımlı çeliklerin spesifik gelişme yönlerini az perlitli ve perlitless çelikler oluşturmaktadır. Karbon oranının bariz şekilde düşürülmesiyle şekil verilebilirlik, tokluk, kaynak edilebilirlik gibi özellikleri önemli oranda yükseltilmektedir. Bu özellikler örneğin otomobil endüstrisinde şekil vermek suretiyle yüksek mukavemetli ve hafif parçaların üretiminde istenilmektedir. Düşük C-oranına rağmen bu çeliklerde mikroalaşım elementleri Nb, V, Ti’un tane inceltici ve sertleştirici etkileri yanında kontrollü haddelemeyle akma sınırı 500 N/mm² ye ulaşabilmektedir. [2]

Mikroalaşımlı çeliklerinin üretimi dört adımda gerçekleşmektedir [3]:

1. Mikroalaşımlama,
2. Ostenitleme,
3. Sıcak Haddeleme,
4. Kontrollü Soğutma.

Arzu edilen özelliklerin ortaya çıkması için bu adımlar teker teker veya kombineli olarak uygulanabilmektedir. Az alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerin bir çoğu ferrit + perlit yapısında, bir kısmı ise ferrit + beynit ve temperlenmiş veya beynitik yapıda olabilmektedir. [4]

1. Spesifik mikroalaşım elementleri

Niobyum:

Niobyum ostenitte küçük çökelti oluşumlarıyla düşük sıcaklık tokluğunun eldesinde önemli bir rol oynar. Ancak niobyum içeriği sınırlanmıştır; çünkü uygulamada niobyumkarbonitrürleri ostenitletirmede

kısmen çözünmeden kalır. Nb mukavemet ve tokluğun artmasında da etkilidir, çünkü yeniden kristalleşmeyi geciktirir ve tane boyutunu küçültür. En yüksek tane küçültme etkisi niobyumdadır. Etken miktar sınırı % 0.04 Nb’ dur. Bu miktar Nb-alaşımda tokluk maksimum seviyededir. Aynı zamanda düşüğe olsa çökeltme sertleşmesi etkisine sahiptir [5]

Titanyum:

Titanyumun etkinliği niobyumunkinden çok daha düşüktür. Alaşımlama oranıyla mukavemet artırıcı etki orantılı olarak arttığından, titanyumla yüksek mukavemet artışları hedeflenir. Titanyum mikroalaşımlı çelikler de aynı şekilde yeniden kristalleşme ataletine meyletmektedir. Sıcak deforme edilebilirlik, azota olan aşırı afiniteden dolayı ve bunun neticesi bağlama yüksek sıcaklıklarda sürekli iyileştirilir. Titanyumnitrür fiziksel ve termodinamiksel olarak niobyum-karbonitrüre çok benzer. Titanyumnitrür kaynak esnasında ısı tesiri altındaki bölgedeki tane kabalaşmasını engeller. Titanyumun tane küçültme etkisi niobyum ile vanadyum arasındadır; çökelti sertleştirme karakteristiği ise vanadyuma benzemektedir [6]

Vanadyum:

Çelikte en büyük çözünürlüğe sahip mikroalaşım elementidir. Vanadyumnitrür, vanadyumkarbürü göre daha az çözünür. Azot oranının artmasıyla vanadyumun çözünme ve çökeltmesi iyi kontrol edilebilir. Vanadyum çökeltleri titanyuma nazaran daha az etkilirdir. Yeniden kristalleşme geciktirmesi oldukça düşüktür. Düşük sıcaklıklarda vanadyum KÇ halinde bulunur; böylece dönüşüm gecikir. Buna karşın yüksek vanadyum çözünürlüğü ferritin normalleştirme tavından sonra iyi bir çökelti sertleşmesine yol açmaktadır (Hannane, 1989). Artan vanadyum miktarı ile akma mukavemeti artar. Tane inceltme etkisinin zayıf olmasından dolayı tokluğa etkisi negatiftir [5]

Alüminyum:

Desokidasyon maddesi ve mikroalaşım elementi olarak çelik üretiminde çifte fonksiyona sahiptir. Tam durgun çeliklerde çözünmüş Al mikroalaşım elementi olarak etki eder. Azota olan aşırı afinitesinden dolayı AlN oluşturur. Bu, ostenit tane büyümesini engeller ve ostenit dönüşümünü hızlandırır. Al esas etkisini ferritin kuvvetli tane inceltmesinde gösterir [6]

Niobyum, titanyum ve vanadyumun akma mukavemetine ve darbe geçiş sıcaklığına etkisi Şekil 1’de gösterilmektedir.

Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelikler mikroalaşım elementleri dışında ortalama % 1.5 Mn içerirler. Mn'nin oluşan iğnesel ferritin tane boyutunu küçültücü etkisi bu miktara kadar oldukça kuvvetlidir. Karbon miktarı ise kullanım alanı ile direkt ilişkilidir. Tokluk ve kaynaklanabilirlik özelliklerine negatif etkisinin yüksek olması nedeniyle karbon miktarı modern mikroalaşımlı çeliklerde % 0.1'in altına düşürülmüştür [5]

Mikroalaşım elementleri termomekanik işlem çerçevesinde çok önemli roller oynamaktadırlar. Cr, Mo ve Mn elementleri özellikle KÇ-sertleşmesi yoluyla etki ederlerken, V, Nb, Ti mikroalaşım elementlerinde tamamen başka mekanizmalar vardır. Burada mukavemet ve tokluk artışına sertleştirme ve tane inceltme yoluyla ulaşılmaktadır. Ancak sadece tane inceltme mukavemet ve tokluğun aynı anda yükselmesine yol açmaktadır.

Buradaki metalurjik mekanizmalar şunlardır:

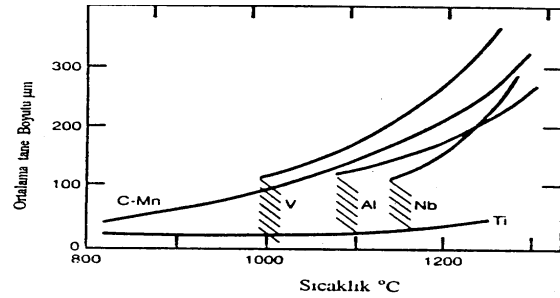
- Ostenit Tane Büyümesinin Engellenmesi
- Sıcak Şekil Verme Esnasında Yeniden Kristalleşmenin Engellenmesi
- Dönüşüm Davranışına Etki Edilmesi
- Çökelti Oluşumu

2. Ostenit tane büyümesinin engellenmesi

Mikroalaşım elementlerinin çökeltileri belirli çözünürlüğe sahiptir. Çözündürme sırasındaki problem, aşırı ve düzgün olmayan tane irileşmesine meydan vermeden mümkün olduğunca çok mikroalaşım elementinin çözeltiye getirilmesidir [8]. Yüksek sıcaklık ve uzun süreler arzu edilmeyen tane irileşmesine yol açmaktadır. Oldukça düşük bir tane irileşmesi Ti, Nb veya V mikroalaşımlı çeliklerde gözlemlenmektedir. Çünkü bu çeliklerde 1000 °C'den 1250 °C'ye kadar

pratik olarak çözünmeyen ve böylece tane sınırı hareketini bloke eden karbür ve nitürler oluşmaktadır. Geciktirici bir etki çok az oranda çözülmüş durumda da tespit edilmektedir [9].

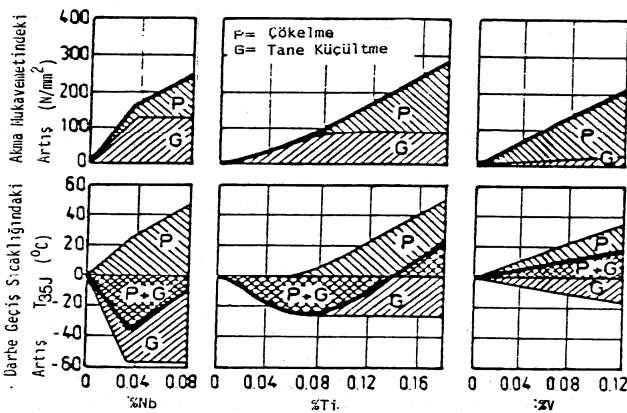
Isıtma esnasında artan sıcaklıkla birlikte ortalama ostenit tane büyüklüğü artar (Şekil 2). Mikroalaşım elementleri, partikül şeklinde belirli bir büyüklüğe kadar mevcut olmaları halinde, tane büyüme prosesini etkili bir biçimde engellemektedir. Partiküllerin irileşmesiyle ya da çözünmesiyle her mikroalaşım elementine uygun sıcaklık alanlarında – şekilde taralı olarak gösterilmiş – bu etki kalkar ve ostenit aşırı derecede kabalaşır [10].



Şekil 2: Farklı mikroalaşımlı çeliklerde ostenit tane kabalaşması [11].

Başarılı bir termomekanik işlem için gerekli şart, ostenitleme yoluyla deformasyon öncesinde uygun bir başlangıç yapısının ortaya çıkmasıdır. İnce bir ferrit tanesi için dönüşüm öncesi ince bir ostenit tanesi önemli bir şart olduğundan, burada bir yanda oldukça yüksek seçilmiş ostenitleme sıcaklığıyla aşırı bir tane büyümesinden kaçınılmalı, diğer yanda sıcaklık o kadar yüksek olmalıdır; öyle ki bundan sonraki bir termomekanik işlem için ostenitte yeterli derecede mikroalaşım elementi oranı çözünebilir.

Tane büyüme hızı, artan ostenitleme sıcaklığı ve süresiyle artar. Bir tane büyümesi, büyüme yavaşlatıcı engellerin bulunmaması durumunda gerçekleşebilir. Bu engeller ostenit tane sınırlarında bulunan ince çökeltilerdir. Şayet partiküller yüksek sıcaklıklar yoluyla kabalaşır ya da hatta çözünürlerse, bir tane büyümesi gerçekleşebilir. V-çökeltileri 1050 °C civarında tamamen çözüldüklerinden, V'nin tane büyümesini engelleyici etkisi düşüktür. Ostenit tane büyümesinin etkili bir kontrolü sadece Nb ve Ti çökeltileriyle gerçekleşebilir [12]. Tamamen çözülmüş, kısmen çözülmüş ve hiç çözünmemiş partiküllerin oranı deformasyon ve dönüşüm öncesinde, esnasında ve sonrasında tekrar çökeltme olaylarına aşırı derecede etki etmektedir. Belli bir dağılımda partiküllerin mevcut olması durumunda tane sınırlarının bloke edilmesinden dolayı ostenit tane büyümesi engellenir veya tamamen bastırılır. Bir tane sınırı blokjesi için her hacim elemanı



Şekil 1: Nb, Ti ve V'un akma mukavemeti ve darbe geçiş sıcaklığına etkisi [7]

başına belli bir minimum partikül sayısı gereklidir. Bu minimum sınırın altına düşme ikincil yeniden kristalleşmeye yol açar [6]. Ferrit tane büyüklüğü ostenit tane büyüklüğüyle etkilenme yanında yeniden kristalleşme ve dönüşüm davranışı yoluyla da belirlenir.

3. Yeniden kristalleşmenin engellenmesi

Deformasyon, ostenitleme sırasında meydana gelen tane büyüklüğünü dinamik veya statik yeniden kristalleşme yoluyla azaltma şansı verir [9]. Sıcak deformasyonun en önemli hedefi, γ - α -dönüşümü öncesinde belli bir ostenit yapısına ulaşmaktır. Birçok durumda ince taneli bir ostenit yapısı hedeflenir. Çoğunlukla geniş bir sıcaklık alanında yapılan çok kademeli deformasyon esnasında ostenit tane inceltmesi dinamik ve/veya statik yeniden kristalleşme üzerinden gerçekleşir. Çeliğin bileşimi, sıcaklık ve deformasyon parametreleri yeniden kristalleşme mekanizmalarının duruma göre birini (statik) veya diğerini (dinamik) belirler. Mikroalaşımlama ile, kuluçka zamanı ve statik yeniden kristalleşme hareketi kuvvetli bir şekilde geciktirilir [10].

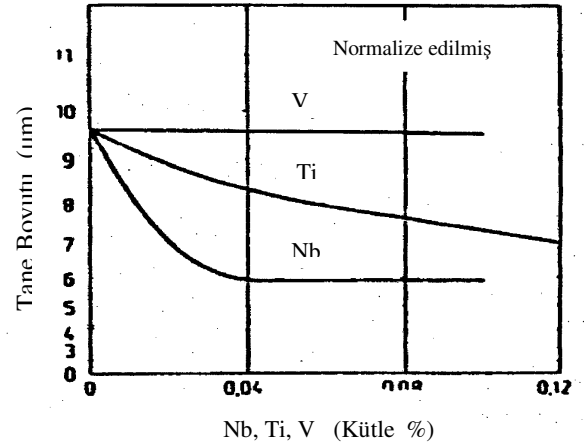
Mikroalaşımlı çeliklerde genel olarak artan mikroalaşım elementi oranıyla dinamik yeniden kristalleşmede bir gecikme gözlenmektedir. Çözünmüş elementler, özellikle Nb, toparlanma geciktirici olarak etki etmekte, ostenit kafesinin çarpılmasını sağlamakta ve bu yolla dislokasyon hareketine etki etmektedir. Buna karşın, deformasyon sonucu çökelti, yeniden kristalleşmenin hem başlangıcını hem de ilerlemesini oldukça geciktirmektedirler [6].

Mikroalaşım elementleri ostenitleme sıcaklıklarında küçük tane boyutunun korunması görevini üstlenirken, burada da tane sınırı hareketlerinin engellenmesi ile yeniden kristalleşmiş tanelerin büyümesini yavaşlatmak ve yeniden kristalleşmeyi geciktirmek veya tamamen önlemek görevini yerine getirmektedirler. Özel karbür yapıcılar ostenitin yüksek sıcaklıklarında çözünmekte; soğutma esnasında –deformasyonla hızlanır- en azından kısmen çökeltirler. Bu esnada yeniden kristalleşmeyi etkileyebilirler (Şekil 3). Tane sınırı hareketlerinin çökelti yoluyla engellenmesinden dolayı yeniden kristalleşme bölgesi daha uzun sürelerle ötelenir [9].

4. Dönüşüm davranışına etki edilmesi

Dönüşüm davranışı da mikroalaşım elementleriyle etkilenmektedir. Yapı çeliklerinin C-oranı mikroalaşım elementlerinin mukavemet ve tokluk artırıcı kullanımıyla aşırı derecede düşürülebildiğinden, mikroalaşımlı çelikler çok kısa dönüşüm zamanları göstermektedirler; böylece pratik olarak bir sertleşme tehlikesi ortaya çıkmamaktadır. Mikroalaşım elementlerinin faz dönüşümüne etkisi alaşım oranı

yanında, ostenitleme sıcaklığına ve bununla birlikte çökelti durumuna bağlıdır.



Şekil 3: Mikroalaşım elementlerinin tane boyutuna etkisi [5]

Düşük ostenitleme sıcaklıkları, hızlandırılmış ferrit oluşumuna yol açar, çünkü bir yanda matriksin C-oranı çözünmemiş karbonitrürler yoluyla düşürülürken, diğer yanda çökelti kendileri γ/α -dönüşümü için çekirdeklenme noktalarını temsil etmektedirler. Mikroalaşım elementlerinin artan oranı çözünürlük sıcaklığının yükselmesiyle aynı şekilde dönüşümün hızlandırılmasına etki eder. Yüksek ostenitleme sıcaklıklarında bir yanda matriksin C-oranı ve mikroalaşım elementi oranı yükselirken, diğer yanda karbonitrürlerin çözünmesinden sonra çekirdek yoğunluğu düşer. Bundan dolayı ferrit oluşumu geciktirilerek beynit ya da martenzit kademesinde dönüşüm meydana gelebilmektedir [12].

5. Çökelti oluşumu

Düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerinde özellikler büyük oranda çökelti tarafından belirlenir. Çökelti dislokasyon hareketini engeller, bu da sertlik ve mukavemetin artmasına yol açar [3]. Ti, V, Nb gibi mikroalaşım elementleri, karbür, nitrid ve karbonitrürler oluşumu üzerinden ilave bir çökelti sertleşmesi meydana getirirler [13]

Karbonitrür oluşturuç mikroalaşım elementleri içeren yapı çelikleri için çok ince dağılmış çökelti çözünmesi çok önemli bir rol oynamaktadır. Bileşimin termodinamik çözünürlüğüne ve alaşım metalinin difüzyon kapasitesine göre çözünme olayı – bazı partiküllerin irileşmesiyle birlikte – belli bir sıcaklık aralığında cereyan etmektedir. Çökelti olaylarından yararlanmak için haddeleme sırasında ve sonrasında, deformasyondan önce geniş ölçüde bir çözünürlük hedeflenebilen karbonitrür oluşturuçlar tercih edilir.

Bundan dolayı alışımlı karbon ve azot oranlarına sahip yüksek mukavemetli yapı çelikleri için NbC, TiC ve VN dikkate alınmak durumundadır. 1200 °C civarında tutma esnasında partiküller çözünebilirken, son hadde sıcaklıklarında ve daha da soğutma durumunda tekrar çökmeye yol açan kuvvetli bir aşırı doyum ortaya çıkmaktadır. Karbonca zengin çelikler için zikredilen bileşiklerin deformasyon öncesindeki ısıtma sıcaklıklarındaki çözünürlüğü düşüktür [14]

Mikroalaşım bileşiklerinin partikülleri, ostenitte çözünmeden kalmış ve soğumada artan fazla doyumun etkisi ile oluşan çökeltilerdir. Çökme hızı plastik deformasyonun artması ile artar. Mikroalaşım elementlerinin bir diğer rolü ostenit dışında çökme sertleşmesi sağlamasıdır. Mikroalaşım elementlerine ve termomekanik işleme bağlı olarak ostenitte çözülmüş mikroalaşım elementlerinin sadece bir kısmı çökler. Çözeltide kalanlar, dönüşümden sonra veya dönüşüm sırasında çöklerler [5]. Çözeltideki mikroalaşım mikroyapısının ve özelliklerin belirlenmesinde etkin rol oynarlar. Ferrit kafesinin dayanımlarını artırmalarının yanında dönüşüm sıcaklığını düşürürler ve ferrit veya beynit oluşumunu engellerler [11]

Kaynaklar

1. Yaylacı, E. Otomotiv Sanayiinde Kullanılan mikroalaşımli çeliklerin üretim yöntemleri, <http://eyupyaylaci.com/otomotiv-sanayinde-kullanilan-mikroalasimli-celiklerin-uretim-yontemleri/>
2. Bergmann, W., (1987), Werkstofftechnik, Teil 2: Anwendung, s. 397, Carl-Hanser-Verlag, München, 1987
3. Bakkaloğlu, A., Die Auswirkungen einer Ausscheidungshaertung auf Gefüge und mechanische Eigenschaften von HSLA-Staehlen, Prakt. Metallogr.32,: 616-624, 1995
4. Tekin, A., Çeliklerin Metalurjik Dizaynı, s.122, s.?, İstanbul, 1981
5. Çeviker, I., Mikroalaşımli Dövme Çeliklerde Mikroyapısal Karakterizasyon ve Mikroyapı Özellikler İlişkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991
6. Hannane, N., Einfluß der Prozeßparameter bei der thermomechanischen Behandlung mikroligierter Stähle für Flachprodukte, Dissertation, RWTH Aachen, 1989
7. Hulka, K., Microalloyed Structural Steel Grades Background and Application, 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt 2, 4-8 Mayıs 1993, Ankara, 1109-1116, 1993
8. Kneissel A., Ortner B., Kleemaier R., Windhager M., ve Kühlein W., TM-behandelte Staehle, BHM, 135, Heft 5, 147 – 154, 1990
9. Pawelski O., Kaspar R., ve Peichl L., TMB von Stahl, in Neue Verfahren d. Massivumformung, Hrsg.: Reiner Kopp, Deutsche Gesellschaft für Metallkunde, Düsseldorf, 251-271, 1981
10. Dahl, W., Hagen, M., ve Kai.K., Vorgaenge im Werkstoff bei der TMB von Stahl, Stahl und Eisen 111 Nr.4: 113-119, 1991
11. Topateş T., Mikroalaşımli Çeliklerin TMI-Sırasında Değişen Proses Parametrelerinin Mikroyapı – Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995
12. Dahl W., Hougardy, H. P., Burchard, v. D., Praktikum Werkstoffkunde Band 2: Stahlkunde, s.234, RWTH, Aachen, 1992
13. Spitzer, H., Termomechanische Behandlung - Bedeutung für die Maschinenbaustaehle Waermebehandlung als Mittel der Senkung d. Produktkosten, Münchner Werkstofftechn. Seminare, : 187-210, 1981
14. Meyer, L., Grundlagen der Werkstoffentwicklung durch verknüpfung thermischer und mechanischer Vorgange beim Warmumformen, Stahş u. Eisen, s. 83-91, 1981