

## ULTRASONİK TİTREŞİM YARDIMIYLA METALLERİN ÇEKİLMESİ

İbrahim UZMAY

E.Ü. Mühendislik Fakültesi, KAYSERİ

### ÖZET

Mekanik titreşim olan ses, bir frekans ve şiddete sahiptir. 16 Hz ile 16 kHz aralığında frekansa sahip sesleri duyabiliriz. Bu üst sınır değerinden daha yüksek frekanslar ultrasonik olarak bilinir. Ultrasonik titreşimler, mekanik, piezoelektrik ve manyetik gerilimli yayıcılarla elde edilir. Metallerin ultrasonik deformasyonunda, ultrasonik zayıflama ve ultrasonik pekleşme meydana gelir. Ayrıca, metalin akma gerilmesi de düşer. Sonuç olarak, aşağıdaki avantajlar sağlanabilir: daha düşük güçte çekme gücü, çekilen metalin mekanik özelliklerinde iyileşme ve daha düzgün şekillendirme.

### DRAWING OF METALS BY MEANS OF ULTRASONIC VIBRATION

#### SUMMARY

Sound is a mechanical vibration having a frequency and intensity. The audible frequencies range from about 16 Hz to about 16 kHz. Higher frequencies than  $16 \times 10^3$  Hz are known as ultrasonic. Ultrasonic vibrations can be obtained by means of a mechanical, piezoelectric and magnetic-strictive propagator. In the ultrasonic deformation of the metals, ultrasonic weakness and ultrasonic toughness come into existence, thus the yield point of the metal decreases. Consequently, the following advantages can be supplied by the ultrasonic drawing; less drawing forces or less drawing power improving the mechanical properties of the drawn metal, and more uniform forming than the drawing under the normal conditions.

## 1-GİRİŞ

### 1.1- Ultrasonik Titreşimler:

İşitilebilen sesler gibi işitilmeyen sesler de bir dalga hareketi olup, gaz, sıvı ve katı ortamlarda yayılabilirler. İnsan kulağı 16 Hz ile  $16 \times 10^3$  Hz aralığında frekansa sahip elastik titreşimleri ses olarak duyar. Söz konusu sınırdan daha yüksek frekanslı ses dalgaları ultrasonik olarak bilinir. Bu dalgalardan boyuna dalgalar katı, sıvı ve gazlarda oluşabildiği halde, enine dalgalar sadece katılarda yayılabilir.

Ultrasonik titreşimler; mekanik, piezoelektrik ve mağnetik gerilmeli yayıcılarla elde edilebilir. Katılarda ultrasonik dalgaları başlatmak için genellikle piezoelektrik ve magnetik gerilmeli yayıcılar kullanılır. Bir elektrik alanı içinde bulunduğunda şekil değiştirme kabiliyeti olan piezoelektrik özelliği kuvars kristalleri ve baryum titanat kristallerinde kuvvetlidir. Mağnetik yayıcılarda, mağnetik alan içine yerleştirilmiş çubuk veya boru şeklindeki ferromagnetik malzemelerin boyutlarında meydana gelen değişikliklerden yararlanılmaktadır. Demir, nikel ve kobalt gibi ferromagnetik metaller, mağnetik gerilmeli malzemelerdir. Yüksek magnetik gerilme etkisine ve korrozyon direncine sahip olan nikel ve alaşımları yayıcı konstrüksiyonunda sık olarak kullanılır. Güç kaynağı olarak ise (akım kaynağı - yüksek frekanslı generatör - kontrol ve ölçme devresi) kullanılır.

Ultrasonik uygulamaların çoğunda yüksek enerji yoğunluğu gerekli olduğu için enerjiyi küçük hacimde yoğunlaştıran değişik kesitli çubuklar odaklayıcı olarak kullanılır. Bütün odaklayıcı tiplerinde doğal frekans, yayıcının doğal frekanslarına eşit veya katları olmalıdır.

### **1.2- Metallerin Plastik Deformasyonuna Ultrasonik Dalgaların Etkisi:**

Ultrasonik titreşimlerle metallerde akustik zayıflama ve akustik pekleşme (tokluk) olarak bilinen durumlar ortaya çıkar. Ultrasonik plastik şekil değiştirmede, yavaşlamış dislokasyonlar harekete geçerek kaymalar kolaylaşmakta ve metalin şekil değiştirme direnci düşmektedir. Bu durum akustik zayıflama olarak açıklanır. Uygulanan akustik gerilmenin en düşük değerinin malzemenin akma gerilmesine eşit olması gereklidir.

Malzemeye ardışık plastik deformasyonların uygulanmasıyla akma gerilmesinde yükseldiği görülür. Herhangi bir numuneye ultrasonik titreşimlerden sonra normal şartlarda bir işlem uygulandığında mukavimleşme görülmüştür. Mukavimleşme (pekleşme) derecesinin, şekil değiştirme derecesine bağlı olduğu belirlenmiştir. Dislokasyon hareketlerinin kesişmeleriyle engeller oluşarak, dislokasyon yoğunluğu artar, birikmiş boşluk zincirleri oluşur. Bu tip dislokasyon yapısı, metalin normal haline göre daha mukavim olmasına yol açar [1

## **2- ULTRASONİK METAL ÇEKME YÖNTEMLERİ**

### **2.1- Çekme İşleminin Temel Kuralları:**

Çekme işleminin diğer şekil verme işlemlerinden temel farkı, bir parçadaki şekil değiştirme derecesinin, çekilen metal kesitinde meydana gelen maksimum çekme gerilmesi ile sınırlandırılmış olmasıdır. Ayrıca, işlem esnasında çekilen metal ile çekme matrisi cidarları arasında büyük sürtünme kuvvetleri doğar. Sürtünme kuvveti yalnız gerekli kuvveti yükseltmekle kalmayıp, şekil değiştirmenin ve takım aşınmasının düzensiz olmasına neden olur. Bundan dolayı, çekilen metaller çekme haddesi arasındaki sürtünme katsayısını düşürmek için yağlama veya metal yüzeyinin kaplanması gibi çarelere başvurulur. Çekme haddesi açısı, sürtünme katsayısı ve şekil değiştirme derecesi, malzeme akışını etkileyen faktörlerdir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre çekme kuvvetine etki eden faktörler şunlardır: Çekilen metalin sıcaklığı ve kimyasal çekme haddesi malzemesi, profili ve yüzey durumu, temas yüzeyindeki sürtünme, çekme haddesi açısı vb.

### **2.2- Ultrasonik Çekme Yöntemleri:**

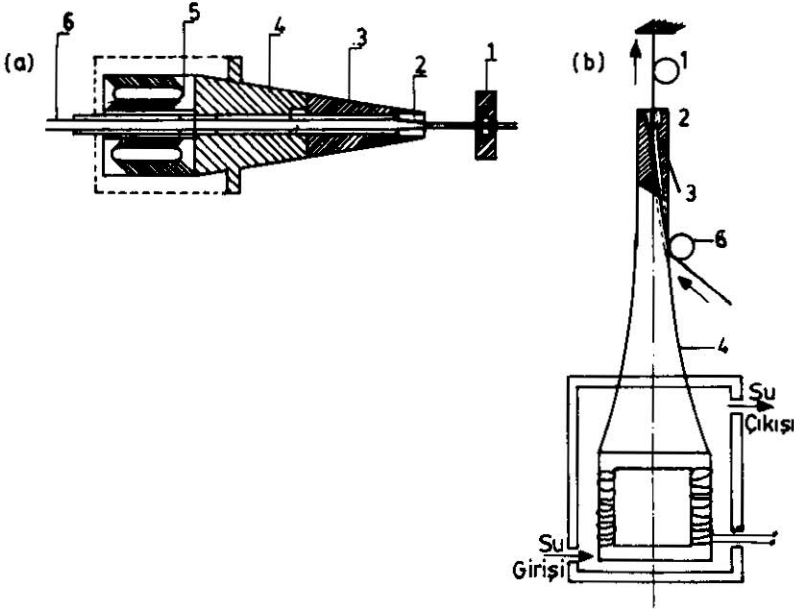
Ultrasonik çekmede sistem, yeterli akustik gücü sağlayabilmeli ve minimum kayıpla uygulama noktasına iletebilmelidir. Ultrasonik salınımların etkinliğini arttırmak için deformasyon bölgesinde akustik enerjiyi mümkün olduğu kadar yoğunlaştırmak gereklidir. Bu amaçla geliştirilen sistemler Şekil-1 de görülmektedir. Ultrasonik enerji odaklayıcısı ile çekme haddesinin birleştirilmesinde vidalı (Şekil-1 a) ve sıcak geçmeli (Şekil-1 b) bağlantı şekilleri kullanılır [1]. Vidalı bağlantı, çekme haddesinin kolaylıkla değiştirilmesi nedeniyle sürekli çekme işlemine uygundur. Buna karşılık akustik bağ zayıftır. Sıcak geçmeli bağlantı ise minimum akustik enerji kaybı ile temas sağlar. Fakat sürekli çekmeye uygun olmayıp paso sayısına bağlı olarak belli sayıda odaklayıcı hazırlanmasını gerektirir.

### **2.3- Boru ve Tüplerin Çekilmesi**

Kullanılan yöntemlerden birisi sabit malafaya ultrasonik titreşimlerin uygulanmasıdır. Malafa boyu, uygulanan sesin dalga boyunun yarısının tam katları

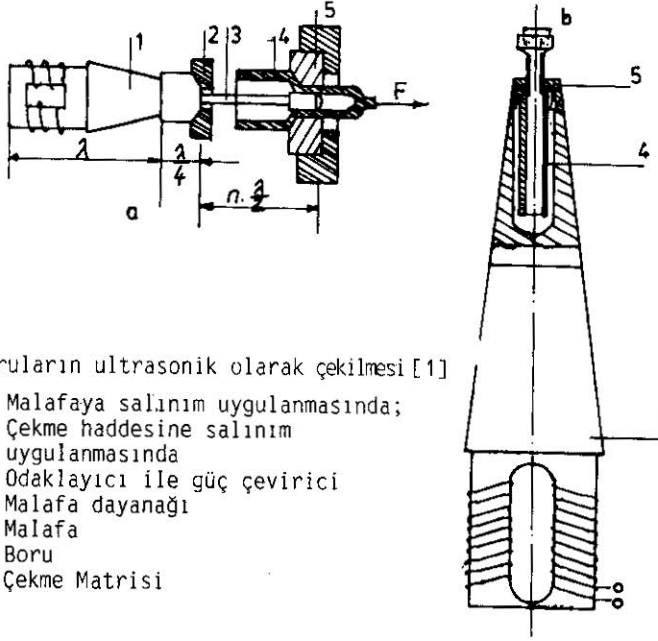
şeklinde seçilerek enerji kayıpları önlenir.

İkinci yöntem ise ultrasonik salınımların yalnız çekme haddesine uygulanmasıdır. Her iki usulde Şekil-2'de görülmektedir [1]. Bu yöntemlerden herhangi birinin seçimi mamulde aranan özelliklere göre yapılır. Eğer daha iyi kalitede iç cidar yüzeyi isteniyorsa ultrasonik titreşimler malafaya uygulanır. Boyuna ultrasonik salınımların dalga yayılma yönüne dik yönde çekme yapmak suretiyle de enine salınımlarla tel, tüp ve diğer profillerin çekilmesi mümkün olmaktadır (Şekil - 3). Ayrıca, tel veya boru yüzeyine teget doğrultuda çekme haddesi salınımlar uygulamak suretiyle burulma salınımları şeklinde çekme yapılır [1] .



Şekil-1: Ultrasonik çekme yöntemleri [1]

- a) Vidalanmış çekme haddesiyle
- b) Sıcak geçme çekme haddesiyle
- 1,6) Yansıtıcılar
- 2) Çekme matrisi
- 3) Odaklayıcı
- 4) Ara çubuğu
- 5) Güç çevirici



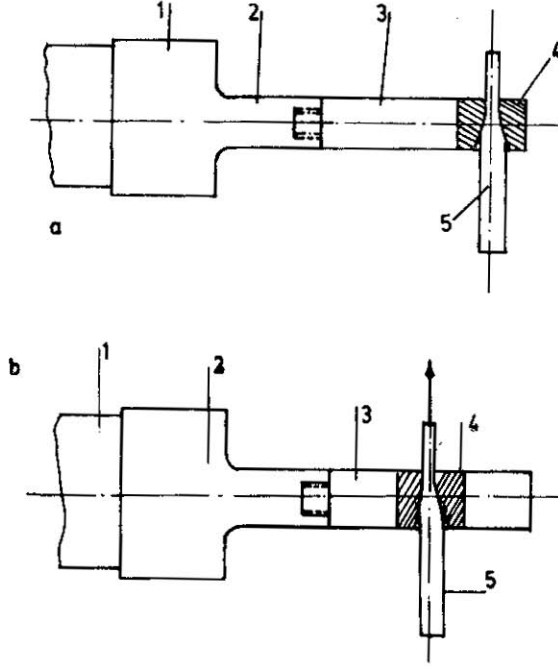
Şekil-2: Boruların ultrasonik olarak çekilmesi [1]

- a) Malafaya salınım uygulanmasında;  
 b) Çekme haddesine salınım uygulanmasında  
 1) Odaklayıcı ile güç çevirici  
 2) Malafa dayanağı  
 3) Malafa  
 4) Boru  
 5) Çekme Matrisi

### 3- ULTRASONİK TİTREŞİMİN ÇEKME İŞLEMİ DEĞİŞKENLERİNE ETKİSİ VE SONUÇLAR

#### 3.1- Kuvvet Parametrelerine Ultrasesin Etkisi:

Titreşim etkisiyle çekme kuvvetini düşürmek üzere 3 yönde araştırma yapılmıştır. Bunlar çekme yönünde boyuna salınımlar enine salınımlar ve burulma salınımlarıdır. Boyuna salınımlarla kuvvet düşüşü olmadığı ve bazı hallerde çekme işleminin imkansızlaştığı görülmüştür. Diğer taraftan enine ve burulma salınımları ile çekme kuvvetinde belirli miktar azalma olduğu ve işlemin stabil hale geldiği görülmüştür. Titreşimli çekmede, çekme haddesinin boyuna salınımlarının olumsuz etkisi, düşük çekme hızlarında (çekme haddesi salınım hızının yarısı veya 1/3'ü) ortadan kalkmakta ve çekme kuvvetinde azalma görülmektedir. Değişik malzemelerde ve farklı çekme hızlarında salınım hızına bağlı olarak çekme kuvvetindeki değişme Şekil-4' de gösterilmiştir [1, 2].

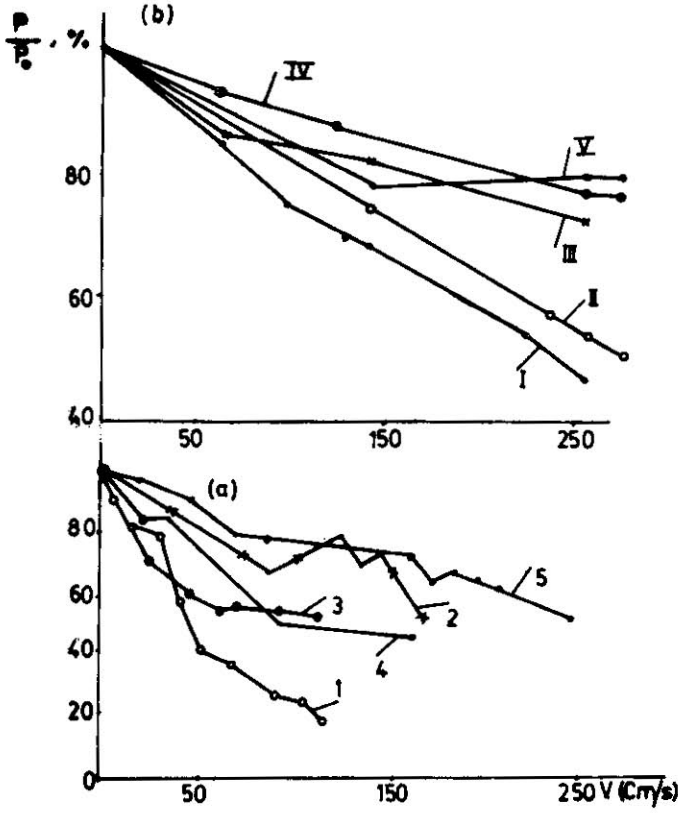


Şekil-3: Enine salınımlarla çekme düzeni [1] .

- 1) Güç çevirici
- 2) Odaklayıcı
- 3) Dalga klavuzu
- 4) Çekme matrisi
- 5) Tel

### 3.2- Ultrasesin Çekilen Parçaların Mekanik Özelliklerine ve Yüzey Kalitesine Etkisi

Şekil verme şartları ile de etkilenen mekanik özellikler ve yüzey kalitesi, çekilen parça kalitesini belirleyen iki temel unsurdur. Mekanik özelliklerin incelenmesi, sabit redüksiyon ve farklı salınım frekanslarıyla  $8^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$  ve  $12^{\circ}$  lik üç çekme haddesi açısında gerçekleştirilmiştir [3].



Şekil-4: Salınım hızına bağlı olarak çekme kuvvetindeki değişme [1,2]

a) Değişik malzemelerde,

- 1) Bakır,
- 2) Titanyum
- 3) Alüminyum
- 4) Pirinç
- 5) Paslanmaz çelik

b) Farklı çekme hızlarında

- |              |               |                |
|--------------|---------------|----------------|
| I) 3,25 cm/s | II) 9.42 cm/s | III) 37,4 cm/s |
| IV) 43 cm/s  | V) 68,5 cm/s  |                |

Normal şartlar altındaki çekmede, yüzey tabakası merkezden daha yüksek sertliğe sahiptir. Ultrasonik çekmede sertlik dağılımı daha düzgündür ve yüzey sertliği normal haldekine göre biraz daha düşüktür. Bu da, ultrasonik çekmede parçanın tüm kesitinin daha üniform olarak biçimlendirildiğini gösterir.

Yüzey kalitesi, öncelikle yağlayıcıya ve çekme haddesinin biçimlendirme yüzeyine bağlıdır. Normal şartlar altında çekilen tel yüzeyindeki pürüzlülük  $1.8 - 2.5 \mu$  iken 40 Hz frekanslı titreşimli çekmede bu değer  $1.1 - 1.5 \mu$  olmaktadır. Sonuç olarak, aynı hızla normal çekmeye göre pürüzlülük % 40 oranında daha düşük olmaktadır [1] .

#### 4- SONUÇ

- 1- Gerekli kuvvet ihtiyacı, boyuna salınımlarla azalma göstermez. Enine ve burulma salınımlarında kuvvet azalması tesbit edilmiştir.
- 2- Bakırın ultrasonik olarak çekilmesinde çekme gerilmesi, normal şartlara göre % 30 - 40 oranında daha düşüktür. Pirinç için düşme miktarı % 23 - 40 civarındadır. Çekme kuvvetinin şekil değiştirme derecesi ile bağıntısı normal şartlarda ve ultrasonik etki altında birbirine çok yakındır.
- 3- Şekil değiştiren metal üzerindeki ultrasonik salınım etkisi, tavlama etkisine benzer.
- 4- Değişik metallerde çekme mukavemetindeki düşme miktarı aynı değildir. Genel olarak bu düşme oranı % 50'dir. Ultrasonik çekme etkinliği, ultrasonik enerjinin çekme haddesine ve dolayısıyla biçimlendirilen metale uygulanmasında en doğru yöntemin seçilmesiyle yükselmektedir.
- 5- Aynı redüksiyon ve çekme hızında çekme kuvveti düşümü, Alüminyumda % 35, demirde % 33 dür. Çelik için düşme miktarı % 48 ve kurşun için % 62 olmaktadır.
- 6- Normal şartlar altında kurşun tellerin her pasoda % 21,6 lık redüksiyonla çekilmesi imkansızdır. Fakat ultrasonik uygulamayla her pasoda % 37 oranında bir redüksiyonla çekmek mümkündür.
- 7- Bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik tellerin çekilmesinde, çekme kuvvetindeki azalmanın 0 - 2.5 m/s aralığında çekme hızına bağlı olmadığı görülmüştür.



- 8- Tel çekmede kuvvet düşümü, Robinson tarafından iki faktörle açıklanmaktadır. Bu faktörlerden birincisi çekme haddesi ve tel arasındaki sürtünmenin azalmasıdır. İkincisi ultrasonik etkiyle biçimlendirilen metalin sünekliliğinin artması ve akma gerilmesinin azalmasıdır. Bu etki "Hacim Efekti" olarak bilinir [2] .
- 9- Çekme hızının artmasıyla orantılı olarak ultrasonik çekmede kuvveti düşürmek için çekme haddesi salınım hızının ( $V_a$ ), ( $u$ ) çekme hızından 3 kat veya daha fazla büyük olması gereklidir.
- 10- Akma gerilmesindeki düşme miktarı, ultrasonik salınımların şiddetine veya genliğine bağlıdır. Genliğin daha büyük değerlere doğru yükselmesiyle akma gerilmesi daha büyük derecede düşecektir. Bu durum düşük karbonlu çeliklerde yapılan deneylerle ispatlanmıştır.
- 11- Ultrasonik çekmede çekme kuvveti düşümü, her pasodaki redüksiyonun artırılarak paso sayısının azaltılmasını sağlar. Paslanmaz çelik tellerin çekilmesinde paso sayısı 12'den 8'e düşmüştür.
- 12- Ultrasonik salınımların etkisiyle biçimlendirilen malzemeye uygulanması gereken ısı işlem ve tavlama sayısı azalmaktadır.
- 13- Çekme gerilmesinin, salınım frekansına bağlı olmadığı görülmüştür.
- 14- Ultrasonik çekmede tel kesitindeki mikrosertlik dağılımı, normal şartlar altında çekilen teldekinden daha düzgündür. Mikrosertlik, çekme hızına veya çekme haddesi açısına bağlı değildir.
- 15- Ultrasonik tel çekmede, yüzey kalitesi aynı hızla normal şartlar altında çekmeye göre % 40 oranında daha iyi olmaktadır. Yani yüzey pürüzlülüğü % 40 daha düşük olmaktadır.
- 16- Ultrasonik çekmenin ana avantajlarından biride (dış çap/cidar kalınlığı) oranı büyük olan boruların imalinde kullanılabilmesidir. Bu yöntemle 130:1 oranında nikel borular elde etmek mümkündür.
- 17- Yağlamalı normal çekmede yüzey kalitesi bozulmasına karşılık ultrasonik çekmede yağlama şartlarında düzelme meydana gelir [4]
- 18- Titanyum, molibden, Manganez, Nikel ve Paslanmaz çelik gibi biçimlendirilmesi güç malzemelerin çekilmesi ultrasonik etkiyle kolaylaşmaktadır.

**KAYNAKLAR**

- 1- V.P. Severdenko, V.V. Klubovich, A.V. Stepanenko, "Ultrasonic Rolling and Drawing of Metals", A Special Research Report, consultant Bureau, Newyork, 1972
- 2- A.T. Robinson, "Wire and Wire Production" vol. 39, 1964
- 3- T.M. Golubev, G.P. Dyadechko, "The Question of Contact Friction in the Area of Deformation During Vibration Drawing", İzv. Vysshikh Uchebn. Zavedeni Cher. Met., No.2, 1965
- 4- K.M. Olsen, R.F.Jock, E.O. Fuchs, wire Drawing in Ultrasonically Agitated Liquid Lubricants, No. 40, 1965.