

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

***KESİCİ TAKIMDA AŞINMAYA BAĞLI SICAKLIK
DAĞILIMININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE
ANALİZİ***

Mak.Müh. Müzeyyen ERASLAN

F.B.E: Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal usulleri programında

hazırlanan

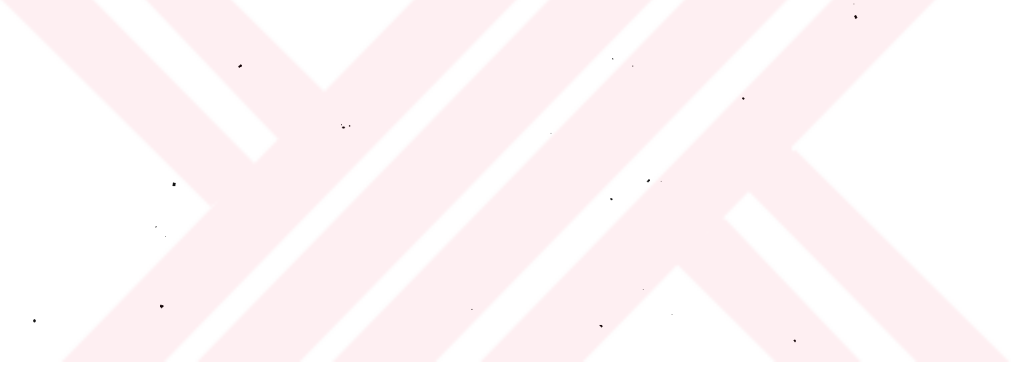
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Erhan ALTAN

İSTANBUL, 1994

Başta, Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında her aşamada gösterdiği tüm katkı, özveri ve destek için Saygıdeğer hocam Doç.Dr.Erhan Altan'a teşekkürü bir borç biliyorum. Tezimin hazırlanmasında emeği geçen tüm arkadaşlarıma, özellikle Yard.Doç.Dr. Paşa Yayla'ya, Arş.Gör.Yük.Müh Murat Kıyak'a, Mak.Müh. Can Anar'a ve manevi desteklerinden dolayı aileme çok teşekkür ediyorum.

Müzeyyen ERASLAN
Ocak 1994

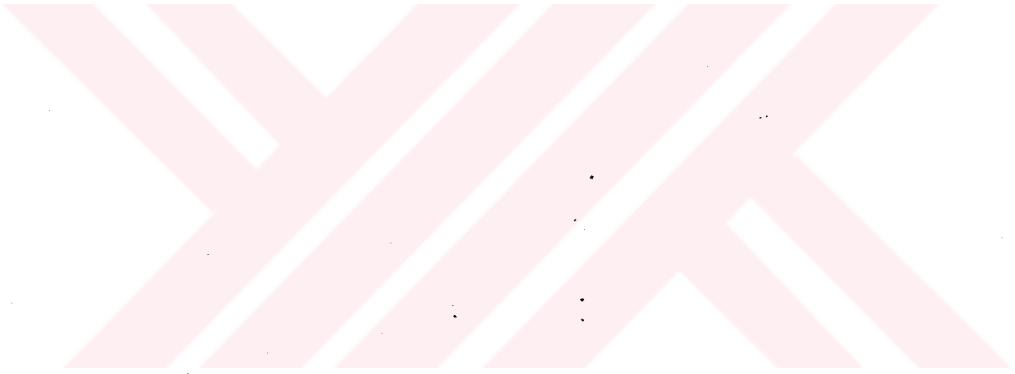


İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ
2. KESİCİ TAKIMDA, TAKIM AŞINMASI VE SICAKLIK DAĞILIMI
 - 2.1. Takım Aşınması
 - 2.1.1. Aşınma Çeşitleri
 - 2.1.1.1. Serbest Yüzey Aşınması
 - 2.1.1.2. Krater Aşınması
 - 2.1.1.3. Kesici Kenarın Bozulması
 - 2.1.2. Aşınmanın Oluşumu
 - 2.1.4. Aşınma Nedenleri
 - 2.1.3. Kesme İşleminin Aşınmaya Etkisi
 - 2.1.4.1. Abrasyon (Kazıma veya Mekanik Aşınma)
 - 2.1.4.2. Adhezyon (Yapışma)
 - 2.1.4.3. Diffüzyon (Yayınma)
 - 2.1.4.4. Tufallaşma
 - 2.1.4.5. Diğer Nedenler
 - 2.1.5. Takım Aşınması Ölçüm Yöntemleri
 - 2.1.6. Takım Ömrü ve Takım Ömür Denklemi
 - 2.1.6.1. Takım Ömrü
 - 2.1.6.2. Takım Ömür Kriterleri
 - 2.1.6.3. Takım Ömrünü Belirleyen Faktörler
 - 2.1.6.3.1. Kesme Şartları
 - 2.1.6.3.2. Takım Geometrisi
 - 2.1.6.3.3. Takım Malzemesi
 - 2.1.6.3.4. İş Parçası Malzemesi
 - 2.2. Metal Kesmede Sıcaklıklar
 - 2.2.1. Metal Kesmede Isı Oluşumu
 - 2.2.2. Hareketli Malzemede Isı Transferi
 - 2.2.3. Metal Kesmede Isı Dağılımı
 - 2.2.3.1. Birincil Deformasyon Bölgesinde Sıcaklıklar
 - 2.2.3.2. İkincil Deformasyon Bölgesinde Oluşan Sıcaklık Dağılımı
 - 2.2.3.3. Kesme Hızının Sıcaklığa Etkisi

3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE SICAKLIK DAĞILIMI ANALİZİNDE KULLANILMASI
 - 3.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi
 - 3.1.1. Elemanların Tanımlanması ve Özellikleri
 - 3.1.1.1. Lineer Yay Sistemleri
 - 3.1.1.2. Akış Sistemleri
 - 3.1.1.2.1. Bir Boyutlu Isı Akışı
 - 3.1.1.2.2. Akışkan ve Elektrik Şebeke Çalışmaları
 - 3.1.2. Sonlu Eleman Hesaplama Aşamaları
 - 3.1.2.1. Analizde Aşamalar
 - 3.1.2.2. Sonlu Eleman Tipleri
 - 3.1.2.3. Modelleme Kavramları
 - 3.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Sıcaklık Dağılım Analizi
 - 3.2.1. Konduksiyon
 - 3.2.1.1. Sonlu Eleman Formülasyonu
 - 3.2.1.2. Eleman Denklemleri
 - 3.2.1.3. Lineer Dengeli (Sürekli) Durum ve Geçişli Çözümler
 - 3.2.1.4. Lineer Olmayan Dengeli-Durum Çözümleri
 - 3.2.1.5. Lineer Olmayan Geçişli Çözümler
 - 3.2.2. Konvektif-Diffüzyon Denklemi
 - 3.2.2.1. Sonlu Eleman Formülasyonu
 - 3.2.2.2. Bir Boyutlu Problemler
 - 3.2.2.3. İki Boyutlu Çözümler
 - 3.2.3. Serbest ve Zorlanmış Konveksiyon
 - 3.2.3.1. Sonlu Eleman Formülasyonu
4. TALASLI ŞEKİLLENDİRMEDE TAKIMDA OLUŞAN SICAKLIK DAĞILIMLARININ ANALİZİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR
5. TALASLI ŞEKİLLENDİRMEDE KESİCİ TAKIMDAKİ AŞINMAYA BAĞLI SICAKLIK DAĞILIMININ ANALİZİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR
 - 5.1. Kesici Takımda Serbest Yüzey Aşınması İle İlgili Yapılan Çalışmalar
 - 5.2. Kesici Takımda Krater Aşınması ile İlgili Yapılan Çalışmalar

6. SONLU ELEMEN PAKET PROGRAMI İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN
ÇALIŞMA
- 6.1 Cosmos/M Sonlu Eleman Paket Programı
- 6.2 Sonlu Eleman Paket Programı (Cosmos/M) Kullanılarak Gerçekleştirilen
Çalışma
- 6.3 Sonuç
- 7 SONUÇ
KAYNAKLAR
EKLER
ÖZGEÇMİŞ



ÖZET

Kesme takımının aşınması, takım ömrü ölçümünde ana parametredir. Bu parametre, farklı etkiler oluşturur, bitmiş iş parçası yüzeyi, işlenen yüzeylerin ölçülerinin doğruluğu vs. gibi.

Takım aşınması çalışması için klasik metod dış değişkenlerin kontrolü ve "takım ömrünün" ölçümü ile oldu. Bu yaklaşım, pratik kesme koşullarının seçimi için veri bulmada hala çok yararlıdır. Bununla beraber, yeni kesici takım malzemelerinin gelişimi, yüksek dayanımlı alaşımlar ve yeni iş malzemeleri için, işleme metodlarının planmasında aşınma prosesinin basit olarak anlaşılabilmesi istenir.

Kesme işleminden olan takım aşınmasının miktarı parametrelerin sayısına bağlıdır. Ana parametreler, aşınma prosesinde ve kesme bölgesindeki sıcaklık alanına sebep olan kesme hızıdır.

Bu günün imalatında en sık kullanılan işlemlerden biri kesme olmasına rağmen kesme işleminin genel tahmin modeli henüz mevcut değildir. Sebep kesme ile bağlantılı faktörlerin çok olmasıdır.

Metallerin plastik deformasyonu daima, mekanik enerjinin sarfıyatı ile yan yana bulunur. Eğer deformasyon hızla yerleşirse bu mekanik enerji hemen hemen tamamen metalin sıcaklığını yükselten ısı enerjisine dönüşür. Kesme takımının termal bozulması, sıcaklık gradientine bağlıdır.

Yaklaşık 1962 den beri, metal kesmede takım aşınması ve diğer işlem parametreleri arasındaki ilişkiyi geliştirmek için çok sayıda teşebbüs olmuştur.

Bu çalışmada, dikey metal işlemede negatif talaş açısı ile kesici takımında serbest yüzey aşınmasının sıcaklığa olan etkisi, iş parçası, talaş takım ve takım tutucu üzerindeki sıcaklık dağılımı sonlu eleman paket programı kullanılarak analiz edildi. Sonlu eleman paket programı olarak Cosmos/M kullanıldı. Takım serbest yüzey aşınmasının sıcaklığa etkisini bulmak için iki model oluşturuldu. Bunlardan ilki, bilenmiş bir takım ile yapılan ikincisi ise serbest yüzeyinde 0.3 mm aşınma olan takım ile işlemin gerçekleştirilmesidir.

Her iki modelde iş parçası, talaş, takım ve takım tutucudaki sıcaklık dağılımı bulundu. Bu çalışmada daha önceki araştırmacıların modelleri temel olarak alınmış ve metal kesme uygulamaları modifiye edilmiştir.

Cosmos/M programı ile elde edilen sıcaklık dağılım eğrileri, bu güne kadar yapılanlardan farklı olarak parça, takım, takım tutucu ve talaş üzerinde birlikte analiz edilmiştir. Çalışmada -talaş açısı kullanılmamıştır ki bu önceki çalışmalarda çok az kullanılmıştır. Genelde HSS ve sadece sert metal plaket üzerinde yapılan çalışmalara karşı, bu çalışmada plaket ile birlikte takım tutucuda sıcaklık dağılımı analizinde ele alınmıştır. Çalışmada, sıcaklık dağılımını etkileyen soğutma sıvısı kullanılmamıştır, soğutma söz konusu olduğunda takımındaki sıcaklık dağılımının farklılık göstereceği göz önüne alınmalıdır. Çalışma ele alınan parametreler ölçüsünde önceki çalışmalarla uyum göstermektedir. Deneysel çalışmalarda ayrıca bu yazıda rapor edilmektedir.

SUMMARY

The wear of a cutting tool is the main parameter in defining its life span. This parameter is accompanied by several effects, such as workpiece surface finish, accuracy of the machined part dimensions and more.

The classical method for studying tool wear has been by control of the external variables and measurement of "tool life". This approach is still very useful to obtain data for selection of practical cutting conditions. However, for the development of new cutting-tool materials and for planning machining methods for high-strength alloys and other new work materials a basic understanding of the wear process is desirable.

The amount of tool wear resulting from a cutting process depends upon a number of parameters. The main parameter is the cutting speed, as it causes the largest changes in the wear process and in the temperature field in the cutting region.

Although cutting is one of the most frequently used processes in manufacturing today, a general predictive model of the cutting process is not yet available. The reason is that the complexities associated with cutting are enormous.

The plastic deformation of metals is always accompanied by the expenditure of mechanical energy. If the work is converted almost entirely into heat energy which raises the temperature of the metal.

Since about 1962, there have been a number of attempts to develop relationships between tool wear and other process variables in metal cutting.

In this study, how flank wear affects temperature and temperature distributions in workpiece, tool, toolholder and chip, have been analyzed over orthogonal machining with negative rake angle, using finite element software. Cosmos/M was used as a finite element software. Two models were performed to determine effect of flank wear. First one was grinded, second one (2. Model) has 0.3 mm initial flank wear. Both of them have included temperature distribution on workpiece, tool, toolholder and chip.

This work is based on a model suggested by previous investigators, and modified to a metal cutting application.

The temperature distribution curves obtained by Cosmos/M were analyzed on workpiece, tool, toolholder and chip together as different before. In this study was used negative rake angle which there isn't enough study about. Generally, HSS and only carbide tool has been worked, whereas in this study tool as well as toolholder was studied together. Coolant was not used that affects temperatures. The temperature will change using a coolant, it must be considered. There is an agreement between this and previous studies under conditions which are considered here.

Experimental studies are also reported in the study.

KESİCİ TAKIMDA AŞINMAYA BAĞLI SICAKLIK DAĞILIMININ SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler, imalat alanında büyük yatırımlar yanında, yüksek güvenilirlik, verimlilik sağlayan yeni sistemler oluşmasına neden olmuştur. Bu tür sistemlerde operasyonlar gerçekleştirilirken, operatör varlığı söz konusu olmadığından kesme takımlarının bozulmalarını algılayan ve takım hareketlerini kontrol eden bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır.

Kalitenin azalmasında ve boyutsal farklılıkların oluşmasında temel neden, takım aşınması veya takım bozulmasıdır. Takım ömrünün saptanması kolay olmamaktadır. Çünkü saptanan değer bir çok faktöre bağlıdır. Bu yüzden yıllarca süren uğraşılardan sonra, bir çok aşınma sensörü geliştirilmiştir.

Yaklaşık 1962 'den beri, metal kesmede takım aşınması ve diğer işlem çeşitleri arasındaki ilişkiyi geliştirmek için çok sayıda teşebbüste bulunulmuştur.

Talaşlı şekillendirme esnasında çok büyük ısı ve mekanik zorlamalara maruz kalan sert metaller çeşitli şekillerde aşınırlar. Takım aşınmasının sıcaklık ölçümü ile belirlendiği metotta 3 teknik düşünülmüştür. a) Takım-iş parçası birleşiminden doğan termal elektromotor kuvveti ile kesme sıcaklığı ölçme. b) Termal elemanlarla kesme sıcaklığı ölçme. c) İnfraruj tekniği ile ortalama sıcaklık belirleme.

Metal kesme takımlarında, sıcaklıkla ilgili olarak yapılmış çok sayıda inceleme vardır. Chao ve Trigger takım-talaş ve takım-iş parçası arayüzelerindeki sıcaklık dağılımlarının hesaplanması için analitik çözümler buldular. Chao, Li ve Trigger keskin takımın yan yüzeyi boyunca sıcaklık dağılımlarını ölçmek için kızıl ötesi sensör kullandılar. Olberts, arayüzey sıcaklıklarında yan yüzey aşınmasının etkisi üzerine yaptığı çalışmasında takım-iş ısı çiftini kullandı. Reichenbach iş parçası ve talaştaki sıcaklık değişimlerini ölçtü. Boothroyd, tavllanmış pirinç ve çelik iş parçalarındaki ısı değişimlerini ölçmek için kızıl ötesi fotoğraf kullandı ve daha sonra sonlu fark tekniği ile birincil ve ikincil kesme bölgelerinde lokal ısı oluşum oranlarını

hesapladı. Groover ve Kane' de iki boyutlu kesme takımında sıcaklık dağılımını tahmin için sonlu farklar tekniğini kullandı.

Çeşitli araştırmacılar, birincil kesme düzlemi boyunca sıcaklık değişimlerini çözmek ve iş parçası ve talaşa giden birincil kesme bölgesi sıcaklığının miktarını saptamak için çalışmalar yaptılar.

Belirtilen bu çalışmalar, kararlı durum için yapıldı, ancak kesme takımlarının geçiş sıcaklık davranışları için ise çok sınırlı araştırmalar mevcuttur.

Rall ve Giedt takım içine ısı çiftleri soktu ve zamanın fonksiyonu olarak sıcaklığı ölçtü. Ölçümleri, takımlarının kararlı duruma ulaşmak için yaklaşık 1.5~2 dakikaya ihtiyaç duyduğunu gösterdi. Reichenbach, yaptığı ölçümlerden, 3 ayrı geçiş in ortaya çıktığını saptadı. İlki, kesme başlangıcında takım-talaş arayüzeyindeki küçük sertliklerin ısıyı arttırdığı ve takım-talaş ısı çifti ile gösterildiği gibi hızla yarı-kararlı duruma gelir. İkinci olarak ısı takım içine akar ve kararlı durum şartlarına erişir. Sonuncu olarak iş parçası kararlı hale gelir.

Metal kesmede, takım-talaş-iş parçası sisteminde oluşan ısı, iş parçası ve takımın her ikisinin de özelliklerini etkilemektedir. Bundan dolayı ısı, kayma açısını, talaşın mikro-sertliğini, kesme kuvvetini, takım sıvanmasını, yüzeyi, akışta kayma gerilmesini ve talaşın tipini etkilemektedir.

Deneysel teknikler, ortalama takım-talaş arayüzey sıcaklığın belirleme yanında, takım, talaş ve iş yüzeyindeki sıcaklık alanında belirlemede kullanılmaktadır. Bu gibi deneyler, düşük doğruluk vermektedir, kullanımları hantaldır ve sadece basit örneklerde uygulanabilirler. Bundan dolayı, analitik yaklaşım, metal kesme işleminin termal hallerinin derinlemesine analizini yapmaya dayandırılır.

Boyuna dik tornalama esnasında sıcaklık değişiminin analitik çalışması için bir kaç teşebbüs yapıldı. Ama bu gibi analizler kolaylaştırılmış varsayımlara esas alındı ve bundan dolayı kullanımları sınırlıdır. Bu yüzden, sonlu elemanlar metodu gibi numerik teknikler her geçen gün daha geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.

2. KESİCİ TAKIMDA, TAKIM AŞINMASI VE SICAKLIK DAĞILIMI

2.1. TAKIM AŞINMASI

Talaşlı şekillendirme esnasında çok büyük ısı ve mekanik zorlamalara maruz kalan sert metaller çeşitli şekillerde aşınırlar. Bu aşınma, kesme noktasının tamamen yer değiştirmesi olarak takıma yansır. Bu aşınmalar:

1. Doğru sert metal kalitesi seçilerek,
2. Doğru kesme şartlarında çalışılarak,
3. İmalata uygun sert metal seçilerek azaltılabilir.

En iyi verim kısa zamanda fazla miktarda talaş kaldırmakla sağlanır. Bu da kesme hızı, ilerleme hızı ve paso derinliğinin artırılması ile mümkündür. Kesme hızının artırılması takım direncinin belirli bir sınırdan sonra bulması ile sınırlanmıştır. Bu sınırdan sonra aşınma hızla büyüme gösterir.

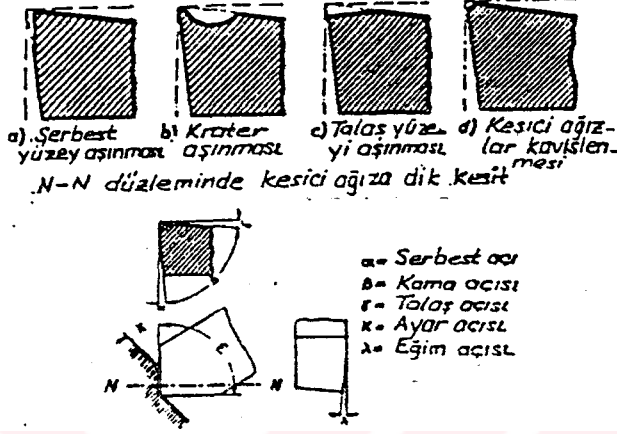
Bazı hassas talaş kaldırma işlemlerinde aşınmanın meydana gelmemesi, takımın işlem süresince sertliğini muhafaza etmesi önemlidir. Bu sebeplerden dolayı kesme şartlarının sınırlandırılması zorunlu hale gelir.

Takım bozulması: Bir takımın istenilen değerlere göre bir parçayı imal etme kabiliyetini kaybetmesine takım bozulması denir. İlk bozulma belirtisi kesme kenarından küçük bir parçanın kopması ile kendini gösterir. Kopmanın kesme yüzeyinde olduğu durumlarda parçanın yüzey durumu bozulur ve kopan kısımda taban açısı sıfır civarında olduğundan, sürtünme ile oluşan ısı sebebi ile kesme yüzeyi menevişlenerek renklenir. Kopma yeri büyüdükçe bu renkli şerit genişler ve nihayet kesme kenarı ani olarak harab olur. Takım kesme işlemini yerine getiremez ve parçayı zorlayarak sıvamaya başlar. Takım ömrü artık son bulmuştur /4.1/.

Takım ömrünün belirlenmesinde çoğu kez takımın son harabiyeti esas alınır. Fakat, yüzey düzgünlüğünün çok iyi olması istenilen otomatik tezgahlarda, takım ömrü ilk bozuluncaya kadar geçen zaman olarak alınır.

2.1.1. AŞINMA ÇEŞİTLERİ

Bir takım yararlı çalışma süresi boyunca, zorlama türü ve süresine bağlı olarak kendine özgü bir şekilde aşınır. Bu olay işleme şartları, takım-iş parçası malzemelerinin özelliklerine bağlı olarak değişim gösterir.

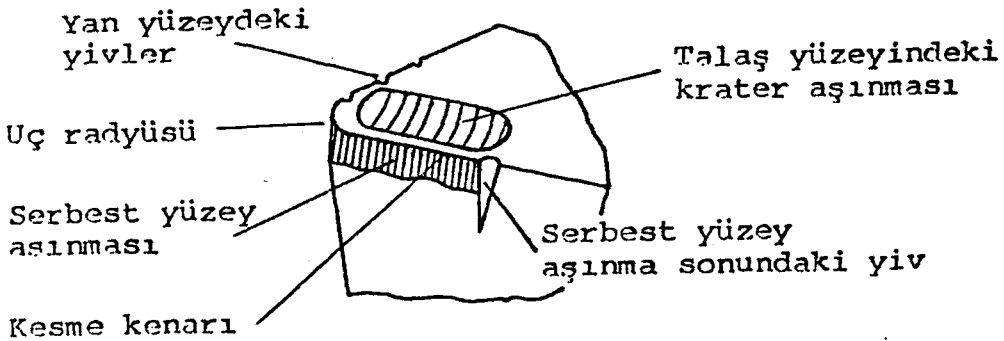


Şekil 2.1. Aşınma çeşitleri

Bir takımında oluşabilecek başlıca aşınma türleri Şekil 2.1 'de gösterilmiştir. Bu aşınmaların en belirgin ve yaygın olanları; serbest yüzey aşınması (flank wear) ve talaş yüzeyinde oluşan krater aşınması (crater wear)dır. Bu aşınma türleri pratikte belirleyici kriter olarak kullanılır.

2.1.1.1. SERBEST YÜZEY AŞINMASI

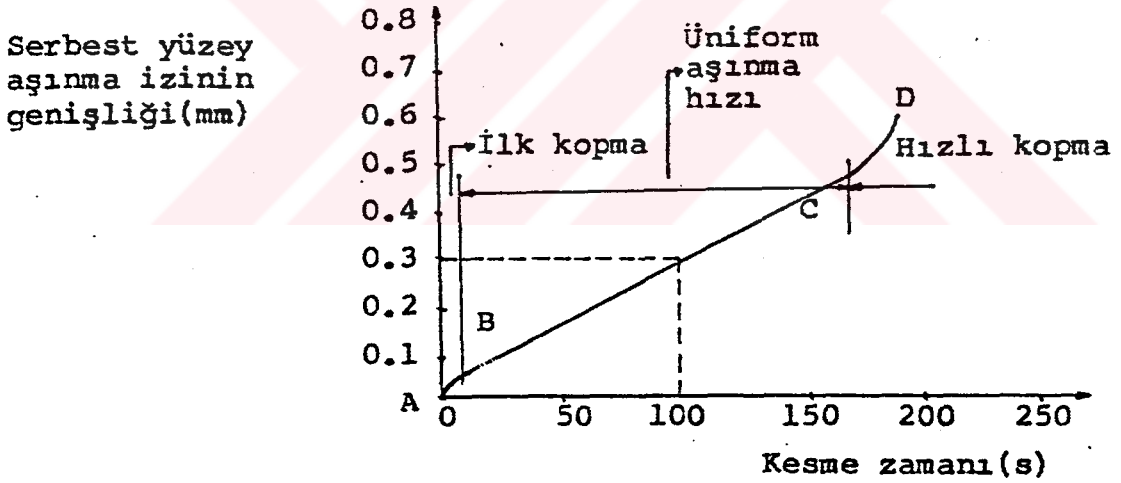
Serbest yüzey aşınması, takım serbest yüzeyi ile iş parçasının yeni işlenmiş yüzeyi arasındaki temas bölgesinde oluşan sürtünmeden meydana gelir. İş parçasının rijitliği nedeniyle, aşınma miktarını ölçüsü olarak genellikle aşınma bölgesinin genişliği alınır.



Şekil 2.2. Krater ve serbest yüzey aşınması.

Kolaylıkla bir atölye mikroskobu ile ölçülebilen serbest yüzey aşınması (Şekil 2.2), genelde kontrol edilir. Serbest yüzey aşınması ilerledikçe kesme kuvveti ve kesme esnasında oluşan ısı artarak ortaya yeniden işlenmesi gereken kötü bir yüzey çıkar. Serbest yüzey aşınmasının genişlemesi üç kısımda incelenebilir (Şekil 2.3).

1. İlk kırılma bölgesi olan AB bölgesi. Talaş kaldırma esnasında oluşan plastik deformasyon ve sıcaklıktan dolayı, kesici ağız hemen kırılarak B noktasına ulaşır ve küçük bir aşınma meydana gelir.
2. BC bölgesinde aşınma hemen hemen sabit bir hızda ilerler.
3. C'den sonra aşınma hızla artarak D noktasındaki bükülmeden sonra takım kırılır. D noktası serbest yüzey aşınmasının kritik noktası veya kritik serbest yüzey aşınması olarak adlandırılır.



Şekil 2.3. Zaman-serbest yüzey aşınma değişimi.

CD bölgesinde takım aşınması, ilerleyen takım aşınmasına göre oldukça hassastır. CD bölgesinden önce önemli miktarlarda aşınma oluşur. Bu yüzden sürtünmeler ve sıcaklıklar artar. Bu bölgeye girilmeden önce takım bilenmeli veya değiştirilmelidir. Aksi halde aşırı aşınmalar oluşarak takım kırılır.

2.1.1.2. KRATER AŞINMASI

Kesme işlemi süresince takımın talaş yüzeyi boyunca akan talaşın, yüzeyle temasta olduğu noktada ara yüzey sıcaklıkları ve yüksek temas geriliminden dolayı talaşın alt kısmının şekline uyan bir krater oluşur. Bu olay sadece talaş-takım temas bölgesinde oluşur. Kesici kenara yakın bölgede bu oluşum azdır.

Yüksek kesme hızlarında oluşan sıcaklıklar 1000 °C 'ye kadar çıkabilmektedir. Sıcaklıktan dolayı hız çeliği takımları yumuşayarak çok çabuk aşınırlar. Sert metal takımlarda sertlik muhafaza edilse bile difüzyon (yayınma) ile hızlı bir aşınma gözlenir.

Krater aşınmasının ölçümünde şu kriterler kullanılır:

1. Maksimum krater derinliği (KT): Bu kriter pek çok araştırmacı tarafından krater aşınmasının ölçümünde kullanılmıştır. Kesme hızında ve kesme değişkenlerinde yapılan artışlar, krater derinliğinin artmasına neden olur. Takım uç yarıçapının krater derinliği üzerinde bir etkisi yoktur.
2. Kraterin son şekli: Aşınma sebebi ile oluşan kraterin son şekli ve boyutlarında bir kriter olarak kullanılır.
3. Krater merkezinin hareketi ve son yeri :Kraterin merkezini oluşturan krater derinliği, kraterin temel gelişimini gösteren bir kriterdir.

2.1.1.3. KESİCİ KENARIN BOZULMASI

Talaşlı şekillendirme esnasında, çeşitli mekanik ve ısıl zorlamalar sonucu takımların kesme kenarları çeşitli şekillerde bozulur. Bu bozulmalar şu şekilde oluşur:

1. Kırılmalar: Takımın kama açısı çok küçük ve takım malzemesinin gevrek olduğu durumlarda, kesme kuvvetleri ve ısıl zorlamalar sonucu takımda kırılmalar, çentikler ve ufak dökülmeler oluşur. Tok ve sünek malzemelerin talaşları da takıma yapışabildiğinden kırılmalar oluşabilir.

İş parçası içinde kalan sert ve metalsel olmayan kalıntıların, takımda ufak kırıntılara neden olmaması için sert metaller kullanılır.

2. Enine (çapraz) çatlaklar: Frezeleme gibi kesikli kesme işleminde, kesici takımın şiddetli olarak değişken zorlamalara maruz kalması ile enine çatlaklar oluşur. Takım malzemesinin sert olduğu durumlarda olay daha hızlıdır.
3. Tarak şeklinde çatlaklar: Sürekli sıcaklık değişimi etkisi altındaki takım uçlarında ısıl soklardan dolayı çatlaklar oluşur. Çatlakların takım üzerindeki dağılımı, sıcaklık dağılımına bağlıdır.
4. Plastik deformasyon: Yeterince sünek olmayan ve biçim değiştirme direncinin çok az olduğu malzemelerde, kesme kenarı plastik deformasyona uğrayabilir.

Takım sıcaklığının çok artarak takım malzemesinin yumuşadığı durumlarda plastik deformasyon oluşabileceği gibi, tam sertleşmemiş takım çeliklerinde ve bağlayıcı miktarı fazla olan sert metallerde de görülebilir.

2.1.2. AŞINMANIN OLUŞUMU

Aşınmayı oluşturan nedenler, her kesme şartlarında farklı olarak aşınmayı oluşturacağı gibi, aynı kesme şartlarında her zaman aynı derecede etki etmez. Aşınma genel olarak kesici takım cinsine, kesme şartlarına ve işlenen malzemeye bağlıdır. Aşınmanın sebepleri şöyle özetlenebilir:

1. Takımın temas eden kısmının kimyasal çözülmesi,
2. Takımdaki kesici ağzın plastik deformasyonu,
3. İşlenen malzemede bulunan sert parçacıkların mekanik sürtünme ile aşındırıcı (abrazif) etkileri,
4. Takımla iş parçası arasındaki difüzyon oluşumu,
5. İşlenen malzeme ile takımın yüzeyindeki pürüzlerin birbirine kaynaması

Aşımının oluşumuna en fazla kesme sıcaklığı etki eder. Kritik sıcaklığı aşan sıcaklıklar, takımla parça arasındaki difüzyon hızını süratle artırır. Ayrıca kritik bir sıcaklık derecesinden sonra, takımlar süratle sertlik ve aşınma mukavemetlerini kaybederler.

Talaş kaldırma işleminde kesme sıcaklığı en çok kesme hızı ve ilerlemenin etkisindedir.

2.1.3. KESME İŞLEMİNİN AŞINMAYA ETKİSİ

Kısa takım ömürlerinde kritik sıcaklıkta veya yakınlarında olan kesme sıcaklığı, kritik noktadan uzaklaştıkça difüzyon ve kimyasal çözülme yoluyla aşınmanın azalmasına neden olur.

Sünek bir malzemenin işlenmesi, krater ve serbest yüzey aşınmaları ile takım geometrisinde değişiklik meydana getirir. Bu değişiklik talaş oluşumuna yansyarak, talaş şeklinin değişmesine neden olur.

Takım aşınmasının belirlenmesinde bir diğer unsur da yüzey kalitesinin değişmesidir. 57 dakika süre ile kesme hızı 57.8 m/dak ile yapılan bir çalışmada, takımın bozulmadan 5 değişik yüzey kalitesi oluşturduğu izlenmiştir. İlk iki dakikalık süre içinde, temiz ve kırıntılı talaşın önemsiz izleri görülmüş, 11. dakika içinde mat ve çizgili izler elde edilmiştir. 25. dakika sonunda istenmeyen bir yüzey yapısı, 45. dakikada takımın bozulmasıyla çok çizgili bir yüzey, son dakikada da tamamen bozuk bir yüzey elde edilmiştir.

2.1.4. AŞINMA NEDENLERİ

Aşınma yalnızca bir sebepten oluşmaz, bir çok olayın etkisi altındadır. Aşınma oluşumu üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda, aşınmanın nedenleri olarak aşağıdaki etmenler bulunmuştur:

2.1.4.1. ABRAZYON (KAZIMA VEYA MEKANİK AŞINMA)

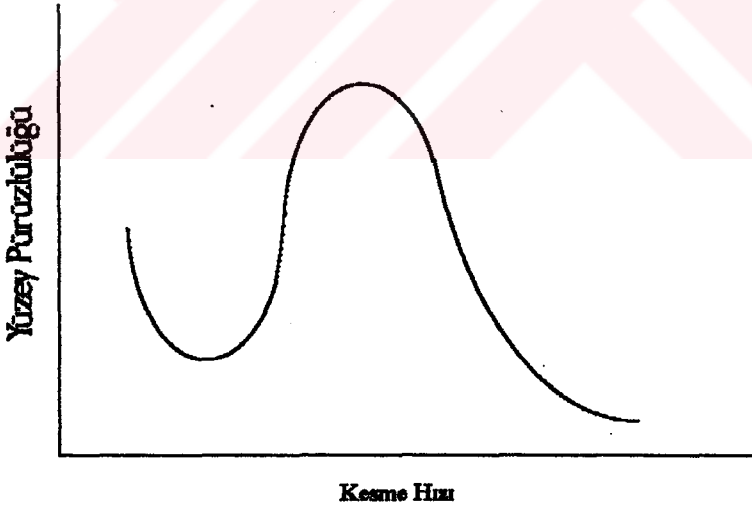
En basit aşınma, bir yüzeydeki pürüzlerin diğer yüzey boyunca sürtünmesidir. Abrazyon aşınmasında, talaşın alt yüzeyindeki çok sert parçacıklar, takımın talaş yüzeyini mekanik olarak kazıyarak aşındırırlar. Bu çok sert parçacıklar, gerinimle pekleşmiş yığılma ağız parçacıkları

olduğu gibi, iş parçasında bulunan sert kısımlar veya kesici takımdan koparak talaşa yapışan parçacıklar olabilir.

2.1.4.2. ADHEZYON (YAPIŞMA)

Çok şiddetli plastik deformasyona maruz kalan işlenmiş yüzeyler aktifleşirler. Bu yüzeyler, takımın talaş yüzeyine yapışırlar ve bir pres kaynağı oluşur. Bu oluşan kaynak ağzları (yığma ağzlar) iş parçası malzemesinin pekleşmiş parçacıklarıdır. Takıma yapışan bu parçacıkların talaş basıncı ile şekilleri değişerek sertliği yükselir. Kesme işlemi ilerledikçe talaş kaldırma işlemini bu ağız yapmaya başlar. Bir süre sonra bu ağız koparak, takım malzemesinden de bir parça alarak takımı aşındırır. Kaynak ağızı üzerinden talaşın kayarak talaş yüzeyine tam temas etmediğinden krater aşınması çok küçük boyutlardadır.

Şekil 2.4 'de verilen eğride, serbest yüzey aşınması kesme hızı ile artmakta, artan bu eğride iki belirgin eksterm noktası oluşmaktadır. Aşınma ilk önce maksimuma ulaşmakta, bu değere karşılık gelen kesme hızı yığma ağız boyutlarının en yüksek değerinde oluşmaktadır.



Şekil 2.4. Kesme hızı ile yüzey pürüzlülüğünün değişimi.

Maksimum noktadan sonra serbest yüzey aşınmasının azalması, yığma ağzın rekristalizasyon olaylarının pekleşmeyi azaltması yüzündendir. Yığma ağızı, kesme yüzeyi ile serbest yüzey arasında hareket etmez, talaş yüzeyinde kayar. Şekildeki eğride, maksimum ve minimum noktalarının yeri sıcaklığa bağlıdır.

2.1.4.3. DİFÜZYON (YAYINMA)

Difüzyon, metal atomlarının yoğun bir bölgeden yoğun olmayan bir bölgeye geçmesidir. Aşınma, temas edilen yüzeylerdeki atomik transfer (difüzyon) dir.

Difüzyon, sürtünme ile ilgili olarak sıcaklığa bağlıdır. Yüksek sıcaklıklar sonucu, atomlar arası karşılıklı yer değiştirme meydana gelerek, takım yüzeyi zayıflar ve aşınır. Takım ve hız çeliklerinden yapılan takımlar, difüzyon sıcaklıklarına (1000 °C'nin üzerinde) çıkmazlar ve yumuşayarak bozunurlar. Bu yüzden difüzyon olayı sert metallerde oluşur. Difüzyonla şu olaylar oluşur:

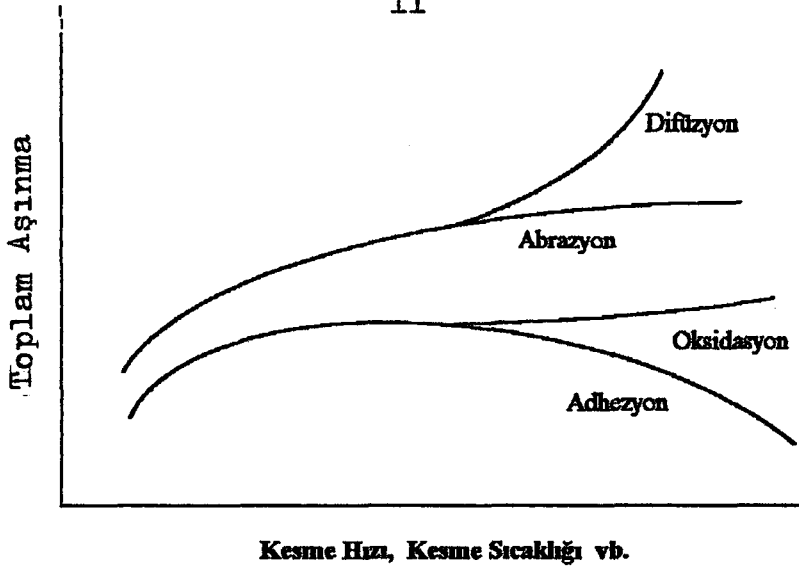
Takım yumuşamasına ve plastik olarak akmasına neden olan karbon difüzyonu, takım temel bileşenlerinin iş parçasına difüzyonu, takım yardımcı bileşenlerinin iş parçasına difüzyonu, iş parçası malzeme bileşenlerinin takıma difüzyonu, takım malzeme bileşeninin iş parçası malzemesini etkileyerek difüzyonu.

2.1.4.4. TUFALLAŞMA

Kesme işleminden sonra, takımın temas yüzeylerinin yakınlarında oluşan renklenmeler, kesici malzemenin tufallaşmasının (oksidasyonunun) bir göstergesidir. Kesme kenarının yakınlarında oluşan kesme sıcaklıkları ve havadaki oksijen, WC içeren takımlarda oksit filmi oluşturur, havadaki oksijenin serbestçe girdiği yüzeyleri örterek, takımın serbest ve talaş yüzeylerinin kaplanmasına neden olur.

2.1.4.5. DİĞER NEDENLER

(i) *Yorulma*: Kesme işleminde oluşan sürtünme ile takımdaki pürüzler bir yandan sıkışırken bir yandan çekme gerilmesine uğrar. Bu olayın tekrarlanması malzemenin yorulmasına neden olur.



Şekil 2.5. Sert metal takımlarda aşınma karakteristikleri.

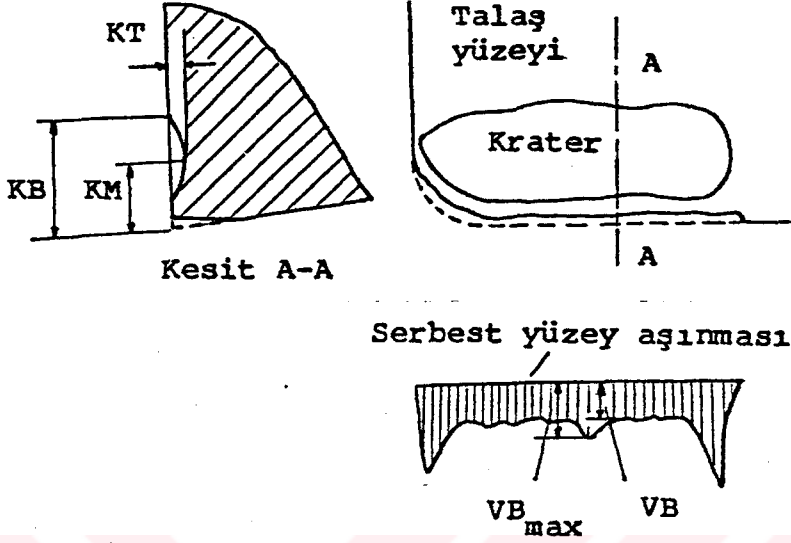
(ii) *Elektro-kimyasal etkiler:* Kesme işleminde oluşan yüksek sıcaklıklar, karbon iyonlarının difüze olmasına neden olarak bir termoelektrik akım oluşturur. Temas yüzeyinde bir oksit tabakası oluştuğunda yalıtkan görevi yaparak akımı keser. Böyle bir tabakanın oluşmadığı durumlarda takımın tezgahıtan izole edilmesi veya bu akıma zıt bir elektromotor kuvveti uygulanması gereklidir.

2.1.5. TAKIM AŞINMASI ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Takım aşınması, klasik yöntem-kesintili ölçme yöntemi olarak bilinen ve takımın iş parçasından ayrılmasından sonra yapılan ölçüm yöntemi ile belirlenebilir. Fakat bu tür ölçümlerde, beklenmeyen bir aşınma artışı hakkında bilgi sahibi olmak mümkün değildir. Ayrıca bu yöntemler adaptif sistemlere uygun değildirler.

Talaş ve serbest yüzeylerde oluşan aşınma düzgün boyutlarda değildir. Bu yüzden bir aşınma kriterinin saptanması gereklidir. Krater aşınmasının değeri aşınma yüzeyi boyunca değişir. Serbest yüzey aşınmasında da başlangıç ve bitişlerde yivler oluşur. Malzeme ilk işlenmeye başladığında, oluşan şartlar kesici ağzın işlem yapan kısmına göre daha şiddetli ve karmaşıktır. En son kısımda oluşan yivler ise bu bölgeye gelmeden önce (N), iş parçası malzemesinin bir çalışma sertleşmesine uğramasından oluşur.

Aşınma miktarının ölçülmesinde en yaygın metod, serbest yüzey aşınma izinin genişliği VB ve krater derinliği KT ya da oyulma oranı $K = KT/KM$ ölçülmesidir.



Şekil 2.6. Tek eksen ağızlı takımda başlıca aşınma türleri ve ölçülendirilmesi.

2.1.6. TAKIM ÖMRÜ VE TAKIM ÖMÜR DENKLEMİ

2.1.6.1. TAKIM ÖMRÜ

Bir takımın ardarda iki bileme süresince geçen zamana takım ömrü denir. Takım ömrünün saptanmasındaki unsurlar şunlardır:

1. Bozulmaya kadar işlenen parça sayısı
2. Bozulmaya kadar kaldırılan talaş hacmi (frezelemede)
3. Bozulmaya kadar geçen toplam süre (frezelemede)
4. Bozulmaya kadar olan kesme uzunluğu (delme, planyalama, broşlamada olduğu gibi)
5. Seçilen bir bozulma kriterine kadar geçen gerçek işleme zamanı (Tornalamada genellikle işleme zamanı kullanılır)

2.1.6.2. TAKIM ÖMÜR KRİTERLERİ

Takım ömrü belirlenmesinde bir çok aşınma mekanizması rol oynar. Takım bozulmalarında bir kriter olmak üzere, Uluslararası Standartlar Organizasyonu şu durumları öngörmüştür:

- a) Serbest yüzey aşınması aynı düzeyde ise ortalama bir serbest yüzey aşınma genişliği alınabilir (VB:0.3 mm gibi)
- b) Aşınma bölgesi düzensiz bir şekilde büyüyorsa, maksimum serbest yüzey aşınma genişliği alınmalıdır (VB max.:0.6 mm).

Takım bozulmalarında ikinci kriter daha yaygın olarak kullanılır. Takım ömrü belirlenmesinde, ömrün sona erdiğini belirten bir kriter bulunmalıdır. Başlıca ömür kriterleri:

- a) Aşınma kriteri: Serbest yüzey ve talaş yüzeyindeki aşınmanın izin verilir bir değerini gösteren bir birimdir.
- b) Takımın ilk harabiyeti: Kesme kenarından ufak bir parçanın kopmasıdır.
- c) Takımın tam harabiyeti: Takımın kırılarak tamamen bozulmasıdır.
- d) İş parçası boyutlarının istenilen ölçülerden uzaklaşmasıdır.
- e) İş parçası yüzey pürüzlülüğünün müsaade edilen sınırların dışına çıkmasıdır.
- f) Kesme kuvveti veya gücünde, aşınma ile birlikte önemli bir artış olmasıdır.
- g) Ekonomik değerler: Kesici kenara düşen maliyetin hesaplanmasına dayanan bu kriterde ortalama kenar maliyeti şu formülle ifade edilir.:

$$\gamma = \frac{Y_0 + mG}{m + 1} \quad (2.1)$$

Formülde ele alınan değerler, bir takımın maliyeti, bileme sayısı ve bilemenin maliyetidir. Hesaplanan bu değer, takım ömrünün belirlenmesinde maliyetler göz önüne alınmaktadır.

Burada,

Y_0 : Bir takımın maliyeti

m: Bileme sayısı

G: Bir bilemenin maliyeti

2.1.6.3.4. İŞ PARÇASI MALZEMESİ

İş parçası malzemesi mikro yapısı, sertliği ve çalışma sertleşmesi gibi özellikler, stabilite ve takım aşınması üzerinde söz sahibidirler ve takım ömrünü etkilerler.

İş parçası malzemesi sertleştikçe takım ömrü düşmeye başlar. Çeşitli özellikteki katmanlardan oluşan malzeme, aşınma ve takım ömrünü etkilediğinden, seçilen malzemenin yapısı ve kompozisyonu homojen olmalıdır.

Çalışma sertleşmesi, bazen istenilen bir durum olmasına rağmen takım ömrünü azaltır. Takım ömrünü etkileyen diğer faktörler talaş geometrisi, kesme sıvısı ve tezgahtır.

2.2. METAL KESMEDE SICAKLIKLAR

Metal kesme esnasında, takımın kesici kenar bölgesinde yüksek sıcaklıklar oluşur ve bu sıcaklık kesme takımının aşınma oranında ve talaş takım arasındaki sürtünmede etkilidir. Takım aşınmasındaki etki nedeni ile metal kesmede, takım, talaş ve iş parçasındaki sıcaklıkların belirlenmesi konusunda geçmişte önemli çalışmalar yapılmıştır.

Termodinamik durumların ilk kuralı "İş ısıya dönüştürüldüğünde işin miktarı üretilen ısı kadardır". Bu ısı mekanik enerji değişimi ile oluşacaktır. Metal kesmedeki ısının üç ana kaynağı aşağıdaki gibi sıralanabilir.

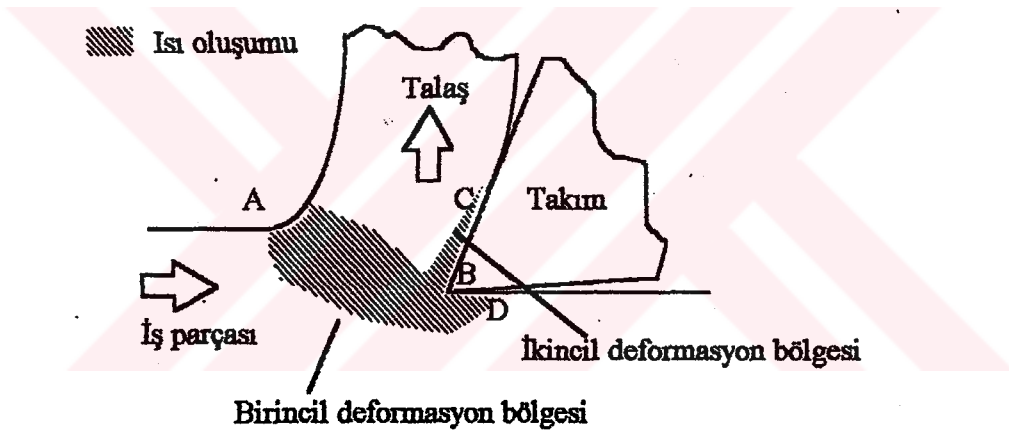
- i) Kayma bölgesi (AB hattı): Esas plastik deformasyonun yer aldığı bölge,
- ii) Talaş-takım arayüzeyi bölgesi (BC hattı): Isınmış talaş ve takımın arasında sürtünmeden dolayı ikincil plastik deformasyonun yer aldığı kısım,
- iii) İş-takım arayüzeyi (BD hattı): Sürtünmeli aşınmanın ortaya çıktığı yan yüzeyler (Cengiz Y.B., 1976)

2.2.1. METAL KESMEDE ISI OLUŞUMU

Şekillendirme kuvveti P_m , enerji girdilerinden şu şekilde elde edilmiştir.

$$P_m = F_c V \quad (2.4)$$

Burada F_c , takım kuvvetinin kesme bileşeni, V kesme hızıdır. Malzeme elastik deformasyona uğradığında; işlem için gerekli enerji ihtiyacı, gerinim enerjisi olarak malzeme içine depolanır ve ısı oluşmaz. Bununla birlikte; malzemede plastik deformasyon olduğunda; kullanılan enerjinin çoğu ısıya dönüşür. Talaşlı şekillendirmede malzeme aşırı derecede yüksek gerilmelere maruz kalır ve toplam deformasyonun çok küçük bir kısmı elastik deformasyon şeklinde oluşur. Bunun dışında parça üzerine yüklenen enerjinin tamamı ısıya dönüşebilir. Enerjinin ısıya dönüşümü plastik deformasyonun iki temel bölgesinde görülmektedir.



Şekil 2.7. Ortogonal kesmede ısı oluşumu.

Şekil 2.7 'de, kayma ya da birincil deformasyon bölgesi AB hattı ve ikincil deformasyon bölgesinde BC hattı boyunca. Çoğu durumda, kesme takımı mükemmel düzeyde keskin olmadığından, üçüncü ısı bölgesi, BD hattı boyunca, takım ve iş parçası arasındaki sürtünmeden oluşacaktır.

Bununla beraber takım çok hızlı körlenmedikçe, bu ısı kaynağı çok küçük olacaktır ve analizlerde ihmal edilebilecektir. Böylece;

$$P_m = P_s + P_f \quad (2.5)$$

olacaktır. Burada P_s , birincil deformasyon bölgesindeki ısı oluşum miktarı (kayma bölgesi ısı miktarı), P_f , de ikincil deformasyon bölgesindeki ısı oluşum miktarıdır (sürtünme ısı miktarı).

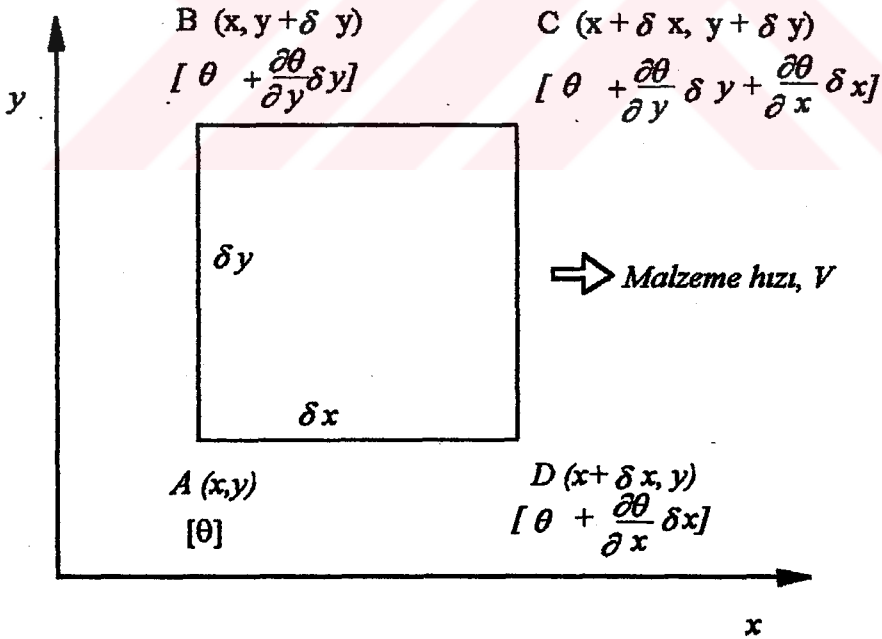
P_f , $F_f V_0$ 'dan elde edilmektedir. Burada F_f takım yüzeyindeki sürtünme kuvvetidir, ve V_0 talaş akışının hızıdır, ve V_c 'den elde edilmektedir. Böylece, P_{mp} ve P_f biliniyorsa P_s değeri (2.5) eşitliğinden elde edilebilir.

Isının iş parçası takım ve talaş bölgelerinden nasıl yer değiştirdiğini anlamak için, ilk olarak ısı kaynağındaki hareketli malzemenin ısı transferi düşünülmelidir.

2.2.2. HAREKETLİ MALZEMEDE ISI TRANSFERİ

Şekil 2.8 'deki ABCD elemanı ele alındığında; birim kalınlık baştan sona kadar aynı ve malzeme akışı da x doğrultusunda olacaktır. A noktasının koordinatları x ve y dir, ve malzemenin bu noktasındaki bir anlık sıcaklık θ dir.

B, C ve D noktalarının koordinatları ve sıcaklıkları Şekil 2.8 'de görülmektedir.



Şekil 2.8. İçinde ısınmış malzeme akışı olan eleman.

AB ve CD sınırlarında ısı transferi, x doğrultusundaki ısı ilerlemesinden ve bu sınırlardaki aşınmış malzeme akışından dolayıdır. BC ve AD hatlarındaki ısı geçişi ise sadece iletimle transfer olmaktadır. Çünkü bu sınırlar arasında malzeme akışı olmamaktadır.

Böylece AB' deki ısı transferi;

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial x} \delta y + \rho c v \left(\theta + \frac{1}{2} \frac{\partial \theta}{\partial y} \delta y \right) \delta y \quad (2.6)$$

CD'deki geçiş;

$$-k \frac{\partial}{\partial x} \left(\theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} \delta x \right) \delta y + \rho c v \left(\theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} \delta x + \frac{1}{2} \frac{\partial \theta}{\partial y} \delta y \right) \delta y \quad (2.7)$$

AD'deki geçiş;

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial y} \delta x \quad (2.8)$$

ve BC' deki geçiş;

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial y} \left(\theta + \frac{\partial \theta}{\partial y} \delta y \right) \delta x \quad (2.9)$$

dir. Burada;

k: Isı iletim katsayısı

c: Spesifik ısı kapasitesi

ρ : Yoğunluk

V: Malzemenin ısı kaynağından uzaklaşma hızı

Eğer ısı kaynağı sabit değerde ise, eleman içine doğru ısınma olmaz. Elemanın içindeki net ısı akışı sıfırdır. Böylece;

$$\begin{aligned} & -k \frac{\partial \theta}{\partial x} \delta y + \rho c v \theta \delta y + \frac{\rho c v}{2} \frac{\partial \theta}{\partial y} \delta y \delta y + k \frac{\partial \theta}{\partial x} \delta y - k \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \delta y \delta x \\ & - \rho c v \theta \delta y - \rho c v \frac{\partial \theta}{\partial x} \delta x \delta y - \frac{\rho c v}{2} \frac{\partial \theta}{\partial y} \delta y \delta y \\ & - k \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \delta y \delta x - \rho c v \theta \delta y - \rho c v \frac{\partial \theta}{\partial x} \delta x \delta y - \frac{\rho c v}{2} \frac{\partial \theta}{\partial y} \delta y \delta y \\ & - k \frac{\partial \theta}{\partial y} \delta x + k \frac{\partial \theta}{\partial y} \delta x + k \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \delta y \delta x = 0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

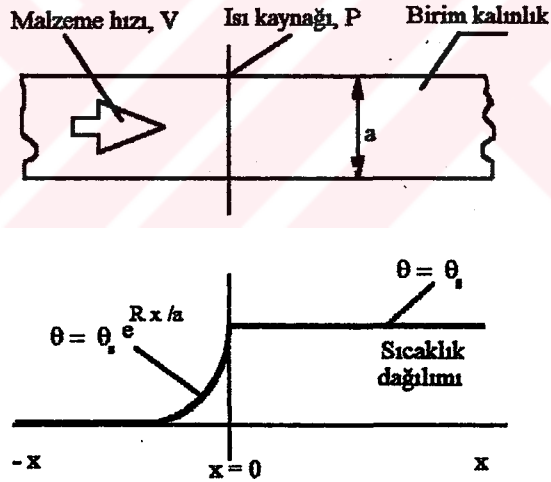
ya da;

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - \frac{R}{a} \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0 \quad (2.11)$$

elde edilir. Burada R , $\rho c v a / k$ 'dan elde edilir ve bilindiği gibi ısı katsayısı lineer boyuttur. Metal kesmede ısı katsayısı $\rho c v a / k$ 'dan elde edilebilmektedir. Burada v kesme hızı, a ise deformasyona uğramamış talaş kalınlığıdır. 2.11 eşitliğinin sonucu sadece basit sınır şartlarında mümkün olmaktadır.

Bu eşitliğin sonucu bir boyutlu durumlar için düşünülmüştür ve bir boyutlu durumlarda Şekil 2.9 'da tanımlandığı gibi yüksek hızda metal hareketleri için geçerlidir.

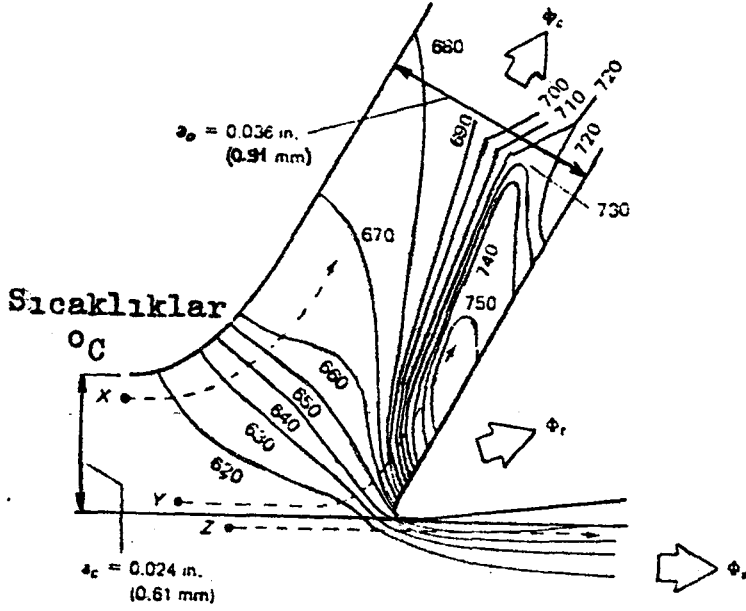
Burada görüldüğü gibi malzemedeki a noktası ısı kaynağına yaklaştırılmaktadır. Isı çok hızlıdır, ısı kaynağında sıcaklık maksimuma erişir ve daha sonra ısı katsayısı artar.



Şekil 2.9. $\theta_0 = P / (\rho c v a)$ olduğu bir boyutlu durum için hızlı malzeme hareketinde sıcaklık dağılımı.

2.2.3. METAL KESMEDE ISI DAĞILIMI

Ortogonal metal kesme esnasında talaş ve iş parçasında ısı dağılımı deneylerle karşılaştırılarak Şekil 2.10 'daki gibi elde edilmektedir.



Şekil 2.10. Kızılötesi fotografik yöntemle elde edilen serbest kesme yüzeyli bir dövme çelikte ortogonal kesme esnasında iş parçası ve talaşta oluşan sıcaklık dağılımı. Burada kesme hızı: 0.38 m/s, kesme genişliği: 6.35 mm, normal çalışma açısı: 30° ve iş parçası sıcaklığı: 611 °C.

Malzemedeki x noktası, kesme takımına doğru ilerlemekte, yaklaşmakta ve birincil deformasyon bölgesinden geçmektedir. Isı bölgeden uzaklaşana kadar talaşın içine taşınarak uzaklaştırılmaktadır. Bununla birlikte y noktası her iki deformasyon bölgesinden birden geçmekte ve ısı ikincil deformasyon bölgesinin soluna kadar geçmektedir. Talaşın içine iletilen ısı, talaş sayesinde üniform sıcaklık dağılımı sağlamaktadır. Kesme kenarındaki bazı farklılıklarla takım yüzeyi boyunca z noktası ise iş parçasında artık olarak birincil deformasyon bölgesinden ısı iletimi ile ısınmaktadır. Bir miktar ısıda, takımın gövdesi içine ikincil deformasyon bölgesinden iletilmektedir.

Böylece;

$$P_m = \phi_c + \phi_w + \phi_t \quad (2.12)$$

Burada;

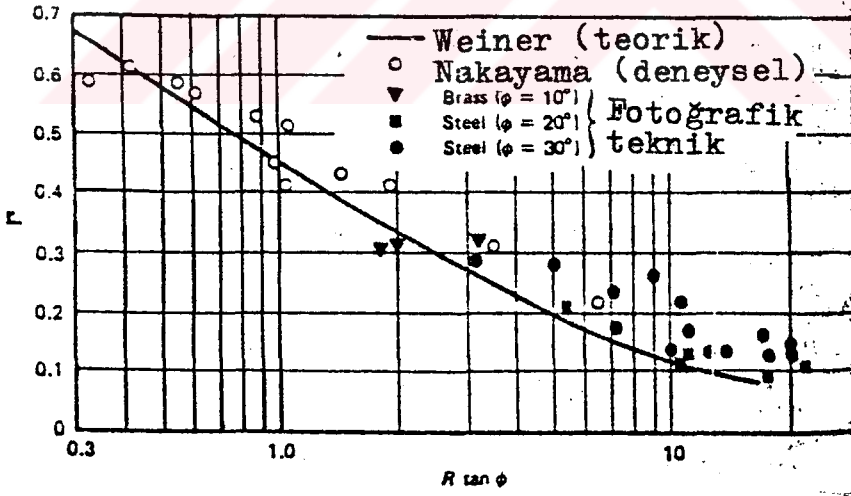
P_m : Isı oluşumunun toplam oranı

ϕ_c : Talaşla iletilen ısının oranı

Burada birincil deformasyon bölgesi uniform mukavemetin ısı kaynağı düzlemi olarak kabul edilebilir yani iş parçası ve talaşın serbest yüzeylerinden her hangi bir ısı kaybı olmadığı ve iş parçasının termal özelliklerinin sıcaklıktan bağımsız olduğu kabul edilebilir. Burada asıl konu iş parçası sınırları içinde denklem 2.11 ile verilen bağıntıyı çözmektir. Bu problem için gerçek çözüm mümkün değildir, bu yüzden ilave bazı kabuller yapmak gerekli idi. Bu konuda en faydalı öneri Weiner tarafından yapıldı. Bu araştırmacı hareketin yönünde malzemede her hangi bir ısı taşınımı olmadığını kabul etti. Bu kabulün metal kesme işleminde doğru olduğu ispatlandı çünkü hareket yönündeki ısı transferi esas olarak taşınım yoluyla ve bu ihmal edilebilir. Böylece denklem 2.11 aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} - \frac{R}{a} \frac{\partial \theta}{\partial y} = 0 \quad (2.14)$$

Weiner, iş parçası için öngörülen sınır şartları ile denklem 2.14 'yü çözdü ve Γ değerini $R \tan \phi$ 'ye bağılı olarak ifade etti. Burada ϕ kayma açısıdır, Γ ise P_s 'nin iş parçasında iletilen kısmıdır. Γ ile $R \tan \phi$ arasındaki bu teorik bağıntı Şekil 2.12 'de verilen deneysel sonuçlarla mukayese edilmiştir.



Şekil 2.12. $R \tan \phi$ 'nin talaş-ış parçası arasındaki kayma bölgesi sıcaklığına etkisi. Burada Γ : iş parçasına iletilen kayma bölge ısısının miktarı, R : termal katsayı, ϕ : kayma açısı'dır.

Grafikten görüleceği üzere $R \tan \phi$ 'nın yüksek değerleri için (yani yüksek hız ve kesme derinlikleri için) Γ 'yü düşük olarak öngörmektedir. Bu teoride düzlem ısı kaynağı kabul edilen

yerlerde ısı iş parçasına sadece iletim yoluyla geçebilir, gerçekte ise ısı geniş bir alanda üretilir. Geniş üretim bölgesinin bu etkisi bilhassa yüksek ilerleme hızlarında ve kesme miktarlarında oldukça önemlidir ve bu ise yüksek R tan ϕ değerlerinde teori ile deneysel sonuçlar arasındaki farkı açıklamaktadır.

2.2.3.2. İKİNCİL DEFORMASYON BÖLGESİNDE OLUŞAN SICAKLIK DAĞILIMI

Şekil 2.7 'de C noktasında, yani malzemenin ikincil deformasyon bölgesini terk ettiği yerde, talaşta oluşan maksimum sıcaklık:

$$\theta_{\max} = \theta_m + \theta_s + \theta_o \quad (2.15)$$

ile verilir. Burada:

θ_m : İkincil deformasyon bölgesinden geçen malzemedeki sıcaklık artışı,

θ_s : Denklem 2.13 ile verilen birincil deformasyon bölgesinden geçen malzemede oluşan sıcaklık artışı,

θ_o : Başlangıç iş parçası sıcaklığı.

Talaş sıcaklığının analizinde Rapier, takım ile talaş arasındaki sürtünmeden kaynaklanan ısı kaynağının üniform mukavemeti (Şekil 2.11) düzlem ısı kaynağı olduğunu kabul etti ve gösterilen sınır şartları içinde 2.14 denklemini çözmek mümkün oldu. Aşağıdaki ifade bulundu:

$$\frac{\theta_m}{\theta_f} = 1.13 \sqrt{\frac{R}{l_o}} \quad (2.16)$$

Burada;

θ_m : İkincil deformasyon bölgesinde sürtünme ısı kaynağının talaş üzerinde kalan maksimum sıcaklık artışı

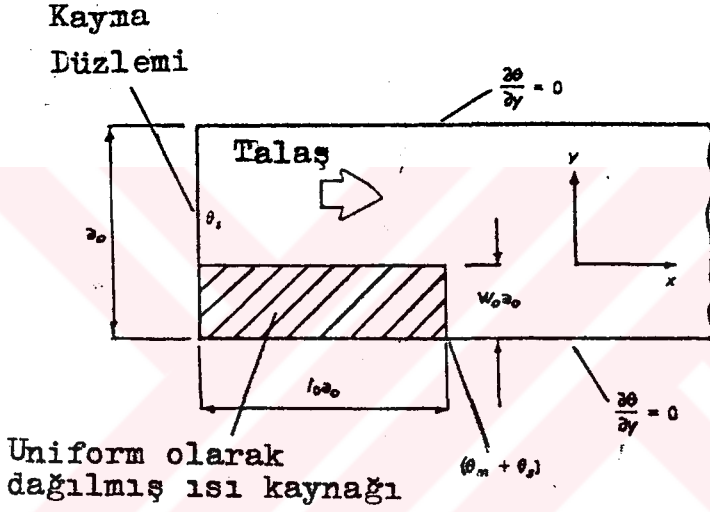
l_o : Talaş kalınlığı ile bölünen ısı kaynağının uzunluğu (l_f/a_o)

R : Isı iletim katsayısı

İkincil deformasyon bölgesi θ_f (sürtünme ısı kaynağı) den meydana gelen talaşın ortalama sıcaklık artışı aşağıdaki denklemlerle veriliyor;

$$\theta_f = \frac{P_f}{\rho c v a_c a_w} \quad (2.17)$$

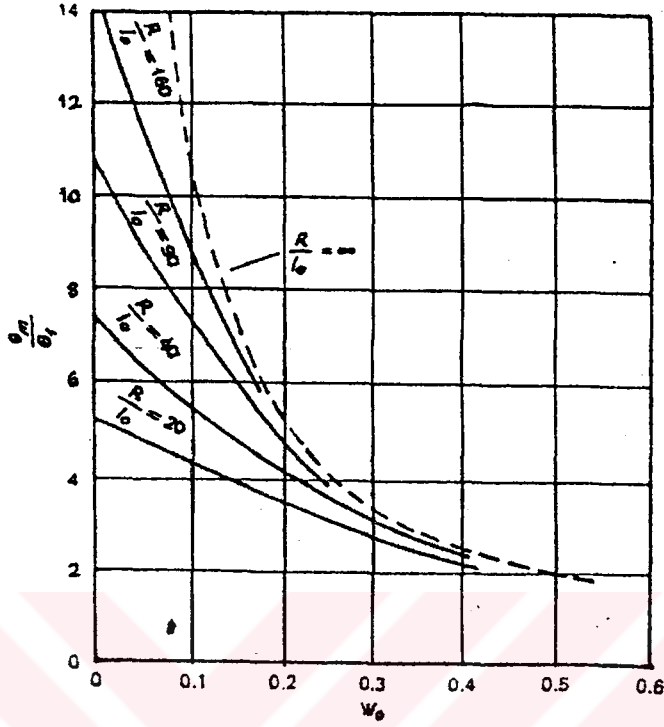
Daha sonra deney sonuçları ile denklem 2.16 'nın karşılaştırması Rapier'in teorisinin oldukça yüksek tahmin edilmiş θ_m olduğunu gösterdi ve o bu fazla tahminin, kesme esnasında, talaş ve takım arasındaki sürtünmenin, talaş malzemesinin aşırı deformasyonuna sebep olduğu fikrini verdi ve meydana gelen ısı kaynağı talaş içinde bazı mesafeye uzanacaktı.



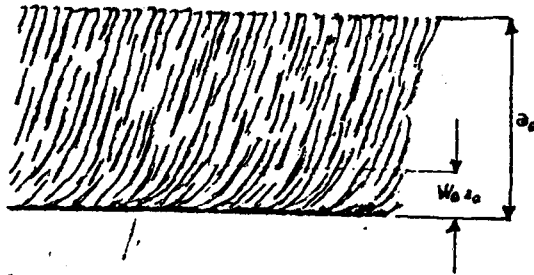
Şekil 2.13. Talaş için yeniden düzenlenmiş sınır şartları.

Şekil 2.13 'de gösterilen sınır şartları gerçek şartlara daha yakın olmaktadır ve bu yeniden düzenlenen modeli esas alan analiz deneysel bulgulara yakın sonuçlar verir. Şekil 2.14 'de verilen bu sonuçlar uniform olarak dağıtılmış ısı kaynağı genişliğindeki değişimlerin etkisini gösterir.

Bu eğriler kullanıldığında l_0 takım yüzeyindeki aşınmadan tahmin edilebilir ve ısı kaynağının genişliği talaş kesitinin mikro fotoğrafından tahmin edilir. Maksimum tane uzama çizgilerinin gösterildiği Şekil 2.15 'de tipik talaş kesiti gösterilmektedir ve burada malzemenin ikinci deformasyon bölgesinden geçtiği varsayılabilir.



Şekil 2.14. İkincil deformasyon bölgesi genişliğinin talaş sıcaklıklarına etkisi. Burada; R : termal katsayı, $l_0 a_0$: talaş-takım temas uzunluğu, $w_0 a_0$: İkincil deformasyon bölgesi genişliği, θ_m : Talaşta maksimum sıcaklık yükselmesi ve θ_f : Talaşta ortalama sıcaklık yükselmesi.

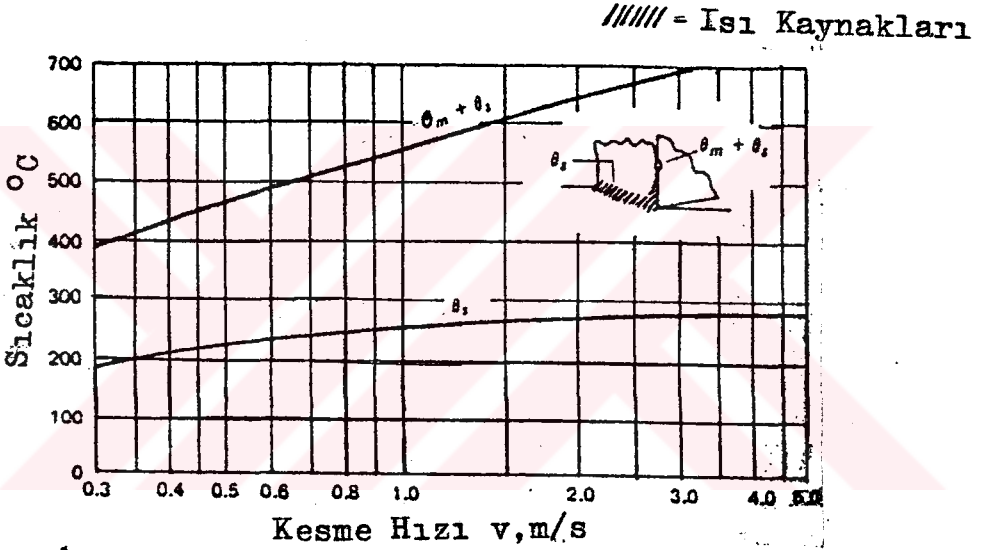


Takım yüzeyi ile temastaki yüzey

Şekil 2.15. Talaş kesitinde tane deformasyonu.

2.2.3.3. KESME HIZININ SICAKLIĞA ETKİSİ

Eğer takım kuvvetleri ve kesme oranı, kesme hızındaki değişimlerden etkilenmiyorsa, sıcaklıkla kesme hızı arasındaki ilişki Şekil 2.16 'daki gibidir. Burada θ_s ile verilen ortalama kayma bölgesi sıcaklığının artan kesme hızı ile çok az arttığı ve ondan sonra sabit olma eğiliminde olduğu görülür. Oysaki, $(\theta_m + \theta_s)$ ile verilen takım-yüzey sıcaklığı artan kesme hızıyla hızla artar. (Boothroyd G. 1975)



Şekil 2.16. Kesme hızının kesme sıcaklıklarına etkisi (teorik).

3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE SICAKLIK DAĞILIM ANALİZİNDE KULLANILMASI

3.1. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sonlu elemanlar metodu, değişik yükler (termal, titreşim ve basınç gibi.) için yapının bilgisayar modelini sunarak nasıl tepki vereceklerini belirtmek için mühendislere imkan veren matematiksel araçtır. Sonlu eleman metodu, hızla model analiz etmeyi, dizaynı değiştirme,

uygulanabilirliğini kontrol etme, yapısal bütünlük ve yeniden dizayn etmeyi, dizaynın elverişli olmadığı durumlarda onu devre dışı bırakmayı mümkün kılar.

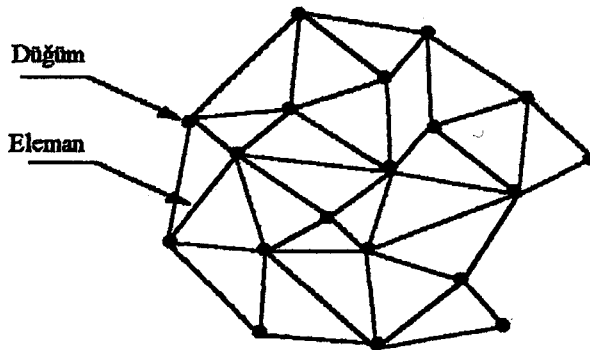
Sonlu eleman metodu, komponentleri basit şekillerin farklı parçalarının montajı olarak analiz eder. Bu elemanlar düğüm olarak bilinen, sınırlarındaki uygun noktalarda bir araya getirilmiş olarak düşünülür.

Eğer yapı uzayda 'n' boyuta sahip ise, o 'n' boyutlu sonlu elemanlar eşdeğer sistemi içinde alt bölümlere ayrılabilir. Bu amaçla yapının tarifi 'discretization' olarak adlandırılır.

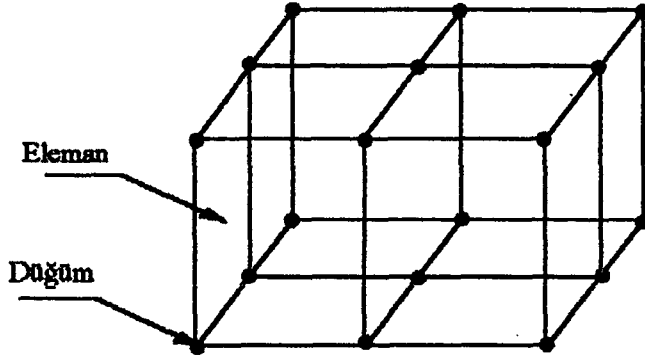
Bir boyutlu yapılar, Şekil 3.1a 'da gösterildiği gibi düğümler arasındaki çizgilerle, sonlu elemanlar içinde alt bölümlere ayrılabilir. Oysa ki, poligon ve polihedra (Şekil 3.1b, ve 3.1c de sırasıyla gösterildiği gibi) 2 ve 3 boyutlu kütlelerin alt bölümü için kullanılabilir. İki ve üç boyutlu problemlerde, kütleleri üçgensel, dörtgensel, tetragonal ve hegzagonal elemanların bileşimi olarak göstermek mümkün ve çoğu zaman elverişlidir. Sonlu elemanların karşılardaki düğümlere bağlandıkları iki üçgensel ve bir dikdörtgensel, üç düzlemsel sonlu eleman gösterimi Şekil 3.2a 'ya bakılarak anlaşılabilir.



Şekil 3.1a. Dört lineer sonlu elemanla gösterilen bir boyutlu yapı.



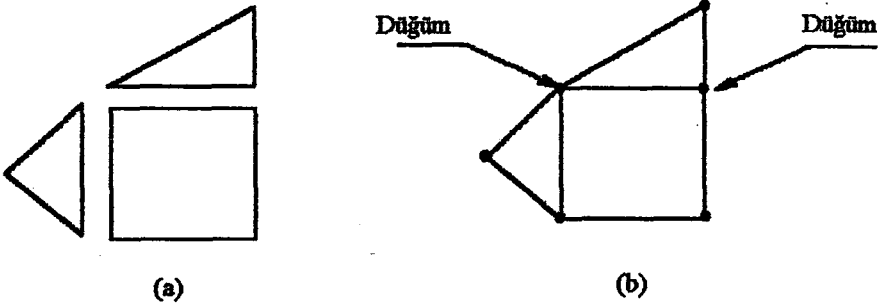
Şekil 3.1b. Üçgensel düzlem elemanlar sistemi ile gösterilen iki boyutlu yapı.



Şekil 3.1c. Dört kutu şeklinde elemanlar sistemi ile gösterilen üç boyutlu katı yapı.

Üç eleman ayrıdır ve herhangi bir yolla birbirine bağlanmaz. Düğümler Şekil 3.2b 'de gösterildiği gibi usulüne uygun düzenli bir yapı elde etmek için komşu elemanları birbirine bağlamada kullanılır.

Bu basit elemanlarda, düğümler daha karmaşık elemanların, sınırları boyunca başka pozisyonlarda düğümlere izin vermesine rağmen, daima her bir elemanın köşelerine yerleştirilir. Eğer düğümler uzaklaştırılırsa idi elemanlar ayrılacak ve komşu elemanlar arasında bir devamlılık olmayacaktı.



Şekil 3.2a. Üç ayrı düzlem sonlu eleman.

Şekil 3.2b. Sınırlarında düğümlerle birleştirilmiş sonlu elemanlar.

Pek çok eleman farklı yollarla bir araya getirilebilir ve çok karmaşık şekilleri kopyalamak için düzenlenebilir. Yapı ve parçaları ifade etmek için kullanılan elemanların toplamı 'mesh' olarak terimlendirilir. Şekil 3.3a ve 3.3b sonlu eleman metodu kullanımı ile analiz edilebilen yapı tiplerinin sadece iki örneğidir.

Sonlu elemanlar metodunun temel kullanımlarından biri, verilen yapıya uygulanmış kuvvetler için, düğümlerdeki yer değişimlerinin hesaplanmasıdır. Her bir elemanın düğümlerindeki kuvvetler ve karşılık gelen yer değişimleri arasındaki ilişki, eleman rijitlik özellikleri, elemanın basit şekli nedeniyle nisbeten belirlenebilir.

Sonlu eleman metodu, kompleks sürekli (bütün) problemi, benzer alakalı problemler serisi içinde, onu alt bölümlere ayırarak, çözmek için yol gösterir. Esasen, sonlu elemanlar veya bölünmüş küçük parçaların bileşimi olarak, bütünün modellenmesi için uygun tekniği verir.

'Bütün', olayların meydana geldiği cismin gövdesi veya uzayın bölgesi olabilir. Elemanların birleştirilme derecesi, genellikle ifade için seçilen elemanların tipi, boyutu ve sayısına bağlılık gösterir. Bazen, kesin ifadeye götüren yolda elemanları seçmek mümkündür, ama bu sadece özel durumlarda ortaya çıkar. Elemanların seçimi, birikmiş tecrübeyi esas alan mühendislik kararının sonucudur. Tekniklerin anlaşılması ve temel kavramların çok matematiksel hesaplama olmaksızın kazandırılması için sonlu elemanlarla ilgili bahsimizde basit örnekler göz önüne alacağız. Daha gelişmiş konular için sezgi ile hissetmeyi geliştirmeliyiz.

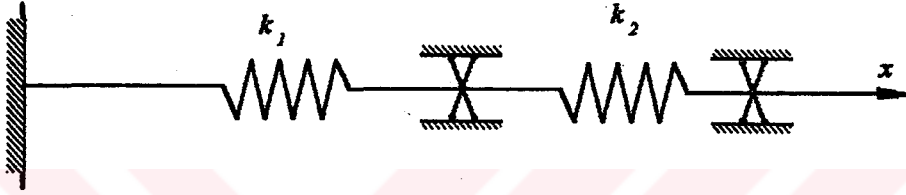
Her hangi bir sonlu eleman analizinde ilk basamak, kompleks sistemleri birbirine, özel nokta veya düğümlerde bağlanmış, tekil elemanlar içeren idealize edilmiş eşdeğer sistemlerle yer değiştirmektir.

Bu yöntemde kesin olan, tanımlanmış veya elemanların teşhis edilmesi problemi ve ondan sonra elemanların özelliklerinin belirlenmesidir. Baza problemler için, seçilen parça, bir elemanla yaklaşık olarak kendini gösterir, oysa ki her zaman seçim çok açık değildir.

3.1.1. ELEMANLARIN TANIMLANMASI VE ÖZELLİKLERİ

3.1.1.1. LİNEER YAY SİSTEMLERİ

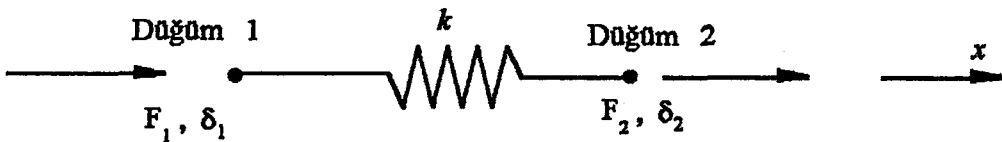
Sonlu eleman görüş noktasından inceleyebileceğimiz en basit sistemlerden biri *Şekil 3.4* de gösterilen lineer yay sistemidir. Bu sistem x koordinatı yönünde seri halde bağlı iki yaya sahiptir. Yay bir ucundan, rijit olarak duvara bağlıdır, sağdaki hareket için serbesttir. Biz iki yayında farklı gerilme veya sıkıştırma göreceğini kabul ederiz. Kuvvetler, yer değişimleri ve yay rijitlikleri, bu sistemde sadece parametrelerdir.



Şekil 3.4. Basit lineer bir yay sistemi.

Bu sistemi ayrı elemanlara bölmek oldukça kolaydır. Eğer her bir yayı eleman olarak tanımlarsak, sistem 2 eleman ve 3 düğüm içerir (kuvvetlerin nakledilebildiği bağlantı noktaları ve yerdeğişimleri mümkündür).

Elemanın özelliklerini, kuvvet yer değişim denklemlerini belirlemek için, dikkatimizi *Şekil 3.5* 'in serbest kütle (free-body) diyagramında gösterilen ayrılmış elemanda odaklayalım. Kuvvet ve yer değişimi, her bir düğümde tanımlanır ve kolaylık için bu kuvvet ve yer değişimlerini pozitif x yönünde alalım. Bu örnek için alan değişimi yer değişimidir. Kesin ifade mevcut olduğundan eleman ötesindeki alan değişkenliğinin farkını ifade etmek için interpolasyon fonksiyonunun seçilmesine ihtiyaç yoktur. En basit şekilde Hooke Kanunu, düğümsel yer değişimleri ve uygulanan düğümsel kuvvetleri bağlamak için imkan sağlar.



Şekil 3.5. Basit bir doğrusal yay sisteminin serbest cisim diyagramı.

Hook kanununa göre elastik yay, F aksiyal yükünü uygularken verilen

$$\delta = \frac{1}{k} F = a F \quad (3.1)$$

ile δ miktarını saptırır. Burada; k yay sabiti, a ise yay esnekliğidir. Denklem 3.1 'den k 'yı bir sapma üretmek için gerekli kuvvet olarak ve a 'yı da birim kuvvet tarafından sebep olunan sapma olarak anlamın açıklayabiliriz.

Denklem 3.1 kullanımı ile, yay için düğümsel kuvvet F_1 ve düğümsel yerdeğişimleri bakımından kuvvet - sapma ilişkisini yazabiliriz.

$$F_1 = k \delta_1 - k \delta_2 \quad (3.2)$$

Ve kuvvetlerin dengesi $F_2 = -F_1$ gerektirdiğinden ayrıca.

$$F_2 = -k \delta_1 + k \delta_2. \quad (3.3)$$

elde ederiz.

Eğer matris notasyonu kullanırsak 3.2 ve 3.3 denklemleri elemanın kuvvet-yer değiştirme özelliklerini ifade eden denklem olarak aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} \quad (3.4a)$$

veya

$$[K] \{\delta\} = \{F\} \quad (3.4b)$$

$[K]$ 'nın elemanları, $[K]$ 'nın i . sırası ve j . sütununda yerleşimini göstermek için genellikle k_{ij} olarak yazılır. $[K]$ elemanın rijitlik matrisi olarak bilinen kare matristir, sütun vektörü $\{\delta\}$ düğümsel yer değişim vektörü ve sütun vektörü $\{F\}$ bileşke düğüm vektörüdür, bütün düğümlere dışarıdan uygulanan kuvvetleri listeler. F ve K bilinir, δ bulmak ise amaçtır.

(3.4b) denklemi, $[K]$ 'nın, yapının birim yer değişimlerini üretmek için gereken kuvveti ifade ettiğini gösterir. Bu yüzden eğer model eşdeğer yay olarak kabul edilirse $[K]$, a 'nın rijitliğini gösteren yay sabiti olacaktır. Bu yüzden sonlu elemanların tanıtımının yapıldığı bu bölümde

verilen sonlu eleman metodu esasen yayın rijitliği açısından gerçekleştirilen bir yapısal analizdir.

Analiz edilecek problemi tamamen belirleyen ek kriterlerle (zorlamalar, malzeme özellikleri gibi) ve bilinen uygulanmış kuvvetlerle genel rijitlik matris denklemini; noktasal yer değişimleri $\{\delta\}$ için, genellikle Gaussion eliminasyonunda esas alınan numerik tekniklerin kullanımı ile çözümlenebilir. Bu düğümsel yer değişim değerleri, gerinimler ve bu yüzden olan gerilmeler yapıdaki her bir düğüm noktası için hesaplanır.

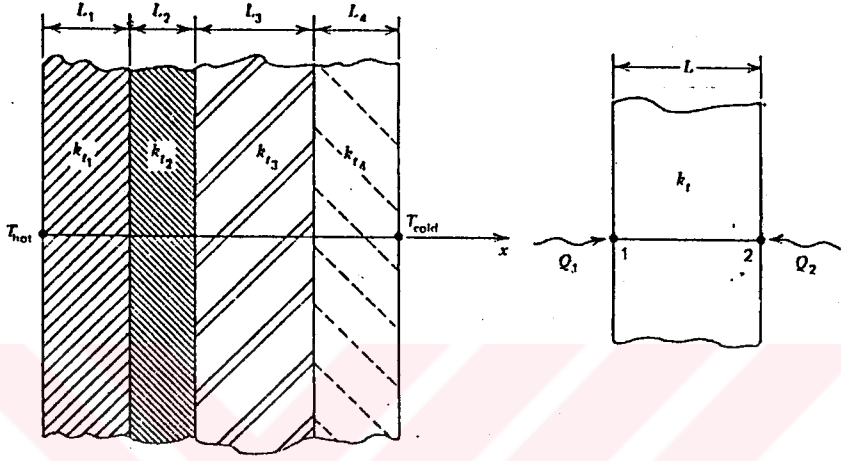
Denklem 3.4 sonlu elemanların en basit tiplerinden biri için türetilmiş olmasına rağmen, lineer yay, daha kompleks elemanların özelliklerinin ifadesi olan denklemlerin karakteristiklerinin çoğuna sahiptir. Örneğin, 3.4 denkleminin formu, problem tipini elemanın kompleksliğini veya türetilen eleman özellikleri yöntemini önemsemeden, aynı kalır. Bu temel örnek, $[K]$ matrisindeki rijitlik katsayıları için kesin değerleri belirlemede Hooke kanunu olanak tanır; ama daha kompleks durumlar için, farz olunan yer değişim fonksiyonları ve değişen prensiplerin kullanımı ile yaklaşıklıkla belirlenecek rijitlik katsayıları daha ileri bir konudur.

$[K]$ 'nın rijitlik katsayıları, tamlıkla mı veya yaklaşıklıkla mı belirlenir, bunun yorumu, $[K]$ 'nın tipik rijitlik katsayısı k_{ij} , ile aynıdır. Bu örnek için düğüm i 'de gereken kuvvet gibi, düğüm j 'de birim sapma üretmek için tanımlanır. Bu sapma, her bir düğümde sadece bir kuvvet ve bir yer değişimi var olduğu için çözümlenir. Ayrıca simetrik olabilen ortogonal koordinat sistemlerine isnat edilen lineer yapılar için, bütün rijitlik matrislerini ifade eden, Maxwell-Betti ortak teoremine uyan basit rijitlik matrisini yazarız. 3.4 denklemini ile verilen eleman özellikleri, $[K]$ içine yerleştirdiğimiz yay rijitlik değerine bağlı gerek sağ gerek sol elemana uygulanır. Gerçekte sağ eleman, eleman özelliklerinin türevine etki etmeyen bir düğümde sıfır yer değişimine sahip olmak için zorlanmıştır. Zorlama şartları, sadece eleman denklemleri, sistem denklemleri şeklinde birleştirildikten sonra hesaba alınır.

3.1.1.2. AKIŞ SİSTEMLERİ

3.1.1.2.1. BİR BOYUTLU ISI AKIŞI

Sonlu eleman kavramlarının kullanımına uygun çalışma yapılabilecek bir başka sistem *Şekil 3.6* 'da gösteriliyor.



Şekil 3.6. Kompozit malzeme içinde bir boyutlu ısı akışı.

Burada, içinden sadece x yönünde ısı akışı olan katmanlı malzeme kesiti mevcut. Bu ısı şartlarındaki problemde dahili ısı kaynağını olmadığı kabul ediliyor. Duvarın sol tarafı sağ tarafından daha yüksek sıcaklıkta tutuluyor. Her bir katman, ısı akış yönünde termal iletkenliği bilinen homojen katıdır. Isı akımı, sıcaklık, termal iletkenlik ve katman kalınlığı uygun parametrelerdir.

Eğer malzemenin her katmanını, ısı iletiminin temel kuralı ile belirlenebilen sonlu eleman karakteristikleri olarak kabul edersek, bu problem daha basit olanların düzeni içinde böler. Bu problem için alan değişimi sıcaklıktır. Tipik eleman için "düğüm" katmanın düzlemini sınırlıyor. Ve her bir düğüm düzlem üzerinde üniform olan sıcaklıkla karakterize edilir. Dolayısı ile bu sistem dört eleman ve beş düğüm içerir. Tipik izole edilmiş eleman *Şekil 3.6* 'da gösteriliyor.

Isı akımı ve Fransız matematikçi J.B.J Fourier tarafından oluşturulmuş ısı gradyanı arasındaki temel kuralın kullanımı ile elemanın kesin ısı akım davranışını bulabiliriz. Yine varsayılan interpolasyon fonksiyonuna ihtiyaç yoktur. Fourier Kanununa göre x yönünde birim zamanda birim alandan geçen ısı miktarı:

$$q = -k_t A \frac{dT}{dx} \quad (3.5)$$

ile verilir. Burada k_t malzemenin termal iletkenliğini, A ise ısı akışı için normal alanı gösterir.

Sabit termal iletkenlikte tipik katman için Fourier Kanunu:

$$q = k_t A \frac{\Delta T}{L} \quad (3.6)$$

olarak yazılabilir. Burada ΔT katmana geçişte sıcaklık düşmesi ve L ise katman kalınlığıdır.

Daha sonra, eleman düğümsel sıcaklıkları bakımından tipik düğüme giren düğümsel ısı akışını anlatabiliriz

$$Q_1 = \frac{k_t A}{L} (T_1 - T_2) \quad (3.7)$$

ve enerji korunumu gerektirdiğinden

$$Q_2 = -Q_1 \quad (3.8)$$

aynca

$$Q_2 = -\frac{k_t A}{L} (T_1 - T_2) \quad (3.9)$$

Matris notasyonunda denklem 3.7 ve 3.9:

$$\frac{k_t A}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{Bmatrix} \quad (3.10)$$

olarak veya daha kısaca:

$$[K_t] \{T\} = \{Q\} \quad (3.11)$$

olarak yazılabilir.

$[K_t]$: termal iletkenlik katsayıları matrisi

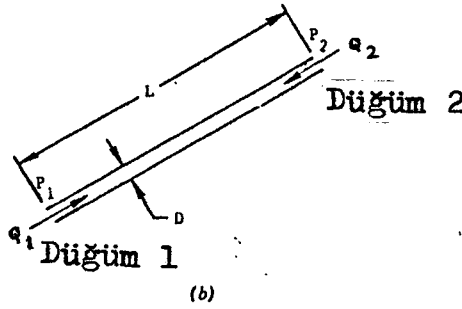
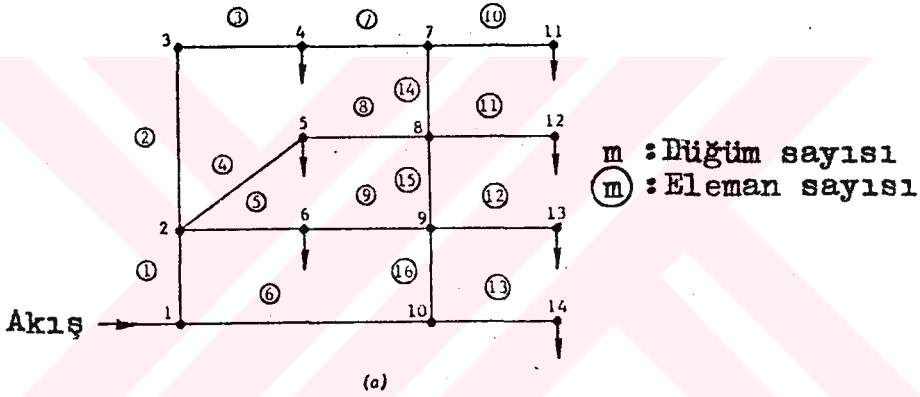
$\{T\}$: düğümsel sıcaklıklar sütun vektörü

$\{Q\}$: düğümsel ısı akımları sütun vektörü

Standart forma sahip 3.11 denklemini basit termal elemanımızın, ısı iletim özelliklerini tamamen tarif eder. Termal "rijitlik" matrisi, yapısal rijitlik matrisine benzer. Daha sonra genel ısı iletim problemini göz önüne aldığımızda, 3.11 denklemini bakımından yeniden tarif edilecek eleman özelliklerini görürüz. Fark sadece $[K_i]$ mın boyutunda ve terimlerinin kompleksliğinde olacaktır.

3.1.1.2.2. AKIŞKAN VE ELEKTRİK ŞEBEKE ÇALIŞMALARI

Şekil 3.7 küçük bir yapıda su dağıtım sistemini gösteren basit akışkan akım şebekesini gösteriyor. Sistem bir çok tekil akım yollarından oluşmaktadır. Problem, pompa gibi çeşitli yollar boyunca dağıtılmış verilen kaynaktan ne kadar basınç ve akışkan çıkışı olduğunu bulmaktır.



Şekil 3.7. Akışkan akış ağı: a) Numaralandırılmış düğüm ve elemanlı akış sisteminin şematik gösterilişi, a) Tipik bir eleman.

Eğer her bir akış yolunu eleman olarak tarif edersek, bu sistemin sonlu elemanların toplamı olacağını tassavvur edebiliriz. Keyfi numaralama planı kullanımı ile, sistemin 16 eleman ve 14 düğüme sahip olduğunu buluruz.

Basınç kayıp-akış oranı ilişkileri olan eleman karakteristikleri, daha sonra bazı durumlar için akışkan mekaniğinin ilk prensiplerinden çıkarılabilir ve varsayılan interpolasyon fonksiyonlarına ihtiyaç yoktur. Örneğin, eğer akım yolları sabit kesit alanlı dairesel borular olursa ve tam gelişmiş laminer akım her bir boruda ortaya çıkıyorsa, o zaman hacim akım oranı Q ,

$$Q = \frac{\pi D^4}{128\mu} \frac{dP}{dx} \quad (3.12)$$

ile basınç gradientine bağlıdır. Burada; μ akışkanın dinamik viskozitesi ve D boru çapıdır. L uzunluğunun tipik elemanı için (Şekil 3.7b)

$$Q = \frac{\pi D^4}{128\mu} \frac{\Delta P}{L} \quad (3.13)$$

yazabiliriz.

ΔP basınç düşümüdür. Ondan sonra düğümsel hacim akış oranını elemanın düğümsel basınçları bakımından tipik düğüme geçişini anlatmamız mümkündür.

$$Q = \frac{\pi D^4}{128\mu} \frac{P_1 - P_2}{L} \quad (3.14)$$

ve kütle korunumu $Q_2 = -Q_1$ gerektirdiğinde

$$Q_2 = \frac{\pi D^4}{128\mu} \frac{P_1 - P_2}{L} \quad (3.15)$$

elde ederiz.

Matris notasyonunda bu denklemler;

$$\frac{\pi D^4}{128L\mu} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{Bmatrix} \quad (3.16a)$$

veya

$$[K]\{p\}=\{Q\} \quad (3.16b)$$

olur.

$[K_p]$: "akıcılık" matrisi

$\{P\}$: Dügümsel basınçların sutun vektörü

$\{Q\}$: Dügümsel akışların sutun vektörü

Tekrar, standart forma sahip 3.16 denkleminde bakalım. Laminer boru akımının özel durumu için eleman denklemlerimizin oluşumu pek çok akışkan sisteminin parçası olan fittingler (dirsekler) ve valflerle (vanalar) ilişkili basınç kayıplarını kapsamaz.

Bu basınç kayıpları, normal olarak gerçek boru uzunluğu ile bir araya toplanabilen borunun eşdeğer uzunluğu tanımı ile hesap içine alınır.

Eğer ağ sisteminde akışkan akımı türbülanslı ise elemanı akışkan taşıyıcı kanal uzunluğu olarak tanımlamak mümkündür, ama eleman denklemleri artık lineer değildir.

Bu tam gelişmiş türbülanslı boru akışında, deneysel bağlantı düzenlemesini içeren Fanning denkleminin incelenmesi ile görülebilir.

Fanning denkleminde göre;

$$P_1 - P_2 = \frac{8f_\mu L}{\pi D^5} Q^2 \quad (3.17)$$

L boru uzunluğu, D boru çapı ve f_μ Reynolds sayısı ve boru pürüzlülüğünün fonksiyonu olan Moody sürtünme faktörüdür.

3.16 denkleminde benzer eleman denklemleri meydana getirmek için Fanning denklemini kullanmak mümkün olmasına rağmen, sonuç akıcılık matrisi, sabitler yerine akım oranı Q 'nun bilinen fonksiyonlarını içerecektir.

Aynı lineer olmayan karakter, tekil eleman denklemlerinden oluşturulmuş sonuç denklemlerde var olacak ve bu yüzden özel çözüm teknikleri gerekecektir.

Akışkan akım sisteminin sonlu elemanı gibi akım yolunun tanımı düşüncesi direkt -akım ağına da uygulanır.

Elektrik ağının akım taşıyıcı üyesi sonlu eleman olarak alınabilir ve ohm kanunu o zaman eleman karakteristiklerinin kurulması için imkan sağlar. Yöntemler direkt olarak akışkan-akış sistemi için kullanılanlara benzer. Burada V_1 ve V_2 voltajları düğümsel basınç, I akımını ise Q akış oranı olarak alınabilir. (Huebner K.H et al. 1982)

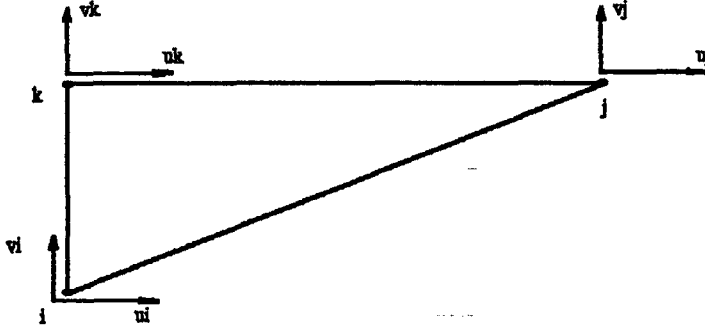
3.1.2. SONLU ELEMAN HESAPLAMA AŞAMALARI

Sonlu eleman metodunun tüm matematik prensiplerini anlatmak olayın tanımından daha fazla yer tutacaktır. Bundan dolayı bu bölümde, sonlu eleman analizinde ilgili hesap aşamalarına genel bir bakışı ve basit matematiksel kavramların bir değerlendirilmesi verilecektir. Sonlu eleman paket program kullanıcısı bu aşamaların çoğundan habersizdir. Problem için yükleme ve zorlayıcı şartlar genellikle bilinir ve analiz gerilmeleri hesaplamak için kullanılır.

3.1.2.1. ANALİZDE AŞAMALAR

- i) Sonlu elemanların eşdeğer sistemi içinde "bütün" alt bölümlere ayrılır. Sürekliliğin notasyonu veya kütle iyi tanımlanır. Örneğin elastikiyet problemi, deforme olabilen kütlelerin alt bölümlere ayırmasını gerektirir. Bazı kütlelerde alışılmış biçimlerde olmayabilir.
- ii) Yerdeğişim fonksiyonlarının seçimi: Temel fonksiyonlar, yapıdaki herbir eleman üzerindeki yer değişimlerinin yaklaşık dağılım ve değişimi için seçilir. Bu fonksiyonlar, deplasman (yer değişim) fonksiyonları veya deplasman modeller olarak adlandırılır. Deplasman fonksiyonunun bilinmeyen büyüklüğü düğümlerdeki yer değiştirmelerdir (veya birincil bilinmeyenlerdir). Deplasman fonksiyonu lineer yaklaşımlıdır ve polinom veya trigonometrik fonksiyonlar gibi değişik formlarda tarif edilebilir. Varsayılan deplasman fonksiyonları, sadece kesin dağılımının yaklaşık değerini gösterir.
- iii) Koordinat, özellik ve yerleşim verileri: Bir elemanın yerleşimi ilgili düğüm noktalarının düzenlenmesinin bir ifadesidir. Verilen her hangi bir eleman türünün özellikleri serbestlik derecelerinin türüne, sayısına ve çıkarılacak olan rijitlik özelliklerinde yapılacak kabullere dayanır. Bir elemanın rijitlik derecesi; düğümsel deplasmanlara,

dönmelere ve/veya elemanın komple deformasyonunu ifade etmek için gerekli olan gerilmelerdir. Örneğin Şekil 3.8 'de gösterilen iki boyutlu elemanın her düğümünün iki serbestlik derecesi vardır.



Şekil 3.8. Herbir düğüm noktasında serbestlik derecesi verilen iki boyutlu üçgenel bir düzlem elemanı.

- iv) Herbir eleman için rijitlik matrisinin çıkarılması: Rijitlik matrisi, elemanın geometrisi ve malzeme özelliklerinden türetilen denge denklemlerinin katsayılarından ibarettir ve potansiyel enerjinin minimize edilmesi gibi mekanik prensiplerden bulunur. Yüklü elastik bir kütle potansiyel enerjisi; dış yüklerin potansiyel enerjisi ve deformasyon sonucu depolanan iç enerjinin toplamı olarak ifade edilir. Eğer kütle denge durumunda ise bu enerji minimumdur. Bu kavramı açıklamak için Şekil 3.9a 'da gösterilen gerilim altındaki basit çubuk örneğini göz önüne alalım. Çubuk A kesitine ve E Young modülüne sahip olsun. Çubuk, Şekil 3.9b 'de gösterildiği gibi lineer bir yay ile yer değiştirilebilir. K rijitliğine sahip yay, F kuvveti vasıtasıyla δ kadar bir uzamaya maruz tutulsun. Gerilim altındaki yay için ilgili denklem

$$F = K \delta \quad (3.18)$$

olarak verilir. Yer değişimleri için yayın gerinme enerjisi:

$$E_e = 1/2 K \delta^2 \quad (3.19)$$

Yer değişimi nedeni ile oluşan sistemin potansiyel enerjisi E_p değeri $-F\delta$ kadar değişir, dolayısı ile sistemin enerjisi E_s değeri, gerinim enerjisi E_e ve potansiyel enerji E_p nin toplamıdır. Yani:

$$E_s = E_e + E_p \quad (3.20)$$

Sistemin dengede kalabilmesi için bu toplam sıfır olması gerektiğinden:

$$\frac{d(E_s)}{d\delta} = 0 \quad (3.21)$$

bu yüzden:

$$\frac{d}{d\delta} \left(\frac{1}{2} K \delta^2 \right) + \frac{d}{d\delta} (-F \delta) = 0 \quad (3.22)$$

ve buradan denge için $K \delta - F = 0$ ve $\delta = F/K$ olacaktır.

Bu aşamada hesaplamaları daha da basitleştirmek amacıyla interpolasyon fonksiyonlar deplasman modeli için esas alınır. Şekil fonksiyonu da olarak adlandırılan bu interpolasyon fonksiyonları, kendi düğüm noktalarında 1 değerine, diğerlerinde ise 0 değerine sahiptirler.

Rijitlik düğümsel yerdeğişimlerini düğümsel kuvvetlere bağlar. Yapıya uygulanan yayılı kuvvetler düğümlerde yoğunlaştırılmış kuvvetlere dönüştürülür. Rijitlik matrisi düğümsel kuvvet vektörü ve yerdeğişim vektörü arasındaki ilişki, 3.4b denkleminde olduğu gibi lineer denklemler serisi olarak ifade edilebilir. Rijitlik matrisi elemanları etki katsayıları olarak göz önüne alınır. Şekil 3.9a 'da gösterilen basit örnek için rijitlik matrisi, direkt olarak etki katsayısının hesaplanması olarak değerlendirilebilir. Örneğin aşağıya doğru olan kuvvet 1 nolu düğüme uygulanırsa ve 2 nolu düğümün hareketi engellenirse o zaman 1 nolu düğümde AE/L ve 2 nolu düğümde ise $-AE/L$ ya eşit bir kuvvet oluşturulmuş olur. O zaman rijitlik matrisi

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & -\frac{AE}{L} \\ -\frac{AE}{L} & \frac{AE}{L} \end{bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

olur. Ve denklem 3.4b

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{Bmatrix} \quad (3.26)$$

olarak yazılabilir. Burada δ_1 ve δ_2 , 1 ve 2 düğümlerindeki yer değişimleri, F_1 ve F_2 ise 1 ve 2 düğümlerindeki kuvvetlerdir.

- v) Sistem matris denklemlerinin oluşturulması: Tüm kütle için tekil eleman matrisleri global matris olarak bir araya getirilir. Bunu geometrik formülasyon ve sınır şartlarının oluşturulması izler. Bu işlem bütünleştirme (assembly) olarak bilinir ve bütün sonlu eleman analizlerinde yaygın bir faktördür. En yaygın kullanılan birleştirme tekniği *direkt rijitlik metodu* olarak bilinir ve düğüm noktasındaki yer değişimlerinin düğüme bağlı bütün elemanlar için aynı olmasını gerektirir.
- vi) Birincil bilinmeyenlerin çözümü: Sistem için global rijitlik matris denklemini çözülür. Bu genellikle birebir denklem sistemi için standart teknik olan indirgeme ve yerine koyma metodu kullanılarak gerçekleştirilir. Bazı sonlu eleman uygulamalarında rijitlik matrisi çok büyüktür (1000 x 1000 gibi). Bu aşamadan elde edilen sonuçlar yapıdaki yer bir düğüm noktasının birincil bilinmeyenleri (yer değişimlerini) verir.
- vii) Düğüm noktasındaki yer değişimleri esas alınarak gerilme ve gerinmelerin hesaplanması: İstendiğinde basit matris hesabı yapılarak ikincil bilinmeyenler olarak bilinen eleman gerilme ve gerinmelerinin hesaplanması bu aşamada aşağıdaki denklem kullanılarak gerçekleştirilir.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Elemanlara ait gerilmeler aşağıdaki bağıntı kullanılarak düğüm noktalarındaki gerilmeler cinsinden şu şekilde bulunabilir:

$$\{\delta\} = [E] \{\varepsilon\} \quad (3.27)$$

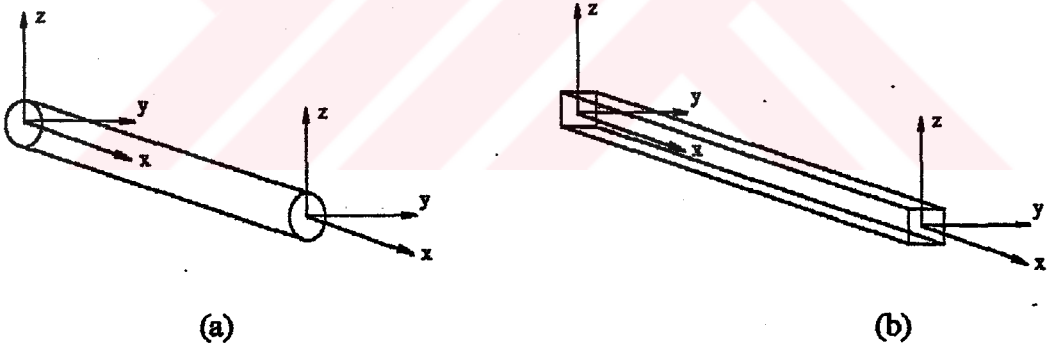
Burada $[E]$ elastisite matrisidir.

3.1.2.2. SONLU ELEMEN TIPLERİ

Sonlu eleman, kendi içinde bir, iki veya üç boyutlu yapıdadır. Böylece, bir yapı tüm sistemi oluşturmak üzere alt gruplara ayrılabilir. İlave olarak sürekli elemanlar orijinal kütlelin doğal ifadesidir. Bundan başka iki ve üç boyutlu eleman kavramı sonlu elemanlar metodunda genelleştirilir ve yapısal olamayan problemlere uygulanır.

Pratikte belirli bir problem için seçilen elemanlar kütlelin en önemli karakteristiklerini temsil etmek üzere bir eleman kütüphanesinden seçilir. Hemen, hemen tüm ticari sonlu eleman paket programları, probleme uygunluğu ve doğruluğuna göre geniş bir eleman serisi sağlarlar. En yaygın kullanılan sonlu elemanlar aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

- i) *Çerçeve Elemanlar -Çubuk ve Kiriş:* Şekil 3.10 da gösterilen bu tür elemanlar model çatı (destek) ve uzay çerçeve yapılar için kullanılır. Genellikle bu elemanlar iki temel yönde eğme ve kayma merkezinde dönmeyi temin eder.

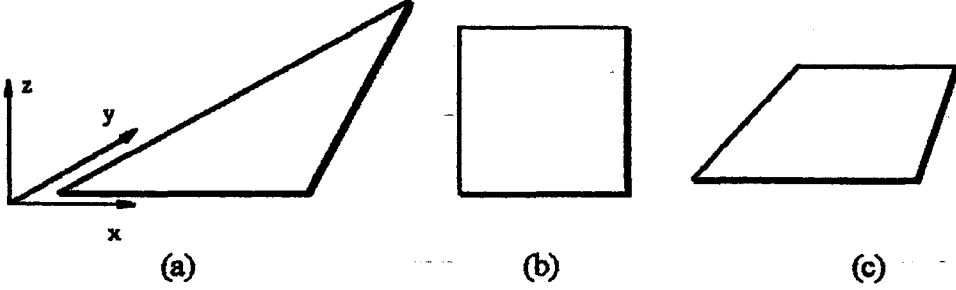


Şekil 3.10a. Basit çubuk çerçeve elemanı,

Şekil 3.10b. Basit kiriş çerçeve elemanı.

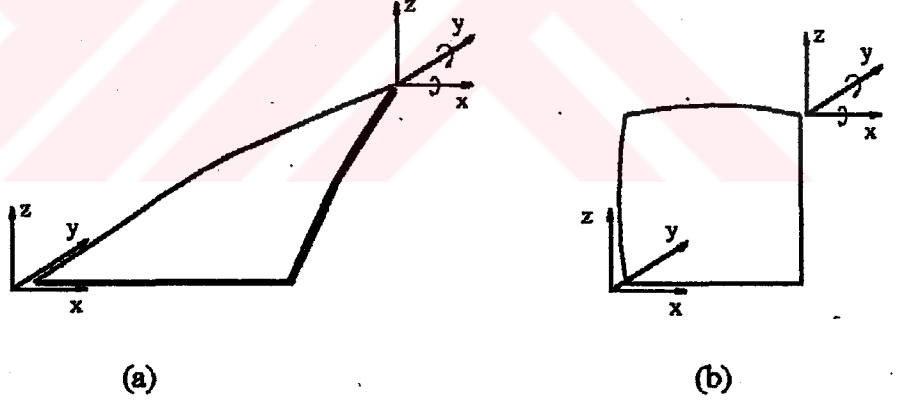
Boyutlu Düzlem Gerilme/Genleme Elemanları: Bu elemanlar yüzeylerine normal gerilmelerin etkilediği ve eğme gerilmelerinin küçük olduğu, yani flambajın oluşmadığı ince kesitli yapılarda gerilme ve uzamaları bulmak için kullanılır.

Bu eleman ailesinin en basiti *Şekil 3.11a* 'da gösterilen üçgensel elemandır. Bu gruptaki, iki boyutlu elemanların diğer türlerini dikdörtgen ve dörtgen şekiller oluşturur (sırasıyla *Şekil 3.11b* ve *3.11c*).



Şekil 3.11. İki boyutlu düzlem gerilme/genleme elemanları

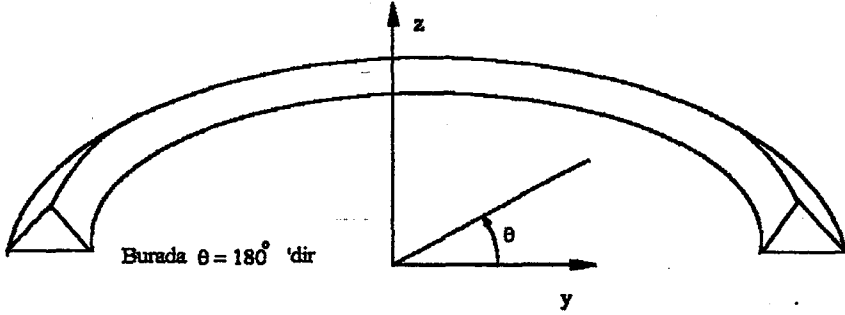
iii) *İki Boyutlu Levha Eğilme Elemanları*: Bu tip elemanlar düz levhalar, kabuklar, düzlemde ve düzlem dışı önemli etkileri (falmbaj gibi) olan ince kesitli parçalar için kullanılır. Bu elemanlar üçgensel veya dörgensel şekil almaya meyillidirler (*Şekil 3.12a* ve *3.12b*).



Şekil 3.12. Levha eğilme elemanları. Bu elemanlar dönел ve dönüşüm serbestlik derecelerinde kullanılır.

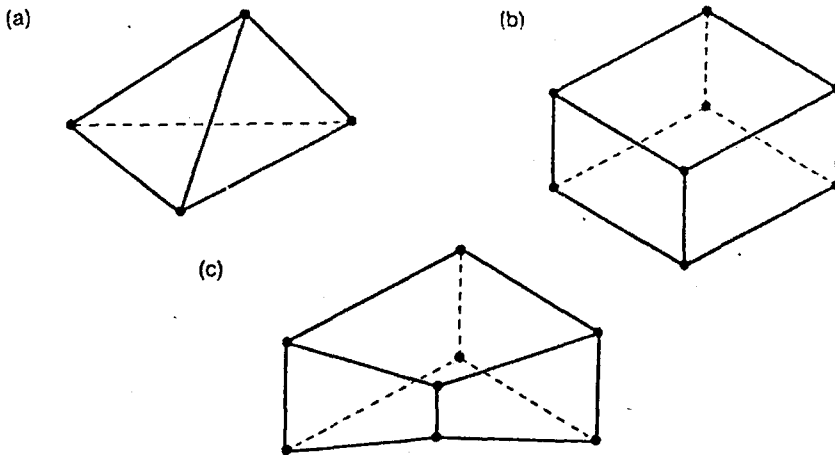
iv) *Eksenel Simetrik Elemanlar*: Mühendislikte kullanılan birçok parça aksenal simetrik bir yapıya sahiptir. Tanklar, tekerlekler, ratorlar, şaftlar ve pistonlardan oluşan bu yapılar merkez çizgilerine göre simetriklerdir. Bu aksenal simetrik elemanlar bu gibi parçaların modellenmesinde çok idealdirler. Genellikle üçgensel ve

dörtgenel elemanlar düzlemde tanımlanır, daha sonra düzlem etrafında θ açısı ile döndürülerek katı şekil elde edilir. *Şekil 3.13* bu şekilde elde edilen, aksenal simetrik bir üçgen halka elemanın göstermektedir.



Şekil 3.13. Aksenal simetrik bir eleman.

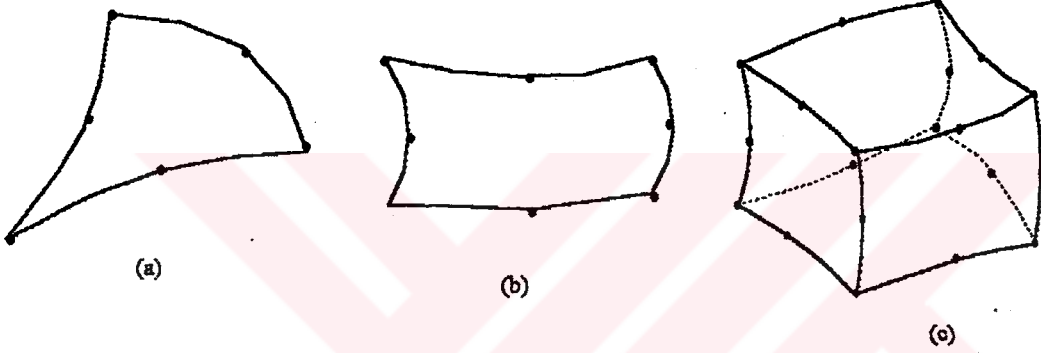
v) *Üç Boyutlu Elemanlar:* Mühendislikte kullanılan bazı parçalar iki boyutlu analiz ile yeterli doğrulukta çözüm için çok karmaşıktır. Bundan dolayı bu tür durumlar üç boyutlu çözüm gerektirirler. En yaygın kullanılan üç boyutlu elemanlar dört yüzlü (tetahedron) şekil, dikdörtgen prizma ve altı yüzlü şekil (hegzahedron) 'dir. Bunlar sırası ile *Şekil 3.14a, b ve c*'de gösterilmektedir.



Şekil 3.14. Üç boyutlu elemanlar.

- a) Dört yüzlü eleman,
- b) Dikdörtgen prizma eleman,
- c) Altı yüzlü eleman.

vi) *İzoparametrik Elemanlar*: Bu elemanlar modelleme için eğrisel sınırların tanımlanmasında kullanılır. Elemanlar bu eğrisel sınır etkisini, elemanın kenarına bir düğüm noktası ilavesi ile ve daha sonra bu noktanın iki yakın köşe düğümüne ilavesi ile oluşan eğrisel hat vasıtasıyla gerçekleştirirler. Bu yeni düğüm noktaları *kenar-orta düğümler* diye adlandırılır ve genellikle köşe düğümlerinden eşit uzaklıktadırlar. İzoparametrik elemanlar iki ve üç boyutlu analizler için kullanılabilir. *Şekil 3.15* izoparametrik elemanlardan bazılarını göstermektedir.



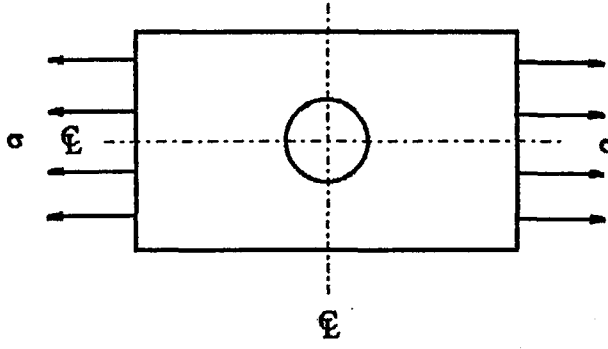
Şekil 3.15. İzoparametrik elemanlar.

- a) Üçgensel altı düğümlü elemanlar.
- b) Şekiz düğümlü eğri kenarlı, dörtgensel eleman.
- c) Yirmi düğümlü üç boyutlu tuğla eleman.

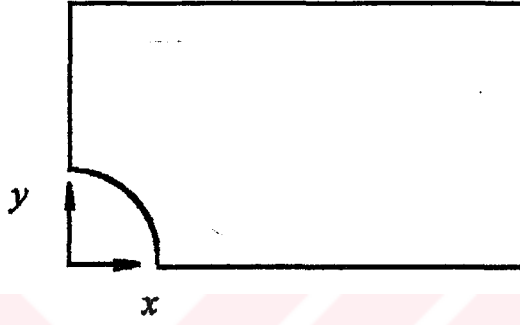
3.1.2.3. MODELLEME KAVRAMLARI

Bu bölüm, sonlu elemanlarla parçaların modellenmesinde kullanılan bazı temel kavramları açıklamaktadır. Modelleme kavramları basit örneklerle birlikte açıklanmıştır.

Problem: *Şekil 3.16* 'da gösterildiği gibi direkt çekmeye maruz bir düz çelik plaka göz önüne alınsın. Bu plaka merkezinde dairesel bir deliğe sahiptir. Delik çevresinde oluşan gerilmeler hesaplanacaktır. Bu plaka deliğin merkez çizgilerine göre simetriktir; bu yüzden *Şekil 3.17* 'deki gibi plakanın sadece dörtte biri modellenecektir. Bu yaklaşım, parçayı modellemek için gerekli eleman sayılarını önemli ölçüde azaltacaktır.



Şekil 3.16. Gerilim altında düz bir levha.

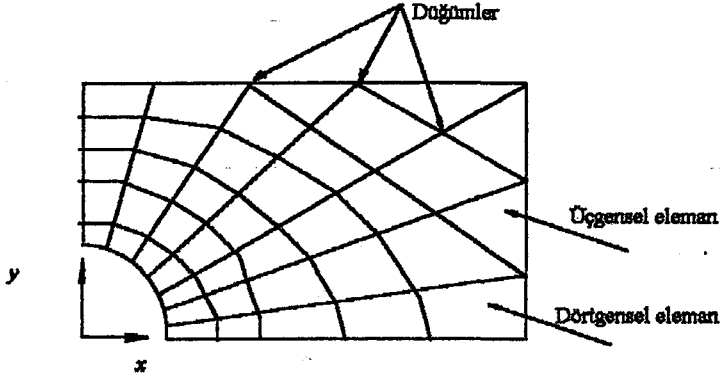


Şekil 3.17. Modelleme için kullanılan orijinal levhanın dörtte birlik kısmı.

Eleman Seçimi: Sonlu eleman analizinden gerçekçi sonuçlar almak için, işe en uygun elemanların seçimi önemlidir. Bu parça düz plaka olduğundan, iki boyutlu yaklaşım yeterli olacaktır; bundan dolayı iki boyutlu düzlem gerilme/genleme elemanları kullanılacaktır. Tüm dörgensel veya üçgensel elemanlar da kullanılabilir ancak, karışık elemanların da kullanılabilceğini göstermek için bu problemde iki elemanın kombinasyonu kullanılacaktır. Delik bölgesinde eğrisel sınırları modellemek için izoparametrik elemanlar kullanılacaktır. Biçimi bozuk dörgensel şekiller veya kenar uzunlukları oranları yüksek olan üçgenler gerçekçi olmayan sonuçlar verdiği için elemanların biçimini dikkate almak meşi düzenlemede oldukça önemlidir. İdeal olarak üçgensel elemanın kenar uzunlukları oranı 1 olmalı ve dörgensel elemanın en uzun kenarının en kısa kenarına oranı 3:1'i aşmamalı.

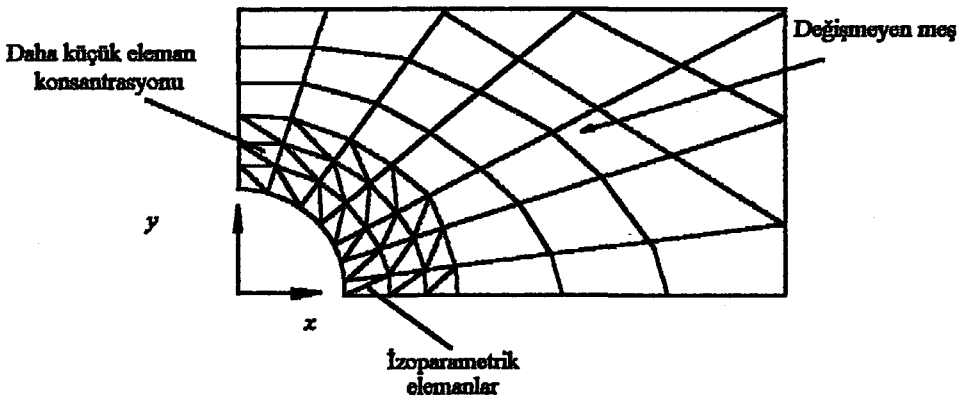
Meşin Oluşturulması: Kullanılacak olan eleman türlerini ve gerçekleştirilecek olan analizin türünü kararlaştırdıktan sonra, ilgili meş oluşturulabilir. Sözü geçen plakamın ilgili bu dörtte birlik kısmı sonlu elemanlardan oluşan eşdeğer alt sistemlere bölünür. Bu işlem gerçekte bir mühendislik yeteneğini ve tecrubesini gerektirir. Bu elemanlar o şekilde düzenlenmelidir ki

orijinal plakamın kısmı mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın olarak benzetilmelidir. Bu alt gruplara ayırma (veya diskritize etme) işleminin amacı, küçük deplasman modelleri kullanılarak doğru sonucu yeterli hassasiyette tesbit edebilmek amacıyla, parçayı yeterli derecede küçük elemanlara ayırmaktır. *Şekil 3.18* plakamın ilgili kısmının ilk diskritize edilmiş halini göstermektedir.



Şekil 3.18. Parçanın diskritize edilmesi için ilk girişim. Şekil, meşi meydana getiren elemanları ve düğüm noktalarını gösterir.

Meşin Küçük Boyutlara İndirgenmesi: Örneğin; kama oyugu etrafları, keskin açılar ve köşeler gibi birçok mühendislik yapıları ve elemanları, içinde gerilme ve gerinme değişimleri gösteren bölgelere sahiptirler. Burada göz önüne alınan bölge delik etrafında yüksek gerilme birikimine sahip olan bölge olup, bu bölge incelenen bölge olduğundan bu bölge için gerekli olan hassasiyet ve doğruluk diğer bölgelere göre daha yüksek olmalıdır. Bu bölgede oldukça küçük elemanların kullanılması ile çözümün hassasiyeti artırılabilir. Yüksek gerilme bölgesinde, daha küçük boyutlu elemanların kullanıldığı plaka *Şekil 3.19*'de gösterilmiştir.

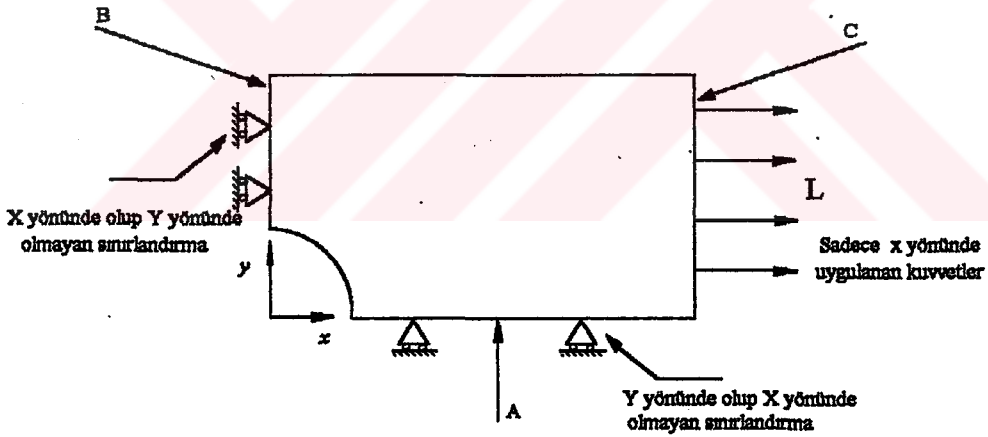


Şekil 3.19. Küçük elemanların delik etrafında fazlaca konsantre olduğu yeniden düzenlenmiş meş.

Delik etrafındaki eğrisel yüzeyin mümkün olduğunca gerçeğe yakın olarak ifade edilmesi için delik etrafında izoparametrik elemanlar kullanılmıştır. Bu tür elemanların, iki boyutlu konvansiyonel elemanlara kıyasla, deliği daha doğru bir biçimde ifade etmek için daha yatkındırlar.

Bu noktada şu gerçek ifade edilmelidir. Sonlu elemanlar analizi, ancak oldukça fazla sayıda küçük elemanların kullanılması durumunda doğru sonuç verebilir. Meş içindeki herbir eleman ve elemanlara ait herbir düğüm noktası numaralandırılır.

Sınır Şartları: Meşi sonuçlandırdıktan sonra, modele ait sınır şartları uygulanabilir. Sınır şartları tanımlanmadığı sürece model tamamlanmamış demektir. Bu sınır şartları eksik veya yeterli değil ise eleman rijitlik matrisi ve global rijitlik matrisi sonsuz olacağından bunun çözümü matematiksel olarak imkansız olacaktır. Sınır koşulları, modelin uzayda nasıl sınırlandırıldığı ve uygulanan iç kuvvet sistemlerinin nasıl tanımlandığını gösterir. Problemdaki plaka için yükleme ve sınırlandırılma koşulları Şekil 3.20 'de verilmiştir.



Şekil 3.20. Sınır şartları (sınırlandırma parametreleri ve yükleme koşulları görülebilir).

Bu meş ilgili elemanın dörtte biri olduğundan, sınırlandırma işlemi iki eksene göre simetrik olan toplam cismin şartları göz önüne alınarak gerçekleştirilir. Şekil 3.20 'deki A kenarı Y doğrultusunda hareket etmeyecek şekilde sınırlandırılmıştır, böylece plakamın tüm genişliği göz önüne alınmış olur. Ancak X yönü yükleme yönü olduğundan bu yöndeki dönüşüme müsaade edilir. Benzer şekilde, simetrik koşulunu sağlaması için, Şekil 3.20 'deki B kenarının X yönündeki hareketi engellenmiştir. Ancak, malzemenin Poisson etkisini göz önüne almak için

bu kenarın Y yönündeki hareketine müsaade edilmiştir. Önceden saptanmış dış yükler C kenarına uygulanmış olup bu yük plakayı çekmeye çalışmaktadır. Genelde, sınır koşulları yük altında malzemenin deformasyonu göz önüne alınarak ta saptanabilir.

Sınırlandırmalar ve yüklerin ifade edilme tarzı, bir ölçüde seçilen eleman türlerine ve kullanılan sonlu elemanlar paket programına bağlıdır. Bir çok durumda sınırlandırmalar ve yükler teker teker belirlenen düğümlere ve elemanlara uygulanır. Ancak bir çok sonlu elemanlar sisteminde düğüm çizgilerine veya düzenlemelerinde uygulanır.

Model hazırlama açısından gerekli mühendislik tecrübesi ve bilgisi bu aşamada tamamlanmıştır. Yapılması gerekenler ise, modeli tanımlayacak düğümlerin koordinatlarını, elemanların topoğrafyasını ve sınır şartlarını tesbit edecek olan bir bilgi dosyasının oluşturulmasıdır. Daha sonraki iş ise bilgi dosyasını okuyarak hesapları yapacak olan uygun bir paket programla istenen değerleri hesaplayıp çıktısını almaktır. Daha sonra ise, mühendis sonuçları inceleyip gerekli kararları alır.

3.2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE SICAKLIK DAĞILIMININ ANALİZİ

Akışkan mekaniği ve ısı transferinde, son yirmi yıl boyunca araştırmacılar, zor problemlere bilgisayar çözümleri bulmak için geleneksel sonlu fark metodlarını kullandılar. Sonlu fark metodları, endüstrinin ve gelişmiş dizayn bürolarının çoğunda kullanılan efektif genel amaçlı bilgisayar programlarını ortaya çıkardı. Isı transfer analistleri, genelde malzeme seçiminde veya çalışma ömürleri boyunca anormal sıcaklık dereceleri gösterebilen yapıların dizaynı için ilk basamak olarak sıcaklık dağılımlarını hesaplarlar.

Analistler, gerçek olarak çevre sınır şartlarını modelleyebilmeli, karmaşık geometrileri ifade edebilmeli ve basit sabit özellikli izotropik malzemelerden ayrılan malzemelerin (katılar ve akışkanlar) farkını hesaplayabilmelidirler.

Sonlu eleman metodlarına artan bir ilgi vardır. Termal analizlerde sonlu elemanları kullanmak için bir kaç iyi sebep vardır. Ek olarak, düzensiz geometrileri çalıştırmak için sonlu elemanlar gelişmiş bir doğruluk ve bazı durumlarda sonlu fark metodları ile karşılaştırıldığında benzer doğruluk için iyileştirilmiş bir etki sunarlar.

Sonlu eleman araştırmacıları 1960'ların sonunda, akışkan probleminin özel örneği olarak ısı transfer problemlerini göz önüne aldılar. Son 10 yılda, termal bilimle ilgilenen kişiler,

sonlu eleman alanına girerek,ısı transfer problemlerinin çözümünde sonlu elemanların faydasının tanınmasını sağladılar.

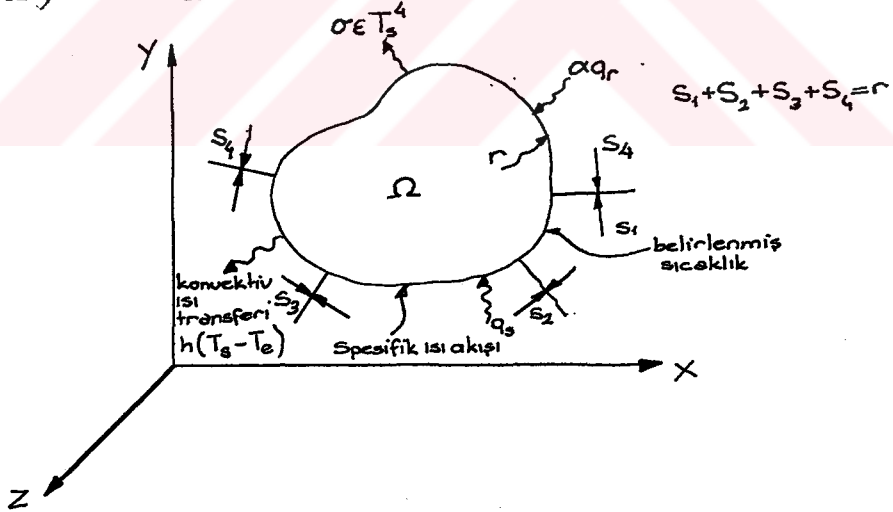
3.2.1. KONDUKSİYON

Genel yüzey ısı transferli katılar için geçişli sıcaklık dağılımı $T(x,y,z,t)$ ve/veya dengeli durum sıcaklık dağılımı $T(x,y,z)$ nin hesabı için sonlu eleman formülasyonu gösterilerek,konduksiyon ısı transferinde pratik problemlerin sonlu eleman çözümünün detaylı olarak irdelenmesi verilecektir.

Problem

Yüzey Γ (Şekil 3.21) ile sınırlanan üç boyutlu anizotropik katı Ω da dengeli durum ve/veya geçişli ısı transferini göz önüne alalım.Problem aşağıdaki enerji denklemi vasıtası ile düzenlenir.

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.28)$$



Şekil 3.21. Genel ısı konduksiyonu için 3 boyutlu çözüm bölgesi

Burada, q_x, q_y ve q_z kartezyen koordinatlarda her bir alan için ısı akış oran vektörünün komponentleridir, $Q(x,y,z,t)$ her birim hacimde dahili ısı oluşum oranı, ρ yoğunluk ve c spesifik ısıdır. Anizotropik için ortalama Fourier kanunu aşağıdaki gibidir;

$$q_x = - \left(k_{11} \frac{\partial T}{\partial x} + k_{12} \frac{\partial T}{\partial y} + k_{13} \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

$$q_y = - \left(k_{21} \frac{\partial T}{\partial x} + k_{22} \frac{\partial T}{\partial y} + k_{23} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3.29)$$

$$q_z = - \left(k_{31} \frac{\partial T}{\partial x} + k_{32} \frac{\partial T}{\partial y} + k_{33} \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

Buradaki k_{ij} simetrik iletkenlik tensörüdür. Malzeme özellikleri ρ, c ve k_{ij} , sıcaklık bağımlı olabilir. Eğer Fourier kanununu, denklem 3.29, enerji denklemi 3.28 içine yerleştirirsek, parabolik ısı iletim denklemini buluruz. Isı iletim denklemi, yüzey Γ in bütün bölümlerindeki sınır şartları ve başlangıç şartlarına tabi çözülür. Başlangıç şartı zaman bölgesinde sıcaklık dağılımını belirtir.

$$T(x, y, z, 0) = T_0(x, y, z) \quad (3.30)$$

Isı iletim sınır şartları, bir kaç şekil alır; belirlenen yüzey sıcaklığı, belirlenen yüzey ısı akışı, kovektif ısı alış-verişi ve radyasyon ısı alış-verişinin sıklıkla karşılaşılan şartlarını göz önüne alalım. Sınır şartları (Şekil 3.21) aşağıdakilerdir.

$$T_s = T_1(x, y, z, t) \quad S_1 \text{ de} \quad (3.31a)$$

$$q_x n_x + q_y n_y + q_z n_z = -q_s \quad S_2 \text{ de} \quad (3.31b)$$

$$q_x n_x + q_y n_y + q_z n_z = h(T_s - T_0) \quad S_3 \text{ de} \dots \dots \dots (3.31c)$$

$$q_x n_x + q_y n_y + q_z n_z = \sigma \varepsilon T_s^4 - \alpha q_r \quad S_4 \text{ de} \dots \dots \dots (3.31d)$$

Burada T_1 , zamanla değişebilen belirli yüzey sıcaklığı, n_x, n_y , ve n_z , yüzeye dış normalin kosinüsünün yönü , q_s her birim alanda (yüzeye pozitif) belirli ısı akış oranı, h konvektif alış-veriş sıcaklığı (değiş tokuş sıcaklığı) T_e 'nin ve/veya zamanın fonksiyonu olabilen konvektif ısı transfer katsayısı, T_s bilinmeyen yüzey sıcaklığı, σ Stefan-Boltzman sabiti, ϵ yüzey sıcaklığının fonksiyonu olabilen yüzey dağılma (yayıma) kapasitesi, α yüzey absorblayıcılığı ve q_s birim alana düşen radiant ısı akış oranı. Eleman denklemleri, Galerkin kriteri ile ağırlıklı artanlar metodu ile çıkarılır.

3.2.1.1. SONLU ELEMAN FORMULASYONU

Çözüm alanı Ω , herbir r düğümünün M elemanları içinde bölünür. Genel yöntemle biz, sıcaklıkları ve sıcaklık gradientlerini her bir eleman içinde aşağıdaki gibi ifade ederiz.

$$T^{(e)}(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^r N_i(x, y, z) T_i(t) \quad (3.32 a)$$

$$\frac{\partial T^{(e)}}{\partial x}(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^r \frac{\partial N_i}{\partial x}(x, y, z) T_i(t) \quad (3.32 b)$$

$$\frac{\partial T^{(e)}}{\partial y}(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^r \frac{\partial N_i}{\partial y}(x, y, z) T_i(t) \quad (3.32 c)$$

$$\frac{\partial T^{(e)}}{\partial z}(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^r \frac{\partial N_i}{\partial z}(x, y, z) T_i(t) \quad (3.32 d)$$

aşağıdaki gibi matris notasyonunda

$$T^{(e)}(x, y, z, t) = [N(x, y, z)] \{T(t)\} \quad (3.33 a)$$

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x}(x,y,z,t) \\ \frac{\partial T}{\partial y}(x,y,z,t) \\ \frac{\partial T}{\partial z}(x,y,z,t) \end{Bmatrix} = [B(x,y,z)] \{T(t)\} \quad (3.33 \text{ b})$$

Burada, $[N]$ sıcaklık interpolasyon matrisi, $[B]$ sıcaklık-gradient interpolasyon matrisidir.

$$[N(x,y,z)] = [N_1, N_2, \dots, N_r] \quad (3.34 \text{ a})$$

$$[B(x,y,z)] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & \frac{\partial N_2}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_r}{\partial x} \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_2}{\partial y} & \dots & \frac{\partial N_r}{\partial y} \\ \frac{\partial N_1}{\partial z} & \frac{\partial N_2}{\partial z} & \dots & \frac{\partial N_r}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (3.34 \text{ b})$$

$T_i(t)$ her bir düğümdeki sıcaklığın değeridir ve $\{T(t)\}$ eleman düğümsel sıcaklıklarının vektörüdür.

Ağırlıklı artanlar metodu, enerji denklemi (denklem 3.28) ile başlayan eleman denklemleri çıkarmak için kullanılır. Ağırlıklı artan metodu aşağıdakileri gerektirir.

$$\int_{\Omega^{(e)}} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} - Q + \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right) N_i d\Omega = 0 \quad (3.35)$$

Burada $\Omega^{(e)}$, eleman (e) için alandır. Sonuç yeniden düzenlenmiş formda aşağıdaki gibi yazılır.

$$\int_{\Omega^{(e)}} \rho c \frac{\partial T}{\partial t} N_i d\Omega - \int_{\Omega^{(e)}} \left[\frac{\partial N_i}{\partial x} \quad \frac{\partial N_i}{\partial y} \quad \frac{\partial N_i}{\partial z} \right] \begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{Bmatrix} d\Omega = \int_{\Omega^{(e)}} Q N_i d\Omega - \int_{\Gamma^{(e)}} (q \cdot n) N_i d\Gamma, i=1,2,\dots,r \quad (3.36)$$

Daha sonra, S_1, S_2, S_3 ve S_4 integrallerinin toplamı olarak yüzey integrali ifade edilir ve sınır şartları tanıtlır. Bunun için:

$$\int_{\Omega^{(e)}} \rho c \frac{\partial T}{\partial t} N_i d\Omega - \int_{\Omega^{(e)}} \left[\frac{\partial N_i}{\partial x} \quad \frac{\partial N_i}{\partial y} \quad \frac{\partial N_i}{\partial z} \right] \begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{Bmatrix} d\Omega = \quad (3.37)$$

$$\int_{\Omega^{(e)}} Q N_i d\Omega - \int_{S_1} (q \cdot n) N_i d\Gamma + \int_{S_2} q_{s2} N_i d\Gamma - \int_{S_3} h(T - T_e) N_i d\Gamma - \int_{S_4} (\sigma \epsilon T^4 \alpha q_r) N_i d\Gamma, \\ i = 1, 2, \dots, r$$

Son basamak olarak denklem 3.33'a dan eleman sıcaklıklarını ve fourier kanunundan (denklem 3.29) ısı akış komponentleri tanıtlır. Kolaylık için, denklem 3.29 matris formunda yazılır.

$$\begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \\ \frac{\partial T}{\partial z} \end{Bmatrix} \quad (3.38)$$

Burada, $[k]$ termal iletkenlik (kondüktivite) matrisidir ve denklem 3.33 b ile düğümsel sıcaklıklar bakımından sıcaklık gradientlerini ifade eder.

$$\begin{Bmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{Bmatrix} = -[k][b]\{T\} \quad (3.39)$$

Sonuç olarak, bazı uygulamalardan sonra, sonuç eleman denklemleri aşağıdaki gibi olur.

$$[C]\left\{\frac{dT}{dt}\right\} + [[K_c] + [K_h] + [K_r]]\{T\} = \{R_T\} + \{R_Q\} + \{R_q\} + \{R_h\} + \{R_r\} \quad (3.40)$$

Burada,

$$[C] = \int_{\Omega^e} \rho c [N][N] d\Omega \quad (3.41a)$$

$$[K_c] = \int_{\Omega^e} [B]^T [k][B] d\Omega \quad (3.41b)$$

$$[K_h] = \int_{s_3} h [N][N] d\Gamma \quad (3.41c)$$

$$[K_r]\{T\} = \int_{s_4} \sigma \epsilon T^4 \{N\} d\Gamma \quad (3.41d)$$

$$\{R_T\} = - \int_{s_1} (q \cdot n) \{N\} d\Gamma \quad (3.42 a)$$

$$\{R_Q\} = \int_{\Omega} Q \{N\} d\Omega \quad (3.42 b)$$

$$\{R_q\} = \int_{s_2} q_r \{N\} d\Gamma \quad (3.42 c)$$

$$\{R_h\} = \int_{s_3} h T_s \{N\} d\Gamma \quad (3.42 d)$$

$$\{R_r\} = \int_{s_4} \alpha q_r \{N\} d\Gamma \quad (3.42 e)$$

Düğümsel sıcaklıkların zaman türevinin katsayı matrisi $[C]$ eleman kapasitans matrisidir. Katsayı matrisleri $[K_c]$, $[K_h]$ ve $[K_r]$ eleman kondüktans matrisleridir ve sırasıyla kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyonla ilgilidir. Konveksiyon ve radyasyon matrisleri, sadece yüzey konveksiyon ve/veya radyasyonlu elemanlar için hesaplanır. Vektörler, $\{R_T\}$, $\{R_Q\}$, $\{R_h\}$ ve $\{R_r\}$ sırasıyla, belirlenen düğümsel sıcaklıklardan, dahili ısı oluşumundan, belirlenen yüzey ısınmasından, yüzey konveksiyonundan ve yüzey radyasyon ısınma olayından oluşan ısı yük vektörleridir.

Vektör $\{R_T\}$, belirli sıcaklıklarda yüzey S_1 deki düğümleri beslemek için uygulanan bilinmeyen düğümsel ısı yüklerini ifade eder.

Konveksiyon ve radyasyon ısı yük vektörleri, onların yerini tutan kondüktans matrisleri gibi sadece yüzey konveksiyon ve / veya radyasyonlu elemanlar için hesaplanır.

Denklemler 3.40, anizotropik ortamda geçişli ısı iletimi için eleman denklemlerinin genel lineer olmayan formulasyonudur. Sistem denklemlerini bulmak için eleman denklemlerinin bileşimi standart yöntem izler. Pratik ısı iletim problemlerinin analizi için genel denklemlerin özel durumları genellikle dikkate alınır, çünkü çözüm algoritmaları, problemin geçişli veya dengeli durum, yada lineer veya nonlineer olup olmadığına bağlıdır.

Lineer dengeli-durum analizi:

$$[[K_c] + [K_h]]\{T\} = \{R_Q\} + \{R_a\} + \{R_h\} \quad (3.43)$$

Lineer geçişli analiz:

$$[C]\{T(t)\} + [[K_c] + [K_h(t)]]\{T(t)\} = \{R_Q(t)\} + \{R_a(t)\} + \{R_h(t)\} \quad (3.44)$$

Lineer olmayan dengeli durum analizi:

$$[[K_c(T)] + [K_h(T)] + [K_r(T)]]\{T\} = \{R_q(T)\} + \{R_q(T)\} + \{R_h(T)\} + \{R_r(T)\} \quad (3.45)$$

Lineer olmayan geçişli analiz:

$$\begin{aligned} [C(T)]\{T\} + [[K_c(T)] + [K_h(T, t)] + [K_r(T)]]\{T(t)\} \\ = \{R_q(T, t)\} + \{R_q(T, t)\} + \{R_h(T, t)\} + \{R_r(T, t)\} \end{aligned} \quad (3.46)$$

Lineer olmayan dengeli durum analizi için denklem 3.43, eleman konduktans matrisinin konduksiyon ve konveksiyondan takviyeye ve ısı yük vektörünün dahili ısı oluşumundan, yüzey ısınmasından ve yüzey konveksiyonundan takviyeye sahip olduğunu gösterir. Lineer dengeli durum analizleri için eleman matrisleri ve ısı yük vektörleri sabittir ve simultaneous denklemler grubunun lineer çözümlerini gerektirir. Lineer geçişli analiz için denklem 3.44 eleman kapasitans matrisinde ayrıca gerektiğini ve eleman konveksiyon matrisleri ve ısı yük vektörlerinin zaman bağımlı olduğunu, ve time marching şeması ile denklemlerin çözümünü gerektirir. Lineer olmayan dengeli durum analizi için denklem 3.45 eleman matrisleri ve ısı yük vektörlerinin radyasyondan takviyeye sahip olduklarını ve matrisler ve vektörlerin sıcaklık bağımlı olduğunu gösterir, bunun için denklemler nonlineerdir ve tekrarlayan planla çözümler gerektirir. Genel lineer olmayan geçişli durum için denklem 3.46, eleman matrislerinin ve ısı yük vektörlerinin, her ikisinin de sıcaklık ve zaman bağımlı olduğunu tekrarlayan çözümlerle, time-marching şema gerektirdiğini gösterir.

3.2.1.2.ELEMAN DENKLEMLERİ

Yukarıdaki eleman denklemlerinin uygulamasını örneklemek için , belirli ısıtma ve yüzey konveksiyonuna sahip, bir ve iki boyutlu konduksiyon elemanlarını gözönüne alınarak eleman kapasitans ve konduktans matrisleri ve ısı yük vektörleri geliştirilecektir. Eleman termal özellikleri, dahili ısı oluşumu, yüzey ısıtma ve yüzey konveksiyon, eleman için sabit kabul edilir.

Bir boyutlu çubuk eleman

Konduksiyonlu, dahili ısı oluşumu, belirlenmiş yüzey ısınması ve yüzey konveksiyonuna sahip bir boyutlu iki düğüm çubuk eleman Şekil 3.22 de gösteriliyor. Çubuk A kesit alanı ve p perimetere sahip. Lokal koordinatlarda, eleman interpolasyon fonksiyonları aşağıda:

$$\begin{aligned} N_1(x) = L_1(x) &= 1 - \frac{x}{L} \\ N_2(x) = L_2(x) &= \frac{x}{L} \end{aligned} \quad (3.47 \text{ a})$$

ve denklemler 3.34 b ile

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{\partial N_1}{\partial x} = -\frac{1}{L} \\ B_2 &= \frac{\partial N_2}{\partial x} = \frac{1}{L} \end{aligned} \quad (3.47 \text{ b})$$

Eleman matrisleri, denklemler 3.41a-3.41c, ve ısı yük vektörleri, denklemler 3.42b - 3.42d $[k] = k \cdot d\Omega = A dx$ ve $d\Gamma = p dx$ kullanılarak hazır olarak değerlendirilir.

$$[C] = \int_0^L \rho c [N] [N] A dx = \frac{\rho c A L}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.48a)$$

$$[K_c] = \int_0^L k [B] [N] A dx = \frac{k A}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.48b)$$

$$[K_h] = \int_0^L h [N] [N] p dx = \frac{h p L}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.48c)$$

$$\{R_q\} = \int_0^L Q [N] A dx = \frac{Q A L}{2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.48d)$$

$$\{R_q\} = \int_0^L q_r [N] p dx = \frac{q_r p L}{2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.48e)$$

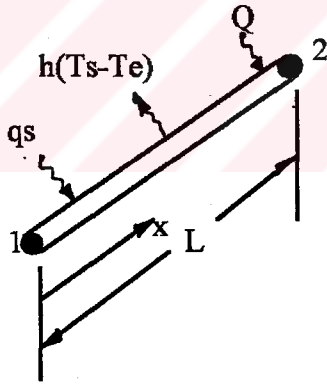
$$\{R_n\} = \int_0^L hT_e \{N\} p dx = \frac{hT_e p L}{2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.48 f)$$

Çubuk eleman kapasitans matrisi, denklemler 3.48 a, tutarlı (dengeli) kapasitans matrisi olarak bilinir, çünkü genel sonlu eleman matris denklemi (denklemler 3.41a) kullanılarak türetilir ve bu denklemler 3.41 de verilen diğer eleman matris tanımları ile tutarlıdır. Alternatif yaklaşım her bir düğümdeki kapasitansı "bir araya toplamaktır" dolayısıyla ile çapraz kapasitans matrisi üretmektir.

Geçişli analizlerde, çapraz kapasitans matrisi kullanışlıdır, çünkü kesin zaman integrasyon algoritması kullanımına izin verir. Çubuk eleman için bir araya toplanmış kapasitans matrisi aşağıdaki gibidir;

$$[C] = \frac{\rho c A L}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{bir araya toplanmış}) \quad (3.48 g)$$

ki bu fiziksel olarak eleman kapasitansı $\rho c A L$ iki düğüm arasında eşit olarak bölünür demektir.



Şekil 3.22. Çubuk ısı transfer elemanı

Üçgensel eleman

Kondüksiyon, dahili ısı oluşumu, belirli yüzey ısıtması ve yüzey konveksiyonuna sahip, t kalınlıklı 3 düğümlü üçgensel eleman Şekil 3.23 de gösteriliyor. Eleman her bir kenardaki konvektif ısı değiş tokuşu ve yüzey ısınmasına katlanabilir. Kolaylık için bu ısı

değiş tokuşu sadece tipik kenar için gösteriliyor. Global koordinatlarda üçgen için eleman interpolasyon fonksiyonları aşağıdaki denklemlerle veriliyor:

$$N_i = L_i = \frac{a_i + b_i x + c_i y}{2\Delta}, \dots, i = 1, 2, 3 \quad (3.49 a)$$

$$-\frac{\partial N_i}{\partial x} = \frac{b_i}{2\Delta}, \dots, \frac{\partial N_i}{\partial y} = \frac{c_i}{2\Delta} \quad \text{olduğundan}$$

denklem 3.34 b aşağıdakini verir.

$$[B] = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \quad (3.49 b)$$

Burada Δ üçgenin bölgesi $[B]$ sabitlerin matrisidir. Eleman matrisleri, (denklemler 3.41a-3.41c), ve ısı yük vektörleri (denklemler 3.42b -3.42d) gerek bölge koordinatları için integral formülü kullanılarak (denklem 3.50) gerekse direkt integrasyonla kolaylıkla değerlendirilebilir.

$$\int_{A^{(e)}} L_1^\alpha L_2^\beta L_3^\gamma dA^{(e)} = \frac{\alpha! \beta! \gamma!}{(\alpha + \beta + \gamma + z)} 2\Delta \quad (3.50)$$

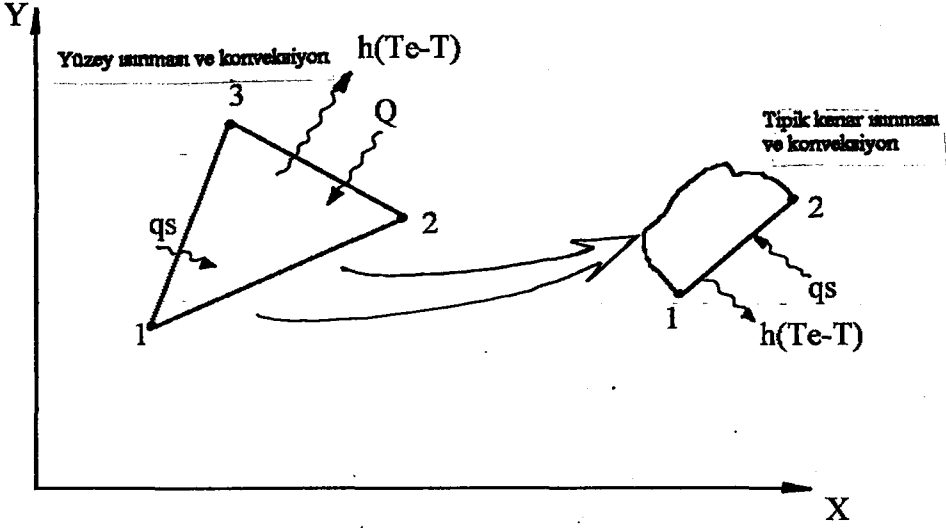
Örneğin, uygun kapasitans matrisinin elemanları, denklem 10.14a dan aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{ij} = \int_{\Delta} \rho c N_i N_j t dA \quad (3.51)$$

Burada, aşağıdakini oluşturmak için denklem 3.50 ve *Tablo 3.1* kullanılarak değerlendirme yapılır.

$$[C] = \frac{\rho c t \Delta}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.52a)$$

t bu içerikte eleman kalınlığını göstermek için kullanılmıştır.



Şekil 3.23 Düz üçgen ısı transfer elemanı

Konduksiyon matrisi $[K_c] = \int_{\Delta} [B]^T [k] [B] t dA$ olarak denklem 3.41b den hesaplanır, ancak denklem 3.49 b de verilen, sıcaklık-gradient interpolasyon matrisi $[B]$ 'nin elemanları sabit olduğundan, integrand sabittir ve direkt olarak aşağıdaki bulunur:

$$[K_c] = t \Delta [B]^T [k] [B] \quad (3.52 b)$$

Dahili ısı oluşumu, yüzey ısınması ve yüzey bölgesi Δ üzerindeki konveksiyon için ısı yük vektörleri ve yüzey konveksiyon matrisi aşağıdaki gibi çıkarılır.

$$[K_h] = \int_{\Delta} h \{N\} \{N\} dA = \frac{h \Delta}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.52 c)$$

$$\{R_Q\} = \int_{\Delta} Q \{N\} t dA = \frac{Q t \Delta}{3} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.52 d)$$

$$\{R_q\} = \int_{\Delta} q_r \{N\} dA = \frac{q_3 \Delta}{3} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.52 e)$$

$$\{R_h\} = \int_{\Delta} h T_s \{N\} dA = \frac{h T_s \Delta}{3} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.52 f)$$

Üçgen eleman için bir araya toplanmış kapasitans matrisi aşağıdaki gibidir:

$$[C] = \frac{\rho c t \Delta}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{bir araya toplanmış}) \quad (3.52 g)$$

Burada kapasitans üç düğüm arasında eşit olarak bölünür. Bu sonuç, denklem 3.52a dan, sıra elemanlarının ilavesi, çaprazda sonucun yerleştirilmesi ile ve çapraz elemanların sıfırlanması ile bulunabilir. Eğer üçgenin kenarı yüzey ısı transferli bölgenin sınırı ile çakışırsa, ilave olarak konduktans matrisi ve ısı yük vektörü gereklidir. Çubuk eleman yüzey alanı pL , ve tipik üçgen kenarın yüzeyi tl_{12} dir, burada l_{12} kenarın uzunluğudur. Bu yer değişimini kullanarak denklem 3.48c, 3.48e ve 3.48f den aşağıdakiler bulunur.

$$[K_h] = \frac{htl_{12}}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.53 a)$$

$$\{R_q\} = \frac{q_r tl_{12}}{2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.53 b)$$

$$\{R_h\} = \frac{h T_s tl_{12}}{2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.53 c)$$

Alternatif olarak bu denklemlerin iyileştirilmesi için daha genel yöntem ,eleman kenarı boyunca ölçülen lokal koordinat s kullanılarak tipik kenar için genel eleman integrallerini hesaplar.

TABLO 3.1 Bölge koordinatlarının integralleri

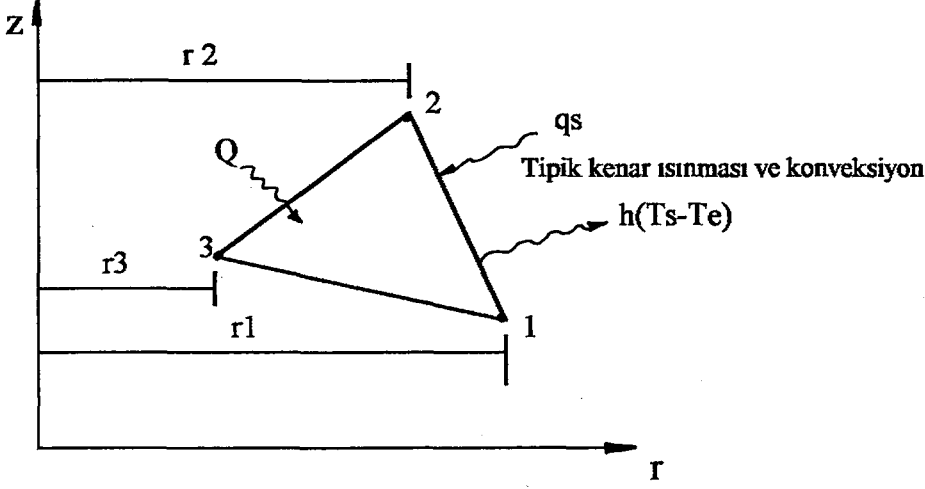
$$I_{\alpha\beta\gamma} = \frac{1}{\Delta} \int_{A^{(e)}} L_1^\alpha L_2^\beta L_3^\gamma dA^{(e)} = \frac{A}{B}$$

$\alpha + \beta + \gamma$	α	β	γ	A	B
0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	1	3
2	2	0	0	2	12
2	1	1	0	1	12
3	3	0	0	6	60
3	2	1	0	2	60
3	1	1	1	1	60
4	4	0	0	12	180
4	3	1	0	3	180
4	2	2	0	2	180
4	2	1	1	1	180
5	5	0	0	60	1,260
5	4	1	0	12	1,260
5	3	2	0	6	1,260
5	3	1	1	3	1,260
5	2	2	1	2	1,260
6	6	0	0	180	5,040
6	5	1	0	30	5,040
6	4	2	0	12	5,040
6	4	1	1	6	5,040
6	3	3	0	9	5,040
6	3	2	1	3	5,040
6	2	2	2	2	5,040

Eksen simetrik üçgen eleman

Z ekseninde etrafında geometrik simetriye sahip 3 boyutlu bölgede ısı transferi, uygun olarak silindirik koordinatlar r, θ, z de formüle edilir. Eğer ilaveten ,bütün ısı transfer ve termal özellikler θ dan bağımsız ise, sıcaklık sadece r ve z ' nin fonksiyonudur ve bölge eksen simetrik daire (halka) elemanlarla ifade edilebilir ve iki boyutlu problem olarak analiz edilebilir. Konduksiyona, dahili ısı oluşumuna, belirli kenar ısınmasına ve

kenar konveksiyonuna sahip üç düğümlü eksen simetrik üçgen eleman *Şekil 3.24* de gösteriliyor.



Şekil 3.24 Eksensimetrik üçgen ısı transfer elemanı

Eleman r - z düzleminde, kenar ısınması ve konveksiyon tipik kenarda gösterilir. Eleman matrislerinin türevi, düzlem üçgen elemana benzerdir, temel fark integrasyonların r - z düzleminde ve silindirik koordinatlar $d\Omega = 2\pi r dr dz$ de icra edilmesidir. Alan problemlerinde eksen simetrik elemanlar için eleman matrisleri aşağıdadır:

$$[C] = \frac{\rho c \Delta}{12} \begin{bmatrix} 6r_1 + 2r_2 + 2r_3 & 2r_1 + 2r_2 + r_3 & 2r_1 + r_2 + 2r_3 \\ \text{simetrik} & 2r_1 + 6r_2 + 2r_3 & r_1 + 2r_2 + 2r_3 \\ & & 2r_1 + 2r_2 + 6r_3 \end{bmatrix} \quad (3.54 a)$$

$$[K_c] = \frac{(r_1 + r_2 + r_3)\Delta}{3} [B]^T [k] [B] \quad (3.54 b)$$

$$\{R_Q\} = \frac{Q\Delta}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{Bmatrix} \quad (3.54 c)$$

Burada $r_i, i=1,2,3$ radyal düğümsel koordinatlar ve Δ , üçgenin bölgesi; Δ ve $[B]$ nin elemanları sırasıyla denklemler 3.55 ve 3.56 kullanılarak düğümsel koordinatlardan hesaplanır.

$$2\Delta = \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix} = 2(\text{üçgen..bölgesi} \cdot 1 - 2 - 3) \quad (3.55)$$

$$a_1 = x_2 y_3 - x_3 y_2, \dots b_1 = y_2 - y_3, \dots c_1 = x_3 - x_2 \quad (3.56)$$

Tipik eleman kenarı 1-2 boyunca yüzey ısınması ve konveksiyon ısı transferinden iştirakler (katkılar) aşağıdaki gibidir:

$$[K_n] = \frac{hl_{12}}{12} \begin{bmatrix} 3r_1 + r_2 & r_1 + r_2 \\ r_1 + r_2 & r_1 + 3r_2 \end{bmatrix} \quad (3.54 d)$$

$$\{R_q\} = \frac{q_s l_{12}}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{Bmatrix} \quad (3.54 e)$$

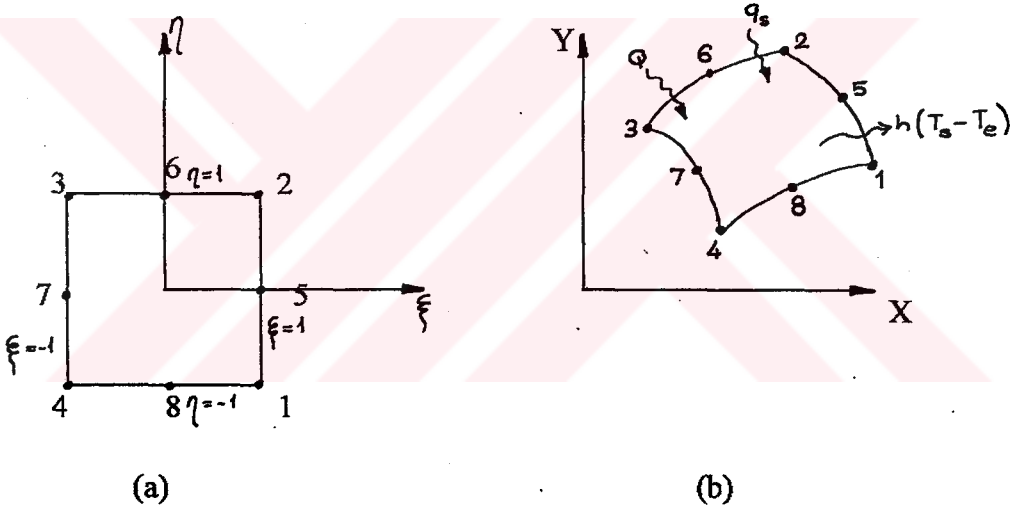
$$\{R_h\} = \frac{hT_e l_{12}}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{Bmatrix} \quad (3.54 f)$$

Burada, l_{12} kenarın uzunluğudur. Final çözümündeki denklem 3.40 ın her iki tarafında da görüldüğünden, denklemler 3.54 'ün her birinde görünen 2π faktörü iptal edilmiştir.

İzoparametrik Elemanlar

Yukarıda anılan, sırasıyla iki ve üç düğümlü çubuk, düzlem ve eksen simetrik üçgen elemanlar, lineer analiz için (denklem 3.52-3.54) eleman matrislerinin açık tanımlamalarına izin veren basit sıcaklık interpolasyon fonksiyonlarını esas alır. Bu elemanlar, ilişkilerinin basitliği ve programlamanın kolaylığı bakımından sonlu eleman termal analizleri için ilk kullanılanlar arasında idi. Bununla beraber, elemanlar düşük-düzen interpolasyon fonksiyonları, bağıl olarak daha düşük doğruluğa sahiptir, ve modern programlarda, bunlar daha yüksek doğruluk ve yaklaşık eğri sınırlara yakın olma kabiliyetine sahip olan, daha yüksek-düzen izoparametrik elemanlarla yer değiştirilir ve/veya eklenir.

İzoparametrik elemanların dezavantajları, eleman matrislerinin daha açık olarak türetilmemesi, bunun yerine eleman matrislerinin numerik integrasyonla hesaplanmasıdır. Bununla beraber, bu integrasyon yöntemleri standart olmuştur ve açık eleman denklemlerinden hesaplanan eleman matrisleri ile karşılaştırıldığında hesaplama zamanında sadece küçük bir hata bulunur. Isı konduksiyonu için izoparametrik eleman formülasyonunu örneklemek için rastgele eleman ailesi iki boyutlu çözüm bölgesinde ele alınır. Rastgele seçilen elemanlar ya 4, 8 yada 12 düğüme sahip olabilir, en popüler 8-düğüm quadratik eleman Şekil 3.25 de gösterilmektedir. Şekil 3.25a, ξ - η düzleminde "ana" elemanı ve x-y düzleminde tipik quadratik elemanı gösterir. Sadece quadratik eleman gösterilmesine rağmen, eleman formülasyonu, r düğümlü eleman için ifade edilir. Formülasyon iki boyutlu elemanlar için örneklenmekle beraber üç boyutlu elemanlara genişletme mümkündür. İzoparametrik yaklaşım kullanılarak, ξ - η düzlemindeki düğümler sıcaklığı interpolate etmek için kullanılan benzer interpolasyonu kullanarak x-y düzlemindeki uygun noktalar üzerine işaretlenir.



Şekil 3.25 İzoparametrik ısı transfer elemanı

Denklemler

$$x(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^r N_i(\xi, \eta) x_i \quad (3.57a)$$

$$y(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^r N_i(\xi, \eta) y_i \quad (3.57b)$$

$$T(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^r N_i(\xi, \eta) T_i \quad (3.57c)$$

Burada, interpolasyon fonksiyonları $N_i(\xi, \eta)$, aşağıdaki denklemlerden ortaya çıkar.

1. Linear eleman

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi\xi_i)(1 + \eta\eta_i) \quad (3.58)$$

2. Quadratik eleman

$\xi = \pm 1, \eta = \pm 1$ deki düğümler için:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi\xi_i)(1 + \eta\eta_i)(\xi\xi_i + \eta\eta_i - 1)$$

$\xi = 0, \eta = \pm 1$ deki düğümler için :

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{2}(1 - \xi^2)(1 + \eta\eta_i)$$

$\xi = \pm 1, \eta = 0$ daki düğümler için:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{2}(1 + \xi\xi_i)(1 - \eta^2) \quad (3.59)$$

3. Kübik eleman

$\xi = \pm 1, \eta = \pm 1$ deki düğümler için:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{32}(1 + \xi\xi_i)(1 + \eta\eta_i)[9(\xi^2 + \eta^2) - 10]$$

$\xi = \pm 1, \eta = \pm \frac{1}{3}$ deki düğümler için:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{9}{32}(1 + \xi\xi_i)(1 - \eta^2)(1 + 9\eta\eta_i) \quad (3.60)$$

ve diğer kenar düğümleri için benzerdir.

Hacim integrallerini içeren eleman matrisleri $d\Omega = t dx dy = t |J(\xi, \eta)| d\xi d\eta$ yazılarak hesaplanır. Burada ξ - η düzlemindeki alan elemanını anlatmak için aşağıdaki ifadeyi kullanırız:

$$dx dy = |J| d\xi d\eta \quad (3.61)$$

$|J|$ Jacobienin determinantıdır, denklem 3.62 ve denklemler 3.57a ve 3.57b kullanılarak hesaplanabilir.

$$[J(\xi, \eta)] = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \xi}(\xi, \eta) x_i & \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \xi}(\xi, \eta) y_i \\ \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \eta}(\xi, \eta) x_i & \sum_{i=1}^8 \frac{\partial N_i}{\partial \eta}(\xi, \eta) y_i \end{bmatrix} \quad (3.62)$$

$$[J(\xi, \eta)] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (3.63)$$

Bu transformasyon esas(ana) elemanın (Şekil 3.25a) birim alanı üzerindeki integrasyon vasıtası ile hesaplanacak eleman integrallerine olanak tanır. Örneğin eleman kapasitans matrisi $[C] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \rho c [N(\xi, \eta)] [N(\xi, \eta)]^t |J(\xi, \eta)| d\xi d\eta$ dir, ki bu normal olarak numerik integrasyonla hesaplanır. Numerik integrasyonun en çok kullanılan metodu Gauss-Legendre quadrature (karelemesi) dir. Bu yaklaşım kullanılarak kapasitans matrisi aşağıdaki gibidir;

$$[C] = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} W_i W_j \rho c \{ N(\xi_i, \eta_j) \} [N(\xi_i, \eta_j)]^T [J(\xi_i, \eta_j)] \quad (3.64)$$

Burada w_i ve w_j , Gauss ağırlıkları, ξ_i ve η_j , Gauss noktalarının koordinatları ve NG, her bir integrasyon yönündeki Gauss noktalarının numarasıdır. Gauss ağırlıkları ve koordinatları. Eleman kondüksiyon matrisi, sıcaklık- gradient interpolasyon matrisi $[B]$ hariç, benzer usulde hesaplanır, denklem 3.41b' nin integrantında görünen bu durum, ξ ve η yönünden hesaplanır.

Eleman kondüksiyon matrisi: $[K_c] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 t [B(\xi, \eta)]^T [k] [B(\xi, \eta)] J(\xi, \eta) d\xi d\eta$ dir.

Gauss-Legendre karalemesi ile hesaplanır

$$[K_c] = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{j=1}^{NG} W_i W_j t [B(\xi_i, \eta_j)]^T [k] [B(\xi_i, \eta_j)] J(\xi_i, \eta_j) \quad (3.65)$$

Kapasitans ve kondüksiyon matrislerinde eleman kalınlıkları sabit veya $t(\xi, \eta)$ olan eleman bölgesi üzerinde değişken olabilir; bununla beraber, tipik elemanlarda t sabittir ve denklemler 3.64 ve 3.65 daki toplamların dışında verilir. Arta kalan eleman matrisleri ξ - η düzleminde Gauss-Legendre karelemesi ile benzer olarak hesaplanır. Eleman boyunca integraller, lokal koordinat s kullanılarak hesaplanır; eleman kenarı boyunca mesafe $d\Gamma, ds$ bakımından ifade edilir ki burada $ds = (dx^2 + dy^2)^{1/2}$ dir. Denklemler 3.57a ve 3.57b kullanılarak eleman kenarı boyunca integrasyon, Gauss-Legendre karelemesi ile esas elemanın uygun kenarı boyunca yürütülür.

3.2.1.3 LİNEER DENGELİ (SÜREKLİ) DURUM VE GEÇİŞLİ ÇÖZÜMLER

Lineer ısı transfer problemleri, dengeli -durum sıcaklıkları için denklem 3.43 çözümünden ve geçici sıcaklıklar için denklem 3.44 'nin çözümünden ibarettir, ki burada her bir denklem uygun başlangıç ve sınır şartlarına bağlıdır.

Cebrik denklemlerin simetrik sistemi Gauss eliminasyonu gibi standart metodlar kullanılarak, uygun olarak çözüldüğünden, lineer dengeli durum ısı iletim problemlerinin numerik çözümü özel güçlükler ileri sürmez.

Geçici ısı kondüksiyon problemlerinin numerik çözümü, ilk düzen simultaneous ordinary diferansiyel denklemlerin çözüm grubunu içerir. Burada ısı transfer analizi için iki genel yaklaşım özetlenmektedir açık ileri fark planı ve kapalı bir-parametre " θ " planları.

Açık ileri fark (Euler) planı, toplanmış kapasitans matrisi gerektirir ve çiflenmemiş (uncoupled) cebrik denklemlerin grubundan zaman t_{n+1} deki sıcaklıkları hesaplar.

$$[C]\{T\}_{n+1} = \{R\}_{n+1} \quad (3.66a)$$

Burada,

$$\{R\}_{n+1} = [[C] - \Delta t [K]]\{T\}_n + \Delta t \{R\}_n \quad (3.66b)$$

Düğümsel sıcaklıklar direkt olarak ,çifleştirilmemiş denklemlerden (denklem 3.66a) simultaneous cebrik denklemler çözümü masrafi olmaksızın, hesaplandığından açık plan önemli hesapsal tasarruflar sunar. Açık planın dezavantajı algoritmanın şartlı olarak sabit (kararlı) olması ve zaman dilimi Δt 'nin aşağıdaki ifade ile verilen kritik zaman aralığı Δt_{cr} den daha küçük olacak şekilde seçilmesidir.

$$\Delta t_{cr} = \frac{2}{\lambda_m} \quad (3.66c)$$

Burada λ_m max. sistem özdeğeridir. Kapalı " θ " integrasyon algoritma, ne bir araya toplanmış, nede tutarlı kapasitans matrislerine izin vermeden, çifleştirilmiş cebrik denklemler grubundan zaman t_{n+1} deki sıcaklıkları hesaplar.

$$[K]\{T\}_{n+1} = \{R\}_{n+1} \quad (3.67a)$$

Burada,

$$[\bar{K}] = \theta [K] + \frac{1}{\Delta t} [C] \quad (3.67b)$$

$$\{\bar{R}\}_{n+1} = \left[-(1-\theta)[K] + \frac{1}{\Delta t}[C] \right] \{T\}_n + (1-\theta)\{R\}_n + \theta\{R\}_{n+1} \quad (3.67c)$$

Parametre θ , farklı algoritmalar vermek için seçilebilir. Eğer $\theta = \frac{1}{2}$ ise, algoritma Crank-

Nicolson metodudur; eğer $\theta = \frac{2}{3}$ ise, algoritma Galerkin metodudur; ve eğer $\theta = 1$ ise,

algoritma geri fark metodudur. Bu algoritmalar şartsız olarak dengelidir, ancak çok geniş zaman aralığı kullanımı, hesaplanan frekansta sahte titreşimler verebilir, bu yüzden zaman aralık seçimi her iki açık ve kapalı algoritmalar için önemli pratik düşüncedir. Isı konduksiyonunda açık algoritmaların seçimi, yığılmış kapasitans matrisinin kullanımını gerektirir, halbuki kapalı algoritmanın seçimi, gerek yığılmış gerekse bu hareket tarzına uyan kapasitans matrisine izin verir.

3.2.1.4. LINEER OLMAYAN DENGELİ-DURUM ÇÖZÜMLERİ

Denklem 3.45, lineer olmayan dengeli-durum ısı transfer denklemlerini tanımlar. Lineer olmayanların yaygın olarak karşılaşılan üç kaynağı, sıcaklık bağımlı özellikler, radyasyon ısı transferi ve sıcaklık bağımlı ısınmadır. Termal iletkenlik ve konveksiyon katsayısı sıcaklık bağımlı olabilir. Konduksiyon matrisleri, sırasıyla denklem 3.41b ve 3.41c ve konveksiyon ısı yük vektörü, denklem 3.42d vasıtası ile çözümü etkileyebilir. Radyasyon ısı transferi tabii olarak nonlineerdir ve radyasyon matrisi, denklem 3.41d ve bağılı ısı yük vektörü, denklem 3.42e vasıtası ile çözümü etkiler. Dahili ısı oluşumu ve yüzey ısınma oranları, sıcaklık bağımlı da olabilir ve ısı yük vektörleri, denklemler 3.42b ve 3.42c vasıtası ile çözümleri etkiler.

Newton-Raphson Formülasyonu

Lineer olmayan denklemleri çözmek için en popüler metod Newton-Raphson iterasyon metodudur.

Algoritma;

$$[J]^m \{\Delta T\}^{m+1} = -\{F\}^m \quad (3.68a)$$

$$\{T\}^{m+1} = \{T\}^m + \{\Delta T\} \quad (3.68b)$$

Newton-Raphson Formulasyonu

Lineer olmayan denklemleri çözmek için en popüler metod Newton-Raphson iterasyon metodudur.

Algoritma;

$$[J]^m \{\Delta T\}^{m+1} = -\{F\}^m \quad (3.68a)$$

$$\{T\}^{m+1} = \{T\}^m + \{\Delta T\} \quad (3.68b)$$

Burada, m üst işareti m . iterasyonu gösterir. $[J]^m$ Jacobien matrisidir ve $\{\Delta T\}^{m+1}$ m . iterasyondaki matris denklemlerindeki, dengesiz veya artan yük vektörü $\{F\}^m$ dolayısıyla, düğümsel sıcaklık artımlarının vektörüdür. En genel formunda Jacobien ve dengesiz yük vektörü, her bir iterasyonda yeniden hesaplanır ancak değiştirilmiş Newton-Raphson algoritması aynı zamanda, Jacobienin sadece bir kere hesaplandığı ve ondan sonra sabit tutulduğunda kullanılır. Çözümün yakınsaması genellikle , spesifik yakınsama kriterini karşılamak için sıcaklık artımlarını (veya bu artımların uygun normu) gerektirerek belirlenir. Newton-Raphson metodunu, lineer olmayan ısı transfer problemlerine uygulamak için Jacobien ve dengesiz yük vektörü için genel formlar türetilmektedir. Denklem 3.45 aşağıdaki gibi olur;

$$\{F\} = [K(T)]\{T\} - \{R(T)\} \quad (3.69a)$$

Burada,

$$[K(T)] = [K_c] + [K_h] + [K_r] \quad (3.69b)$$

ve

$$\{R(T)\} = \{R_o(T)\} + \{R_q(T)\} + \{R_h(T)\} + \{R_r(T)\} \quad (3.69c)$$

Düğümsel sıcaklıkların keyfi düzeni için , denklem 3.69a daki $\{F\}$, düğümsel ısı yüklerindeki dengesizliği ifade eder. Tipik dengesi bozuk denklem aşağıdaki gibi yazılır;

$$F_i = \sum_{j=1}^n K_{ij} T_j - R_i \quad (3.70)$$

Bu, $J_{ij} = \partial F_i / \partial T_j$ tanımlaması ile Jacobiennin hesabına izin verir. K_{ij} nin , T_j nin fonksiyonu olduğu hatırlanarak , terimin toplam içinde çarpım olarak diferansiyeli alınır, ve daha sonra sonuç aşağıdaki gibi yazılır:

$$[J] = [K] + [\Delta K] - [\Delta R] \quad (3.71a)$$

$$\Delta K_y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial K_{ii}}{\partial T_j} T_i \quad (3.71b)$$

$$\Delta R_y = \frac{\partial R_i}{\partial T_j} \quad (3.71c)$$

Denklem 3.71 Jacobien matrisin 3 kısma sahip olduğunu gösterir; eleman konduktans matrisi $[K]$, denklem 3.69b; bu matristeki artım $[\Delta K]$, denklem 3.71b; ve sıcaklık bağımlı ısı vektörlerinden katılım, denklem 3.71c. Jacobien matris'in, $[\Delta K]$ ve $[\Delta R]$ den dolayı asimetrik olduğu ve sonucu olarak iteratif çözümün asimetrik denklem çözücü gerektirdiğine dikkat. Eğer $[\Delta K]$ ve $[\Delta R]$ dikkate alınmaz ve konduktans matris ile Jacobiene yaklaşılr ise, matris simetrisini muhafaza eder ancak, iteratif çözümün yakınsaması daha yavaşlar.

Jacobienin ileri düzeyde değerlendirmesi, lineersizlikler ve eleman tiplerinin kimliği hakkında ek bilgiye ihtiyaç gösterir.

3.2.1.5 LİNEER OLMAYAN GEÇİCİ ÇÖZÜMLER

Çözüm Algoritmaları

Denklem 3.46 lineer olmayan geçici ısı transfer problemlerini tanımlar. Dengeli-durum çözümlerde olduğu gibi, lineersizliklerin yaygın olarak karşılaşılan kaynakları, sıcaklık bağımlı özellikler (geçici çözümler için spesifik ısı içererek), radyasyon ısı transferi ve sıcaklık bağımlı ısınmadır. Geçici lineer olmayan çözümler için integrasyon teknikleri, lineer geçici çözümler ve dengeli-durum (sürekli) nonlineer çözümler için olan metodların tipik karşılaştırmasıdır. Nonlineer ordinary diferansiyel denklemlerin geçici çözümü, lineersizlikler için her bir zaman basamağında düzeltme yapmak için iterasyonlu numerik integrasyon metodu kullanılarak hesaplanır. Açık veya kapalı bir-parametre θ planlar, zaman integrasyon metodu olarak sık sık kullanılır, ve Newton-Raphson veya değiştirilmiş Newton-raphson metodları, iterasyonlar için kullanılır.

Burada, lineer olmayan geçici problemler için θ planının gelişimi tarif edilip, bir serbestlik dereceli örnekle tipik algoritma performansı gösterilmektedir. Temel denklemler sistemi aşağıdaki gibi yazılır:

$$[C(T)]\{T(t)\} + [K(T,t)]\{T(t)\} = [R(T,t)] \quad (3.72)$$

Burada, konduktans matrisinin komponentleri ve ısı yük vektörü denklem 3.46 da görünür. t_n , cevaptaki tipik zamanı gösterebilir, $t_{n+1} = t_n + \Delta t$, burada $n=0,1,2,\dots,N$ dir. Algoritmaların genel ailesi, $t_\theta = t_n + \theta \Delta t$ gibi parametre θ yı tanıtarak sonuç verir, burada $0 \leq \theta \leq 1$ dir.

Denklem 3.72 aşağıdaki gibi yazılır;

$$[C(T_\theta)]\{\dot{T}\}_\theta + [K(T_\theta, t_\theta)]\{T\}_\theta = [R(T_\theta, t_\theta)] \quad (3.73)$$

Burada θ indisi, t_θ zamandaki sıcaklık vektörü $\{T(t_\theta)\}$ 'i gösterir ve aşağıdaki yaklaşımları tanıtır.

$$\{T\}_\theta = \frac{\{T\}_{n+1} - \{T\}_n}{\Delta t} \quad (3.74a)$$

$$\{T\}_\theta = (1 - \theta)\{T\}_n + \theta\{T\}_{n+1} \quad (3.74b)$$

$\{T\}_\theta$ ve $\{\dot{T}\}_\theta$ için ifadeleri denklem 3.72 de yerine koyarak aşağıdaki denklemler elde edilir;

$$\left[\theta [K(T_\theta, t_\theta)] + \frac{1}{\Delta t} [C(T_\theta)] \right] \{T\}_{n+1} = \left[-(1 - \theta) [K(T_\theta, t_\theta)] + \frac{1}{\Delta t} [C(T_\theta)] \right] \{T\}_n + [R(T_\theta, t_\theta)] \quad (3.75)$$

Burada, θ üssü t_θ zamanda sıcaklık vektörü $\{T(t_\theta)\}$ yı gösterir ve aşağıdaki yaklaşımları tanıtır.

Burada, $\{T\}_{n+1}$ ve $\{T\}_\theta$ bilinmeyenlerdir ve $\{T\}_n$ bir önceki zaman basamağından bulunur.

Eğer $\theta=0$ ise ve yığılmış kapasitans matrisleri kullanılırsa algoritma açıktır ve kesin lineer çözüm algoritması denklem 3.66' a benzer çift olmayan cebrik denklemlerin grubuna azalır. $\theta > 0$ için algoritma kapalıdır, kapalı lineer çözüm algoritması, denklem 3.67'e benzer çifletirilmiş cebrik denklemler düzeninin çözümünü gerektirir.

$\theta > 0$ için iteratif olarak denklem 3.75 çözülmeli; çünkü katsayılar matrisleri $[K(T_\theta, t_\theta)]$, $[C(T_\theta)]$ ve ısı yük vektörü $\{R(T_\theta, t_\theta)\}$, $\{T\}_\theta$ nın fonksiyonlarıdır.

Hughens, uygun lineer algoritmalarındaki gibi, $\theta \geq \frac{1}{2}$ için şartsız olarak kararlı olacak algoritmayı gösterir. $\theta < \frac{1}{2}$ için algoritma sadece şartlı olarak dengelidir ve zaman basamağı kritik zaman basamağından daha küçük seçilmelidir.

$$\Delta t_{cr} = \frac{2}{1-2\theta} \frac{1}{\lambda_m} \quad (3.76)$$

Burada λ_m , geçerli özdeğer problemin en büyük karakteristiğidir. Açık ve kapalı algoritmalar, lineer geçici çözümlerde ortaya çıktığı gibi benzer alışverişe sahiptir. Açık algoritma hesaplama için az çaba gerektirir, ancak şartlı olarak kararlıdır; kapalı algoritma daha büyük hesapsal çaba gerektirir, ancak şartsız olarak kararlıdır. Lineer olmayan kapalı algoritma, her bir zaman basamağındaki iterasyonlar için ihtiyaç olduğunda, lineer kapalı çözümlerdekinden daha büyük hesapsal çaba gerektirir. Bunun için, lineer olmayan termal problemlerde geçici çözüm algoritmasının seçimi, lineer çözümlerdekinden daha zordur.

3.2.2. KONVEKTIV-DİFÜZYON DENKLEMİ

Hareketli akışkan için enerji denklemi, konduksiyon (diffüzyon) sayesinde ısı transferi ve akışkan hareketi sayesinde ısı taşınımının, birleştirilmiş etkilerin içerir. Konvektiv-difüzyon denklemi olarak bilinen düzenleyici denklem, geniş araştırmaların konusudur. Burada konvektiv-difüzyon denklemi ile düzenlenmiş termal problemler için sonlu eleman formulasyonu sunulup, çözüm davranışı örneklenecektir. Bağımlı değişken olarak, sıcaklık alınmasına rağmen, formulasyon geneldir ve diğer problemlere uygulanabilir.

Problem

Yüzey Γ ile sınırlanmış, çözüm bölgesi Ω da 3 boyutlu sıkıştırılmaz akışkan akışında geçici veya sürekli ısı transferi göz önüne alınır. Konduksiyon ısı transferi için önceki tanıtılana benzer terminoloji kullanılacaktır. Problem akışkan enerji denklemi ile düzenlenir.

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + Q = \rho c_v \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3.77)$$

Burada, C_v sabit hacimde spesifik ısı, ve u, v, w akış hız komponentleridir. Hız komponentleri x, y, z ve t nin fonksiyonudur ve bilinir. Isı akış komponentleri, Fourier'in kanunu denklem 3.29 ile sıcaklık gradientlerine bağlanır. Enerji denklemi, konvektif transport terimleri için olanlar dışında, katı için olan denklem 3.28 ile benzerdir.

$$\rho C_v \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3.78)$$

Konvektif-diffüzyon (enerji) denklemi, yüzey Γ in bütününde başlangıç koşuluna (denklem 3.30) ve sınır şartlarına (denklem 3.31' e) tabi çözülür. Kolaylık için, aşağıdaki irdelemede radyasyon sınır şartı (denklem 3.31 d) üretilir. Konduksiyon probleminin formülasyonundaki gibi, sıcaklık bağımlı olarak termal özellikleri göz önünde tutulur. Petrov-Galerkin yaklaşımı ile ağırlıklı artanlar metodu kullanımı ile eleman denklemleri çıkarılır. Petrov-Galerkin yaklaşımı, interpolasyon fonksiyonlarından farklı olarak sıklet fonksiyonları w_i kullanır. Eleman matrisleri, konduksiyon için olanla aynıdır.

3.2.2.1 SONLU ELEMAN FORMULASYONU

Burada, sırasıyla denklemler 3.33 da gösterilen $[N(x, y, z)]$ ve $[B(x, y, z)]$ interpolasyon matrisleri kullanılarak düğümsel sıcaklıklar bakımından her bir elemandaki sıcaklık ve sıcaklık gradientleri anlatılır.

Sıklet fonksiyonları W_i ile ağırlıklı artımlar metodu kullanılır. Ağırlıklı artan metodu;

$$\int_{\Omega^{(e)}} \left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} - Q + \rho c_v \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_v \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] W_i d\Omega = 0, \quad i=1,2,\dots,r \quad (3.79)$$

Burada, $\Omega^{(e)}$ eleman (e) için çözüm bölgesidir. Konduksiyon bölümündeki yaklaşım takip edilerek, Gauss teoremi ile sol taraftaki ilk terim entegre edilip, sınır şartları tanıtılır, (denklem 3.31). Daha sonra denklem 3.39 yoluyla düğümsel sıcaklıklar bakımından ısı akış komponentleri anlatılır ve denklem 3.33b ile düğümsel sıcaklıklar bakımından konvektif transport komponentlerindeki sıcaklık gradientleri anlatılır. Sonuç olarak genel sonlu eleman formülasyonu bulunur.

$$[C]\{T\} + [[K_c] + [K_h]]\{T\} = \{R_Q\} + \{R_q\} + \{R_h\} \quad (3.80)$$

Burada,

$$[C] = \int_{\Omega} \rho c_v \{W\} [N] d\Omega \quad (3.81a)$$

$$[K_c] = \int_{\Omega} [B_w]^T [k] [B] d\Omega \quad (3.81b)$$

$$[K_h] = \int_{S_s} h \{W\} [N] d\Gamma \quad (3.81c)$$

$$[K_v] = \int_{\Omega} \rho c_v \{W\} [u \dots v \dots w] [B] d\Omega \quad (3.81d)$$

$$\{R_Q\} = \int_{\Omega} Q \{W\} d\Omega \quad (3.82a)$$

$$\{R_q\} = \int_{S_s} q_s \{W\} d\Omega \quad (3.82b)$$

$$\{R_h\} = \int_{S_s} h T_e \{W\} d\Omega \quad (3.82c)$$

Burada, $[B_w]$, W_i ile yerdeğiştirilen N_i 'li denklem 3.34b deki $[B]$ yi gösterir. Eleman kapasitans ve konduktans matrisleri ve ısı yük vektörleri, denklemler 3.41 ve 3.42 deki kondüksiyon için uygun matrisler ve vektörlere benzer, (genel sıklet fonksiyonu W_i için olan hariç). Konvektif transport terimi yeni konduktans matrisine katılır, denklem 3.81d, akış alanına bağlıdır. Transport terimlerinin karakteristik olduğu konvektif transport matrisi asimetriktir. Eğer $W_i = N_i$ (Bubnov-Galerkin yaklaşımı) kullanılırsa, bütün matrisler (konvektif transport matrisleri hariç) ve vektörler, katı için olanlarla aynıdır. Çözüm bölgesi için sistem denklemlerini bulmak için, genel yolda eleman matrisleri birleştirilir. Bununla beraber, konvektif transport matrisinin, hız komponentleri sayesinde "vektör karakterine" sahip olduğuna dikkat. Çoğu analizci, hız komponentlerini açıklayan yaygın global koordinat sisteminde bu eleman matrislerini hesaplar.

3.2.2.2. BİR BOYUTLU PROBLEMLER

Konvektif-diffüzyon denklemi için çözüm davranışını ve eleman matrislerini örneklemek için, sadece sıfır olmayan hız komponenti olarak $u = \text{sabit}$ ve $T(x,t)$ 'li A kesit bölgesinin su yolu veya kanaldaki bir boyutlu akışını göz önüne alalım. Fourier kanunu kullanılarak denklem 3.77, aşağıdaki gibidir.

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Q = \rho c_v \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (3.83)$$

Konvensiyonal eleman matrisleri

$W_i = N_i$ ile denklemler 3.81 ve 3.82 den konvensiyonal eleman matrisleri türetilir. İnterpolasyon fonksiyonları, konduksiyon çubuk eleman denklem 3.47 için olanla aynıdır. Eleman matrisleri aşağıdaki gibidir.

$$[C] = \frac{\rho c_v AL}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.84a)$$

$$[K_c] = \frac{kA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.84b)$$

$$[K_v] = \frac{\rho c_v Au}{2} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.84c)$$

$$\{R_Q\} = \frac{QAL}{2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.84d)$$

Burada, $[K_v]$ için olan hariç, matrisler konduksiyon çubuk eleman için olan gibidir.

Upwind eleman matrisleri

Denklemler 3.47 de verilen interpolasyon fonksiyonu ile denklemler 3.81 ve 3.82 den upwind sonlu eleman matrisleri türetilir, ancak ağırlık fonksiyonlarını kullanılır.

$$[W] = [N] + \alpha [F] \quad (3.85)$$

Burada, α upwind parametresidir ve upwind ağırlık fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

$$[F] = \left[3 \left(\frac{x^2}{L^2} - \frac{x}{L} \right) - 3 \left(\frac{x^2}{L^2} - \frac{x}{L} \right) \right] \quad (3.86)$$

Bu ağırlık fonksiyonlu upwind eleman matrisleri aşağıdaki gibidir.

$$[C] = \frac{\rho c_v AL}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} + \frac{\alpha \rho c_v AL}{4} \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.87a)$$

$$[K_c] = \frac{kA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.87b)$$

$$[K_v] = \frac{\rho c_v A u}{2} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} + \frac{\alpha \rho c_v A u}{2} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.87c)$$

$$\{Q\} = \frac{QAL}{2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} + \frac{\alpha QAL}{2} \begin{Bmatrix} -1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (3.87d)$$

Yukarıdaki denklemlerde sağ taraftaki birinci terim konvensiyonel eleman formülasyonunu ifade eder, ikinci terim α ile orantılıdır ve "upwinding" in katılımını ifade eder. Upwind parametre α , $0 \leq \alpha \leq 1$ bölgesinde değişir. Eğer $\alpha=0$ ise, matrisler konvensiyonel elemanlara indirger ve eğer $\alpha=1$ ise, tamamen upwind vardır. Sürekli-durum problemleri için α nın optimum değeri, kesin düğümsel sıcaklık değerlerini verdiği saptanabilir.

Çözüm yolu

Konvensiyonel ve upwind eleman hareketini değerlendirmek için, dahili ısı oluşumsuz bir boyutlu sürekli(dengeli) -durum akışını göz önüne alalım. Denklem 3.83'ü aşağıdaki gibi yazalım.

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{\rho c_v u}{k} \frac{dT}{dx} = 0 \quad (3.88a)$$

ve sınır şartları aşağıdaki gibi kabul edilir.

$$T(0) = T_0 \quad (3.88b)$$

$$T(L) = 0 \quad (3.88c)$$

Burada L çözüm bölgesinin uzunluğudur. Problem, sonlu eleman performansını değerlendirmek için kullanılan basit kesin çözüme sahiptir. Çözüm bölgesi l uzunluktaki elemanlar serisine bölünerek, eleman matrisleri birleştirilerek ve yazılarak, tipik üç düğüm arasındaki fark denklemleri çözülerek, kapalı formda sonlu eleman çözümü bulunur. Örneğin, konvensiyonel matris denklemleri 3.84b ve 3.84c kullanılarak, birleştirilmiş matrisler aşağıdaki forma sahip olur.

Upwind yaklaşım, konvansiyonel yaklaşımın üzerinde açık avantaja sahiptir. Upwind yaklaşımın dezavantajı, suni diffüzyon tanıtımı ile çözüm doğruluğunu bozmasıdır. Denklem 3.87 bunu açık olarak gösterir; sağ taraftaki ilave terim, eşdeğer konduktans αc , $Au/2$ e sahip konduksiyon matrisidir.

3.2.2.3 İKİ BOYUTLU ÇÖZÜMLER

Konvektif diffüzyon denkleminin sonlu eleman formulasyonunu (denklem 3.80) bölüm 3.2.1 de belirtilen yöntemleri kullanarak, geçici ve sürekli durum için iki boyutlu hesaplayabiliriz. Temel hesapsal fark, asimetrik denklem çözümleri gerektiren konvektif transport matrisidir (denklem 3.81d). Dengeli durum çözüm algoritmaları tipik olarak, lineer problemler için Gauss eliminasyonunu ve lineer olmayan problemler için Newton-Raphson iterasyonunu kullanır. Geçici çözümler, lineer olmayanlar için Newton-Raphson iterasyonu ile birleştirilmiş, gerek açık, gerekse kapalı zaman integrasyon algoritmalarını kullanır. İzoparametrik elemanlar, özellikle 8-düğümlü quadratik eleman ve 9-düğüm biquadratik Lagrangien elemanlar, oldukça popülerdir.

Toplanmış kapasitans matrislere karşı uygun seçim, geçici çözümlerdeki göz önünde tutulacak şeydir.

Bir ve iki boyutlu konvektif diffüzyon problemlerindeki çalışmalar, toplanmış kapasitans matrislerinin özellikle lineer ve quadratik elemanlar için, önemli numerik dağılma ortaya çıkarabileceğini gösterir. Upwind sonlu elemanlar aynı zamanda iki boyutlu konvektif-diffüzyon problemler için mevcuttur. Upwinding'in savunucuları, bunun doğru çözümü gizleyen sahte salınımları uzaklaştırarak önemli yararlar sunduğunu ileri sürerler. Upwinding muhalifleri, salınımların yeterli olmayan meşin veya yanlış sınır şartlarının belirtisi olduğunu ve suni diffüzyonlu upwinding le bu salınımları zaptetmenin amaca aykırı olduğunu ileri sürerler.

3.2.3 SERBEST VE ZORLANMIŞ KONVEKSİYON

Konveksiyon ısı transferini analiz etmek için, konduksiyon için tanıtılan sonlu eleman kavramlarını ve viskoz akışkan için olan kavramlarla konvektif-diffüzyon denklemi birleştirilir. Burada, Boussinesq yaklaşımı ile viskoz sıkıştırılamaz akışkan için genel sonlu eleman formulasyonu sunulup, çözüm metodları tartışılmakta ve tipik sonlu eleman çözümleri örneklenmektedir.

Problem

Üç boyutlu çözüm bölgesi Ω göz önüne alınsın. Temel sakınım denklemleri aşağıdadır:

Kütle:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.95)$$

Momentum:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} - \rho\beta(T - T_0)g_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \quad (3.96a)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial y} - \rho\beta(T - T_0)g_y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \quad (3.96b)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial z} - \rho\beta(T - T_0)g_z + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \quad (3.96c)$$

Enerji:

$$\rho c_v \frac{DT}{Dt} = \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) + Q \quad (3.97)$$

Burada;

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}$$

Denklem 3.96 de ,P basınç,β termal genişleme katsayısı, T_0 referans sıcaklıktır.Ve g_x, g_y ve g_z gravitasyonel ivmenin komponentleridir.Konveksiyon denklemleri (denklemler 3.95,3.97), viskoz sıkıştırılmayan akışı için, başlangıç şartları ve sınır şartlarının uygun grubu ile çözülür.Başlangıç şartları, sıfır zamandaki sıcaklık,basınç ve hız komponentlerinin belirlenen başlangıç değerlerinden ibarettir.Problemin hidrodinamik parçası, gerek hız komponentleri gerekse sınırdaki belirlenecek yüzey traksiyonlarını gerektirir.Problemin termal parçası ise sınırdaki belirlenecek ısı akışı veya sıcaklığı gerektirir.Denklem 3.95-3.97 'in simultaneous çözümü,(1) serbest konveksiyon,(2) birleştirilmiş serbest ve zorlanmış konveksiyon, ve (3) sıcaklık bağımlı özellikleri olan zorlanmış konveksiyon için gereklidir.Sabit akışkan özellikli zorlanmış konveksiyon için, akışkan problemi, termal problemden ayrılır.Kütle ve momentum denklemlerinin çözümünü içeren akışkan analizi oluşturulur ve daha sonra akışkan analizinden hız alanı ile enerji denklemi çözülür.

3.2.3.1. SONLU ELEMAN FORMULASYONU

Serbest ve zorlanmış konveksiyon için sonlu eleman çözümleri 3 alternatif formülasyon kullanır, (1)akım fonksiyonu-vorticity(girdap)-sıcaklık formülasyonu (2)Hız-hata fonksiyonu-sıcaklık formülasyonu.Burada, interpolasyon fonksiyonlarına eşit sıklık fonksiyonları kullanan konvansiyonel Bubnov-Galerkin yaklaşımını izleyerek ,hız-basınç-sıcaklık formülasyonu gösterilmektedir.Her bir sonlu eleman içinde aşağıdaki ifadelerle, hız basınç ve sıcaklık dağılımları yaklaştırılır.

$$\left. \begin{aligned} u(x,y,z,t) &= [N_v(x,y,z)]\{u(t)\} \\ v(x,y,z,t) &= [N_v(x,y,z)]\{v(t)\} \\ w(x,y,z,t) &= [N_v(x,y,z)]\{w(t)\} \\ P(x,y,z,t) &= [N_p(x,y,z)]\{P(t)\} \\ T(x,y,z,t) &= [N(x,y,z)]\{T(t)\} \end{aligned} \right\} \quad (3.98)$$

Burada,ağırlıklı artan hata tutarlılığı için, basınç interpolasyon fonksiyonlarını $[N_p]$,hız interpolasyon fonksiyonlarından $[N_v]$, bir derece daha düşük alınır.Daha önce tanımlandığı gibi,ağırlıklı artanlar metodu ile başlayarak,alt matris şeklinde yazılan birleştirilmiş matris denklemlerinin düzeni bulunur.

$$\begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \\ \dot{P} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \\ P \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 2K_{11} + K_{22} + K_{33} & & & \\ & K_{12}^T & & \\ & K_{13}^T & & \\ & L_1^T & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} & & & & L_1 \\ & & & & L_2 \\ & & & & L_3 \\ & & & & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \\ P \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \\ 0 \end{Bmatrix}$$

(3.99)

$$[C]\{T\} + [K_v + K_c]\{T\} = \{R_Q\} + \{R_q\} + \{R_h\} \quad (3.100)$$

burada ki hidrodinamik denklemlerdeki (denklem 3.100), tipik alt matrisler aşağıdadır:

$$[M] = \int_{\Omega^{\omega}} \rho \{N_v\} [N_v] d\Omega \quad (3.101a)$$

$$[K_A] = \int_{\Omega^{\omega}} \rho \{N_v\} u \left[\frac{\partial N_v}{\partial x} \right] d\Omega + \int_{\Omega^{\omega}} \rho \{N_v\} v \left[\frac{\partial N_v}{\partial y} \right] d\Omega + \int_{\Omega^{\omega}} \rho \{N_v\} w \left[\frac{\partial N_v}{\partial z} \right] d\Omega$$

(3.101b)

$$[K_{11}] = \int_{\Omega^{\omega}} \mu \left\{ \frac{\partial N_v}{\partial x} \right\} \left[\frac{\partial N_v}{\partial x} \right] d\Omega \quad (3.101c)$$

$$[K_{12}] = \int_{\Omega^{\omega}} \mu \left\{ \frac{\partial N_v}{\partial y} \right\} \left[\frac{\partial N_v}{\partial y} \right] d\Omega \quad (3.101d)$$

$$[L_1] = - \int_{\Omega^{\omega}} \left\{ \frac{\partial N_v}{\partial x} \right\} [N_p] d\Omega \quad (3.101e)$$

$$\{R_x\} = \int_{\Gamma^{\omega}} \sigma_x \{N_v\} d\Gamma - \int_{\Omega^{\omega}} \rho \beta (T - T_0) g_x \{N_v\} d\Omega \quad (3.102)$$

Gösterilmeyen eleman alt matrisleri 1,2 ve 3 ve x,y ve z indislerinin çevrimsel permutasyonu ile bulunur. Enerji denklemi (denklem 3.100) ndeki matrisler 3.81 ve 3.82 denklemlerinde görünür. Denklem 3.99 da [M] akışkan kütle matrisidir, [K_A] akışkan momentum konvektif transport matrisidir, [K₁₁]..ve..[L₁] birleştirilerek momentum difüzyonunu ifade eder ve {R} sistem kuvvet fonksiyonlarının vektörüdür. [K] akışkan hız komponentlerine bağlı ve asimetriktir, ve denklem 3.102 daki σ_x , tipik yüzey traksiyonudur. Momentum konvektif transport matrisi hız komponentlerine bağlı olduğundan, problemin hidrodinamik kısmı nonlineerdir ve iteratif çözüm metodu gerektirir.

Matris denklemleri 3.99 ve 3.100 'ün birleştirilebilir veya birleştirilemez olması gerçeği, çözüm algoritması seçiminde beklenmelidir. Sabit özellikli zorlanmış konveksiyondaki problemler için, hidrodinamik problem (Navier-Stokes denklemleri) termel problemden ayrılır. Normal olarak Navier-Stokes çözüm algoritmaları daha yüksek düzen izoparametrik elemanlar kullanır ve lineer olmayan cebrik denklemleri iteratif olarak büyük-kapasite direkt-eliminasyon denklem çözücü ile çözer. Akışkan hareketi, hareketli

kuvvetler veya sıcaklıkla değişir malzeme özellikleri tarafından etkilendiğinden, hız ve sıcaklık dağılımları direkt olarak birleştirilir ve denklem 3.99 ve 3.100 eş zamanlı olarak çözümlür. Gartling, iki denklem arasında değişen çözümdeki algoritmayı kullanır ve Taylor ve Ijam eş zamanlı olarak denklemleri çözerler. Bu çözüm metodları, ilk sürekli iki boyutlu serbest ve zorlanmış konveksiyon problemlerini çözmek için kullanıldı. Son zamanlarda, transient (geçici) iki boyutlu çözümler bulundu. Çözüm, iki boyutlu çözümler için kafi olmadığı halde ,önemli bilgisayar kaynaklarının sarfiyatı ile beraber, büyük mainframe bilgisayarlar gerektirir. (Kenneth H. et al. 1982)



4. TALAŞLI ŞEKİLLENDİRMEDE TAKIMDA OLUŞAN SICAKLIK DAĞILIMLARININ ANALİZİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Üretim işleminde kullanılan her hangi bir imalat yöntemi, operasyon periyodundan sonra takımın yenileştirilmesini gerektirecektir. Takım için yenileştirme yöntemi, dönmede takım ömrü için verilen, üretim yönteminin tipine bağlıdır.

Takım ömrü takım bozulması olarak tanımlanır, yani takımın yüzey bitirme işlemi veya boyutsal doğruluk gibi gerekli görevi artık yerine getiremediği, yararlı ömrün sonuna ulaşmasıdır. Bunun yanında bu takımın iş malzemesini uzaklaştırmasının artık mümkün olmadığına delalet eder, ancak sadece gerekli olan amaçta sürekli kullanım için uygun değildir. Bundan dolayı makina operatörünün kontrolü altındaki şartlardan örneğin; takımın aşınma karakteristiklerinin bilgisi ile ilişkili, ilerleme, hız ve kesme genişliği gibi, takım ömrünü tahmin etme kabiliyeti istenen bir durumdur. Bununla beraber kompleks işlemler gibi, analiz etmedeki var olan zorluklar nedeniyle, pek çok kişi işleme parametreleri ve bazı uygun kriterlerle tanımlanan takım ömrü arasındaki empirik ilişkiyi belirlemek için çalışmalarda bulunmuştur. Takım ömrü konusunda en iyi bilinen çalışmalardan biri Taylor'unkidir. Taylor bu çalışmada takım ömrünün kesme hızına olan bağlılığını bir matematik fonksiyon eğrisi ile ifade edip aşağıdaki bağıntıyı elde etmiştir:

$$UL^n = C_T \quad (4.1)$$

Burada U kesme hızı, L kesme zamanı (takım ömrü) ve n ve C_T sabitlerdir. Taylor denklemi, bugün belkide en yaygın olarak kullanılan takım ömür denklemidir. Tecrübeler göstermiştir ki, konvansiyonel hız oranı için, denklem (4.1) kesme hızı ile takım ömrü değişiminin iyi bir tahmin edicisidir, ancak universal takım ömür formülleri olarak kesin bir takım dezavantajlara sahiptir. Denklem (4.1) in sabitleri, kesme koşullarının verilen oranı için her bir takım/iş kombinasyonu için belirlenmelidir. Eğer kesme hızından başka diğer bir şey değiştirilirse ve hatta kesme hızı alanı önemli ölçüde genişletilirse, doğruluk ve bunun yanında, sabitler n ve C_T 'nin yeniden saptanmasını gerektirir. Denklem (4.1)'in doğru olduğunu veya temel bağıntıya daha yakın yaklaşımda olduğunu söylemek zordur. Aşınma mekanizmaları teorisinde ve takım ömür çalışmalarındaki gelişmeler bunu doğrulamıştır.

Hastings ve grubu, makalelerinde durumun kesme sıcaklıklarının, takım aşınma oranlarını belirlemede esaslı rol oynadığını ve bu yüzden kesme takımının etkili ömrünü iddia eden deneysel ve teorik çalışmaları esas alan kanıtın mevcut olduğunu ileri sürer. Mevcut delil verilen takım / iş parçası kombinasyonu için Schallbroch ve Schaumann'nın incelemesine destek verir. Burada takım ömrü ve kesme sıcaklığı;

$$L = AT^{-B} \quad (4.2)$$

şeklinde ampirik denklemlerle birbiri ile bağlanır. Burada L takım ömrü, T kesme sıcaklığı, A ve B sabitlerdir.

Denklemin esası, kesme koşullarını geniş alanı üzerinde sıcaklık bağımlı aşınma mekaniğinin var olduğunu ve bunun genel olarak pratik kesme hızlarında kullanılan karbür takımlar için, hakim aşınma mekanizması olduğunu ve buradaki sıcaklığın işlem oranı ile kontrol altında olduğunu anlatır. (Mathew P. 1989)

Modern işleme operasyonlarında kullanılan kesme hızlarının her artımı ile kesmenin temel kavramları gittikçe daha önemli olmakta. Kayma bölgesi sıcaklıkları deformasyon işlemi etkiler. Talaş takım ara yüzey sıcaklıkları takım aşınmasının saptanmasında esas öneme sahiptir ve bu sebepten işlemenin ekonomikliği ile ilgilidir. 1950' den önce metal kesmede çoğu termal araştırmalar, termocouple (ısı çifti) bağlantılı olarak takım ve işin kullanımı ile ölçülen "ortalama" kesme sıcaklığı ile sınırlandırıldı.

1966 yılına kadar, sıcaklık dağılımının ölçümündeki çalışmalar, aşağıda taslağı çıkarılmış olan beş temel metodu kullanmaktadır.

a) Yerleştirilmiş termocouples (ısı çiftler):

Kuster, uzun ve bıktırcı test serilerinde karbür uçlar içinde elektriksel olarak delinen delikler içine 0.07 mm çapında termocouple teller yerleştirdi. Deliklerin koordinatlarının adım adım değişimi ile çeşitli kesme koşulları için komple üç boyutlu takım sıcaklık alanlarını buldu. Axer, benzer tekniği kullandı, ancak takım yüzlerini adım adım geri bileyerek sıcak bağlantı koordinatlarını değiştirdi. Rall ve Giedt de benzer tekniği kullandılar, ancak X-ray fotoğrafı ile ısı çiftlerinin koordinat pozisyonlarını kontrol ettiler. Bu araştırmaların hiç biri talaş - takım ara yüzeyindeki sıcaklığı vermedi.

Danielian, takıma doğru uygun delme ile ve talaşın alt tarafına dokunmaya izin veren termocouple tellerle arayüzey sıcaklığını ölçmek için çalıştı. Kesikli temas nedeni ile zorluklarla karşılaştı.

Reichenbach, iş parçasına yerleştirilmiş ısı çiftlerinin kullanımını anlatır. Bundan ölçümle, ara yüzey sıcaklığını vermek için dış değer bulundu ancak çıkarılan sonuçlar doğru ve kopye edilir değildi.

b) Thermo-colours:

Vierregge, Okushimo ve Bickel -Widmer, sıcaklık dağılımını göstermek için thermo-colours kullandı. Hepsi, kesme kenarındaki en üst sıcaklığın en umulmaz sonucunu buldu. Bu metod talaş yüzeyinde son derece yüksek sıcaklıklar ve thermo-colours un düşük duyarlılığı nedeniyle yanlış olasılığını arttırdı.

Reichenbach, arayüzeydeki termo-colours lardan talaş-takım temas uzunluğunun merkezine yakın en üst sıcaklıkların ortaya çıktığı sonucuna vardı.

c)Analog (analojik)hesaplama:

Bickel ve Widmer, eşpotansiyel izoterm benzerlik ile takım izotermelerini saptamak için takıma benzer şeklin elektrolitik tankını kullandı.Yukarıda bahsedilen termal boya sonuçlarını kullanarak,krater açınması olayı için hesaplama yapmaya çalıştılar.

Reichenbach,Chao ve Trigger'in digital bilgisayarsız simultaneous denklemlerini çözmek için, iletken kağıt modeller kullandı.Paschkis ve Moisseff direkt olarak ısı akış denklemini çözmek için elektronik analogik bilgisayar kullandı.Bununla birlikte yeterli miktarda sınır koşullarını bulmak için tahminlerin sayısını oluşturmak zorunda idiler.Bu bir derceye kadar metodu değerden düşürsede,herhangi bir kama açılı takımlar için büyük avantajlara sahipti.

d)Radyasyon ölçüm:

Chao,Li ve Trigger, geniş boru şeklinde iş parçasının duvarına kurşun sülfid hücre ilave etti.Boru takımyüzünün öbür tarafına hareket ettirilirken hiperdermik iğne sayesinde elde edilen infra-red radyasyonun bulunması ile takım serbest yüzeyinin sıcaklığını ölçtüler.Serbest yüzey sıcaklık dağılımından, talaş-takım ara yüzey sıcaklığını ve elektriksel analog iletken kağıtla ısı kaynağı dağılımını saptadılar.Sonuçları, max. ısı akış şiddeti ve max.arayüzey sıcaklığının, arayüzey merkezine doğru ortaya çıktığını gösterdi.Boothroyd,takımın yan yüzeyinin infra-red fotoğrafı için iş parçasını önceden ısıttı.İsı oluşum bölgelerinde değerli bilgi bulmasına rağmen, takım içindeki sıcaklık farklılıkları, bulunacak sıcaklık dağılımına imkan sağlayacak kadar yeterli olarak yüksek değildi.Lenz ve Meyer, ara yüzey uzunluğunda takım içinde bir uçtan bir uca küçük çaplı delik delerek (yaklaşık 0,8 mm çapında) ve deliğin aşağısına yerleştirilen fotodiyodla radyasyonu ölçerek talaşın alt tarafındaki sıcaklığı saptadılar.

e)Krater aşınması

Trent,takımdaki farklı karbitlerin metalurjik özelliklerinden ve hal değişimleri bilgisinden, ilgili krater formasyonu ve adhezyon sıcaklığı ile takım içindeki sıcaklık alanlarını buldu.

Chao ve Trigger, Sun ve Heginbotham max. arayüzey sıcaklığı ile max. krater derinlik pozisyonlarını karşılaştırdılar.

Termal bakımdan ortalama arayüzey sıcaklığı için ifadeler ve takım iş çiftinin diğer özellikleri Vieregge,Kronenberg, Loewen ve Shaw,Chao ve Trigger tarafından belirlenmiştir.Ortalama kesme sıcaklığı için ampirik ifadeler(yani, takım-ış termocouple ile ölçülen sıcaklık) deneysel olarak çok sayıda araştırmacı tarafından ortaya çıkarılmıştır.Bunlar genel olarak basit güç kanunlarının şeklini almakta ve takım ömrü

(Schallbroch ve grubu) kesme hızı (Trigger) ve son zamanlarda, hız ilerleme ve kesme derinliğini (Wu ve Meyer) kapsamaktadır.

Rapier, yarı dengeli ısı akış koşullarını ve malzeme hareket yönünde ısı iletiminin ihmal edildiğini varsaydı, ısı akış denklemini çözmek için gevşetme metodunu kullandı;

$$\nabla^2 \theta - \frac{V_m}{k} \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0 \quad (4.3)$$

Talaş takım arayüzeyi boyunca üniform ısı kaynağı olduğu kabulü ile iş parçası takım ve talaşta izotermi çıkarıldı. Bu kabul, başlangıçta uygun bilinen dağılım olmadığı için, doğal olarak max.suz sıcaklık dağılımına izin verdi.

Schniewind, önceki belirlenen ve ölçülen krater pozisyonlarında talaş-takım ve takım-iş arayüzeylerine yerleştirilmiş parabolik ısı kaynağı dağılımlarını esas alan farklı analizler geliştirdi.

Schniwind'in analizi, her hangi bir ısı kaynağı şekline ve pozisyonuna uyan sıcaklık dağılımının belirlenmesine uygun olduğu halde, esas olarak ampirik metoddur. Ayrıca, ısı tasfirlerinin teorisi, fazla matematiksel veya grafiksel karmaşıklık olmaksızın sadece karşılıklı olarak dik düzlemlere uygulanabildiğinden, bu metod sadece 90° veya en iyi 60° kama açılı takımlara uygulanabilirdi. Chao, Li ve Trigger tarafından bu engelin üstesinden gelindi.

Sıcaklık dağılımlarının ölçümü için gidip-gelme hareketi yapan termocouple prob kullanıldı. Deney aparatının diyagramı Şekil 4.1 de gösteriliyor. İş parçası 8 inç çapında çelik boru, tornanın aynasına tutturuldu. Takım yüksek hız çeliği, 0,002 inç uç yarıçaplı tungsten karbid probe, ayarlanabilir eğik plaka ve küçük beygir güçlü motor. Termo-elektrik devresinin sıcaklık bağıntısını kurmak için, prob ve takım oscilloskoba birleştirildi. Probe hareketinin uygun senkronizasyonu ve osiloskobun sapma voltajı ile sıcaklık dağılımı osiloskop izinin fotoğrafından bulundu.

"Ortalama "takım-iş parçası sıcaklığı, termocouple devrenin sıcak bağlantısı olarak, takım-iş kombinasyonu kullanılarak kaydedildi.

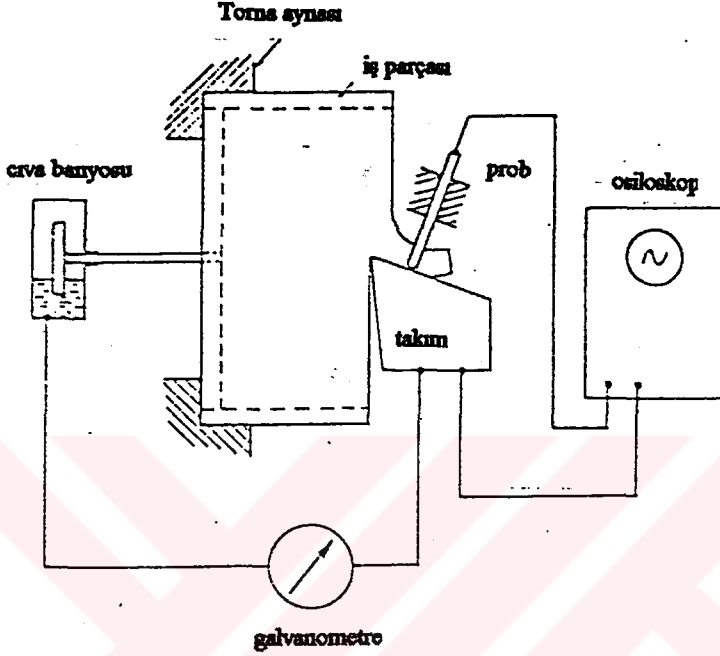
Takım-iş ve Takım-prob ısı çiftleri, ısıtılmış yağ ve tuz banyolarla standart ısı çifti karşı kalibre edildi, oda sıcaklığında soğuk bağlantıların korunması için başlangıçta özel önlemler alındı.

Ölçme şartlarını standardize etmek için kesme başlangıcından 20 saniye sonrası, bütün sıcaklık traverslerinin başlama zamanı olarak seçildi. Toplam 130 travers kaydedildi. Bu deneyden aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

a) Talaş-takım ara yüzey uzunluğu içinde , kesin sıcaklık üst noktası ortaya çıktı .

b)Talaş uçlarında keskin olarak sıcaklıklar azalır ve talaş dış tarafındaki sıcaklık traverslerinden veya talaş yüzeyinde (talaş ara yüzeyinin dışında) termo-colour kullanımı ile çok yanıltıcı sonuçlar bulunabilir.

c)Takımın talaş yüzeyindeki sıcaklık maksimumu takımın son yüzeyindeki kesme kenarına daha yakın etki eder.



Şekil 4.1. Sıcaklık dağılımını ve ortalama ara yüzey sıcaklığının ölçümü için kullanılan sistem

Chao,Li ve Trigger'in ideal olarak keskin takım durumu için uygun transformasyon metodu, test edilmiş kesme şartları için sıcaklık dağılımını hesaplamada kullanıldı.

Sonuç olarak,Prob-Takım termocouple yöntemi,kesme takımındaki sıcaklık dağılımı çalışmasının pratik yolları olarak geliştirilmiştir.Metod kullanımı kolay olmamakla beraber, önceki ölçüm metodlarından daha az karmaşıktır. Metod, kesme şartlarındaki değişme ile sıcaklık dağılımlarının şeklindeki değişme çalışması için kullanılabilir.Sıcaklık pikleri, kesme takımının talaş yüzeyinde, serbest yüzeyde ve (belirli kesme şartları altında) kesme takımının son yüzünde bulundu.Takımdaki ısı iletimi ile, sıcaklık alanının farkedilebilir olarak etkilenebileceği gösterildi.

Chao,Li ve Trigger ve Rapier tarafından taslağı oluşturulan sıcaklık analizleri, her iki analizde bir kaç kolaylaştırıcı tahmin içermesine rağmen, gerçek sıcaklık dağılımına yakın yaklaşım verir.

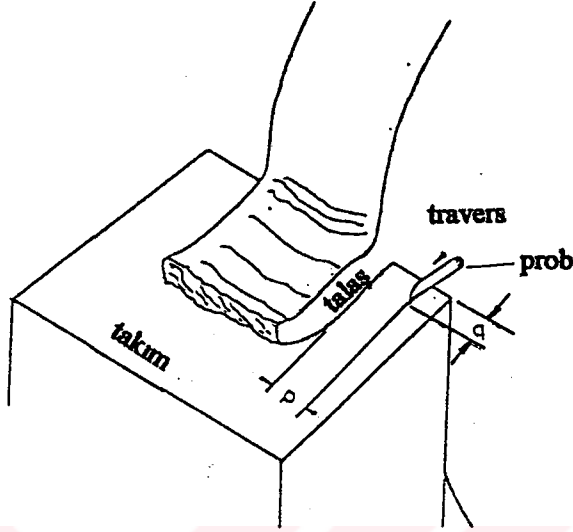
Chao ve grubu, ve Rapier'in metodlarının birleşimi değerlendirilen takım kamasındaki, komple sıcaklık alanına imkan verir.(Arndt G. et al. 1967)

Metallerin plastik deformasyonu daima mekanik enerjinin safiyatı ile yan yana bulunur.Eğer deformasyon hızla yerleşirse, bu mekanik enerji hemen hemen tamamen metalin sıcaklığını yükselten ısı enerjisine dönüşür.Metaller yüksek sıcaklıklarda yumuşadıklarından, devam eden gerilim uygulaması, deformasyon oranında artımla sonuçlanır.Endüstriyel çalışma işlemlerinde sıcaklık yükselmelerinin hesabı ilk Bishop tarafından yürütülmüştür.Daha genel teorik işlem Tanner ve Johnson tarafından bulunmuştur.Bu uzmanlar değişik metal işlemlerde sıcaklık yükselmelerinin yaklaşık hesabını yaptı ve çoğu örneklerde deformasyonun adyabatik olarak ortaya çıktığı sonucuna vardılar.Metal kesmede kayma bölgesindeki sıcaklık yükselmelerinin analizlerinde Scrutton ve Hastings bu gerçeği sorusuz kabul ettiler.Onların hesaplarında ,değişebilen gerilme, gerinme, şekil değiştirme oranı ve sıcaklık, durumun mekanik denkleminin ortalaması ile ilişkili olarak kabul edildi, ve bu kabul uygun sadelik sağladı.Alternatif yaklaşım Pomey tarafından önerilmişti.Pomey, akış gerilimini direkt olarak ani şekil değiştirme oranına bağlamak için, viskozite kavramını tanıttı.Bununla beraber, viskozite katsayısında sıcaklık değişimlerinin etkisi göz önüne alınmadı.Daha önceki araştırmacılar, viskoz akışkan akışı ve metal akışı arasındaki açık benzerliğe dikkat çektiler.Zorev tarafından gösterildiği gibi, talaş-takım arayüzeyi metal kesme işleminde iki kısım ihtiva eder.Kesme kenarına en yakın kısımda talaş malzemesi takıma kaynaklanır,daha uzakta talaş, talaş yüzeyi boyunca, Coulomb sürtünme kanunlarına uygun olarak kayar.R.F.Scrutton 1967 yılında yayınlanan çalışmasında ,talaş-takım arayüzeyine komşu metalin plastik akışını, durumun mekanik denklemini kullanarak analiz etti.Bu denklem gerilme, gerinim,şekil değiştirme oranı ve sıcaklıkla ilişkili idi.İfadeler ince plastik katmanlı noktalardaki sıcaklıklar için çıkarıldı.Varsayımlar,viskoz sınır katmalarının teorisinde kullanılanlara benzerdi ve katmanda boydan boya kayma gerilmesinin sabit olduğu hipotezini kapsıyordu.(Scrutton R.F 1967)

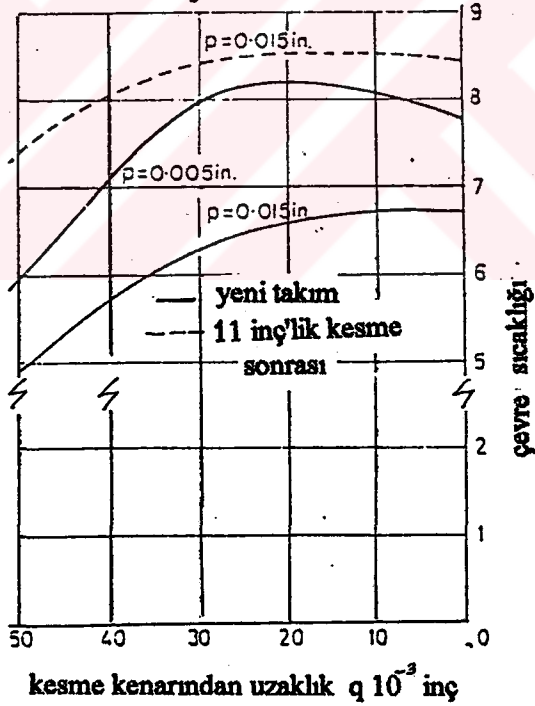
J.G.Balint ve R.H.Brown, çalışmalarında kesme takımının talaş yüzeyindeki krater aşınmasının şeklinde normal yük dağılımı ve sıcaklık etkisini irdelediler.Sıcaklık ölçümü, normal yükleme ve aşınma dağılımı için metodların taslağını çizdiler.

Takım-talaş temas bölgesindeki sıcaklığın dağılımını ölçmek için Şekil 4.2 de gösterildiği gibi karbür takımın talaş yüzeyi üzerinde kesme kenarına dik gidip-gelme hareketi yaptırılan sivri uçlu yüksek hız çeliği prob kullanılarak (karbür prob yüksek hız çeliği

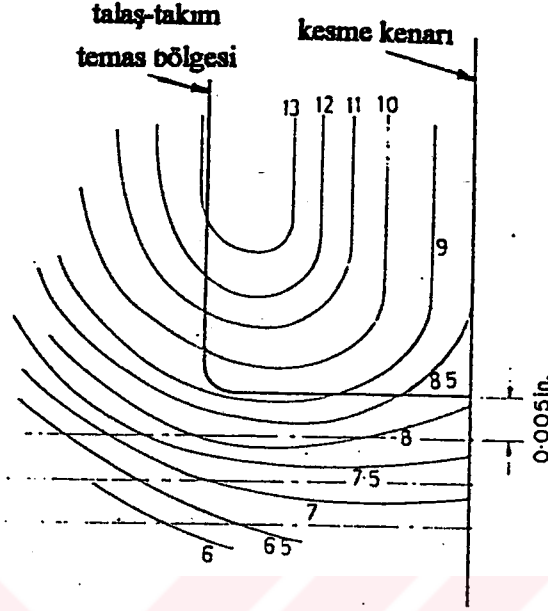
takımla kullanılabilir) kesme esnasında termo- elektrik bağlantı ile oluşan e.m.f katot ışın osilokobunda gösterilir ve fotografikleme ile kaydedilir. Soğuk çekilmiş dikişsiz çelik borunun sonundaki, ortagonal karbid kesici takım için bu metoda bulunan iki sıcaklık traversi Şekil 4.3 de gösteriliyor.



Şekil 4.2 Sıcaklık dağılım ölçümünün yapıldığı sistem



Şekil 4.3. Soğuk çekilmiş dikişsiz çelik borunun sonundaki ortagonal karbür kesici takım için deneyde bulunan iki sıcaklık traversi.



Şekil 4.4. Ara yüzey yakınındaki sıcaklık alanı.

Bu traverslerden arayüzey yakınındaki sıcaklık alanı çizilebilir ve Şekil 4.4 de gösterildiği gibi komple alan taslağı yapılabilir.

Sıcaklık dağılımını ölçmek için bu metod yeni ve krater aşınması olmuş takımların her ikisi içinde kullanılabilir. Aşınma ile dağılımdaki değişme Şekil 4.3 deki, talaştan 0,015 inç'lik iki traversle gösteriliyor (Balint J.G. 1964)

Boothroyd, ön ısıtılmış pirinç ve çelik iş parçasındaki ısı değişimlerini ölçmek için kızıl ötesi fotoğraf kullandı ve ondan sonra sonlu -fark tekniği ile birincil ve ikincil kesme bölgelerinde lokal ısı oluşum oranlarını hesapladı.

Groover ve Kane ayrıca iki boyutlu kesme takımında sıcaklık dağılımını tahmin için sonlu-fark tekniğini kullandı. Rall ve Giedt, takım içine termocouple yerleştirdi ve zamanın fonksiyonu olarak sıcaklığı ölçtü. Onların ölçümleri, takımlarının, dengeli durumu başarması için , yaklaşık olarak 1,5 ~ 2 dakika gerektirdiğini gösterdi. (Levy E.K. et al. 1976)

Kuvvetten ve kayma açısı ölçümlerinden işlemdeki sıcaklık dağılımlarının hesaplanması için, numerik metodlar kullanılmıştır.

Kayma düzlem model kullanarak işlemede sıcaklıkları hesaplamak için çok sayıda çalışma olmuştur.Hahn, sınırsız iş parçasının içinden eğri taşınan üniform band kaynak olarak kayma düzlemi kabulü ile kayma düzlem sıcaklığını hesapladı.

Trigger ve Chao,Loewen ve Shaw, her ikiside takım-talaş arayüzeyinde gelişen ısının üniform olarak dağıldığını kabul ederek ortalama takım-talaş arayüzey sıcaklığını hesaplamak için blokun bölme prensibini kullandılar .

Weiner, talaş hızını kayma düzlemine dik olduğunu ve talaşın iş parçasının hareketinin yönünde ısı iletimi (konduksiyonunun) ihmal edilebileceğini varsayarak,kayma düzlem sıcaklık dağılımı için çözüm buldu.

Dutt ve Brewer, iş parçası talaş ve takımı bir sistem gibi ele alarak analizler geliştirdi, ancak bazı yaklaşımlar yaptı. Bu yolda iş parçası ve talaşa ısı giderken , kayma düzleminin oranları , talaş ve takıma ısı giderken , takım-talaş arayüzeyi oranları saptanabildi.

Chao ve Trigger, kendilerinin analitik çözümünü geliştirdiler.Hesaplarında gerçek ve hayali nokta ısı kaynaklarının gridini içeren iterativ analitik yöntemin kullanımını yaptılar.Sıcaklık hesabının yukarıdaki metodlarının belli başlı dezavantajları,esas olarak kayma düzlem modelinde yapılan sadeleştirmeden meydana gelir.

Bu gerçek malzemelerde iş parçasından talaşa intikalde hız, sonlu plastik bölge üzerinde azar,azar ortaya çıkarken , kayma düzlemi boyunca hız kesikli olarak kabul edilir.

İş malzemesinin akış gerilim özelliklerindeki sıcaklık ve şekil değiştirme oranı, gerilimin etkisi, işlemin tahmini teorisindeki gelişmelerde (Fenton-Oxley ve Hastings ve grubu) hesaba alınır, sıcaklıklar Boothroyd'un çalışmasında esas alınan metod kullanılarak hesaplanmıştır.Bu yolla hesaplanan sıcaklıklar özetle;

Talaşın şekillendiği birincil plastik bölgedeki ortalama sıcaklık,bu bölgede yapılan plastik iş göz önüne alınarak bulunur ve aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$T_{pz} = T_w + \frac{1 - \eta}{\rho S t_1 w} \frac{F_s \cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (4.3)$$

Burada, T_w başlangıç iş parçası sıcaklığı, η iş parçası içine iletilen ısının oranı, F_s (Şekil 4.5) AB boyunca kayma kuvveti, α takım eğim açısı, ρ yoğunluk ve s iş malzemesinin spesifik ısı, t_1 deforme olmamış talaş kalınlığı, w takım kesici kenarı boyunca ölçülen kesme genişliği ve ϕ kayma açısı,yani kesme yönlü AB ile yapılan açı, η nin tahminleri Boothroyd tarafından deneysel verinin derlenmesini esas alan aşağıdaki ampirik denklemler kullanılarak yapılabildi.

$$\eta = 0.5 - 0.35 \log(R_T \tan \phi) \quad (4.4)$$

$0.04 \leq R_T \tan \phi \leq 10.0$için

ve

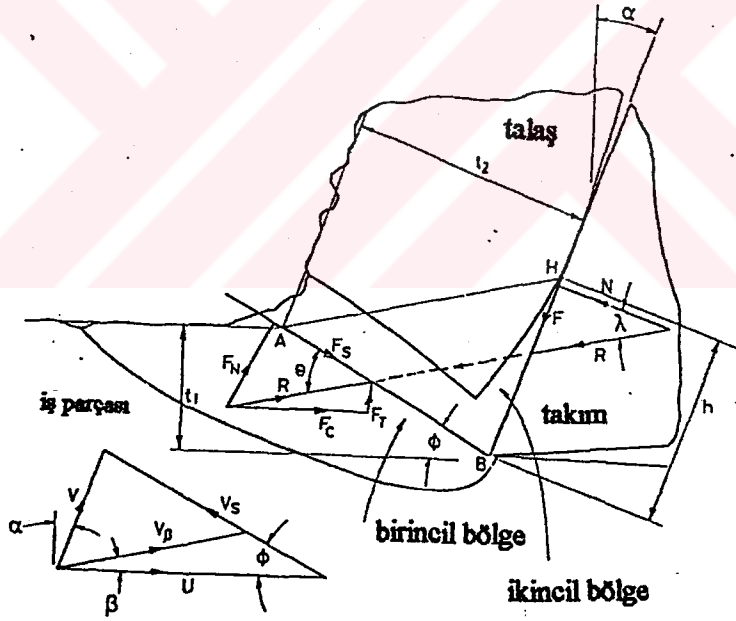
$$\eta = 0.3 - 0.15 \log(R_T \tan \phi)$$

$R_T \tan \phi > 10.0$ için

Burada, R_T ,

$$R_T = \frac{\rho S U t_1}{K} \quad (4.5)$$

ile verilen boyutsuz termal sayıdır. U kesme hızı ve K iş malzemesinin termal iletkenliğidir. Bundan başka, η 1'i geçmemeli veya 0'dan az olmaması gibi sınırlamalar vardır.



Şekil 4.5. Ortogonal işlemenin, hız ve kuvvet diyagramlarına sahip tipik kesiti.

Arayüzeydeki ortalama sıcaklığın aşağıdaki denklemlerle verileceği varsayılır.

$$T_{int} = T_{pZ} + \Delta T_M \quad (4.6)$$

Burada, ΔT_M , talaşta max. sıcaklık yükselmesidir. Numerik metodlar kullanılarak, Boothroyd kalınlığı δt_2 ve uzunluğu h olarak kabul edilen dikdörtgen ikinci bölgeyi (ısı kaynağı) hesapladı ve hesapladığı değerlerin, deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu gösterdi. Bununla beraber metod, termal özelliklerde takım şeklini hesaba almaz, ancak bu faktörlerin işleme prosesinde etki yaptığı açıktır. Metod, aynı zamanda geniş olarak, deneysel sonuçlardan çıkarılan denklemlere bağlıdır.

Tay ve grubu tarafından, önceki çalışmalarda sınırlamaların üstesinden gelinmiştir. Tay başlangıç bilgisi olarak, deneysel bulunan akış alanları (çizilen grid tekniği ile bulundu) ile beraber ölçülen kesme kuvvetlerini kullanarak, dikey kesme esnasında takım, talaş ve iş parçasından oluşan sıcaklık alanını hesaplamak için sonlu eleman metodunu başarı ile uyguladı.

Bu numerik çözüm, hesap içine, etkin talaş ve takım geometrileri, ölçülen hız, birincil ve ikincil plastik bölgelerdeki ısı kaynağı dağılımları, sıcaklıkla iş malzemeleri ve takımın termal özelliklerindeki değişimleri ve gerinimleri, iş malzemesi akış gerilim özelliklerinin değişimlerini, şekil değiştirme oranı ve sıcaklığı içine alır. Hızın ve verilen şekil değiştirme oranının dağılımlarını hesaplayabilmek için, takım eğim açısı α , kesme hızı U , deforme olmamış talaş kalınlığı t_1 ve talaş kalınlığı t_2 (Şekil 4.5) gereklidir. Bu çalışmada takım mükemmel olarak keskin kabul edilir ve işleme şartları ortogonal (düzlem gerinim) sürekli işleme ile sınırlandırılmıştır.

Stevenson ve Oxley, plastik deformasyonunu ölçmek için kullanılan işaretlenmiş gridlerle, talaş parçalarında bulunan deneysel akış çizgilerini kullanarak birincil bölgede şekil değiştirme oranı dağılımlarını hesaplamıştır.

Kesme hızlarının ve deforme olmamış talaş kalınlıklarının bölgesi için AB boyunca kaymaşekil değiştirme oranının ortalama değeri γ_{AB} 'nin (yaklaşık olarak), direkt olarak kayma hızı V_s 'e oranlı olduğu (Şekil 4.5) ve AB'nin uzunluğu $l (=t_1/\sin \phi)$ ye ters olarak oranlı olduğu bulundu.

$$\gamma_{AB} = \frac{CV_s}{l} \quad (4.7)$$

Burada C malzeme sabiti; Stevenson ve Oxley'in sonuçlarından $C \approx 5,9$ (düşük karbonlu işleme çeliği için.) dur.

Şekil değiştirme dağılımlarının simetrisi yüzünden, γ_{AB} , AB boyunca kayma gerinimli AB'de ortaya çıktığı kabul edilebilir. Bu kabullerden, akış çizgisindeki noktada V_β hızı aşağıdaki denklemle verilir:

$$V_\beta = \frac{U \sin \phi}{\sin(\phi + \beta)} \quad (4.8)$$

Kesme şartlarının farklı grubu için akış çizgilerinin büklümü ve bu yüzden şekil değiştirme oranlarının büyüklüğü farklı olacaktır.

Tay ve grubunun çalışmasında, ortogonal işleme esnasında ortaya çıkan ısı transfer proseslerini tanımlayan denklem sürekli (dengeli) iki boyutlu enerji denklemidir.

$$\rho S \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) - K \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - Q = 0 \quad (4.9)$$

Burada, ρ, S, K ve T sırasıyla yoğunluk, spesifik ısı, ısı iletkenlik ve sıcaklıktır. Q , her birim hacimde ısı oluşum oranı; x ve y kartezyen koordinatlar; u ve v , x ve y yönündeki hız komponentleridir. (Şekil 4.6). Bu denklem, Şekil 4.6 da resimlenen bölgede çözümlenecektir. Çoğu dış yüzeyler adyabatik olarak alınmıştır, yani konveksiyon ve radyasyonla etraftan ısı kayıplarının sıfır olacağı kabul edilmiştir. Bu başlangıçta soğutma suyu kullanılmadığı kabulüne eş değerdir. Soğutma suyunun olmayışında ısı kaybının tahminleri; kayıp oranının, oluşum oranına kıyasla önemsiz olduğunu gösterdi.

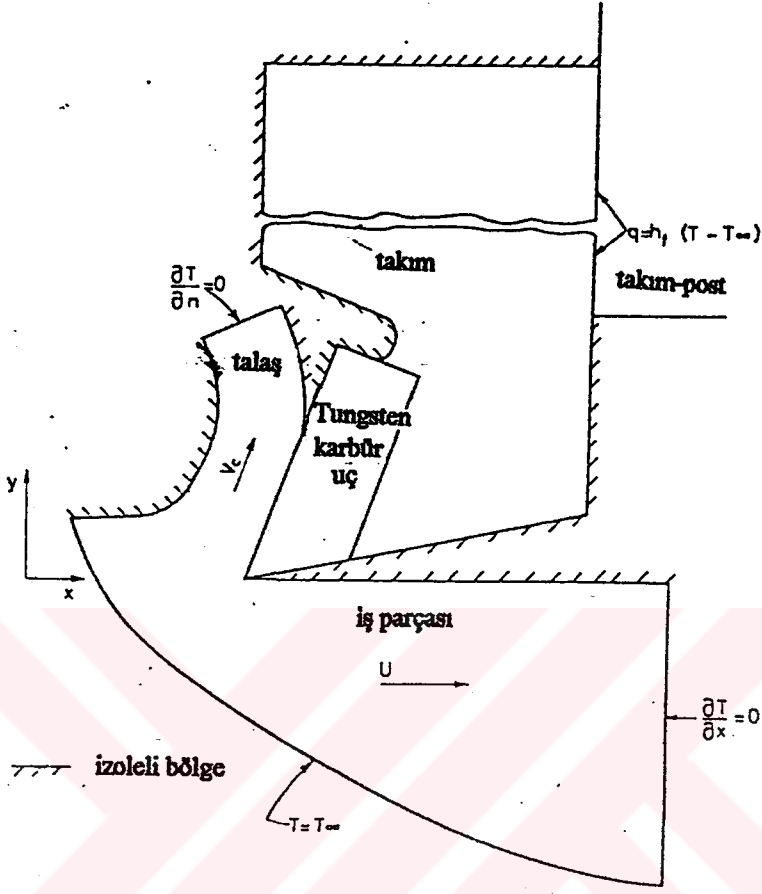
Çözüm bölgesinden, iş malzemesinin var olduğu sağ taraf sınırında (Şekil 4.6), sınıra normal sıcaklık gradientleri çok küçüktür ve sıfır olarak alınmıştır. Çözüm bölgesindeki temel şartlar en genel terimler içinde aşağıdakilerden biridir.

$T = T_s$ T nin tanımlandığı S_T yüzeyinde

$$-K \frac{\partial T}{\partial n} = q \quad q \text{ 'nun tanımlandığı } S_q \text{ yüzeyinde}$$

$$-K \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_\infty) \quad h \text{ 'nin tanımlandığını } S_h \text{ yüzeyinde} \quad (4.10)$$

Burada T_s , S_T boyunca spesifik ısıdır, q , S_q 'ya normal spesifik ısı akışı, h , S_h boyunca spesifik ısı transfer katsayısı, T_∞ çevre sıcaklığı, n sınıra dış normaldir.



Şekil 4.6. Termal sınır şartlarını gösteren problem bölgesi

Denklemler 4.9 ve 4.10 un çözümünün, T münasebeti ile minimize edilerek bulunabileceği görülebilir. \bar{T} invaryantı içinde fonksiyonel,

$$I(T) = \int_A \left[\rho S \left\{ u \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} \right\} T + \frac{K}{2} \left\{ \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right\} - QT \right] dA + \int_{S_q} q T ds + \int_{S_h} h (T^2 / TT_\infty) dS$$

(4.11)

Çözüm bölgesi $S_T + S_q + S_h$ ile sınırlandırılmış, A ile gösterilmektedir.

Sonlu eleman metodu, I nın minimizasyonu numerik olarak yapılmış bir yöntemdir.

Tay,Stevenson ve De Vahl'in çalışmasında dört kenarlı elemanlar kullanılmıştır. Denklem 4.11 de malzeme özellikleri S ve K sıcaklıktan bağımsızdır.İş malzemesi için aşağıdaki sonuçlar verilir:

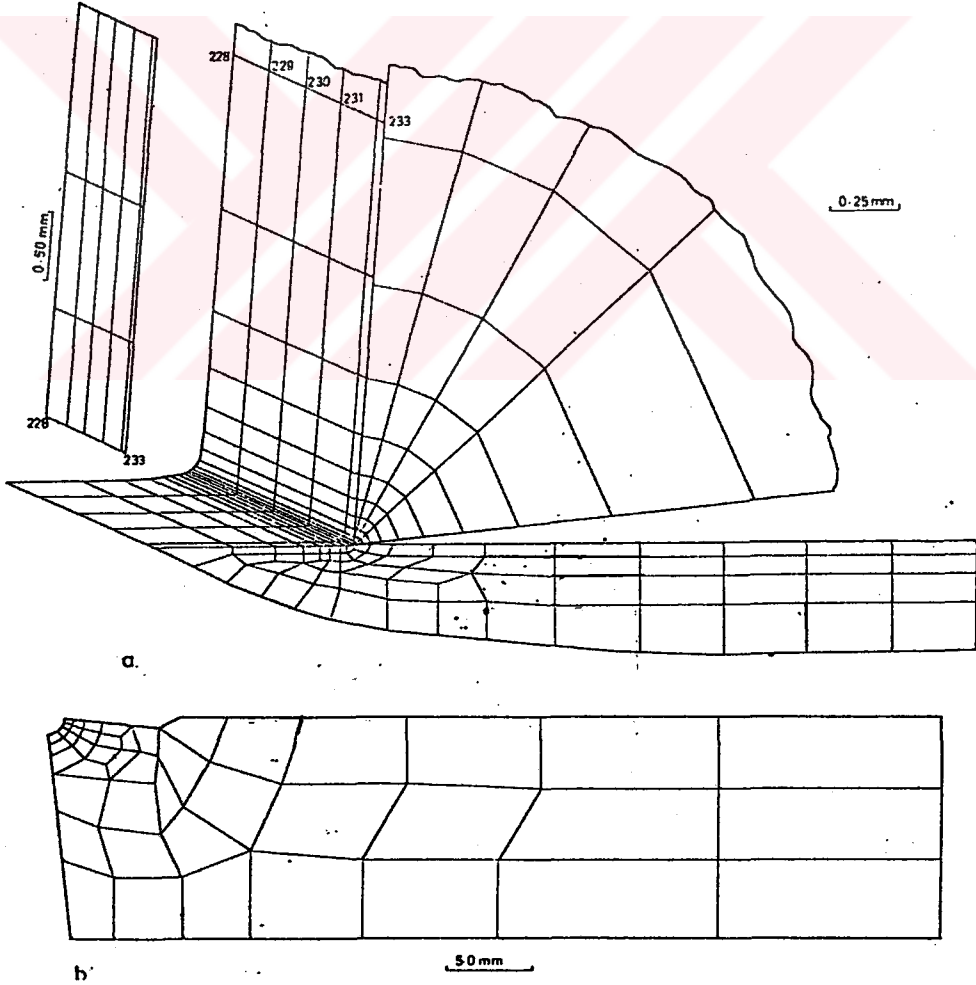
$$S = 1490 + 0.502T \text{ J/kgK}$$

$$K = 384.5 - 0.231T - 1.37 \times 10^{-4} T^2 + 1.58 \times 10^{-7} T^3 \text{ W/mK} \quad 20 < T < 1000 \text{ için,}$$

$$K = 175.6 \text{ W/mK} \quad T \geq 1000 \text{ için,}$$

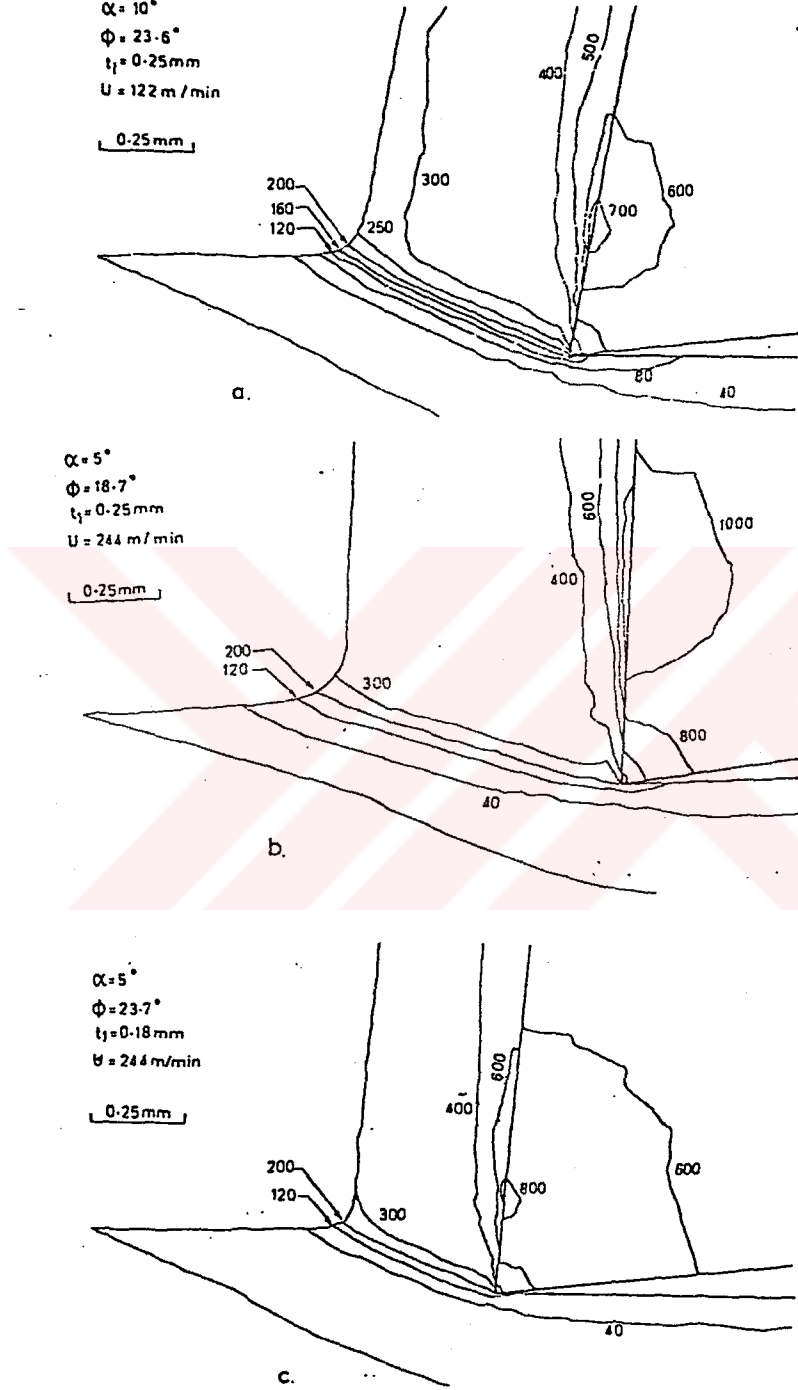
Burada, T, °C de ölçülür.Eleman içinde, S ve K'nın, eleman ortalama sıcaklığına uygun değerlerde sabit olduğu varsayılır.Takım malzemesinin termal özellikleri ve iş takım malzemesinin yoğunluğu sıcaklıktan bağımsız olarak alınmıştır.İş malzemesi için , $\rho=77500 \text{ kg/m}^3$ ve takım malzemesi için , $K=310.6 \text{ W/m K}$, $S=200 \text{ J/kgK}$, ve $\rho=13000 \text{ kg/m}^3$.Serbest açı 6° ,takım/takım post arayüzey konstantı $10500 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve çevre sıcaklığı 22°C , bütün hesaplarda kullanıldı.

255 eleman ve 308 düğüm içeren temel meş Şekil 4.7 da gösteriliyor.Belirli kesme şartları için 409 eleman 472 düğümlü daha ince meş kullanıldı.Çözüm bölgesinin aktif boyutları, eğim açısı , iş hızı, kesme derinliği ve kayma açısı ile değiştirildi.



Şekil 4.7. 255 eleman ve 308 düğümlü meş.

Tipik işleme şartları için kuvvet ve kayma açısı verisi, S1016 çelikte, Sandwick S6 grade karbid takım kullanılarak yapılan deneylerden bulundu. Yukarıda tanımlanan veri ve yöntemle bulunan bazı tipik sıcaklık dağılımları Şekil 4.8 de veriliyor.



Şekil 4.8. Gösterilen şartlar için tipik sıcaklık dağılımı.

Karşılaştırma sonucunda açık olarak T_{max} ortalama arayüzey sıcaklığı T_{int} den daha büyük olacaktır. Şekil 4.9, şu anki metodla bulunan T_{max} 'in Boothroyd'un bulduğu T_{max} 'a yakın olduğunu gösterir. Bu metod, dağılmış ısı kaynağı gibi, sürtünmesel ısı kaynağında hesaba almıştır. Bununla beraber, ikincil bölge kalınlığı, şu anki malzeme ile göz önüne alınan kesme bölgesi için küçüktür, şu anki metod, ikincil bölgelerin daha kalın olduğu durumlarda Boothroyd'unkinden daha büyük T_{max} değerleri vermek için ifade edilebilir. Rapier'in T_{int} değerleri, şu anki değerlerden daha yüksektir ve Rapier sadece düzlem ısı kaynağını göz önüne aldığından, halbuki bu çalışmada Tay ve grubu her ikisinin de yani düzlem ve dağıtılmış ısı kaynaklarını göz önüne aldıklarından bu beklenecektir. Rapier ve Boothroyd'un birincil bölge sıcaklıkları, Tay ve grubunun T_{AB} değerlerinden daha yüksektir .

Tay, Stevenson ve De Vahl Davis'in şu anki metodu, öncelikle daha gerçekçi yaklaşımlar nedeniyle, ikinci olarak bütün sıcaklık dağılımlarını verdiği için, önceki analitik ve numerik metodlara göre bir gelişme olarak kabul edilebilir. (Tay A.O. et al. 1976)

150 ~ 1000°C arasında çelik kesme takımlarındaki sıcaklık dağılımının saptanması için deneysel metodlar tanımlanmıştır.

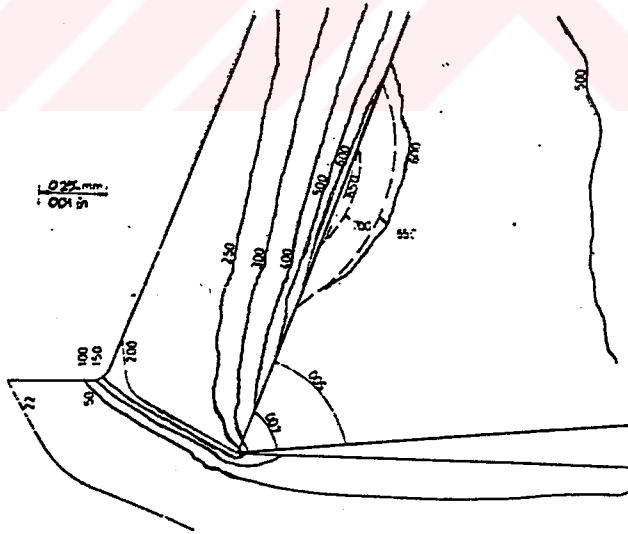
P.K.Wright' ın 1978 de yayınlanan çalışmasındaki teknikler ,takım içine iletilen ısı yüzünden hasil olan sertlik ve mikroyapıdaki değişimlerle sıcaklık arasında ilişki kurar. Sonuçlar ticari saf bakır ve düşük karbonlu demirin işlenmesi için sunulur ve uygulamanın iki farklı metodu ve kesme hızlarının bölgesi için, kesme soğutucusunun etkisi değerlendirilir. Talaş formasyonundaki ısı kaynakları için basit modeller türetilir ve talaş yüzeyindeki sıcaklıkları hesaplayarak deneysel işi gerçekleştirmek için kullanılır .(Wright 1978)

Çelik kesme takımındaki sıcaklık gradientlerini belirlemek için tanımlanan deneysel tekniklerden bir çeşidi de, çelik takımda talaş formasyonunun birincil ve ikincil deformasyon bölgelerindeki ısı kaynaklarının sonucu olarak ortaya çıkan tavlama reaksiyonuna bağlı olmasını esas alan tekniklerdir. P.K.Wright, S.P.McCormick, T.R.Miller, 1980 de yayınlanan çalışmalarında gelişmiş metalurjik metod kullanarak sıcaklık dağılımlarını saptadılar. Tornalama deneyleri, düşük karbonlu demir üzerinde, farklı kenar talaş yüzey geometrisine sahip çelik takımlar kullanılarak yapıldı. Talaş-takım temas uzunluğu 0.5 mm olarak kontrol altında tutulan takımlar kullanıldığında,

sıcaklıkların, konvansiyonel kullanımda, 6° lik eğimli takımlarda olduğundan % 30 daha düşük olduğu ve sonuç olarak takım ömrünün daha uzun olduğu bulundu. Talaş-takım arayüzeyi boyunca sıcaklık dağılımlarının hesabına izin veren teorik denklemler tanımlandı ve bu bölgedeki yağlama şartları ayrıca detaylı olarak göz önüne alındı. Bu çalışmanın sonucunda, aşağıdaki veriler elde edildi: -Torna kaleminin talaş-takım temas uzunluğundaki yapay azalma, kesme boyunca tüketilen gücü azaltır ve bu yüzden takımı ısı girdisi azalır. -Sürekli durum tornalama operasyonunda, düşük karbonlu demirde, 0.5 mm kontrollü temastaki takımlar, konvansiyonel 6° eğimli takımlar yerine kullanıldığında takım sıcaklığını % 30 azaltabilir (10-30 m/dak hız aralığında yaklaşık 150°C azalma) bu takım ömründeki önemli artışa işaret eder. -Sıcaklık ölçümünün metalurjik metodları takımdaki sıcaklık gradientlerini saptamada detaylı ve doğru teknik sağlarlar. -Talaş-takım temas uzunluğu boyunca sıcaklık dağılımı için teorik ilişkiler kurulabilir.

Hesaplananlar ile deneysel sıcaklıklar arasında iyi bir uyumun olduğu bulundu. (Wright P.K. et al. 1980)

M.G.Stevenson, P.K.Wright, J.G.Chow 'ın 1983 de yayınlanan çalışmalarının önemli niteliği, sonlu eleman metodundan bulunan sıcaklık alanlarının, (Wright P.K. 1978) de tanımlanan metalurjik metodla bulunan sıcaklıklarla kıyaslanmış olmasıdır. İlk defa bu iki teknik benzer işleme koşulları için kullanılmıştır ve karşılaştırmaların uyum içine olduğu gözlenmiştir. Direkt karşılaştırma için, hesap yönteminden elde edilen izotermal çizimler ve önemli deney sonuçları (kesik çizgiler) Şekil 4.10 ve 4.11 de veriliyor.



Şekil 4.10. M.G.Stevenson ve grubu tarafından hesaplanan sıcaklık dağılımı, (karşılaştırma için deneysel sonuçlar kesikli çizgilerle gösteriliyor).

esnasında tahmin edilecek takım-talaş arayüzey sıcaklıklarına izin veren algoritmaları geliştirmek olmuştur. Ölçme şeması, takım plakentinin altına yerleştirilen standart termocoupledan alınan sinyale itimat eder, cevap zamanı 1 sn düzeninde olarak gözlenmiştir. Tahmini şemanın önemli niteliği, takım aşınmasının mevcut olduğu durum için ve ard arda kesme için arayüzey sıcaklıklarını tahmin edebilmesidir. Tahmin edilen arayüzey sıcaklıkları, daha önceki tanımlanan metalurjik teknikle bulunanlarla karşılaştırılmış ve iki sonuç arasında %5-13 lük fark olduğu rapor edilmiştir. Önceki remote termocouple tekniklerle kıyaslamada son zamanlarda geliştirilen tahmini şema aşağıdaki avantajlara sahiptir:

-Sonlu eleman tekniği ara yüzey sıcaklıkları ile uzak sıcaklık arasında bağıntı sağlamak için kullanılmıştır, ki bu doğru sonuçlar bulmaya izin verdi. Kesme bölgesi yanındaki sıcaklık gradientleri çok dik olduğundan, bu tahmini planın önemli görüşüdür.

-Plan, aralıklı kesme için ve takım aşınmasının mevcut olduğu durum için arayüzey sıcaklıklarını önceden haber verebilir.

Ayrıca, araştırma başlıca olarak tornalama işlemini takip etmek ve kontrol etmek için kullanılacak arayüzey sıcaklıklarını tahmin etmede yoğunlaşır. Daha önce irdelendiği gibi, sıcaklıklar krater aşınması ve yan yüzey aşınması gibi az takım aşınma olayları için iyi bir göstergedir, ancak bozulma mekanizmaları kırılma (çatlama) için değil. (Chow J.G. et al. 1988)

Genellikle tornalama gibi devamlı talaş oluşan işlemlerde, artan kesme hızı ile takım ömrünün arttığı ve takım sıcaklığının azaldığı düşünülürken, yüzey frezeleme gibi aralıklı kesme operasyonlarında bu olayın olmayacağı önerilmiştir. P. Lezanski ve M.C. Shaw yaptıkları çalışma ile Palmi (1987)'nin frezelemedeki takım sıcaklığının, aralıklı kesmenin sonunda, kesme hızındaki artımla artacağı tezini deneysel olarak test etmiş ve yanlış olduğunu bulmuşlardır. Operasyonda, takım sıcaklığı kesmenin başlangıcında çevre değeri ve kesmenin sonunda max. değer arasında gösterilir. Kesme hızı artarken, birim kesme için kesme zamanı azalacak ve bu yüzden kesirli yaklaşım denge değerine gelecektir. Bu yüzden denge sıcaklığının kesme hızı ile artacağı, kesme sonundaki max. sıcaklığın azalacağı akla uygundur. Bu ihtimal, kesme şartlarındaki çeşitlilik için zaman eğrileri kaydetmede talaş-takım termocouple tekniği kullanılarak test edilmiştir. Ve kesme hızındaki artımla sıcaklığın azalacağı konusunda veri bulamamışlardır. (Lezansky P. et al 1990)

Strenkowski ve Kyuong-Jin Moon, 1990 da yayınlanan çalışmalarında, Eulerian sonlu eleman modelini ortogonal metal kesmeyi temsilen takdim ettiler. Bu model temas uzunluğu ve talaş geometrisinin tahmini için yöntem içerir. Model iş parçası, talaş ve

takımdaki sıcaklık dağılımları ve talaş geometisini deneysel kesme verisine ihtiyaç olmaksızın tahmin eder. Talaş geometrisini tahmin etme yeteneği ile, takım-talaş temas uzunluğuda bulunabilir. Bu bilgi ile talaş ve takım arasındaki termal iletim yolu saptanabilir ve bu takım sıcaklıklarının hesabına izin verir. Malzeme hızı, gerilme ve şekil değiştirme oranı dağılımları gibi, takımın çevresindeki akış alanının karakteristikleride belirlenebilir. Model herhangi bir deneysel kesme verisine bel bağlamadığından özellikle yararlıdır. Bundan dolayı talaş ve iş parçasındaki takım kuvvetleri, takım sıcaklıkları, gerilme ve şekil değiştirme oranı alanları, takip eden kesme deneylerine ihtiyaç olmaksızın saptanabilir. Alüminyum alaşımı 6061-T6 için yapılan kesme deneyleri, model doğruluğunu kontrol etmek içindir. Takım-talaş arayüzeyi boyunca takım kuvveti ve ortalama sıcaklık ölçümlerini esas alan iyi bir ilişki bulundu. (Strenkowsky J.S. et al. 1990)

D.A. Stephenson 1991 de yayınlanan çalışmasında ;dört dengeli- durum kesme sıcaklık medellerinden elde edilen hesaplarla, simultaneous infraredli 1018 çelik, 2024 alüminyum, işleme pirinci ve gri dökme demir tüplerde son tornalama testlerinden takım-talaş termocouple sıcaklık ölçümlerini karşılaştırır. Model kullanılarak hesaplanan deformasyon bölge sıcaklıkları, yeni ters metod kullanılarak infrared ölçümlerden saptanan kaynak sıcaklıkları ile kıyaslanır. Hesaplanan takım talaş temas sıcaklıkları, geniş olarak kullanılan takım-iş termocouple metodla ölçülen talaş yüzey sıcaklıkları ile kıyaslanır. Modeller iş parçası termal özellik değişimlerini içeren Jaeger'in sürtünme kayma çözümünü esas alır, bununla beraber, genel olarak, test edilen malzemeler için deneysel metodların güvenilirliği içinde doğru sonuçlar verir. Son zamanlarda Venuvinod ve Lau tarafından üç boyutlu kesmeye genelleştirilen Loewen ve Shaw'un modeli kesme şartları ve iş parçasının sınırsız alanı üzerinde daha doğru gibi görünür. Model dökme demir veya 2024 alüminyum için takım-talaş sıcaklıklarını doğrulukla tahmin etmez, devamlı olmayan talaş formasyonu için ileri teorik inceliğe ihtiyaç olduğuna işaret eder. Kaynak sıcaklıkları ile hesaplanan kayma düzlem sıcaklıkları karşılaştırıldığında dört model kullanılarak hesaplanan kayma düzlem sıcaklıkları, kaynak sıcaklıkları ile nitelik olarak uyumludur, ancak ölçümlerle kıyaslandığında sıcaklıkların fazla tahmin edilmiş olduğunu görülür. Bu beklenmeyen bir durum değildir, çünkü bütün modeller düzlem ısı kaynaklarını var saymıştır. Gerçek kaynaklar dağıtılmıştı, yani ölçümler daima, kabul edilen düzlem kaynaklardan hesaplanarlardan daha düşük sıcaklıklar vermeli idi. (Stephenson D.A. 1991)

Tay ve grubu, hız alanlarını bulmak için hiperbolik akış yönü kavramını ve birincil kayma deformasyon bölgesinde oranlarını bulmak için uyguladı. Oysa ki, Muraka ve grubu, birincil ve ikincil kayma deformasyon bölgelerinde deformasyonu bulmak için deneysel bir teknik kullandılar. Stevenson ve grubu Tay'ın önerdiği modeli değiştirdi. Analitik olarak elde edilen bu sıcaklık bölgesi, metalografik teknikler kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlarla kıyaslandı. Literatürdeki mevcut bu çalışmaların çoğunluğu sadece ortagonal buyuna tornalama ile ilgilidir. Ancak ivmelendirilmiş kesme olarak adlandırılan başka önemli işleme operasyonları da vardır. Alın ve konik tornalama bu kategorinin içine girer. Bu operasyonlar esnasında kayma gerilmesi miktarı sürekli olarak değişir. Bu operasyonlar pratik açıdan oldukça önemlidir. Çünkü bunlar, işlenebilirliğin saptanmasında kullanılırlar. Jain ve Pandey, alın ve konik tornalama süresince takım talaş ara yüzeyindeki sıcaklığı deneysel olarak ölçmüştür. Ancak hızlandırılmış kesme esnasında sıcaklığın saptanması için herhangi bir teorik çalışma mevcut değildir. Adil ve grubu çalışmalarında , takım-talaş-ış sisteminde hızlandırılmış kesme esnasında oluşan ortalama takım-talaş arayüzey sıcaklığını hesaplamak için bir sonlu elemanlar modeli önermişlerdir. Bu modelin doğruluğu, bu modelden elde edilen teorik sonuçlarla yüzey ve boyuna tornalama esnasında elde edilen deneysel sonuçlar kullanarak test edildi. Sonuç olarak $\dot{\gamma}$ ile verilen kayma gerilme hızlanması etkileri ve sıcaklık üzerindeki etkin parametreleri, hızlandırılmış kesme test sonuçlarıyla boyuna tornalama test sonuçları mukayese edilerek araştırıldı.(Adil G.K. et al 1988)

5. KESİCİ TAKIMDAKİ AŞINMAYA BAĞLI SICAKLIK DAĞILIMININ ANALİZİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Takım aşınması için klasik metod, dış değişkenlerin kontrolü ve "takım ömrünün " ölçümü ile olmuştur. Bu yaklaşım, pratik kesme koşullarının seçimi için data bulmada yararlıdır. Bununla beraber yeni kesici-takım malzemelerinin gelişimi , yüksek dayanımlı alaşımlar ve diğer yeni iş malzemeleri için işleme metodlarının planlanmasında aşınma proseslerinin temel anlayışı istenebilir.

Yaklaşık 1962 den beri , metal kesmede takım aşınması ve diğer işlem çeşitleri arasındaki ilişkiyi geliştirmek için çok sayıda teşebbüs olmuştur. Bu çabaların arkasındaki motivasyon , kesme devam ederken takım aşınmasını tahmin etmek için plan belirtmek oldu.

Takeyama ve Murata (1963) takım aşınma mekanizmalarının bir kaç muhtemel tipini göz önüne alarak , belli başlı takım aşınma denklemi türetme problemine yaklaştılar. Bu araştırmacılar, karbid takımların aşınmasında ilgili iki temel mekanizmanın var olduğunu gösterdiler: i) Sıcaklık düşük olduğundan, kesme sıcaklığından bağımsız ve kesme mesafesi ile orantılı abrasive (aşındırıcı) işlemlerden dolayı aşınma. ii) Sıcaklık duyarlı hız işlemleri dolayısı ile aşınma.

J.G.Balint ve R.H.Brown (1964), çalışmalarında sıcaklık, normal yük ve takımın talaş yüzeyindeki aşınmanın geometrisi arasındaki ilişkinin önemli olduğunu göstermiştir.

Takeyama ve grubu (1967), çalışmalarında , takımın aşınma miktarını tayin etmek için iş parçası boyutlarının kullanımını esas almışlardır. Weller ve grubu (1969), takım aşınmasının göstergesi olarak kesme operasyonundan ses çıkmasını kullandı. Wilkenson (1971), takım -talaş ve takım - iş arayüzey bölgesinden geçen elektriksel direnç ölçümünü esas alan aşınma kontrolünü geliştirdi. Direnç kesit bölgesine bağlanır elektrik akım geçişi vasıtası ile , takım ve iş arasındaki temas bölgelerinde bir yandan öbürüne elektrik direncinin on-line ölçümü, temas bölgesinin ebadının belirtisini verir. Bu temas bölgesi takım aşınmasının tahmini olur.

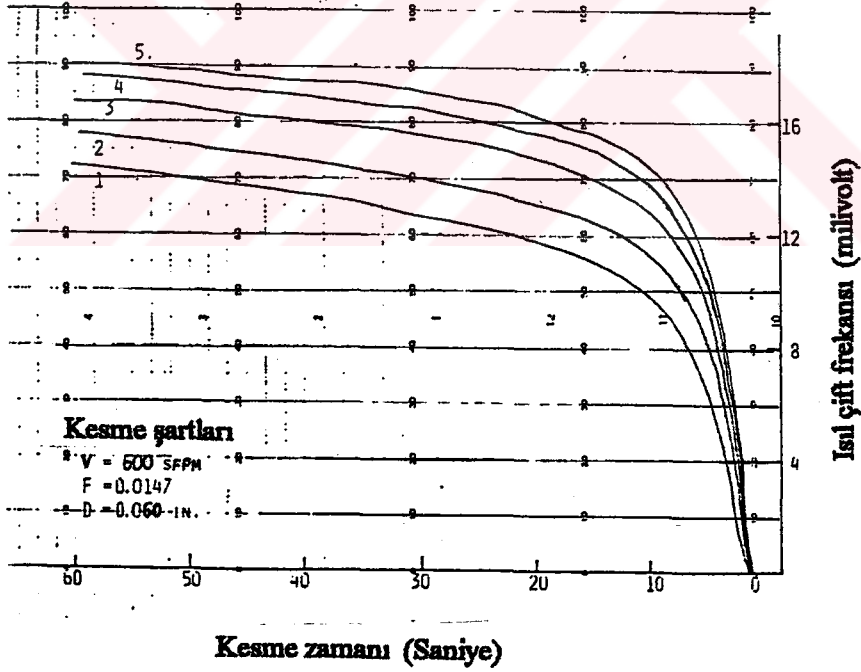
Zakaria ve El Gomayel (1975), takım aşınmasını izlemek için takım-talaş ısı çiftinin kullanımını araştırdı.

Araştırmaların bir başkası, kesmedeki sıcaklıklarda takım aşınmasının etkisinin ısı transferi analizi ile ilgilendirilmesi idi (Levy ve grubu 1976). M.P:Groover, R.J.Karpovich, ve E.K.Levy 1977 de yayınlanan çalışmalarında deneysel veri, kesme kenarından uzakta takımın yerleştirilmiş ısı çiftinin işareti ve takım aşınması arasındaki güçlü bağın gösterimini sundular.

5.1 KESİCİ TAKIMDA SERBEST YÜZEY AŞINMASI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.

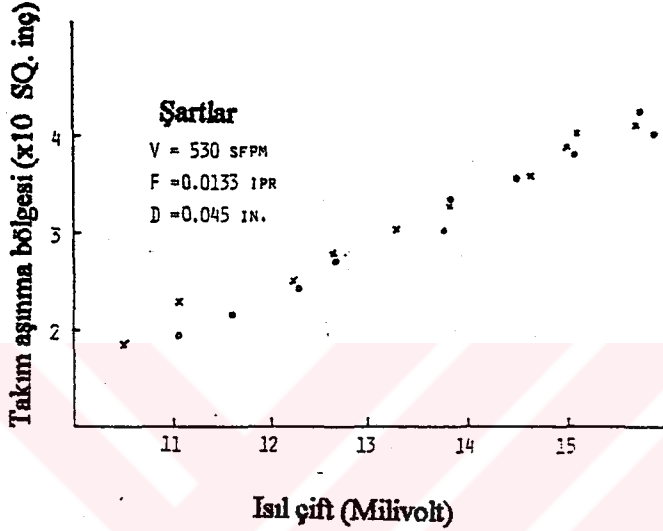
Kesme takımında bazı uzak yerleşimdeki sıcaklık , kesme noktasında takıma dahil olan termal enerji ile belirlenir.Uzak yerleşimde daha yüksek sıcaklık daha büyük enerji girdisinin göstergesidir.Kesme takımında aşınma ilerlerken net etki, kesme kenarında takım içine enerji akış miktarını arttırmaktır.Bu artma için sebepler:1)Takım-talaş ve takım-iş bölgesinde (sırasıyla, krater aşınması ve serbest yüzey aşınması)temas alanı artar.

2)Metal kesme prosesinin etkisi, aşınma derecesindeki artmanın sonucu olarak azalır.Bu iki faktörün net etkisi, makine işleme operasyonunun yerine getirmek için gereken enerji seviyesini yükseltmektedir.Ve bu artma kesici takımında uzak noktada daha yüksek sıcaklıkta yansıtılır.Şekil 5.1 çalışmada kullanılan özel uzak ısı çift yerleşiminde 1 dakikalık deneysel kesme serisinin, bir kaçı için, geçici sıcaklık duyarlılığını gösterir.



Şekil 5.1. Bir dakikalık kesme serileri için uzak ısı çift frekansları.

Tekil eğriler, her bir kesme başlangıcındaki çevre koşullarından ısı çift işaretlerinin dinamik davranışını gösterir. Farklı sıcaklık kayıtları ile kıyaslandığında ard arda kesmeler için sıcaklığın yüksek değerlere eriştiği gözlenebilir. İlk kesmeden bir sonrakine sıcaklık derecesindeki artma, kesme serisi ilerlemişken takım aşınmasındaki artımdan kaynaklanır. Kesmelerin her biri için kesme şartları aynıdır ve her bir kesme çevre sıcaklığındaki takım ve iş parçası ile başlatılır. Kesmede verilen her hangi bir zaman için , sıcaklığın değeri, ilişkiyi göstermek için aşınma derecesi ile birlikte Şekil 5.2.de çizilmiştir.



Şekil 5.2. Bir dakikalık kesme serilerinin iki cevabı için, kesmede 50 saniyedeki ısı çift sinyal seviyesine karşı, takım aşınma olayı (Krater+ Serbest yüzey).

Bu deneysel veri , uzak ısı çift aygıtı vasıtası ile sezilen takım aşınması ve sıcaklık derecesi arasındaki güçlü bir bağın varlığını gösterir. Problem , kesme zamanına bağlı geçici etkilerin sinyalden uzaklaştırılabilmesi ve bu yüzden takım aşınması tahmininin kalkması dolayısı ile gerçek zaman da ısı çift işaretini yorumlayabilmektir. Problem . Şekil 5.3 referans alınarak tartışılabilir.

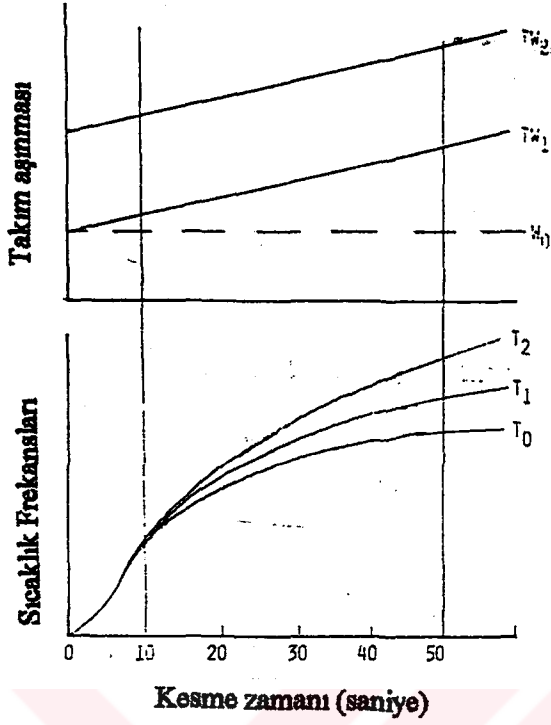
Takım aşınma duyarlılığı, Taylor (1962), tarafından kurulan genel modelle gösterildi ve aşağıdaki forma sahiptir:

$$TW = W_0 + WR \times t \quad (5.1)$$

TW = Takım aşınması

W_0 = Bozulmaya yaklaşım

WR = Aşınma oranı. Kesme zamanı t ile çarpılmış aşınma oranı bozunmadan sonra aşınma artımını verir.



Şekil 5.3. İki kesme için, uzak ısılıçift kayıtlarla takım aşınmasının ilişkisi

Şekil 5.3 de, bu takım aşınma modeli kesmenin bir dakika sonrasına uzanan, bozunma aşınma derecesini W_0 , ve aşınma derecesi TW_1 , i gösterir. 2 dakikalık kesmeden sonra takım aşınması TW_2 seviyesine erişmiştir. Taylor modelinde gerçeklikten ayrılan nokta ani bozunmanın tahminidir. Şekil 5.3'ün alt kısmında gösterilen sıcaklık karakteristiği, Şekil 5.1'inkine benzer zaman fonksiyonunu sergiler. Takım plakentinin alt yüzündeki bazı noktalarda sıcaklık duyarlılığı, 2 faktörün; aşınma etkisi ve ısı etkisinin fonksiyonu olacak şekilde varsayıldı. Isı etkisi sayesinde olan sıcaklık payı, toplam sıcaklık duyarlılığından çıkarıldığında, geri kalan kısım aşınmadan dolayıdır. Isı sayesinde olan sıcaklığın payı T_0 olarak Şekil 5.3 'de gösteriliyor. İlk kesme esnasındaki aktif sıcaklık T_1 , ve ikinci kesme esnasındaki T_2 dir. Aktif sıcaklık ve T_0 arasında seviyelerdeki fark, W_0 , takım aşınma derecesi yüzündendir.

Şekil 5.3'ün önceki bahsi W_0 takım aşınma seviyesinin, kesme esnasında her hangi bir zamanda T_0 sıcaklık artışından sonuçlanabildiğini gösterir. Bu aşağıdaki denklem vasıtası ile açıklanabilir.

$$TW = W_0 + R(T - T_0) \quad (5.2)$$

TW =Takım aşınması

W_0 =Aşınma başlamadan önce takım ve talaş arasındaki başlangıç ara yüzey bölgesi.

T =ölçülen uzak ısı çift sinyali

T_0 =Aşınmanın yokluğunda ortaya çıkan idealize edilmiş termal karakteristik

R =Sıcaklık farkından , başlangıç değeri W_0 üzerindeki aşınma farkına dönüşüm için oran.

İlk kesme için verilen zamanda sıcaklıktan aşınmaya değişimin problemini göz önüne

alalım.Resimlemek için Şekil 5.3 kullanılarak , ilk kesmede 50 saniyede dönüşüm işlemi

göz önüne alalım.50 saniyedeki $(T_1(50) - T_0(50))$ sıcaklık farkı aşınma artımı

$(TW_1(50) - W_0)$ a tekabül eder.Benzer yolla, ikinci kesmede $(TW_2(50) - W_0)$ 'e karşı

$(T_2(50) - T_0(50))$ uygunluk vardır.Bundan dolayı sıcaklık farkına, aşınma farkının oranını

bulmak için, iki ard arda kesmedeki bu değişimlerin ölçülmüş farkları kullanılabilir.Bu,

denklem (5.2) deki R'nin değerini verecektir:

$$R(50) = \frac{TW_2(50) - TW_1(50)}{T_2(50) - T_1(50)} \quad (5.3)$$

Bu oranın değeri kesme zamanı ile değişir.Örneğin, Şekil 5.3 de 10 saniye kesme

zamanında takım aşınması $(TW_2(10) - TW_1(10))$ daki fark yaklaşık olarak 50 saniyedeki

takım aşınması farkına $(TW_2(50) - TW_1(50))$ eşittir.Bununla beraber 10 saniyedeki

sıcaklık farkı $(T_2(10) - T_1(10)), (T_2(50) - T_1(50))$ miktarından oldukça küçüktür.Bunun

için ,10 saniyedeki oran $R(10)$, 50 saniyedeki oran $R(50)$ den daha büyük olacaktır. $R(t)$ '

nin değeri kesme içinde zamanla azalan fonksiyondur ve aşağıdaki formun bağlantısı ile gösterilir:

$$R(t) = b + a/t \quad (t, \text{ sıfırdan büyük}) \quad (5.4)$$

Burada, a ve b ampirik olarak belirtilmesi gereken sabitlerdir.Denklem ile gösterilen

fonksiyonun formu Levy et al (1976) tarafından yapılan çalışmada analitik delil ile

desteklenir.Diğer bir sorun, eğer W_0 üstünde artma meydana gelmiyor idi ise, uzak ısı

çift yerleşiminin termal karakteristiğinin varsayılan değeri, T_0 'ın hesaplamasına etki

eder.Takımın kütlelerinin, kesme kenarındaki ısı hareketi ile karşılaştırılan uzak nokta

sıcaklığındaki gecikmeye sebep olduğu , sıcaklık karakteristiğinin şeklinden açık olarak

görülmür.Gecikmenin matematiksel ifadesi,ikinci derece genel diferansiyel denklemle

yaklaştırılabilir;

$$T_0(t) = C_1(1 - C_2 \exp(t/k_1) - C_3 \exp(t/k_2)) \quad (5.5)$$

Burada, C_1 , C_2 ve C_3 sabitlerdir. k_1 ve k_2 zaman sabitleridir.

Şekil 5.1 deki ısı çift duyarlılığının şekli, denklem 5.5'in varsayılan formuna ampirik destek verir. Bu denkleme göre termal duyarlılığın değeri, dengeli durumda max. değere yaklaşacaktır.

Çeşitli zamanlarda T_0 in değerlerini belirlemek için yöntem Şekil 5.3 vasıtası ile açıklanabilir.

Deneysel Yöntem

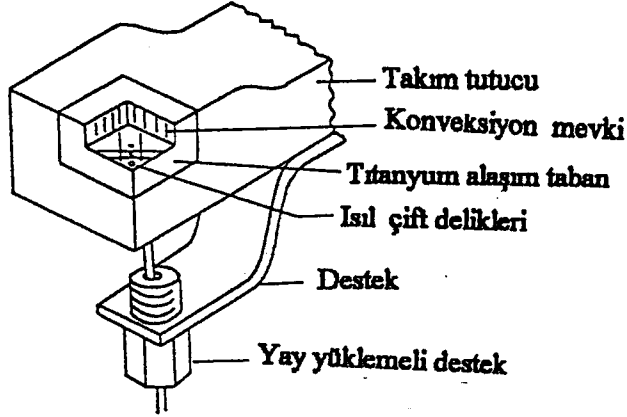
Takım aşınması tahmini için denklem 5.2 nin yapabilme kabiliyetini araştırmak için tornalama deney serileri, bir iş malzemesi ve bir grad sementid karbür kullanımına bağlandı. Test şartları Tablo 5.1 de listelendi. Özel takım tutucu, uzak ısı çiftlere yer sağlamak için Valenite Mode SVBR-16 vasıtası ile işleme delikleri yapıldı. Şekil 5.4 de düzenin kabataslak resmi gösteriliyor.

Tablo 5.1. Deneysel kesme şartları. (İş malzemesi 4340 Çelik)

Hız (sfpm)	İlerleme (ipr)	Kesme derinliği (inç)
600	0.0147	0.060
600	0.0147	0.040
530	0.0132	0.045
400	0.0128	0.100
400	0.0152	0.075
500	0.0102	0.080
500	0.0120	0.060
600	0.0085	0.067
600	0.0102	0.050

sfpm=dakıkadaki yüzey ilerleme

ipr=her devirdeki inç



Şekil 5.4. Deneysel takım tutucu düzeneği.

Isıl çiftler dış çapı 0.040 inç paslanmaz çelik koruyucu kaplama ile sarılan standart demir-bakır nikel alaşımı idi. Isıl çift teller, elektriksel ses problemini azaltmak ve kesme plaketine karşı sıcak bağlantıların kısa deveranını önlemek için bağlanmadı. 0.020 inç yarıçapı indirgenmiş uç ısı çift, rijiditeden fedakarlık etmeksizin frekans zamanını geliştirmek için seçildi. Takım tutucudaki delikler ve yuva, ısı çiftler için yerleşim dengesi ve iyi bir yerleşim sağlamak için, yaklaşık 0.020 korumalı aralığa izin verdi.

Yay yüklemeli mekanizma, ısı çift noktası ve takım noktasının altı arasında iyi temas basıncı temin etmek için kullanılır. Isıl çift mekanizması Conax Şirketinden satın alındı. Termal iletkenliği nisbeten düşük katsayılı titanyum alaşımı (6V,4Al), sementid karbid kesme plaketine, termal olarak izole etmek için kullanıldı. Bu izolasyonun amacı, ısı transferiden dolayı takımdan ısı kaybını azaltmaktır. İlâveten titanyum yuvada bileme ile bir kaç küçük hava deliği açıldı. Takım tutucunun ve takımın özellikleri Tablo 5.2 de listeleniyor. Her bir test koşulu yeni kesme kenarı ile başladı. Kesme zamanının 1,2,3,4,6,8 ve 10. dakikalarında, serbest yüzey artı krater aşınması deneylerde ölçüldü. Bu ölçümlerin, toplam aşınma değeri belirlendi. Toplam aşınma, serbest yüzey ve kraterin toplamına eşit değerde aşınma bölgesidir. Yan yüzey aşınma bölgesi, kesme kenarı boyunca aşınmanın uzunluğu ile ölçülen serbest bölgenin genişliğinin çarpımıyla hesaplanır. Bu toplam aşınma bölgesi, denklem 5.2 de takım aşınması değişkeni olarak kullanılır. Isıl çift işaret verileri, Şekil 5.4 de takım tutucunun ön köşesine en yakın yerleştirilmiş deliğe konmuş ısı çiftten bulundu. Bir dakika üzerindeki kesme zamanlarının sürekli kayıtları deneylerdeki sıcaklıklar için ham veri teşkil etti. Ham veri her bir kesmede 2,5,10,20 ve 50 saniyelik

zamanda belirli özel noktalarda milivolt seviyesinde değerlerin okunması için kullanılabilir forma azaltıldı.

Tablo 5.2. Takım ve takım tutucu özellikleri

Takım malzemesi=Kennametal K 21= plaketa özelliği:SNG-422: takım tutucu=Valenite SVBR-16

TAKIM	GEOMETRİSİ
Arka eğim açısı= - 5°	Son kesici kenar açısı= 15°
Yan eğim açısı = - 5°	Yan kesici kenar açısı= 15°
Son relief açısı = 5°	Uç radiusü =1/3 inç
Yan relief açısı = 5°	

Deneysel sonuçlar

Takım aşınması ve uzak ısı çift çıktısının deneysel değerleri , tablo 1 de listelenen çeşitli kesme şartları için bulundu.Bu değerlerden, W_0 , $R(t)$ ve $T_0(t)$ ' yi belirlemek için yukarıda tanımlana metodla hesaplama yapıldı.Denklem (5.2) içine bunların yerleştirilmesi ile takım aşınmasının gözlenen değerleri ve denklemlle sağlanan tahmini değerler arasında o zaman karşılaştırma yapılabilirdi.Gerileme analizi verinin her bir grubunda yapıldı ve sonuçlar Tablo 5.3 de gösterilmektedir.

Şekil 5.5~ 5.8, denklem 5.2 de hesaplanan tahmini takım aşınmasına karşı gerçek takım aşınmasını gösterir.Bu şemalarda TWA sembolü, takım aşınma bölgesini ifade etmek için kullanılır.Gerçek ve tahmini arasındaki mükemmel uyum , diagonal düz hatta uzanan bütün noktalar sayesinde gösterildi.Tablo 5.3, Şekil 5.5~5.8 ile nakledilen bilginin çoğunu özetliyor.Korelasyon katsayısının değeri, gerçek ve tahmini takım aşınması arasındaki uyumun genel ölçümünü sağlar.Eğer korelasyon katsayısının değeri 1.0 'a eşitse,mükemmel uyum vardır ve bütün noktalar dümdüz hatta uzanır.Tablo 5.3 de, korelasyon katsayısı 0.837 ve 0.978 arasındaki değerde dolaşır.Bu değerler, denklem (5.2) ile verilen modelin hissesinde oldukça iyi korelasyon yansıtmak için göz önünde tutulur.Tahminin doğruluğunu tayin etmek için kullanılan bir başka istatistik,tahminin standart hatasıdır.Bu tahmini ve gerçek takım aşınması arasındaki hatanın ortalama değerini (root-mean-square average) sağlar.

Tahminin standart hatası $0,166 \times 10^{-3}$ ve $0,435 \times 10^{-3}$ arasında uzanır.Tahmini olan değişimlerin ortalama değerinin yüzdesi olarak bu ortalama hatayı alırsak, yüzdeler sırasıyla % 5.5 ve % 8.8 dir.Tablo 5.3 ayrıca ,kesme gruplarının her biri için en büyük yüzde kalan ve en büyük hata (kalan) listelemesini gösterir.Tablo,hata en sıklıkla var

olan özel tahminleri bildirmemesine rağmen, ham verinin kontrolü, kesmede iki dakikada yapılan tahminlerin ,en sık en az doğru olduğunu ortaya çıkardı. 12 en büyük hatanın 10 'u gruptaki kesmelerin biri içinde 2 saniyede ortaya çıktı. Ayrıca 12 en büyük yüzde kalanların 10 'u kesmelerdeki ikinci noktada ortaya çıktı.

Sonuçlar

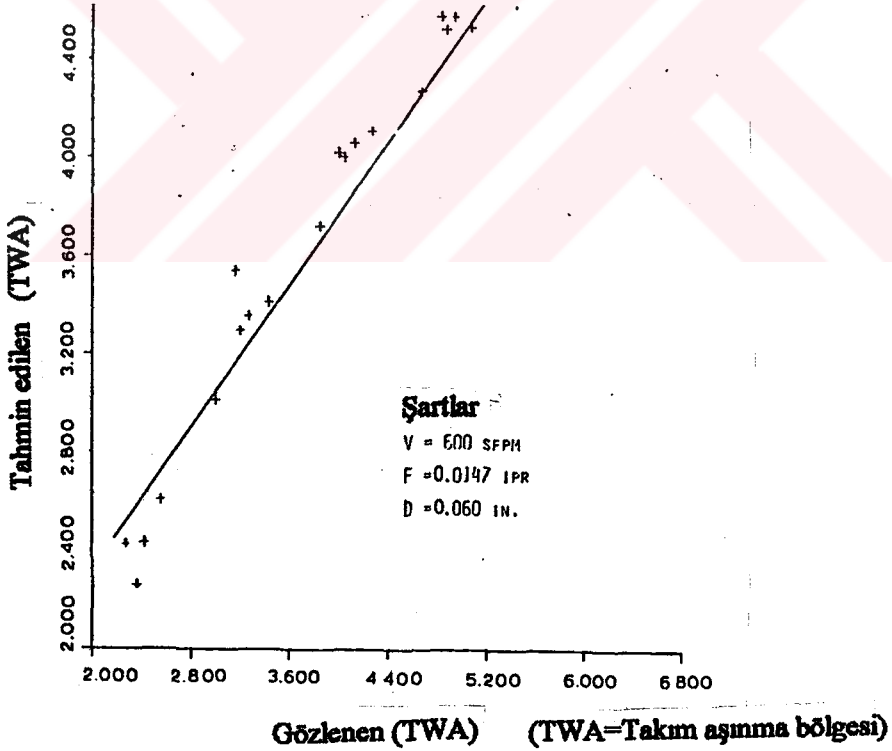
- 1.Kesme takımında uzak noktada yerleştirilmiş ısı çiftin işaretinde (sinyali) takım aşınmasının güçlü etkisini gösterir veri taktim edildi.
- 2.Takım aşınması ve uzak nokta sıcaklıkları arasındaki bağıntıyı tanımlamak için matematik model varsayıldı ve aşağıdaki denkleme temellendirildi.

$$TW = W_0 + R(T - T_0)$$

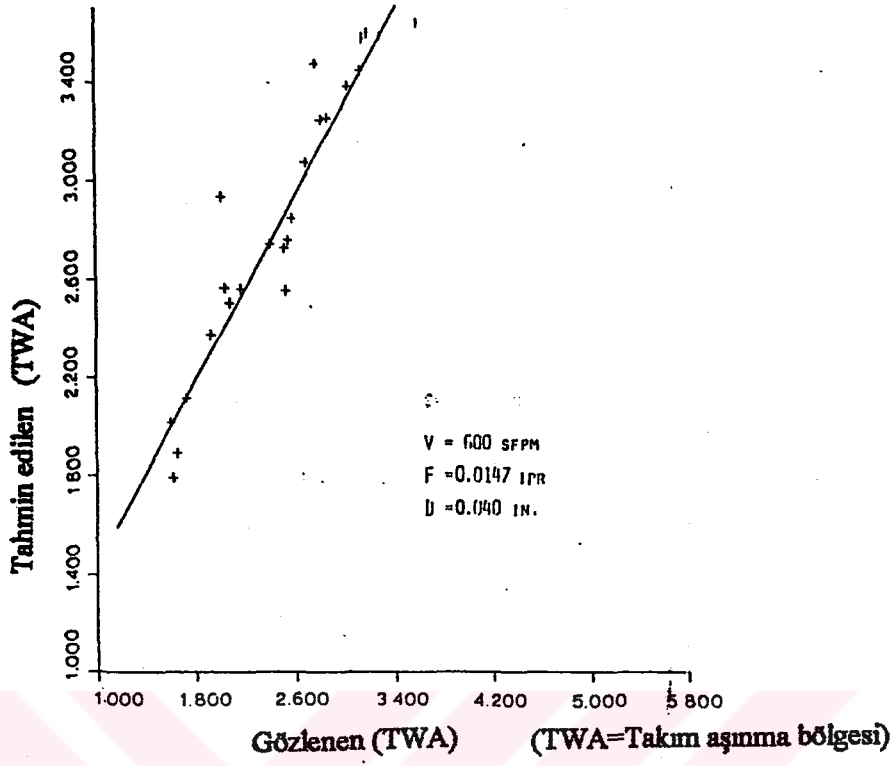
T, uzak ısı çift ölçümü ve TW, takım aşınması tahminidir.

- 3.Kesme şartlarının çeşitliliği için model gerçek ve tahmini değerler arasında yüksek derecede uyum sağlar .Bu gerçek ve tahmini değerler arasında korelasyon katsayısının oldukça yüksek değerleri ile gösterilir.

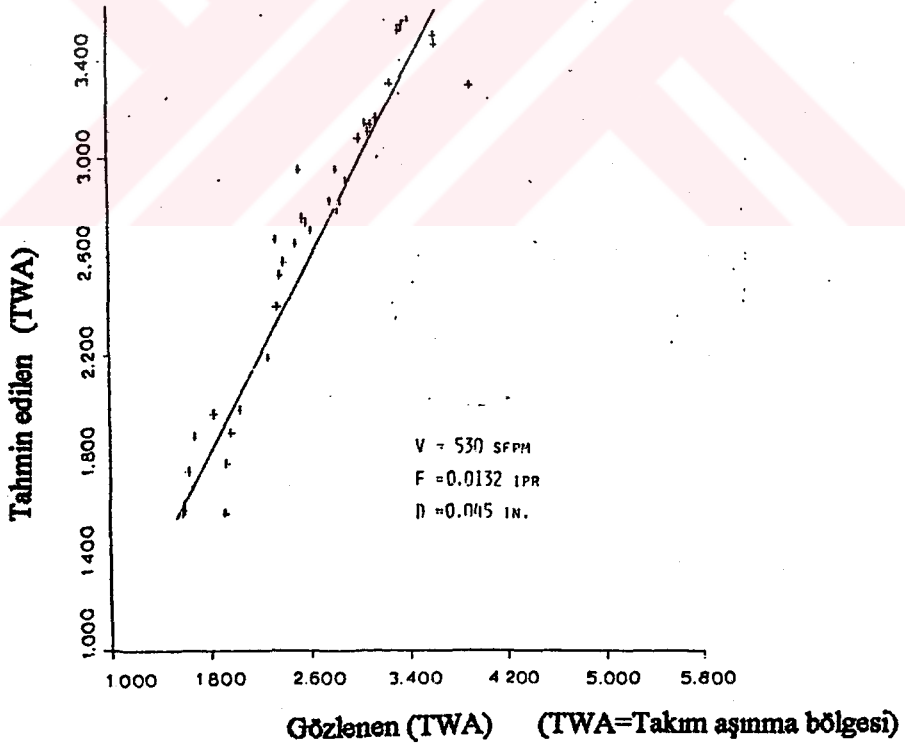
- 4.Tahmini takım aşınmasında en büyük hatalar özel kesmenin başlangıcında ortaya çıktı.(Groover M. et al. 1977)



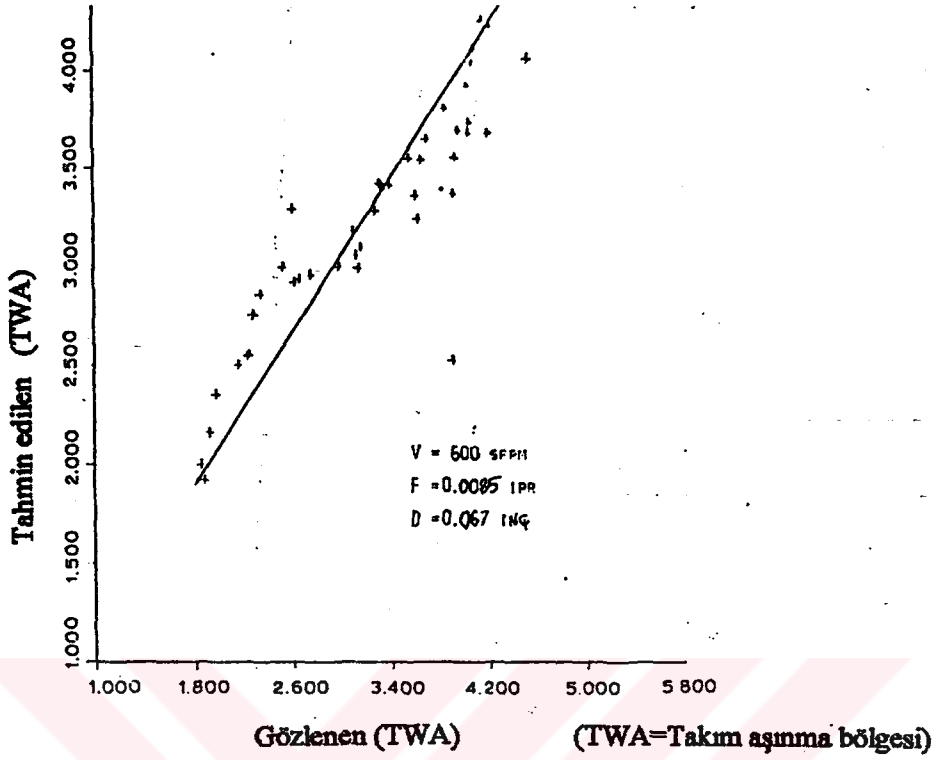
Şekil 5.5. Hesaplanan takım aşınmasına karşı gerçek takım aşınması.



Şekil 5.6. Hesaplanan takım aşınmasına karşı gerçek takım aşınması.



Şekil 5.7. Hesaplanan takım aşınmasına karşı gerçek takım aşınması.



Şekil 5.8. Hesaplanan takım aşınmasına karşı gerçek takım aşınması.

Tablo 5.3. Deneysel sonuçlar ($TW = W_0 + R(T - T_0)$ burada $R = b + a/t$).

Hız (sfpm)	İlerleme (ipr)	Derinlik (inç)	W_0	b	a	Korelasyon katsayısı	Tahminin standart hatası	En büyük kalan	En büyük % kalan	Ortalama aşınma
600	0-0147	0-060	2-412	0-503	1-127	0-938	0-413	1-055	23	4-44
600	0-0147	0-060	2-126	0-574	1-286	0-974	0-273	0-542	17	4-17
600	0-0147	0-040	1-473	0-361	1-451	0-972	0-197	0-743	19	2-98
600	0-0147	0-040	1-214	0-371	1-492	0-936	0-265	0-717	29	2-74
530	0-0132	0-045	1-736	0-447	0-940	0-972	0-187	0-615	21	2-99
530	0-0132	0-045	1-856	0-477	1-005	0-978	0-166	0-483	17	3-00
400	0-0128	0-100	3-438	0-857	0-347	0-837	0-435	1-449	31	4-97
400	0-0152	0-075	2-358	0-749	0-668	0-954	0-231	0-594	15	3-98
500	0-0102	0-080	2-852	0-590	0-244	0-948	0-251	0-720	16	3-95
500	0-0120	0-060	1-564	0-563	0-552	0-960	0-228	0-668	24	3-49
600	0-0085	0-067	1-925	0-625	0-263	0-919	0-335	1-437	37	3-42
600	0-0102	0-050	1-405	0-512	0-544	0-928	0-306	1-013	29	3-11

$\times 10^{-3}$ aşınma bölgesinin inç karesi

Ortogonal metal kesmede, sıcaklık dağılımlarında, başlangıç serbest yüzey aşınması, kesme hızı, ilerleme, eğim açısı ve soğutucunun etkisini bulmak için P.D:Muraka, G.Barrow, ve S.Hinduja (1979) tarafından yapılan testler çeşitli kesme şartları için dizayn edildi.İki farklı takım malzemesi; yüksek hız çeliği ve sementite edilmiş karbür kullanıldı.Bütün testler için sabit olan kesme şartları; 6.35 mm kesme genişliği, boşluk açısı =10° ve oda sıcaklığı $T_0 = 20^{\circ}C$ idi.İşleme çeliği, bütün testler için iş parçası malzemesi olarak kullanıldı.Gerekli giriş verisini bulmak için, kayma bölgesinde akım çizgilerini bulmak için kullanılan şartlarla aynı şartları uygulayarak bir kaç deney yönetildi.Deneyler, kesme kuvveti F_v ve ilerleme kuvveti F_H ölçümü için "Kistler" üç komponent (Piezo-Elektrik) takım dinamometre kullanarak uygulandı.Her test için yeni takım kullanıldı ve daha sonra test takımı osiloskop altında incelendi.Takım-talaş temas uzunluğu ve yapışma uzunluğu, takım üzerinde aşınma izinden bulundu.Yapışma uzunluğunun doğru olarak ölçülmesinin mümkün olmadığı test yerleri için, yapışma uzunluğu , toplam temas uzunluğunun yarısı olarak kabul edildi.

Diğer bir deneyde,bilinen serbest yüzey aşınmalı takımın yan yüzeyindeki kuvvet komponentleri temsiline eşdeğer dizayn edilen, numune ters yönde döndürüldü ve takım ona karşı sıkıştırıldı.Kayıcı temas uzunluğunun, verilen ölçüsü için serbest yüzdeki temsili kuvvet komponentleri ölçüldü.Ölçümler,verilen 0.376 mm serbest yüzey aşınması için, serbest yüzey boyunca kuvvet komponenti $F_F = 20$ N ve serbest yüzeye dik kuvvet komponenti $N_F = 42$ N verdi.Kesme şartları ve bütün diğer ölçülen veri Tablo 5.4 de özetleniyor.

Sonuçlar ve irdeleme.

Takım- talaş ve iş parçasının idealize etmek için kullanılan sonlu eleman meşi *Şekil 5.9(a)* da gösteriliyor.*Şekiller 5.9(b)* ve *5.9(c)* takım ucu etrafındaki bölge için sıcaklık dağılımı ve izotermalleri gösterir.Kayma bölgesi sıcaklıkları *Şekil 5.10* de , büyütülmüş alanda ayrı olarak gösteriliyor.

Kayma bölgesi sıcaklığı:

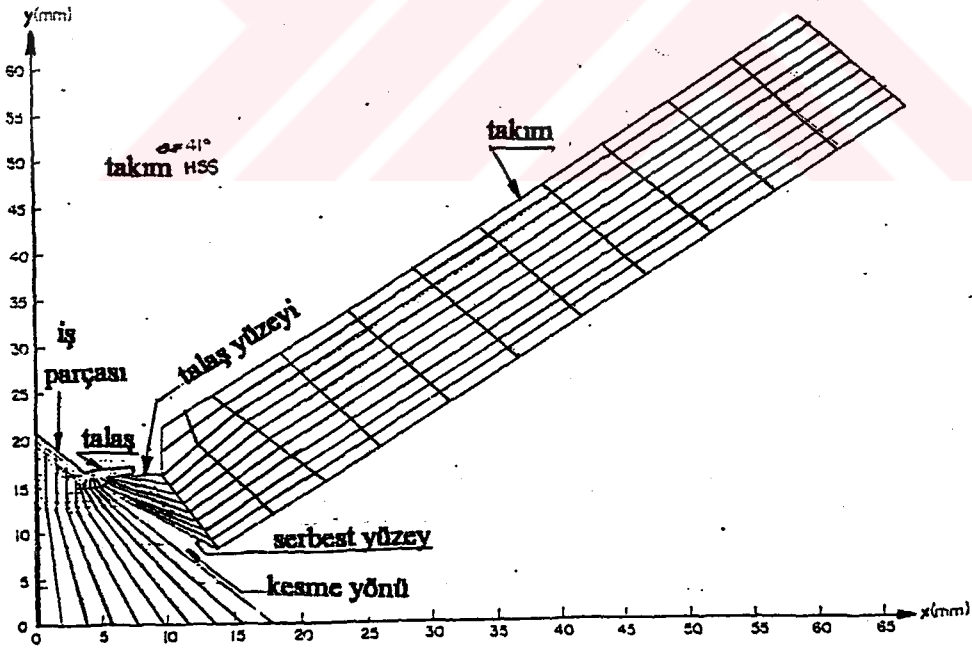
Şekil 5.10'dan , genelde sıcaklıkların iş parçası sonu sınırından kayma bölgesinin talaş sonu sınırına doğru, adım adım ilerleyerek arttığı görülebilir.Kayma bölgesinin ortası civarındaki sıcaklık yaklaşık olarak sabit olmasına rağmen,kesme kenarında ve takım-talaş temas uzunluğu boyunca oldukça yüksektir.Bu Rapiet tarafından sabit kayma düzlemi sıcaklığı tahmininin çok yakın olduğunu gösterir.Bütün testler için, sıcaklık dağılımından, ortalama kayma düzlem sıcaklıkları T_s ,bulundu ve bu Tablo 5.5'de gösteriliyor.Tablo 5.5 , ortalama kayma düzlem sıcaklığının kesme hızı V 'deki artımla arttığı, ve eğim açısındaki artımla azaldığını gösteriyor.Örneğin, V , 24.7 den 46.0 m/dak

artarken, T_s 152.3 den 169.5°C ye artar, halbuki α , 20° den 41° ye artarken, T_s 152.3 den 97.7°C ye azalır. Bununla beraber, T_s , ilerleme T_1 ile değişmeye uygun olarak ortaya çıkmaz. Benzer gözlemler Keçecioğlu tarafından, enerji bedellerini esas alan Loewen ve Shaw'un hesap usulunu kullanarak, yumuşak çelikle yapıldı.

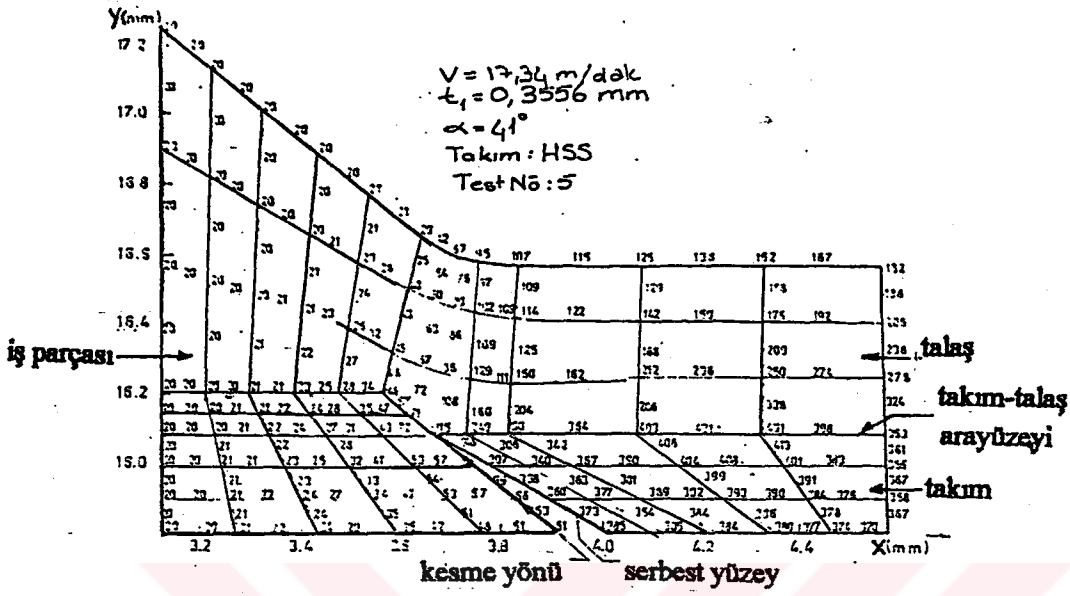
Takım-Yüz Sıcaklıkları

Şekiller 5.9.(b) ve 5.9 (c) den kesme takımlarının talaş yüzeyinde üniform olmayan sıcaklık dağılımının ortaya çıktığı ve max. sıcaklığın daima kesme kenarından bir miktar mesafede meydana geldiği, gözlenir. Talaş yüzeyindeki sıcaklıklar, serbest yüzeydekilerden çok daha yüksektir. Kesme şartlarının geniş alanında, kesme takımının talaş yüzey aşınmasının gelişiminin deneysel çalışması ve farklı iş- takım tertipleri, kraterin kesme kenarından belli bir mesafede başladığı ve özellikle derinlik profilini verdiğini gösterir.

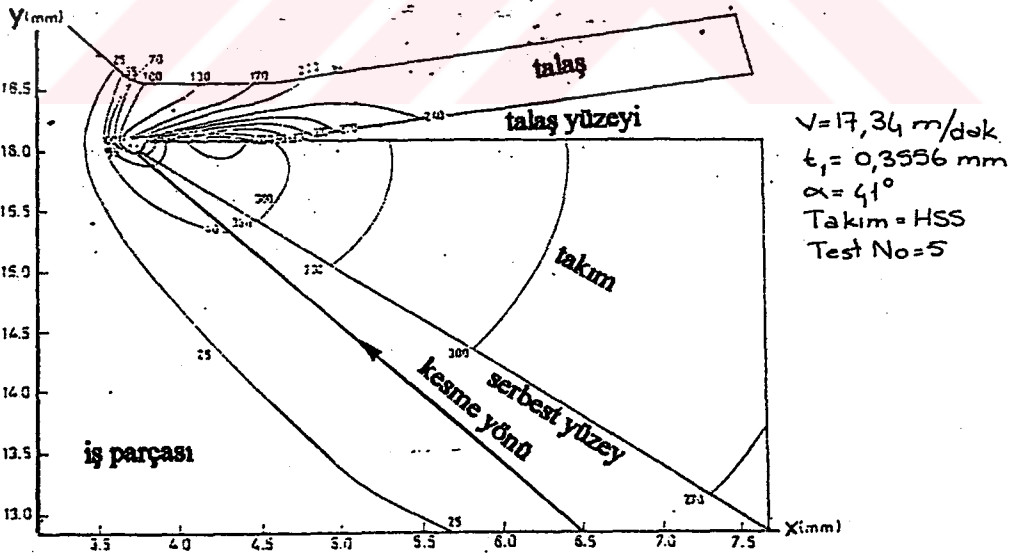
Aşınma için önemli faktör; aktüel bağlantı başlangıç noktasında lokal sıcaklık, takım-talaş arayüzeyi üzerinde gözlenen üniform olmayan krater aşınmasının açıklamak için avantajlı kullanılabilir. Şekil 5.9 (c) deki izotermallerden, talaş yüzeyindeki sıcaklığın, kesme kenarından max. sıcaklık noktasına keskin olarak arttığı ve ondan sonra sıcaklığın talaş ayrılma noktasına ılımlı olarak düştüğü görülebilir. Talaş ayrılma noktası ötesindeki sıcaklıkta düşme yavaş ve derece derecedir.



Şekil 5.9(a). Ortogonal işlemede termal analizler için otomatik meş oluşumu.



Şekil 5.9(b). Sonlu eleman metodu ile tahmin edilen takım ucu etrafındaki talas, takım ve iş parçasındaki sıcaklık dağılımı. ($^{\circ}\text{C}$)



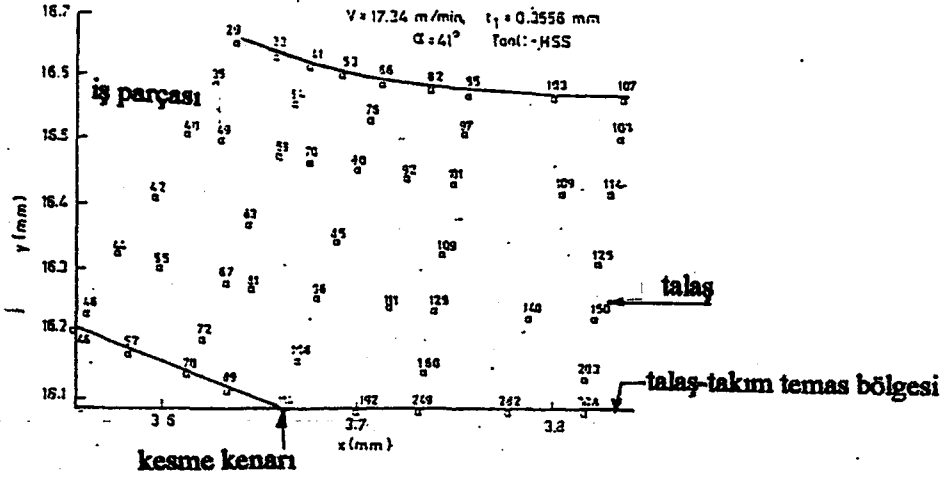
Şekil 5.9(c). Sonlu eleman metodu ile tahmin edilen takım, talas ve iş parçasındaki izotermaller.

Tablo 5.4. Kesme şartları ve ölçülen veriler.

seri No	test No	n parç./dev/dak	D mm	hız m/dak	ilerleme mm/dev.	egim açısı α (°)	balım malzemesi	kayma açısı β (°)	telas kalınlık oranı t_1/t_2	Takım-telas temas uzunluğu C mm	temas uzunluğunun yapısını kapsan C_1 mm	öleşke kuşvetin dik komponenti F_Y N	öleşke kuşvetin yatay komponenti F_X N
1	1	80	98.50	24.76	0.3556	41.0	HSS	48.5	0.7750	0.9298	0.604	2425	262
2	3	80	98.60	24.78	0.2845	20.0	"	41.5	-0.7143	1.524	0.8128	2703	1202
3	5	57	96.02	17.34	0.3556	41.0	"	47.4	0.7631	0.9144	0.5842	2303	256
4	6	80	96.20	24.60	0.3556	20.0	"	39.0	0.6534	1.9012	1.1176	3525	1563
5	9+	80	98.55	24.77	0.3556	20.0	"	37.0	0.6374	1.8000	0.7874	3500	1463
6	11	160	91.44	45.96	0.3556	20.0	"	30.0	0.5113	1.8568	1.1634	3500	1500
7	12+	160	91.06	45.77	0.3556	20.0	"	32.2	0.5517	1.8796	1.2192	3530	1420
8	13	60	98.55	24.77	0.3556	30.0	"	35.0	0.5743	1.2700	0.7366	2630	545
9	23++	57	96.80	17.34	0.3556	41.0	Karbür	47.4	0.7320	0.9144	0.5842	2300	255
10	14	115	97.79	35.33	0.3556	20.0	"	36.0	0.5503	0.8600	0.3300	2540	450
11	15	240	94.31	71.11	0.3556	20.0	"	33.0	0.5900	0.9144	0.4572	2900	775
12	17	115	97.54	35.24	0.2615	20.0	"	24.0	0.3703	0.6096	0.3018	2000	320
13	18	115	97.66	35.28	0.5890	20.0	"	38.5	0.6615	0.8128	0.4064	3975	760
14	19	115	97.28	35.15	0.3556	10.0	"	35.0	0.6250	1.1938	0.6066	3825	1550
15	21+	115	97.61	35.26	0.3556	20.0	"	35.0	0.5902	0.9288	0.2794	2525	378
16	23	490	86.69	130.73	0.3556	20.0	"	30.7	0.5152	0.9652	0.4836	3125	540
17	24+	480	87.12	131.38	0.3556	20.0	"	24.4	0.5890	0.9779	0.4826	3025	920

+ Soğutma sıvı kullanılan testler

++ Başlangıç aşınması olan takım (0.376 mm)



Şekil 5.10. Deformasyon bölgesindeki sıcaklık dağılımları.

Tablo 5.5. Kayma Bölgesi sıcaklık analizi.

seri No	test no.	hız	ilerleme	eğim	takım malzemesi	kayma düzlemi boyunca ortalama sıcaklık T_s
		V	t_1	açısı α		
		m/min	mm/rev	°C		
1	1	24.76	0.3556	41.0	HSS	97.7
2	3	24.78	0.2845	20.0	"	139.9
3	5	17.34	0.3556	41.0	"	89.2
4	6	24.68	0.3556	20.0	"	152.3
5	9+	24.77	0.3556	20.0	"	160.5
6	11	45.96	0.3556	20.0	"	169.5
7	12+	45.77	0.3556	20.0	"	169.5
8	13	24.77	0.3556	30.0	"	134.1
9	25++	17.34	0.3556	41.0	"	85.2
10	14	35.33	0.3556	20.0	Karbür	154.8
11	15	71.11	0.3556	20.0	"	160.5
12	17	35.24	0.2845	20.0	"	157.9
13	18	35.28	0.5690	20.0	"	147.6
14	19	35.15	0.3556	10.0	"	201.9
15	21+	35.26	0.3556	20.0	"	162.9
16	23	130.73	0.3556	20.0	"	167.6
17	24+	131.38	0.3556	20.0	"	149.0

+Soğutma suyu kullanılan testler

++Başlangıç aşınması olan takım (0.376 mm)

Takım sıcaklıklarında işlem değişimlerinin etkisi

Sıcaklık dağılımlarında takım malzemesi, kesme hızı, ilerleme, eğim açısı, takım serbest yüzey aşınması, soğutucu kullanımı gibi, kesme işlem parametrelerinin etkisini analiz etmek için , takım yüzü ve takım serbest yüzü boyunca sıcaklıklar ayrı olarak *Şekiller 5.11-5.15* de çiziliyor. Bu eğrilerden, talaş ayrılma noktasının, ayrıca sıcaklık gradientlerindeki ani ve etkili değişme ile beraber bulunduğu, görülebilir. Takım yüzeyine benzer, takım serbest yüzeyi boyunca, en yüksek sıcaklık, kesme kenarından bir miktar uzak mesafede oluşur. Takım serbest yüzeyi boyunca sıcaklık dağılım eğrisi, takım yüzeyi boyunca olandan daha düzgündür. Max. sıcaklıklar gibi, kesme hızındaki artma ile talaş yüzeyi ve serbest yüzeyin bütünü üzerindeki sıcaklıkların, umulduğu gibi, arttığı *Şekil 5.11(a)* ve *5.11(b)* den görülür. Örneğin kesme hızı, 35.3 den 130.7 m/dak'a artırılırken T_{max} , 512 den 1072 °C ye (*Şekil 5.11 a*) artar. Benzer olarak , ilerleme t_1 deki artım, bütün takım yüzeyi üzerindeki sıcaklıkları yükseltir (*Şekil 5.12a-b*). Sıcaklık dağılımlarında eğim açısı etkisini analiz ederken ilginç bir durum ortaya çıktı. Başlangıçta, eğim açısındaki artımla, takım sıcaklıkları düşerken, belirli bir nokta sonra α daki daha fazla artımla sıcaklıklar yükseliyor (*Şekil 5.13a - 5.13b*): Örneğin α ilk 20° den 30° ye ve daha sonra 41° ye artırılırken, T_{max} 585°C den 458°C ye azalıyor ve daha sonra 532. °C ye artıyor. Bu artan α ile bağlantılı daha küçük açılara (takım serbest yüzeyi ve takım yüzeyi) maledilebilir iki karşılaştırma faktörüne yardım eder. i) Sisteme toplam enerji girdisi ve bu yüzden sistem içinde oluşan ısının miktarı, sıcaklıklardaki bütün düşüş için iş azaltılır. ve ii) ısı iletimi için mevcut takım uç bölgesi lokal sıcaklıklar yükseltılarak düşürülür. Belirli nokta için α daki artımla, ilk faktörün olabirliği, sonuç sıcaklıklar azalırken, ikincinin üzerinde daha üstün olur ancak ötesinde denge noktasında daha büyük önem kazanmak için ikinci faktör görünür ve takım talaş yüzeyi boyunca ve takım serbest yüzeyi boyunca sıcaklıklar tekrar yükselmeye başlar. Yüksek sıcaklıklarda termal özellikler bilindiğinden farklı hızlardaki. 4 test için (-24.8 ve 46.0 m/dak hızlarda HSS takımı, 35.3 ve 130.7 m/dak. hızlarda karbür takım) soğutma suyu kullanıldı, ancak kesme verisi ayrıca kuru şartlar altında çıkarıldı.

Soğutmalı veya soğutmasız tipik hız için takım serbest yüzeyi ve takım-talaş yüzeyi boyunca hesaplanan sıcaklıklar *Şekil 5.14a* ve *5.14b* de gösteriliyor. Tahmini olarak soğutmalı sıcaklıklar, soğutmasız olanlardan daha düşüktür ve iki artım arasındaki fark takım yan yüzeyi boyunca, takım kenarından uzağa eğriler olarak taşınır. Soğutmanın kullanımı ile max. sıcaklık T_{max} , 585 den 540°C' a ve sırasıyla 24.8 ve 46.0 m/dak. kesme hızlarıyla 708 den 640 °C' a azalır. Soğutma kullanımı ile sıcaklıktaki azalma aşağıdaki

faktörlere bağlanabilir.i)Kesme kuvvetlerinde (Tablo 5.4) yaklaşık % 4-6 azalma ile aksettirildiği gibi,talaş-takım temas uzunluğu boyunca sınırlayıcı kayma gerilmesindeki azalma ii)Soğutma ile taşan yüzeylerden ısı kayıpları.

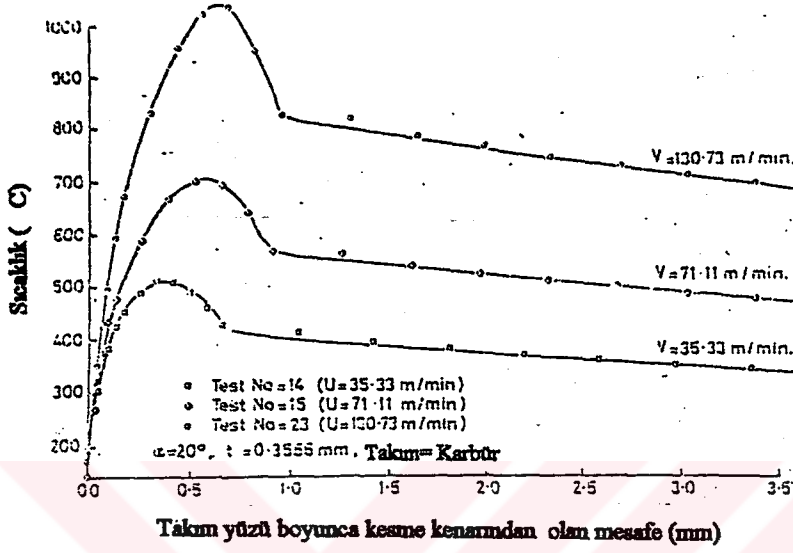
Sıcaklık dağılımında mevcut takım serbest yüzey aşınmasının etkisini belirlemek için, benzer kesme şartları altında farklı takımlarla iki test yapıldı.Bir testte serbest yüzey aşınması olmayan yani bilenmiş takım kullanıldı, halbuki diğerinde, test yapılmadan önce 0.376 mm serbest yüzey aşınması mevcuttu.Yukarıdaki testler için,takım-talaş yüzeyi ve takım serbest yüzeyi boyunca hesaplanan sıcaklıklar Şekil 5.15a ve 5.15b de gösteriliyor.Serbest yüzey ve talaş yüzeyindeki sıcaklıkların, aşınmış takım ile yeni bilenmiş takımlardan daha düşük olduğu, başlangıçta aşınmış takım ile max. 370°C olan sıcaklığın yeni takımla 431 °C olduğu gözlenebilir.Bu gözlem Olberts 'in sonuçları ile uyumludur.Olberts, serbest yüzey aşınma yeri 0' dan 0.254 mm ye artarken, takım-talaş arayüzey sıcaklığının daha düşük (60°C üstünde azaldığını) olduğunu gözlemlemişti.Bunun için , bitişik iş parçası bölgesinde sıcaklıkların artmasına rağmen, takımdaki serbest yüzeyinin sınırlandırılmış miktarının tarifi takım sıcaklıklarının düşük oluşturulmasında yardım eder.

Takım sıcaklıklarındaki bu azalma iş parçası omuzunun sürtünme ile takım serbest yüzeyinden uzağa, büyük ısı iletimi sayesinde,küçük sürtünme ısısı Q_f 'in fazla miktarı takım-iş arayüzeyinde oluşmasına rağmen (bu durumda $Q_f = 5.85$ watt tır ki,bu toplam ısı girdisinin sadece %0.83 'dür.).Muraka ve grubunun buradaki araştırmaları için, gerçek serbest yüzey aşınmasının, takım veya bilenmiş serbest yüzey ile simule edildiğini söylemeye değer.Bilenmiş kısım ile gerçek aşınma arasındaki benzerliğin derecesi takribidir.Bilenmiş yerin en iyi yüzey bitirme karakteristikleri ve iş parçası omuzu ve bilenmiş serbest yüzey arasındaki bazı akortsuzlukların (paralellik bozukluklarının)ihtimali, muhtemel olarak sürtünme ısısı Q_f ' i azaltmak için olduğu aşıkardır.Sonuçta takım sıcaklıkları olması gerekenden daha düşüktür.Bununla beraber,,hatalar önemli olarak tanıtılmamıştır.

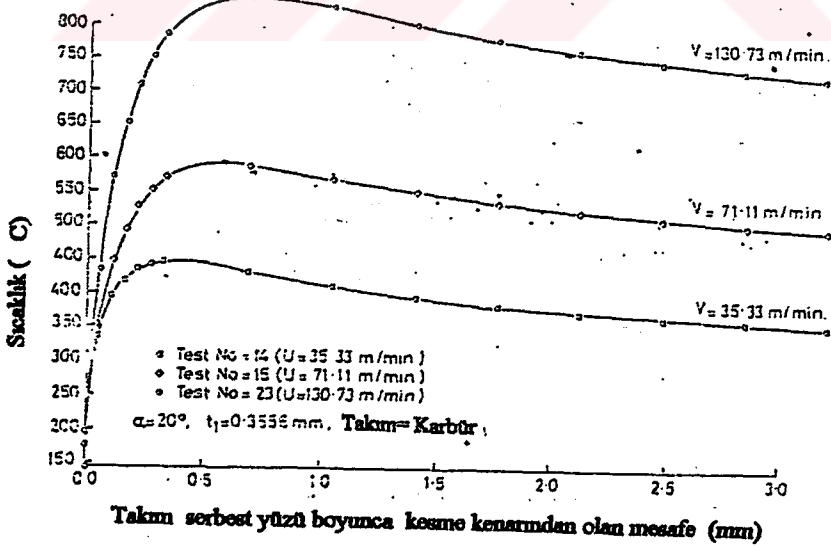
Testlerin bir kaçı, benzer şartlar altında karbür takımlar gibi HSS ile de yapıldı.Tipik test sonuçları Tablo 5.6 de gösteriliyor.

Pek az olarak daha yüksek kesme hızlarında ,ama benzer kesme koşulları altında bile karbür takımla sıcaklıklar, HSS takımla olanlardan daha düşük olduğu görülür.Bu başlıca karbür takımla azaltılmış kesme ve ilerleme kuvvetleri sayesinde (%28 daha düşük

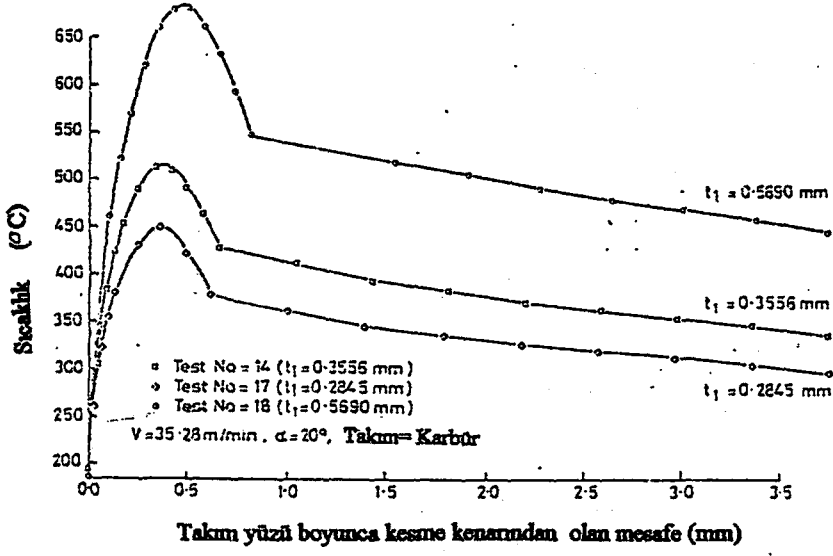
kesme kuvveti).Karbür takımla kuvvetlerdeki azalma,karbid ve bu iş parçası malzemesi arasındaki daha düşük ara yüzey sürtünmesine maledilebilir.



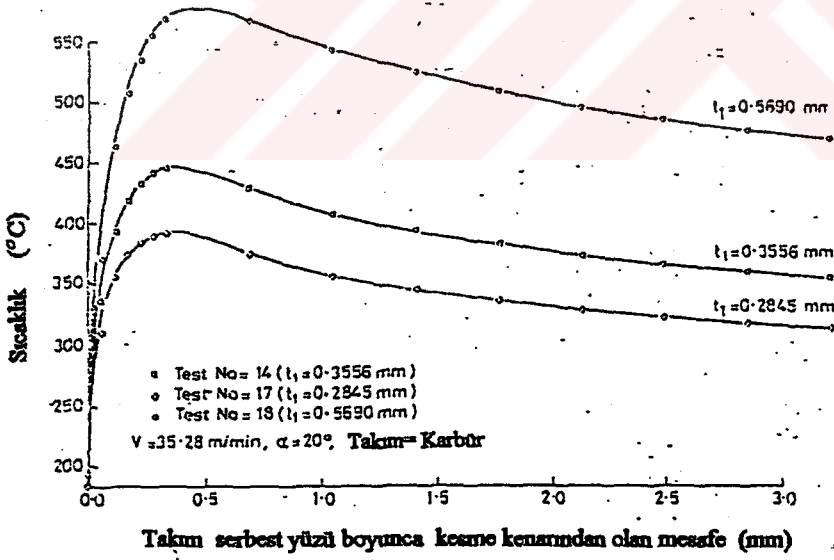
Şekil 5.11(a).Talaş yüzeyi sıcaklıklarında kesme hızının etkisi.



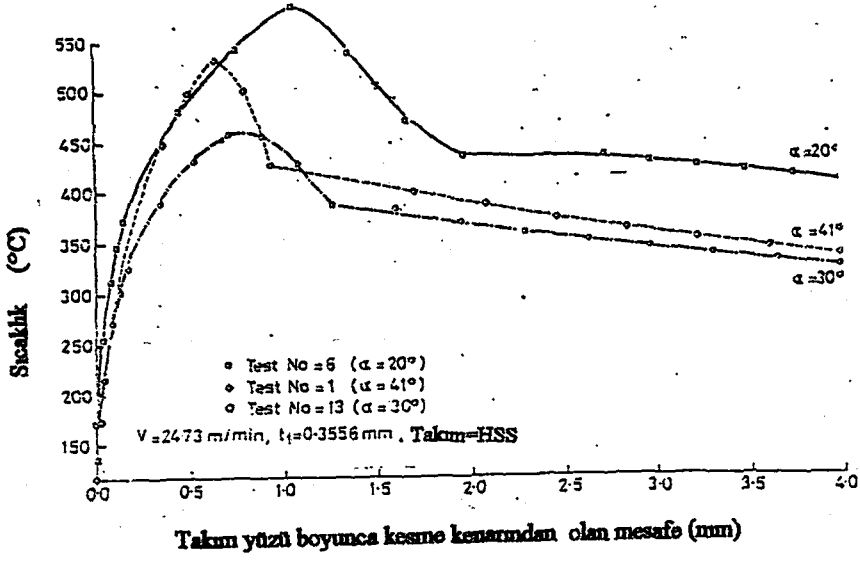
Şekil 5.11(b).Serbest yüzey sıcaklıklarında kesme hızının etkisi.



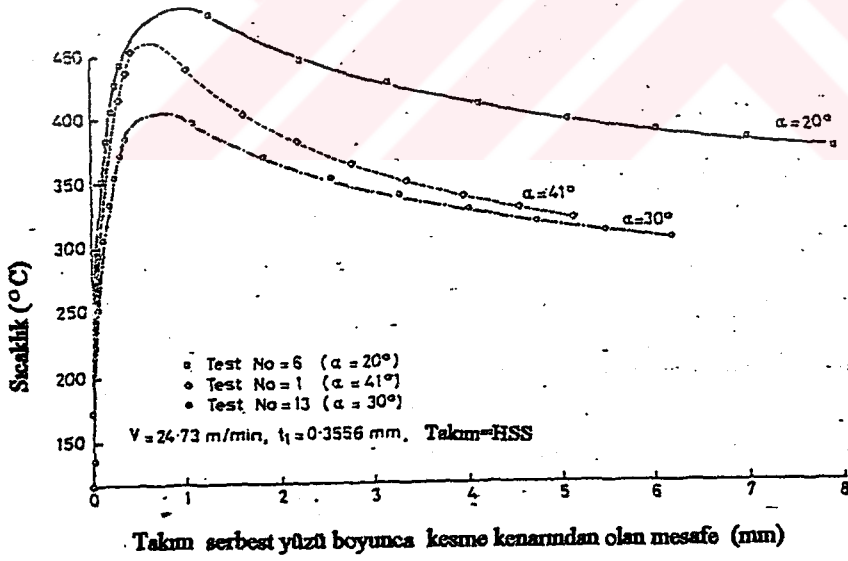
Şekil 5.12(a). Talas yüzey sıcaklıklarında ilerlemenin etkisi.



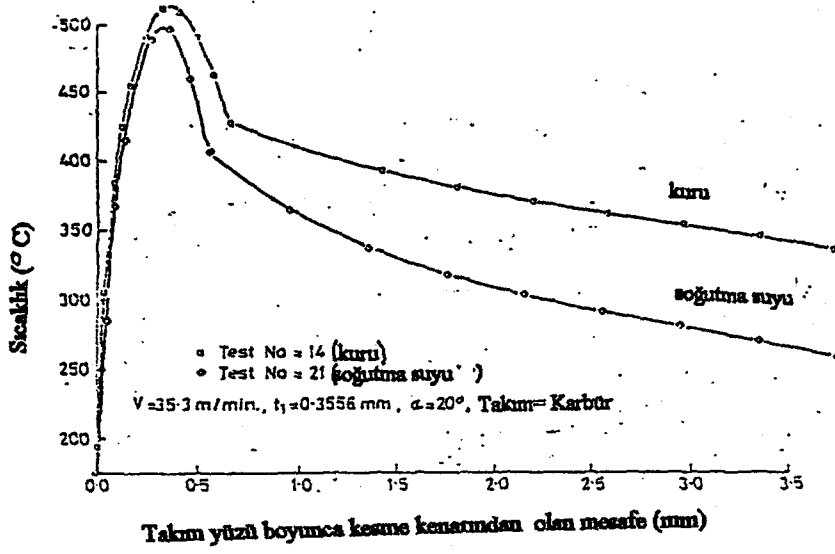
Şekil 5.12(b). Serbest yüzey sıcaklıklarında ilerlemenin etkisi.



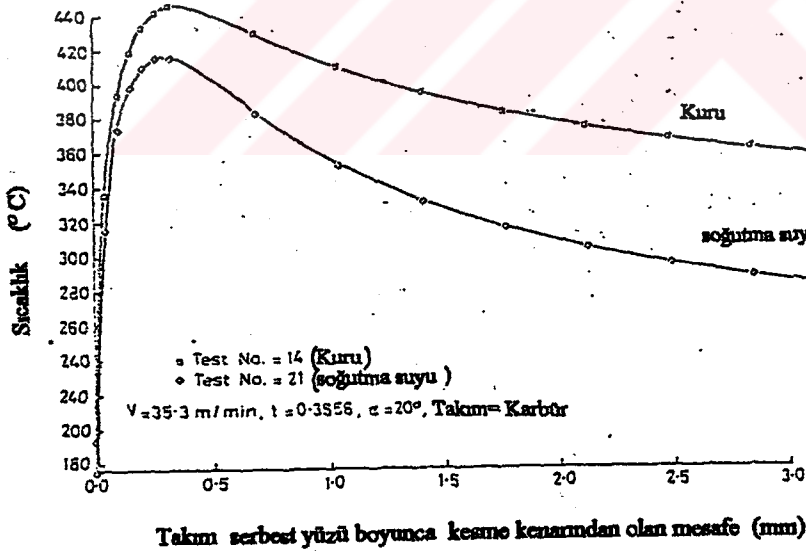
Şekil 5.13(a). Talaş yüzey sıcaklıklarında eğim açısının etkisi.



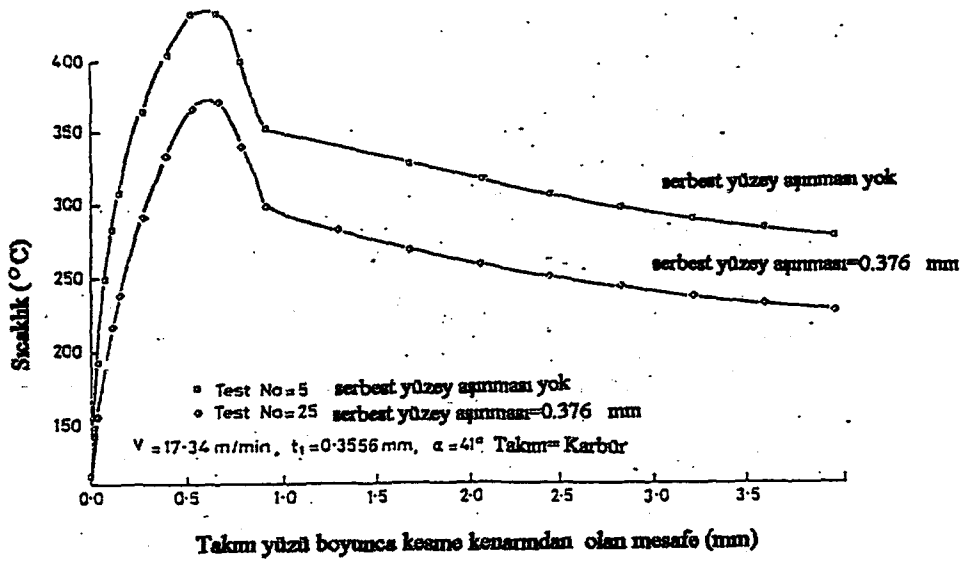
Şekil 5.13(b). Serbest yüzey sıcaklıklarında eğim açısının etkisi.



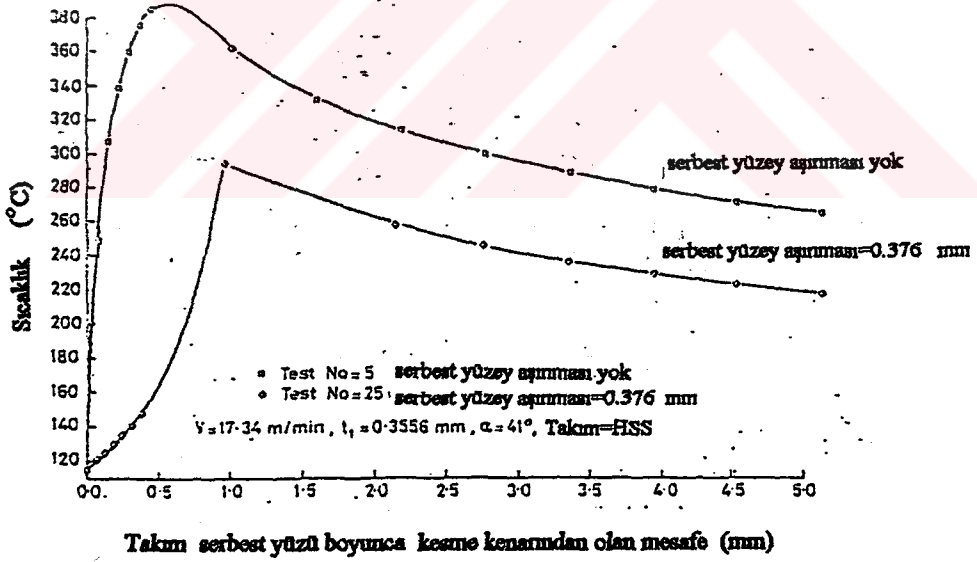
Şekil 5.14(a). Talaş yüzeyi sıcaklıklarında soğutmanın etkisi.



Şekil 5.14(b). Serbest yüzey sıcaklıklarında soğutmanın etkisi.



Şekil 5.15(a). Talaş yüzey sıcaklıklarında serbest yüzey aşınmasının etkisi.



Şekil 5.15(b). Serbest yüzey sıcaklıklarında serbest yüzey aşınmasının etkisi.

Tablo 5.6. Test sonuçları

Tablo 5.6. Test Sonuçları

<i>Takım malzemeleri</i>	<i>Hız m / dak.</i>	<i>Kesme kuvveti F_v, N</i>	<i>İlerleme kuvveti F_H, N</i>	<i>Maximum sıcaklık T max. C</i>
<i>HSS</i>	<i>24.70</i>	<i>3525</i>	<i>1560</i>	<i>585</i>
<i>Karbür</i>	<i>35.33</i>	<i>2540</i>	<i>400</i>	<i>512</i>

Sonuç

Bu araştırmadan aşağıdaki yargılar çıkarılabilir;

- i) Birincil kayma bölgesi sıcaklıkları, iş parçası sonu sınırından, talaş sonu sınırına doğru adım adım ilerleyerek artar.
- ii) Ortalama kayma düzlem sıcaklığı kesme hızındaki artım ve pah açısındaki azalma ile artar.
- iii) Kesici takımın talaş yüzeyinde üniform olmayan sıcaklık dağılımı bulunur, ve max. sıcaklıklar daima kesme kenarından bir miktar mesafede ortaya çıkar.
- iv) Bütün sıcaklıklar kesme hızı ve/veya ilerleme oranındaki artışla artar.
- v) Min. sıcaklık için optimum pah açısının varlığı söz konusudur.
- vi) Max. sıcaklık, uygun soğutma sıvısı kullanılarak % 5 ila 10 arasında azaltılabilir.
- vii) Küçük miktarda serbest yüzey aşınmasının var olduğu zaman, takım sıcaklıkları azalır, iş parçası sıcaklıkları artabilir.
- viii) Benzer kesme şartları altında, karbür takımla, yüksek hız çeliği takımla olandan daha düşük sıcaklıklar oluşur. (Muraka P. et al. 1979)

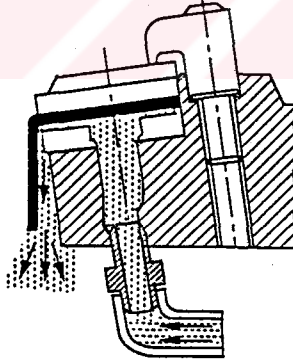
Takım ömrü ölçümünde; kesici takımın aşınması ana parametre olarak tesbit edilmiştir. Kesme işleminde takım aşınmasının miktarı parametrelerin sayısına bağlıdır. İşlemdaki parametreler iki ana grupta toplanabilir, Bunlardan ilki kesme şartlarıdır. Örneğin; kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve kesme geometrisidir. İkinci olarak kesme takımının mekanik ve fiziksel parametreleridir. Örneğin; takım malzemesi ve bileşenleri, dayanımı, sertliği ve termal özellikleri. Bazı araştırmacıların gözlemleri; farklı aşınma mekanizmalarında farklı hız alanlarının baskın olduğudur. Düşük hız oranlarındaki sürtünme aşınması, hızın artması ile yapışma aşınması, oluşmaktadır. Çok yüksek hızlarda, anılan mekanizmaların üzerindeki etkiler, aşınma prosesinde yapışma

aşınması baskınken artmakta yada azalmaktadır.Hızın fonksiyonunun biri sıcaklıktır.Sonuçta pekçok araştırmacı aşırı sıcaklıkla, aşınmanın hızlandığına ulaşmaktadır.Çalışma sistemlerinden ısının giderilmesi, aşınma oranının doğal metodlarla korunması ve aşınma seviyesinin kontrol altında tutulması ile sağlanır.Bu araştırma çalışmasının aralığı,takım ömründe ve özellikle aşınma davranışlarında kesici takımdaki ısı gradientlerinin etkilerinin araştırılmasıdır .Bu çalışmada kesme bölgesinin kontrolsüz soğutulmasının etkisiz olduğu bilinir.Bundan başka göreceli olarak yüksek kesme hızlarındaki soğutma termal çatlaklara sebebiyet verir ve takım bozulması kaçınılmazdır.Bu çalışmada sunulan model, temas bölgesinin altından ısının giderilmesini istemektedir.Bu çalışmada kullanılan deneysel düzen dört tür soğutma metodunda işleme yapılırken, farklı kesme takımlarının tornalama operasyonu, farklı takım malzemeleri kullanılarak, kesme şartlarının çeşitliliğinde operasyona dayanır.

Soğutma sistemleri

A)Altan soğutma

Bu soğutma sisteminde soğutucu akışkan, *Şekil 5.16* de görüldüğü gibi,kanalların içinden kesici takımın alt kısmına verilmektedir.Max. ısı uzaklaştırmak için, ince bir bakır levha bir tarafı soğutma suyu ile temasta iken diğeri kesici plaketi ile direkt temasta olarak yerleştirilmiştir.Bakır folyo iki protrusion'ludur ve aşağı doğru eğilerek akışkanı iş parçası malzemesinden ve kesme bölgesinden uzaklaştırmaktadır.Böylece etkili soğutma alanında dört kat artmaktadır.

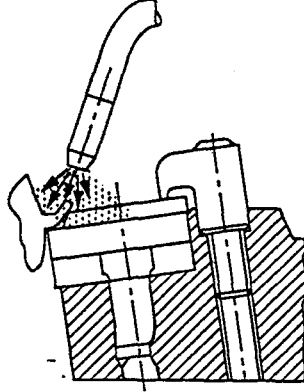


Şekil 5.16. Altan soğutmalı sistem

B)Üstten soğutma

Bu sistemin kullanımını endüstride oldukça yaygındır.Bu yöntemde soğutucunun akışı kontrol edilememektedir.Akışkanın akışı doğrudan kesici takım ve iş parçasının üzerine

olmaktadır. Bu durumda gerçekten ihtiyaç olan bölgeye mesela takım talaş yüzeyine girmeyecektir. (Şekil 5.17:)



Şekil 5.17. Üstten soğutma sistemi.

C) Kuru kesme

Bu işlemden standart takım tutucu kullanıldı, soğutucu yoktu.

D) İzole edilmiş takım

Bu sistemde takım üzerinde izolasyon vardır (standart seramik kesiciler) Soğutma suyu kullanılmadı. Oda sıcaklığında seramiğin ısı iletim katsayısı $12 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ dir, ki bu test edilen plakettekinden çok daha düşüktür. Bu sistem karşıt olarak etki almak için dizayn edildi, yani izole edilen sistemde zayıf sıcaklık gradientleri beklenirken, alttan soğutma sisteminde uzmanlar daha güçlü sıcaklık gradientleri umar.

Tornalama testleri

Tezgah: Max-Miller universal torna tezgahı 50 kW güç ve değişken hız 190 ila 4700 R.P.M.

İş parçası: AISI 1045 (190 BHN) normalize edilmiş çelik kullanıldı.

Takımlar :

- ISO P-40 (IC-54), ısı iletim katsayısı $k = 55 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, AISI çeliği için tavsiye edilen çalışma sahası 50-200 m/dak.
- ISO P-20 (IC-70) ısı iletim katsayısı $k = 35 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, AISI çeliği için tavsiye edilen çalışma sahası 50-300 m/dak.
- ISO P-05 (IC-80T) ısı iletim katsayısı $k = 14 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, AISI çeliği için tavsiye edilen çalışma sahası 100-450 m/dak.

Kesme geometrisi: SNG 432 ve SNG 422 plaket, SBRT tipi takım tutucuda kullanılmıştır. Uygulanan kesme geometrisinin kombinasyonu; $\alpha=6^\circ$, $\gamma=-6^\circ$, $\kappa=75^\circ$ $\epsilon=90^\circ$ dir.

Kesme şartları: Talaş kesiti (f_x) = 0.252x2.5 mm /rev.

Kesme hızları: 100, 150 ve 300 m/dak. (ISO P-20 ve ISO P-05 için)

100,150 ve 200 m/dak (ISO P-40 takım için)

Aşınma ölçümleri:

Serbest yüzey aşınması (VB) ve krater aşınması (KT, KM) tüm hızlar için ölçülmüştür. Serbest yüzey aşınması (VB) ve $K=KT/KM$, hız (v), ısı iletim katsayısı (k) zamana karşı çizildi. Krater aşınması ve serbest yüzey aşınması kesme işleminin 2,4,8 ve 16 dakikalarından sonra ölçüldü.

Deneysel sonuçlar

Aşınma ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, hem serbest yüzey aşınması, hemde krater aşınması, bilgisayara yüklendi ve modelleme programla yapıldı. Bilgisayar aşağıdaki grafikleri oluşturdu:

$VB=f(t)$; ve $K=f(v)$; bütün kesme koşulları için

$VB=f(v)$; ve $K=f(v)$; bütün takımlar için (farklı takım malzemelerinde)

$VB=f(k)$; ve $K=f(k)$; sabit zamanda (8 dakika) bütün hızlar için.

Oluşturulan grafikler Şekil 5.18 ila 5.23 de gösterilmektedir.

Gözlemler:

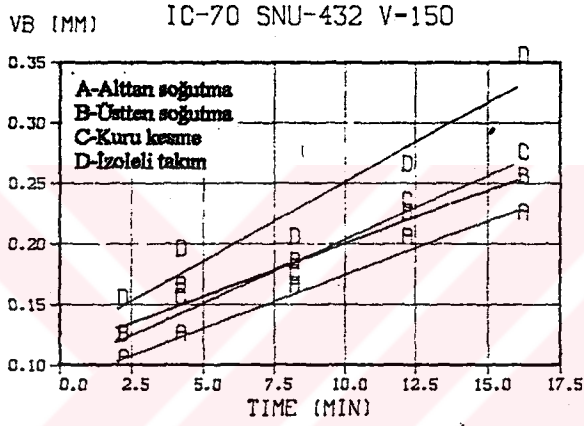
Kesme işlemi esnasında şunlar izlenmektedir;

- Malzemenin kesilmesinde çok yüksek ısı iletkenlik, önce talaş kırıcıda başladı.
- Talaş kırıcısındaki yüksek ısı iletkenlik en erken izolasyonlu takımda, daha sonra kuru kesme işleminde, ondan sonrada üstten soğutma sisteminde oluştu. Altan soğutma sistemi kullanıldığında ise oluşma süresi en uzun olmuştur.
- Kuru şartlarda, izole edilmiş takım kullanılırken olduğu gibi, takım ucu sırasıyla kırmızı ve sarı idi, üstten ve alttan soğutma sistemlerinde kırmızı ve sarı renkler görünmedi
- Bütün kesme şartlarında en az aşınma, (gerek serbest yüzey aşınması gerekse krater aşınmasında) soğutma suyu kullanılan sistemde meydana geldi. (Şekil 5.18 ila 5.23)
- Bütün kesme şartlarında serbest yüzey aşınmasının derecesi, bütün sistemlerde hemen hemen aynı olurken, soğutma suyu kullanılan sistemlerde daha düşük olmuştur. (Şekil 5.18)
- Bütün kesme koşullarında, krater aşınmasının oranı, soğutma sistemi kullanıldığında en küçük değerlidir. (Şekil 5.19)

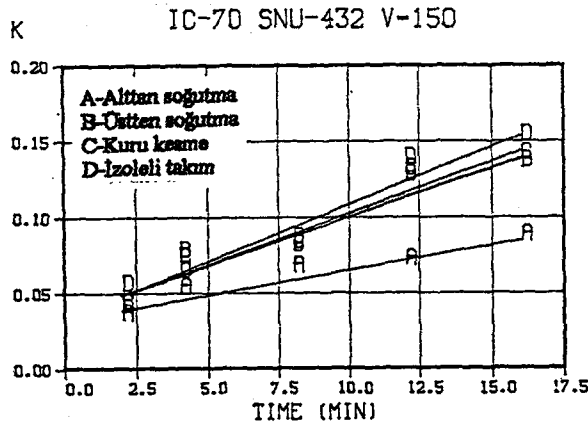
-İzole edilmiş sistemde serbest yüzey aşınma derecesi en yüksek ve krater aşınma oranı en aşırdır (bütün kesme şartlarında). (Şekil 5.18 & 5.19)

-Krater aşınması g.b. serbest yüzey aşınmasında kesme hızındaki artımla artar. Bununla beraber çeşitli soğutma sistemleri arasındaki fark -kesme hızı artımları gibi- (özellikle izoleli ve alttan soğutmalı sistemler arasında) daha önemli olur. (Şekil 5.20 & 5.21) Sıcaklık gradienti arasındaki fark , kesme hızının artımı ile artar.

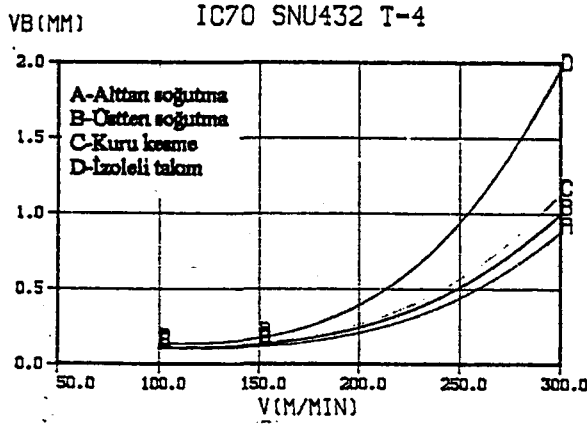
-En yüksek termal iletkenlik en yüksek aşınmadır (serbest yüzey ve krater) Bununla beraber, termal iletkenliğin fonksiyonu olarak aşınma oranı , alttan soğutmalı durumda en yüzeysel, izoleli takım sisteminde, bütün hızlarda en aşırdır. (Şekil 5.22 & 5.23)



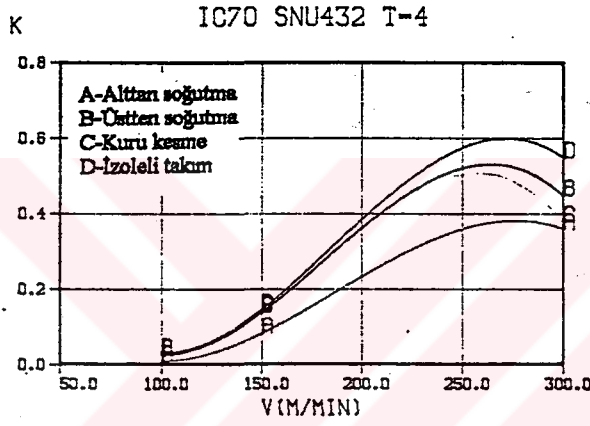
Şekil 5.18. Zamana karşı serbest yüzey aşınması (VB) P-20.



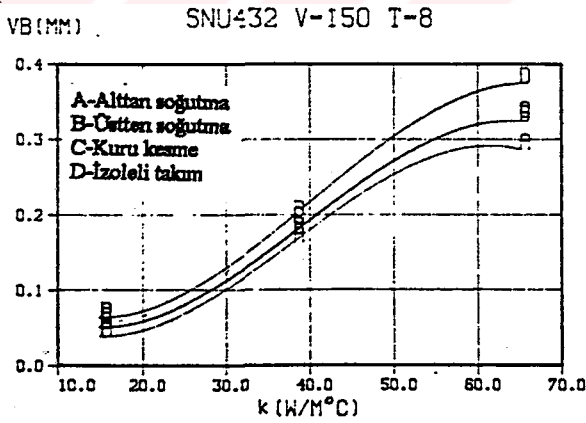
Şekil 5.19 Zamana karşı krater aşınması ($K=KT/KM$) P-20.



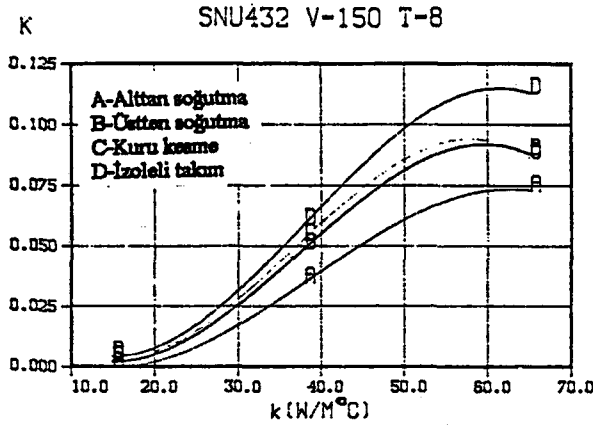
Şekil 5.20. Hıza (V) karşı serbest yüzey aşınması (VB) P-20



Şekil 5.21. Hıza (V) karşı, Krater aşınması ($K=KT/KM$) P-20



Şekil 5.22. Kesmenin 8. dakikasından sonra (P-20) termal iletkenliğe (k) karşı serbest yüzey aşınması (VB).



Şekil 5.23. Termal iletkenliğe (k) karşı krater aşınması ($K=KT/KM$).8 dakika sonra P-20.

Sistemin termal analizi

Üç soğutma sistemide (ANSYS) sonlu elemanlar programı yardımıyla analiz edilmiştir. Güvenilir sonuçlar elde etmek için iki girdi düzenine ihtiyaç vardır:

- Isı kaynağının tesisi
- Sınır şartlarının tesisi

Burada daha önceki çalışmalar esas alınarak, ısı alanı oluşturuldu. Bir kaç bilgisayar çalışmasından sonra, ısı kaynakları arzulan sıcaklıkları vererek tesis edildi. Farklı kesme hızları için, ısının (q) farklı olduğu açıktı. Oldukça açıktırki, sistem parametreleri, soğutma sisteminin her birinde değişir. Bununla beraber ısı kaynakları sabit kesme koşulları için sabit kalır. Bu ısı kaynakları aşağıdaki gibidir:

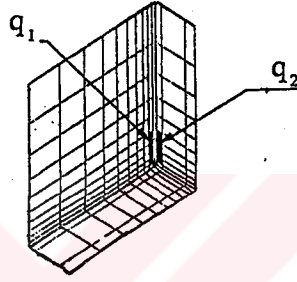
$$\dot{q}_1^n = 35W \quad (\text{takım-talaş temas alanı için})$$

$$\dot{q}_2^n = 0 - 60W \quad (\text{takım- iş parçası temas alanı için})$$

0 W; sıfır aşınma, 60W max. aşınma durumunda.

Sınır şartları, ilgili kesme koşulları ile uyumlu olarak seçildi. Çevre hava ile kuşatılmaktadır, bu sebepten tüm yüzeyler hava ile temas halindedir ve $20^\circ C$ ortam sıcaklığı, konveksiyonla ısı transfer katsayısı da $h = 4W/m^2C$ olarak alınmıştır. Sistemin tüm elemanları, malzeme ve kesme şartlarına uyumlu olarak katagorize edilmiştir. Her malzeme alanındaki ısı iletkenlik şu şekildedir:

$k_{xx(1)} = 385W/m^{\circ}C$	(Bakır)
$k_{xx(2)} = 14W/m^{\circ}C$	(P-05 takım)
$k_{xx(2)} = 55W/m^{\circ}C$	(P-20 takım)
$k_{xx(2)} = 35W/m^{\circ}C$	(P-40 takım)
$k_{xx(3)} = 65W/m^{\circ}C$	(düzgün taban)
$k_{xx(3)} = 12W/m^{\circ}C$	(seramik taban)
$k_{xx(4)} = 62W/m^{\circ}C$	(takım tutucu)



Şekil 5.24. Isı kaynaklarının yerleşimi. (q_1 ve q_2)

Altan soğutmalı sistemde sınır şartları:

Dış sınır şartları yukarıdaki gibi oluşturulmuştur. Bakır levha su akışı ile temas halindedir. Su sisteme, dakikada 2 lt. olarak girer ve $20^{\circ}C$ dir. Çıkışta ise bu sıcaklığın 28 ila $29^{\circ}C$ olduğu görülmüştür. Sonuç olarak ısı absorpsiyonu $q^m = 70 W$ dir. Şurası kesindirki, ısının tamamı su ile çekilememektedir. Sistemin tamamı hava ile çevrili olduğundan birazıda hava ile değişmektedir. Basit bir hesaplama ile, soğutma sıvısı ve bakır levha arasındaki temas sıcaklığının $40^{\circ}C$ ' de sabitlendiği görülmektedir.

Kuru ve izolasyonlu sistemler için sınır şartları

Burada tüm şartlar alttan soğutmalı sistemde olduğu gibidir. plaket ve taban arasındaki temas haricinde. Buarada değerler, malzemenin ilavesi ile eşitlenecektir. Üstten soğutmalı sistemlerde soğutma kontrolsüzdür. Sonuç olarak sınır şartlarını tam olarak meydana çıkarmak mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı bu sistem programdan çıkartılmıştır.

Sonlu eleman programının gerçekleştirilmesi

Sonlu eleman programı (ANSYS) üç takım için (P-05, P-20, P-40) yukarıda değinilen üç soğutma sistemi (kuru, izolasyonlu ve alttan soğutmalı) için ve tüm kesme şartları için oluşturulmuştur. Burada elde edilen sonuçlar Şekil 5.25 ve 5.26 de görülmektedir. Kuru

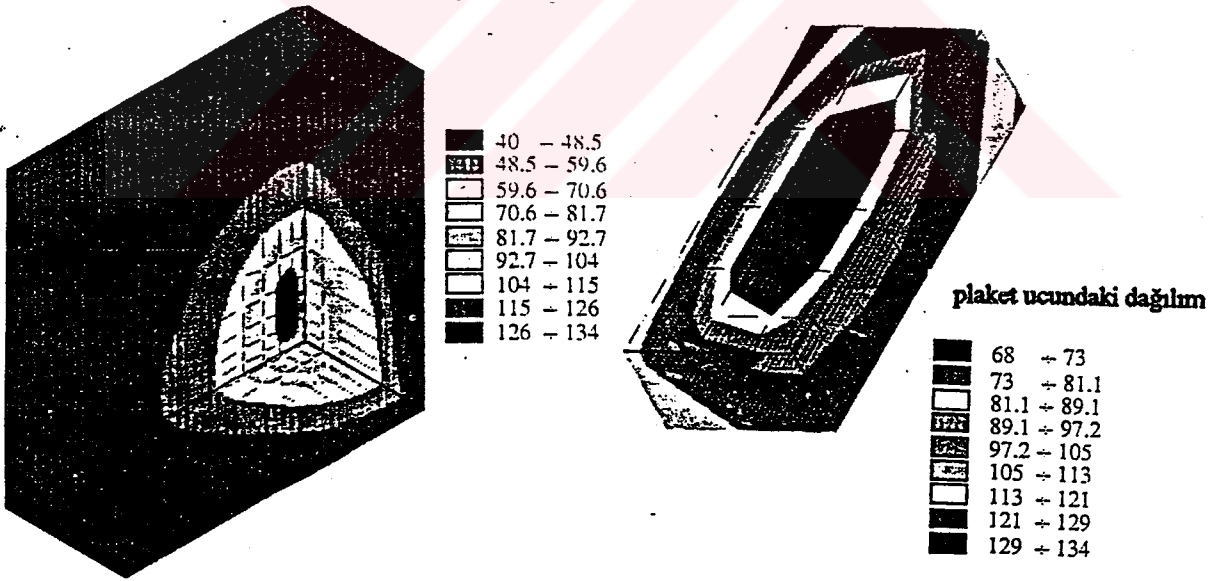
kesmede elde edilen sonuçlar önceki araştırmalarla uyum göstermektedir. Takım ucunda elde edilen sıcaklıklar 1100-1200°C dir ve dağılım beklendiği gibidir, bazı araştırmacılarla uyum göstermektedir. Alttan soğutmalı sistemlerde takım ucunda elde edilen sıcaklıklar 135-145°C dir, buda Şekil 5.25 de görülmektedir. İzolasyonlu takımda ise sıcaklıklar Şekil 5.26 de görüldüğü gibi 1200- 1300°C'lere uzanmaktadır. Sonlu elemanlar programı ile elde edilen sonuçlarda katmanların ötesinde m.a.l , yani m.a.l ve hacim (T_{ss}) arasındaki sıcaklıklar T_{ss} 'in azalması ile, (temas yüzeyinin üstünde) alt yüzeydeki gradientler artacaktır. Bu durumda temas yüzeyindeki sıcaklık iş parçasının erime sıcaklığına ulaşmaktadır. M.a.l bölgesindeki ısı gradientleri üç sistem içinde şu şekilde elde edilmektedir;

kuru kesmede $\Delta T_1 = 200 - 300^\circ C$

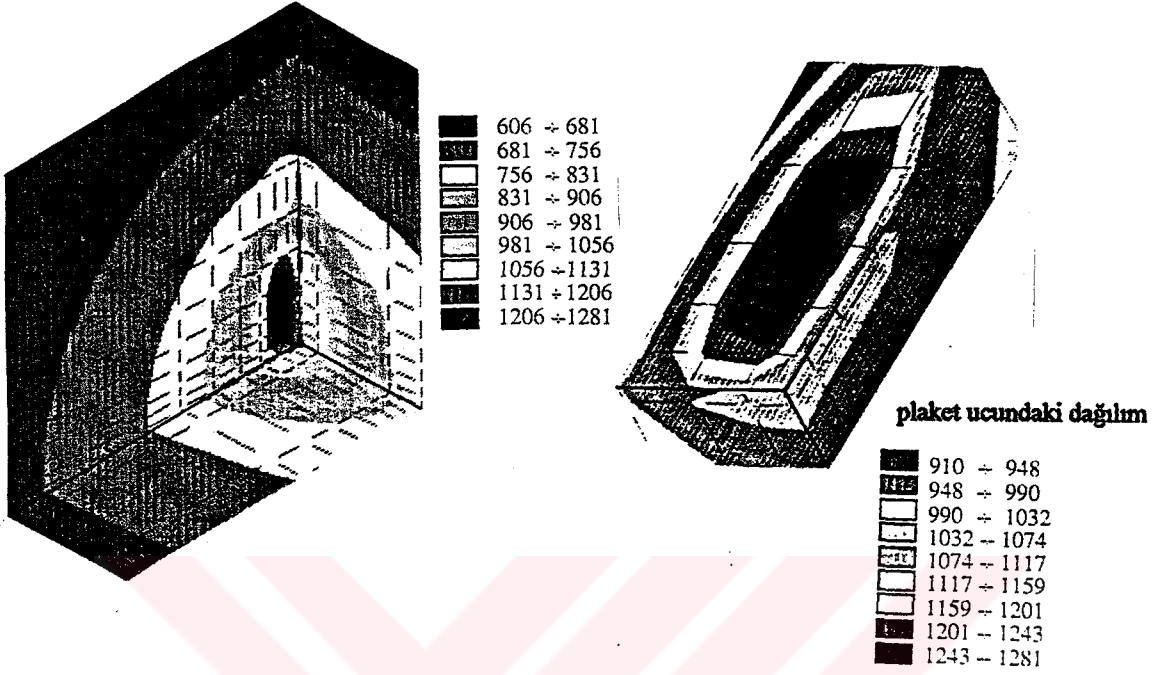
Alttan soğutma $\Delta T_2 = 900 - 1000^\circ C$

İzolasyonlu takım $\Delta T_3 = 100 - 200^\circ C$

Sıcaklık gradientleri, malzeme artışı ile derine doğru ilerlemekte, viskozite gradientide malzeme artışıyla derine doğru ilerlemektedir. Gerçekten çok küçük derinliklerde kayma denetim altına alınır. Plaketteki sıcaklık azalması sonucu onun iletimide azalmaktadır. Bu durumda eldeki (alttan soğutmalı sistemde) 1000°C'lik düşüş sebebiyle redüksiyon 5 ile 20 W/m°C arasındadır (plaket boyuna bağlıdır).



Şekil 5.25. Alttan soğutma sisteminde sıcaklık dağılımı. P-40 (IC-54; SNU432)



Şekil 5.26. İzole edilmiş sistemde sıcaklık dağılımları. P-40 (IC-54; SNU432)

Üstten soğutmalı bir sistemde benzer bir ısı düşüşü açığa çıktığında iletkenlikte azalacaktır.

Sonuçlar

1-Altan soğutmada çok geniş bir sıcaklık dağılımı ortaya çıkmıştır. Gerçekten aşınma düşüktür.

2-Geniş sıcaklık dağılımı sonucunda, krater aşınmasında hem düşük seviyede hemde küçük oranlardadır.

3-Serbest yüzey aşınmasının miktarı altan soğutmada diğer sistemlere göre düşüktür. Bununla beraber serbest yüzey aşınmasının oranı diğer tüm sistemlerde hemen hemen aynıdır.

4-Farklı soğutma yöntemlerinin alanlarının etkileri, tüm kesme öartlarında ,denenen takımların tüm boyut ve ölçülerinde sonuçlar aynı yönlenmektedir.

5-Kesme işleminde relatif olarak yüksek hızlarda, alttan soğutmanın etkisi ince plakelerde daha kalına göre geniştir. (Ber A. et al. 1989)

Hastings ve grubu tarafından (1979) yapılan çalışmada ve Mathew (1988) tarafında yapılan aşağıda değinilecek olan çalışmada takım aşınma oranı. Taylo tarafından geliştirilen yöntemin kullanımı ile ölçüldü.

Zamana karşı serbest yüzey aşınmasının şeması göz önüne alındığında, başlangıçta eğimin yüksek olduğu ancak daha sonra zamanın relatif olarak uzun periyodu için sabit değere azaldığı görülebilir. (düz çizgi olarak veriliyor). En sonunda eğri tekrar yukarı doğru döner ve takım oldukça hızlı olarak bozulur.

Takım aşınma deneyleri;

Pratik kesme şartları için ,tipik sonuçları çıkarmada test şartları aşağıdaki gibi seçildi.

i) Kesme hızı, $U=100,200,400$ m/dak.

ii) Deforme olmamış talaş kalınlığı, $t_1=0.125, 0.25, 0.5$ mm.

iii) Kesme derinliği, $d=1,27$ mm.

iv) Eğim açısı, $\alpha = -3.5^\circ, 3.5^\circ$

v) Takım malzemesi= Karbolay 370 (kesici) uç, tip SPU422 ve SNU422

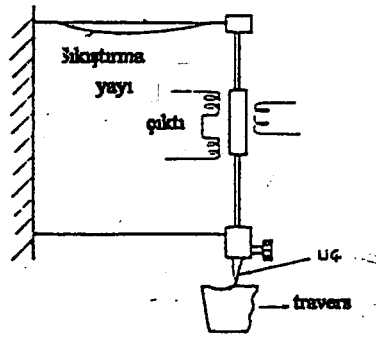
vi) İş malzemesi= % 0.20 Karbonlu çelik ve % 0.38 karbonlu çelik.

Kullanılan takım tutucular, Kennametal Kendex takım tutucuları tip KSDN164C ve tip KSDN164 (arka eğim 2° düşük alınarak değiştirilmiş) idi. Negatif takım tutucu (KSDN164) -5° nominal eğim açısına sahipken ,pozitif takım tutucu 3.5° nominal eğim açısına sahipti. Bulunan sonuçlarda tutarlılığı korumak için negatif takım tutucu, -3.5° nominal eğim açısı verecek şekilde değiştirildi. Hesaplama da takım tutuculardaki ucun açısal pozisyonunun değişimi, kesme kenarı boyunca negatif takım tutucu için -3.5° , pozitif takım tutucu için 3.5° , takım ucu eğiminin olduğu, bu yüzden ortogonal (dikey) şartlardan pek az olarak ayrıldığı bulundu. Eğim açısının, işlemin tahmini teorisinden bulunan sıcaklıklar ve uçların aşınma oranlarının önemli olarak değişmeyeceği kabul edilmektedir. Kesme derinliğinin (1.27 mm) küçük olmasında ,her iki tutucu içinde eğimdeki değişim sadece 0.5° dir ve bu takım uçlarını aşınma oranlarında önemsiz etkiye sahip olduğu kabul edilmektedir. Testler kuru şartlar altında yapıldı. Aşınma izi ölçümü Nikon mikroskopta yapıldı. Aşınma izi, aşınma izinin net görüntüsünü veren filtreli ışık tarafından resimlendi. Kullanılan referans yüzeyi , takım ucunun en üst yüzü idi. Yaklaşık olarak 15 okuma 0.1 mm basamaklı aşınma izinin toplam genişliği boyunca alındı. Sıcaklıkla aşınma oranı arasında ilişki kuruldu. Tamamen aynı kesme şartlarındaki iki çelik için, daha yüksek aşınma oranlarının daha yüksek karbonlu çelik için olduğu

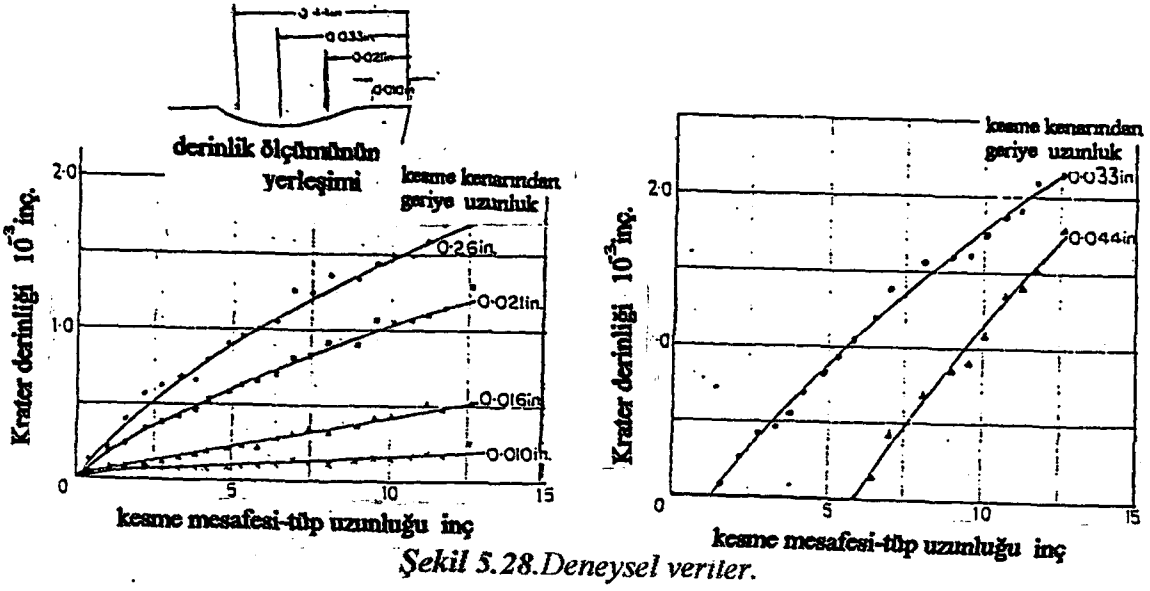
görüldü. Bu çalışmada, Mathew difüzyon için yeterince yüksek takım sıcaklıkları ile tornalama işlemi göz önüne alındığında takım sıcaklığı ile karbür takımın aşınma oranının efektif olarak bağlamak için difüzyon esas alınan denklemin kullanılabilirliğini göstermektedir. Bulunan deneysel sonuçların tamamı difüzyon denklemi ile uyumludur. Ve difüzyonun ele alınan şartlar için, aşınmada içerilen temel mekanizma olduğu açıktır. Difüzyon, temel olarak, yüksek yoğunluklu bölgeden düşük yoğunluklu bölgeye atomların transferidir. Baştan başa bütün bölgede atomların konsantrasyon farkı vardır. Takım aşınmasında difüzyon sonuçlarından bahsetmek için, işlemede takımdan iş parçasına atomların transferi olmalıdır. (Mathew P. 1989)

5.2. KESİCİ TAKIMDA KRATER AŞINMASI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

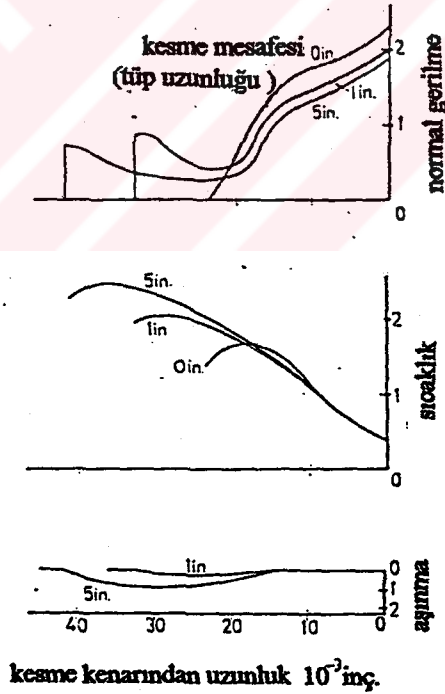
J.G. Balint ve R.H. Brown 1964 yılında yayınlanan çalışmalarında Şekil 5.27. de diyagram olarak gösterilen yüzey bitirme kafası, kaydedici kaleme bağlandı ve yapılan sıcaklık ölçümleri için kesme şartları altında oluşan kraterin profilini çıkarmak için kullandılar. Kesme ilerlerken aralıklarda alınan profillerin serisinden, kesme kenarından sabitlenen pozisyonlarda krater derinliğindeki artmayı gösteren eğriler çıkarıldı. Bir kaç deneysel veri Şekil 5.28a ve b de gösteriliyor. Bu eğrilerin gradienti aşınma oranını gösterir. Aşınma oranının kesme kenarından daha ilerde daha büyük olduğu açıktır. Birkaç kesme sonrasında, aşınma oranının kesme mesafesi ile azaldığı görülebilir.



Şekil 5.27. Deney düzeneği.



Karbür takım kesme çeliği için aşınma ve sıcaklık dağılımları, normal yüklemenin genel şekli, Şekil 29 da gösterildiği gibi, yeni takım ve 1 ve 5 inçlik kesmeler sonrası için grafik olarak çizilebilir.



Şekil 5.29. Aşınma, normal yüklenme, ve sıcaklık dağılımlarının, kesme kenarında olan uzaklıkları.

Kesme ilerlerken üç dağılımda değişir ve şüphesiz üçüde bir birini etkiler. Aşınmamış takımın, max. sıcaklıkta ortaya çıkan max. aşınma oranı, esas önemin sıcaklık dağılımı olduğunu gösterir. Bununla beraber krater oluşturduktan sonra sıcaklığın tek kontrol faktörü olmadığı açıktır. Halbuki aşınma oranı kesme kenarından temasın sonuna doğru yukarı uzunlukla artarken, sıcaklık pik yapana kadar yükselir ve ondan sonra azalır. Aşınma oranındaki devamlı artış, normal yüklemde, kraterin arkasına doğru artışa maledilebilir. Tanımlanan çalışma sıcaklık, normal yük ve takımın talaş yüzeyindeki aşınmanın geometrisi arasında ilişkinin önemli olduğunu göstermiştir. Ölçüm teknikleri doğru olarak sayısal sonuçları vermek için artırılmıştır. (Balint J.G. et al. 1964)

Tek nokta kesme takımında aşınmanın ölçümü için uzak ısı çift sensör kullanımında 1971 den beri Lehigh Üniversitesinde inceleme başladı. Bu metod, aşınmanın derecesini göstermek için kesme plakentinin dibindeki noktada yerleştirilmiş ısı çift tarafından ölçülen geçici sıcaklık farklarında esaslandırılır. Aşınma etkisi, kesme zamanına karşı uzak ısı çiftin emf (elektromotive force) çıktısı olarak sunulan Şekil 5.30 daki laboratuvar kesme verileri ile örneklenir. Bu veri, C4340 (160-165 BHN) çelik iş parçası ve sementid kurbür takım plaketi kullanımı ile 1 dakikalık ard arda kesmeler için bulundu. Veri, uzak ısı çift yerleşiminde sıcaklıkla serbest yüzey ve krater aşınma bölgelerindeki adım adım ilerleyen artışların etkisini gösterir. E.K:Levy ve grubu tarafından 1976 da yapılan çalışmada iki boyutlu analiz, kesme plakentinde geçici sıcaklık değişimlerinde krater aşınmasının etkisini araştırmak için geliştirildi. İki boyutlu model Şekil 5.31 de resimlendiği gibi, fiziksel sistemi ifade etmek için kullanılır. Talaş, V_c hızı ile kesme takımında aşınma bölgesi üzerinden akar. İş parçasından talaşı ayıran birincil kesme bölgesi AB ile ifade edilir ve takım ve talaş AC mesafesi boyunca temastadır. Analizde serbest yüzey aşınması göz önüne alınmamasına rağmen, hareketli iş parçası ve takım arasındaki temasta genellikle ortaya çıkar. (AD bölgesi). Isı birincil kesme bölgesi içinde kesme deformasyonu ile takım-talaş temas bölgesinde kayıcı sürtünme ve kesme deformasyonu ile oluşur. Isının bir kısmı, iş parçasından nakledilir, bir kısmı takım içindeki takım-talaş aşınma bölgesinden nakledilir. Ve hareketli talaş ile geri kalan uzaklaştırılır. Kesme işleminin başlangıcında takım plaketi, yalıtkan ve takım tutucu hepsi çevre sıcaklığındadır. Kesme operasyonu ilerlerken enerji takım içine sevk edilir, takım izolator ve iş parçası sıcaklığı yükselir. Enerjinin muhafazası için denklem;

$$\rho c \left[\frac{\partial T}{\partial y} + \nu \frac{\partial T}{\partial x} \right] = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q_i \quad (5.6)$$

İki boyutlu takım -talaş sisteminde geçici sıcaklık dağılımları düzenler. x yön hızı v her yerde sıfırdır ama hareketli talaşta ve her birim hacimde ısı oluşumu bu denklemde görünmez ama sınır şartı olarak yerinde analize girer. *Şekil 5.32* de gösterilen uniform olmayan grid ağı kullanımı ile , çözüm denklemi, sonlu fark tekniği ile bulundu. Takım-talaş arayüzey yakınındaki sıcaklık için ve potansiyel uzak ısı çift yerleşiminde doğru çözümler bulmak için hesaplarda bulunması gereken takım tutucu ve izolatörün miktarını belirlemek için bilgisayar deneyleri yapıldı. *Şekil 5.32* de gösterilen takım-izolatör konfigürasyonu bu ön hesaplamaların sonucu olarak seçildi. Efektif ısı transfer katsayıları izolatörün alt kısmında ve takımın ve izolatörün sağ yönünde, analizde ihmal edilen takım tutucu ve izolatör bölgesi etkileri için kullanılır. Gerçekte takım tutucu ve izolatör AB yüzeyinin sağına uzanır. Takım tutucunun izolatör altında bulunan kısmı düz plaka olarak işleme tabi tutulur. Sıcaklığın başlangıç olarak çevre sıcaklığında olduğu farz edilir. İzolatör ile temastaki takım tutucunun yüzeyinin sıcaklığı, önceki zaman basamağı için hesaplanan ortalama izolatör yüzey sıcaklığına eşit var sayılır. Talaş ve takımın sadece L_c uzunluğu boyunca fiziksel temasta olduğu ve sürtünme bölgesinin termal olarak akış aşığı etkili olmadığı var sayılır.

Yüksek talaş hızı ve küçük talaş kalınlığı ve aşınma krater boyutları, metal kesme yerinde, sonlu fark metodunda büyük zorlamalarla karşılaştı. Krater bölgesinde Grid aralığı, krater boyunca sıcaklık farklılıklarının doğru hesaplanmasına imkan vermek için yeterince küçük olmalı. İlaveten, hesapsal denge dolayısıyla talaş bölgesindeki grid aralığının ebadı talaş hızı ile sınırlanır. Sınırlamalar ayrıca zaman artışı Δt nin ebadında ortaya çıkar.

Sonlu fark formulasyonu durağandır. Diğer yandan eğer metod kararlı değilse, hesaplamada tanıtılan hatalar bütünü ile sonraki (takip eden) hesaplamalarla sınırsız arttırılır. Takım ve talaştaki sıcaklıkların geçici davranışının niteleyici davranışı için , bu araştırmadan bulunan sonuçlar yine yararlıdır. (Levy E.K et al 1976)

6. SONLU ELEMANLAR PAKET PROGRAM İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMA

Bu çalışmada, dikey metal işlemede, negatif talaş açılı kesici takımında serbest yüzey aşınmasının sıcaklığa olan etkisi, iş parçası,talaş, plaket ve takım tutucu üzerindeki sıcaklık dağılımı sonlu eleman paket programı kullanılarak analiz edildi.

Sonlu eleman paket programı olarak Cosmos/M kullanıldı.Takım serbest yüzey aşınmasının sıcaklığa etkisini bulmak için iki model oluşturuldu. Bunlarda ilki (1. Model) bilenmiş takımla işlemin gerçekleştirilmesi, ikincisi ise (2.Model) serbest yüzeyinde 0.3 mm aşınma olan takımla işlemin gerçekleştirilmesi.Her iki modelde iş parçası,talaş,plaket ve takım tutucudaki sıcaklık dağılımı bulundu.

Her iki model içinde aynı kesme şartları kullanıldı.

Takım malzemesi;

ISO P-20

İş parçası malzemesi;

AISI - 1045 çelik

SNGN 422 plaket, SBRT tipi takım tutucu kullanıldı.

Uygulanan kesme geometrisi kombinasyonu;

Serbest açı $\alpha=6^\circ$, talaş açısı $\gamma=-6^\circ$, yerleştirme (ayar) açısı $x=75^\circ$, uç açısı $\epsilon=90^\circ$ dir.

(Ber .A 1989)

Kesme hızları ; ISO P-20 için $v=150$ m/dak., kesme derinliği $a=2.5$ mm, ilerleme $s=0.252$ mm/dev.

Kabuller:

-Radyasyonla ısı transferi yok,

-Konveksiyon ve konduksiyonla ısı transferi mevcut,

-Isı iletim katsayıları sıcaklıkla değişiyor,

-Takım için *Şekil 5.22* (Ber A. 1989)

-Parça ve talaş için (Ek I Tablo 1)

-Kater için $10,500 W/m^2 K$ (Tay A.O et al. 1976) daki değerler esas alındı.

-Takım aşınması olarak , 0,3 mm aşınma kriteri kabul edildi.

-Modellerde ısı kaynakları:

1 ve 2 modelde $q_1 =35W$ Takım-talaş temas bölgesi için

2 modelde $q_2 =60W$ Takım-iş parçası temas bölgesi için.

-Kater ve kalemlik arasındaki ara yüzey ısı transfer katsayısı $10,500 W/m^2 K$ (Tay A.O. 1976)

-Çevre hava ile kuşatılmıştır, dolayısıyla tüm yüzeyler hava ile temas halindedir ve bu yüzeyler için konveksiyon katsayısı $h=4 W/m^2 C$ alınmıştır (Ber A. 1989)

$T=20^\circ C$ çevre sıcaklığı olarak alınmıştır.

-Takım-talaş temas bölgesi 2.5 mm.

-Modellerde soğutma sıvısı kullanılmadı.

Sistem elemanlarının ısı transfer katsayıları;

	1.Model (aşınmamış)	2.Model (aşınmış)
Talaş ve parça	35	50
Kater	31	36
Takım (P-20)	15	55

6.1. COSMOS/M SONLU ELMAN PAKET PROGRAMI

Cosmos/M, IBM PC'ler, AT'ler ve uyumlular, 386 PC'ler, workstationlar ve MAC II desktop bilgisayarlarında içine alan, desktop bilgisayarlar ve Workstationlarda çalıştırılmak üzere dizayn edilmiş, kapsamlı,sonlu eleman yazılım paketidir.

Cosmos/M, California Santa Monica da "Yapısal araştırma ve analiz Şirketi (SRAC)'nin ürünüdür.1985 yılından bu yana Cosmos/M kullanıcıya yakın olması,geniş eleman koleksiyonu,analiz seçme imkanı,hız ve doğruluk ve güçlü grafik üstünlükleri ile mühendislikte pek çok yaralar sunmuştur.Linear ve lineer olmayan yapısal,termal, akış optimizasyonu, manyetik ve elektriksel network analizlerini icra eder.Cosmos/M, gerilmeler,gerinimler,yerdeğişimleri,kuvvetler ve sunulan yapılarda sıcaklık dağılımını dış yüklemeler ve zorla yüklenen sınır şartları için belirler.

Cosmos/M, Amerika ve uluslar arası alanda popüler bir (FEA-Finite Element Analys) sonlu eleman analiz paketidir.

Cosmos/M ayrıca,kesişmeler, delikler veya bükülmüş türbin kanatları gibi kompleks geometrik şekillerin basit oluşumuna izin veren etkileşimli CAD kullanır.Değişir eleman yoğunluğu veya aralığı bir kaç parametre ayarı ile yapılır.Deforme edilmiş veya edilmemiş geometrik planlar,zoom,label,rotation,animasyon,renk,gerilme konturlama vb. pek çok grafiği içerir.

Cosmos/M modülerdir, dolayısı ile sadece ihtiyaç olan yetenekleri satın alınabilir.Modül ilavesi ile yazılım paketi büyüyebilir.

6.2 SONLU ELEMEN PAKET PROGRAMI (Cosmos/M) KULLANILMASI

Sonlu eleman programı (Cosmos/M) iki model için verilen kesme şartları için oluşturuldu. Ölçü sistemi olarak SI kullanıldı. Şekil Geostar modülünde çalışılarak oluşturuldu. Program tarafından tüm çizgilere numara verildi. Bir yüzey çizgiden meydana gelecek şekilde bölünerek yüzeyler belirlendi. Meş için 4'lü eleman seçildi. Elemanlar numaralandırıldı (Şekil 6.1-6.2)

İş parçası, talaş, takım ve tutucunun malzeme özellikleri aşınmış ve aşınmamış model için belirlendi (Tablo 6.1-6.2).

Tablo 6.1. Malzeme Özellikleri (1. Model için)

	Parça	Talaş	Tutucu	Takım
EX: X elastiklik modülü	.206840E+12	.206840E+12	.206840E+12	—————
NUXY: Poisson oranı	.280000	.280000	.280000	.300000
GXY: Kayma modülü	.792900E+11	.792900E+11	.792900E+11	—————
ALPX: X termal uzama	.133200E-04	.133200E-04	.133200E-04	.133200E-04
DENS: Yoğunluk	7833.70	7833.70	7750.68	4930.00
C: Spesifik ısı	439.600	439.600	460.500	500.00
KX: X termal iletkenlik	55.0000	55.0000	50.0000	15.0000
KY: Y termal iletkenlik	55.0000	55.0000	50.0000	15.0000

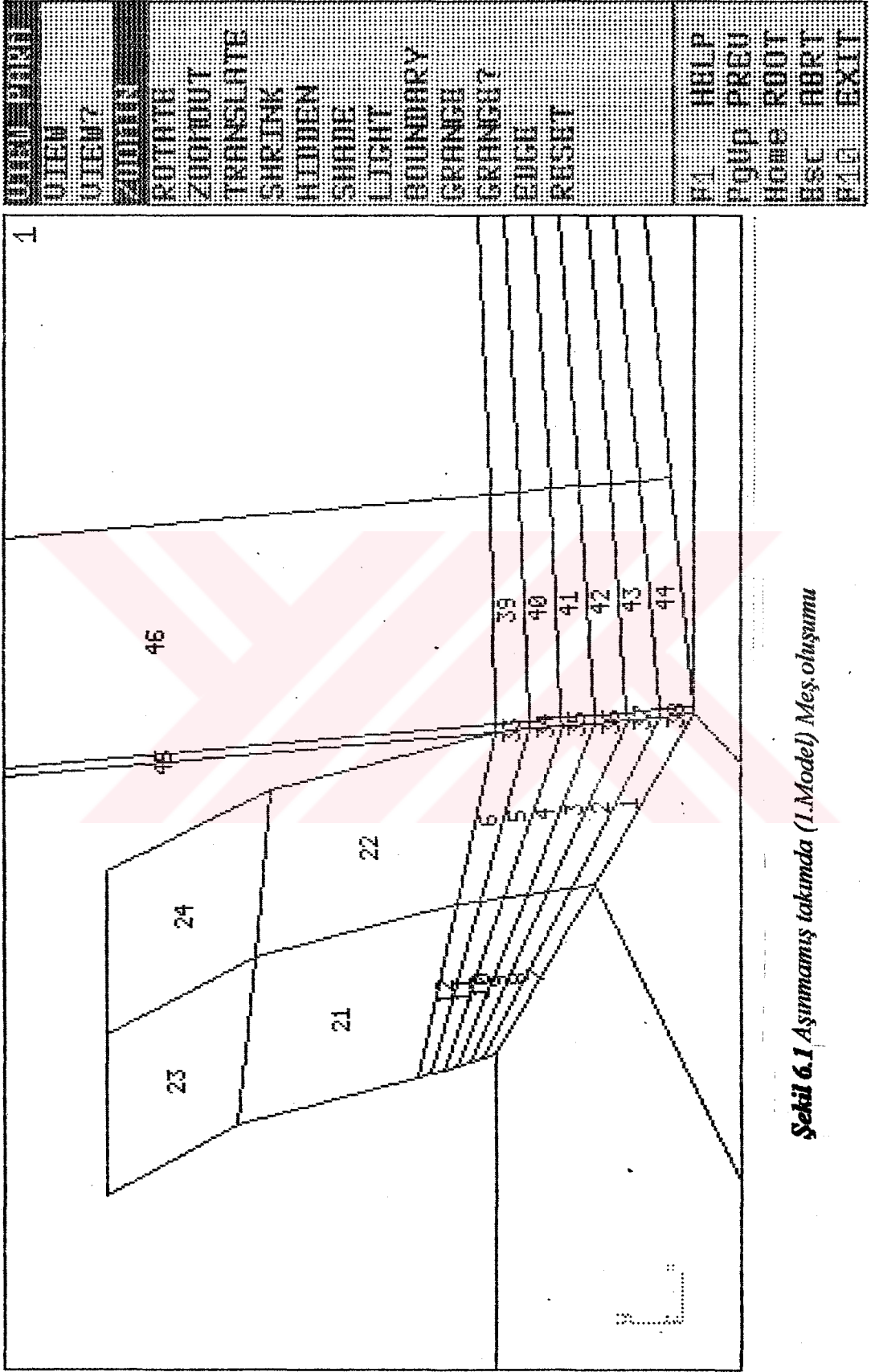
Tablo 6.2. Malzeme Özellikleri (2. Model için)

	Parça	Talaş	Tutucu	Takım
EX: X Elastiklik modülleri	.206840E+12	.206840E+12	.206840E+12	—————
NUXY: Poisson oranı	.280000	.280000	.280000	—————
GXY: XY kayma modülü	.792900E+11	.792900E+11	.792900E+11	—————
ALPX: X termal uzama	.133200E-04	.133200E-04	.133200E-04	.133200E-04
DENS: Yoğunluk	7833.70	7833.70	7750.68	4930.00
C: Spesifik ısı	439.600	439.600	460.500	500.000
KX: X termal iletkenlik	43.0000	43.0000	50.0000	55.0000
KY: Y termal iletkenlik	43.0000	43.0000	50.0000	55.0000

Düğüm noktaları işaretlendi. Sınır koşulları ve problem için gerekli olan veriler eklendi. Eğrilere °C olarak sıcaklık değeri verildi, q değerleri verildi. Konveksiyon bölgesi seçildi. Geostar modunda yapılan bu işlemler daha sonra Modstar modülüne transfer edildi. Buradan elde edilen sonuçlar *Şekiller 6.3 - 6.4 - 6.5 - 6.6* de görülmektedir.

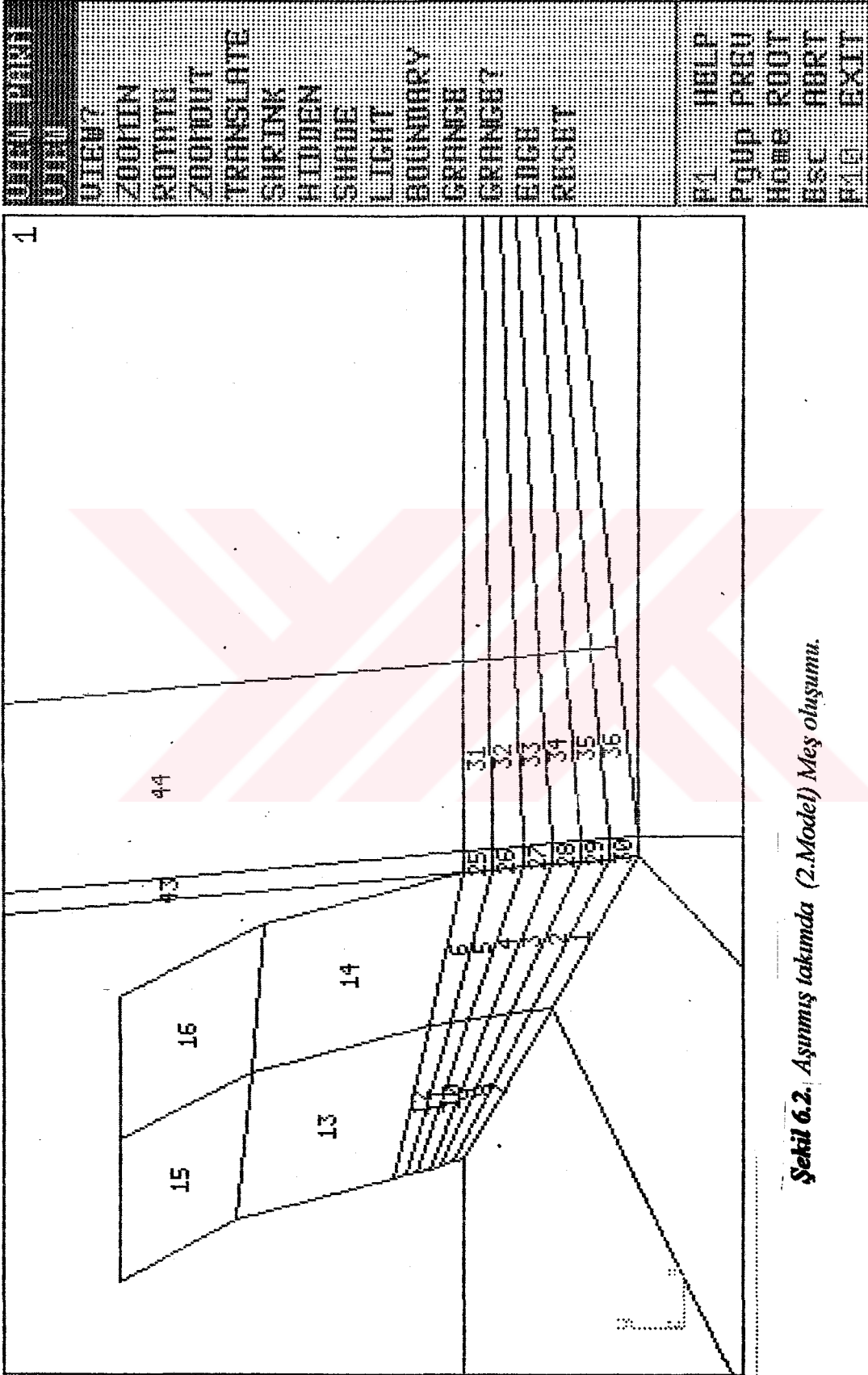


COSMOS/M 1.64 Z 7:30:1993 15:24



Şekil 6.1 Aşınmamış takımda (1.Model) Meş oluşumu

COSMOS/M 1.64 QW 7:30:1993 15:19

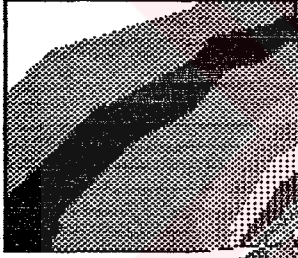
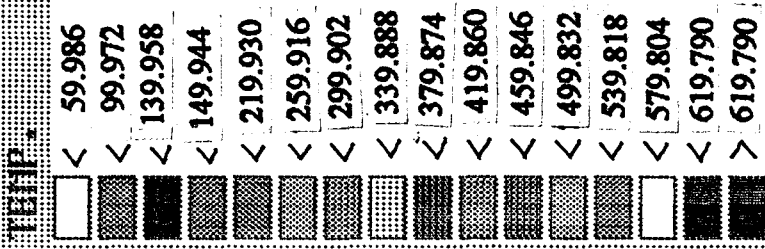


Şekil 6.2. Aşınmış takımda (2.Model) Meş oluşumu.

COSMOS/M 1.61 F1 7:30:1993 14:28

TEMP.

1

MIN :=20
NOD :=25

MAX. =659.77
NOD. =5

Şekil 6.3(a).1. Model için (Aşınmamış takım) 100. sn deki sıcaklık dağılımı (transient)

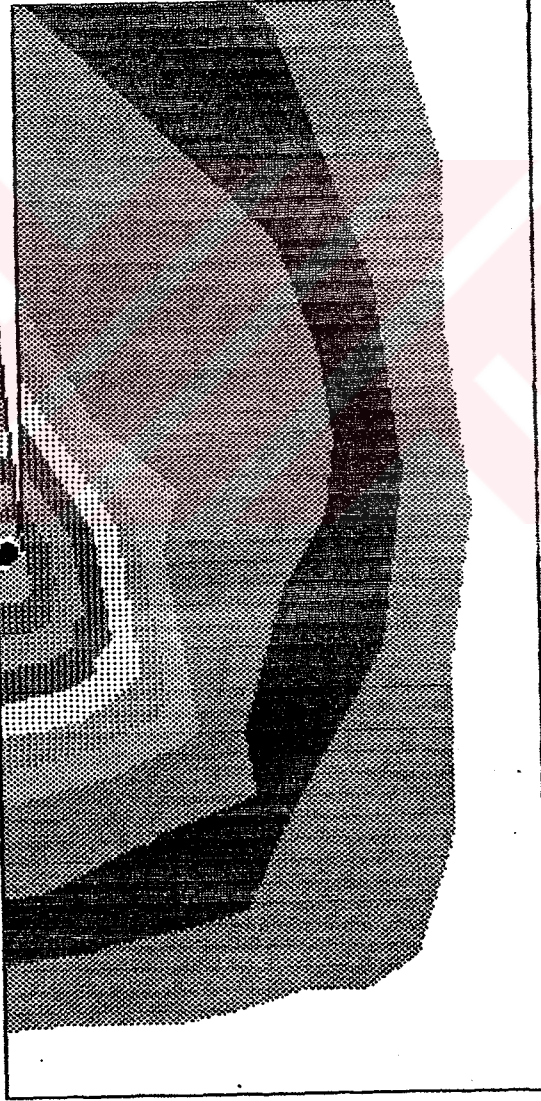
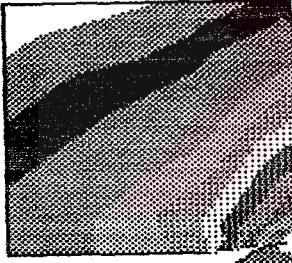
COSMOS/M 1.64 F4 7:30:1993 14:28



Şekil 6.3(b) 1.Model için (aşınmamış takım) 100.sn deki sıcaklık dağılımı (transient)

COSMOS/M 1.61 F1 7:30:1993 14:28

TEMP.



1

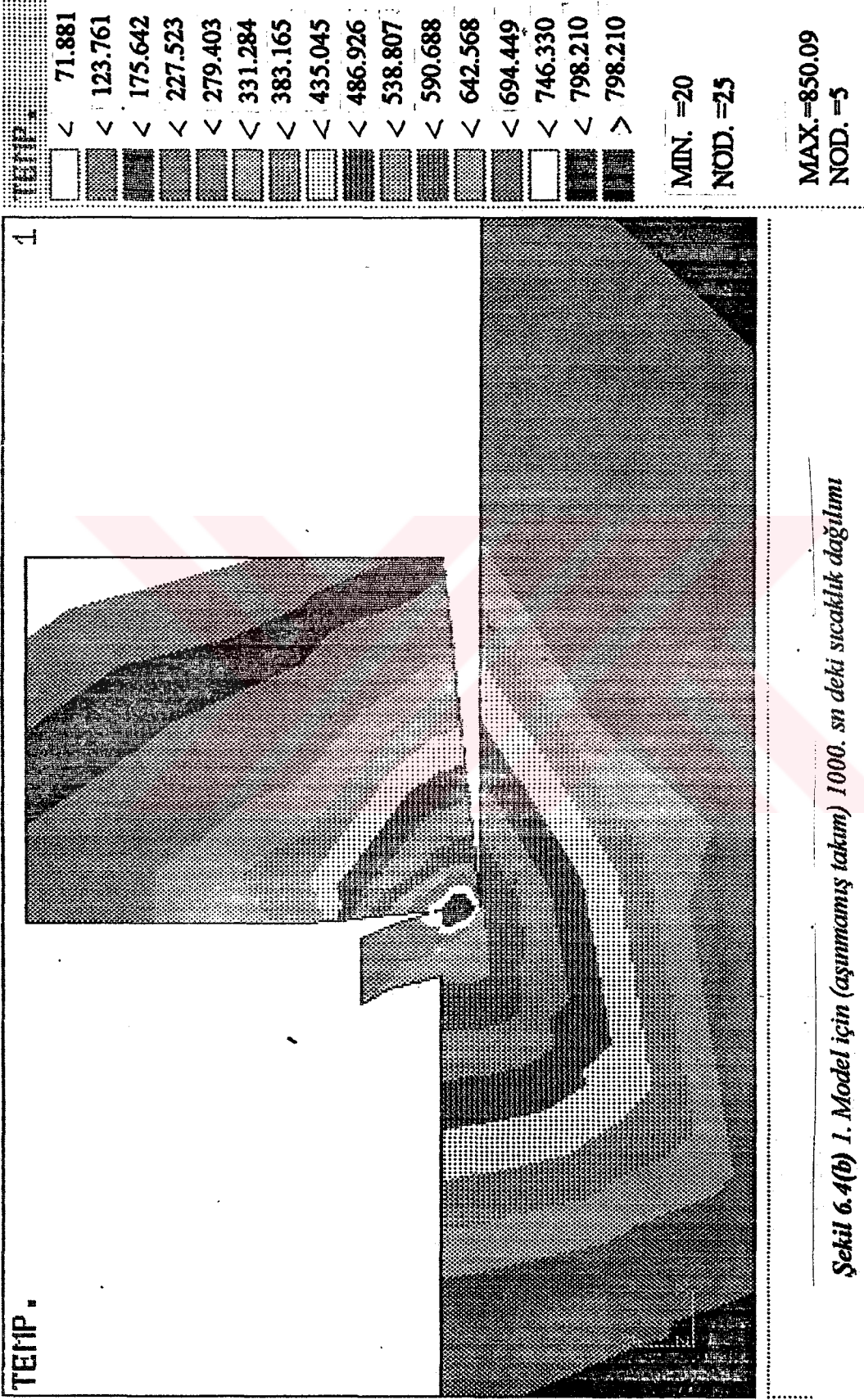
TEMP.

<	71.881
<	123.761
<	175.642
<	227.523
<	279.403
<	331.284
<	383.165
<	435.045
<	486.926
<	538.807
<	590.688
<	642.568
<	694.449
<	746.330
<	798.210
>	798.210

MIN. =20
NOD. =25

MAX. =850.09
NOD. =5

Şekil 6.4(a) 1.Model için (aşınmamış takım) 1000. sn deki sıcaklık dağılımı
(Transient)

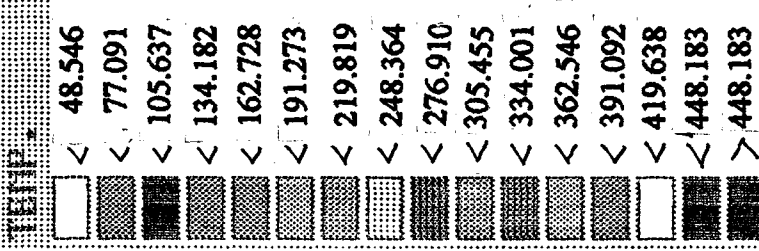
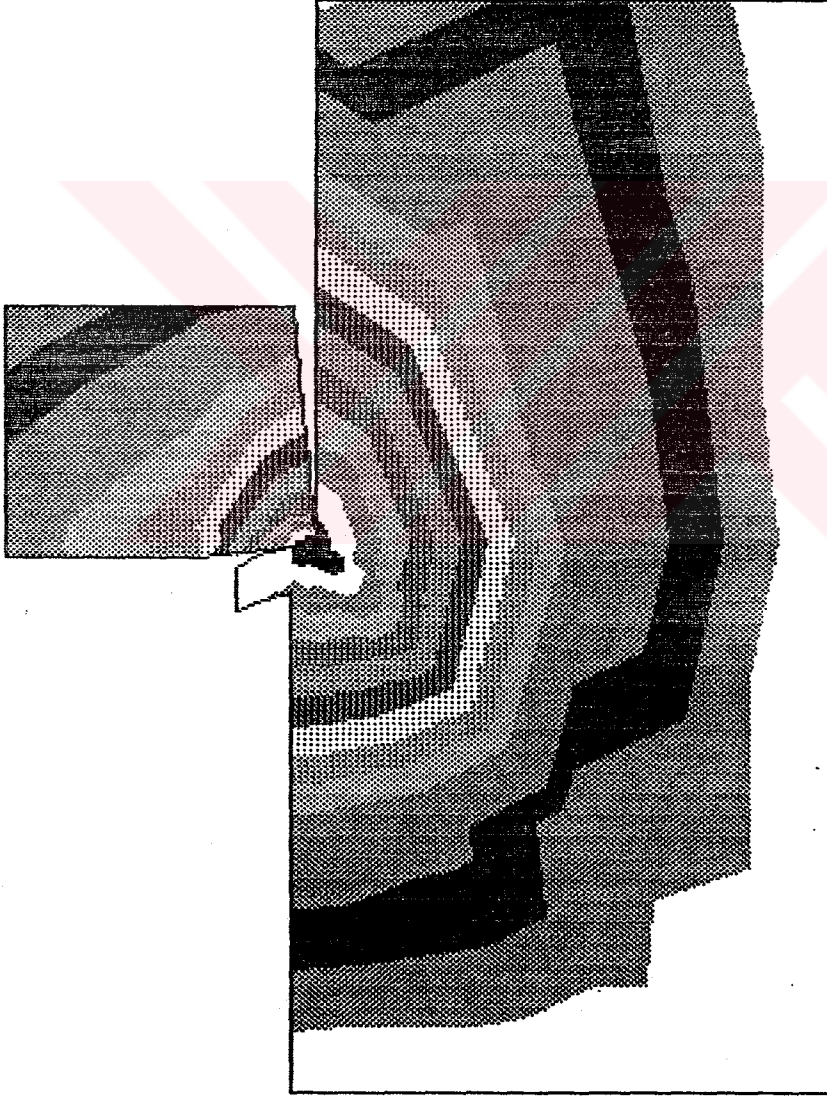


Şekil 6.4(b) 1. Model için (aşınmamış takım) 1000. sn deki sıcaklık dağılımı
(transient)

COSMOS/M 1.61 QW 7:30:1993 15:10

TEMP.

1



MIN.=20

NOD.=31

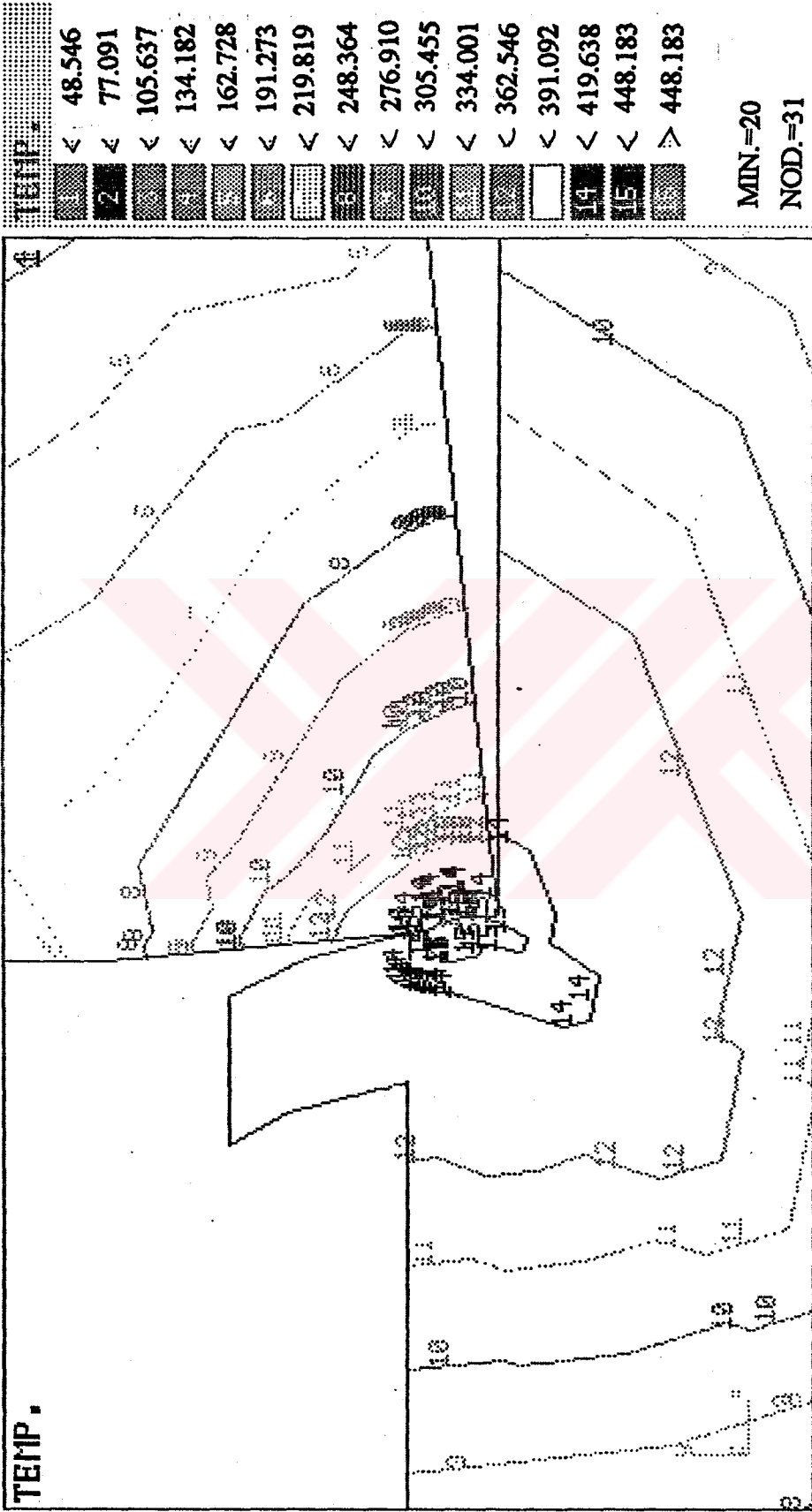
MAX.=476.72

NOD.=5

Şekil 6.5(a) 2.Model için (aşınmış takım) 100 sn deki sıcaklık dağılımı (transient).

COSMOS/M 1.61 QW 7:30:1993 15:10

TEMP.

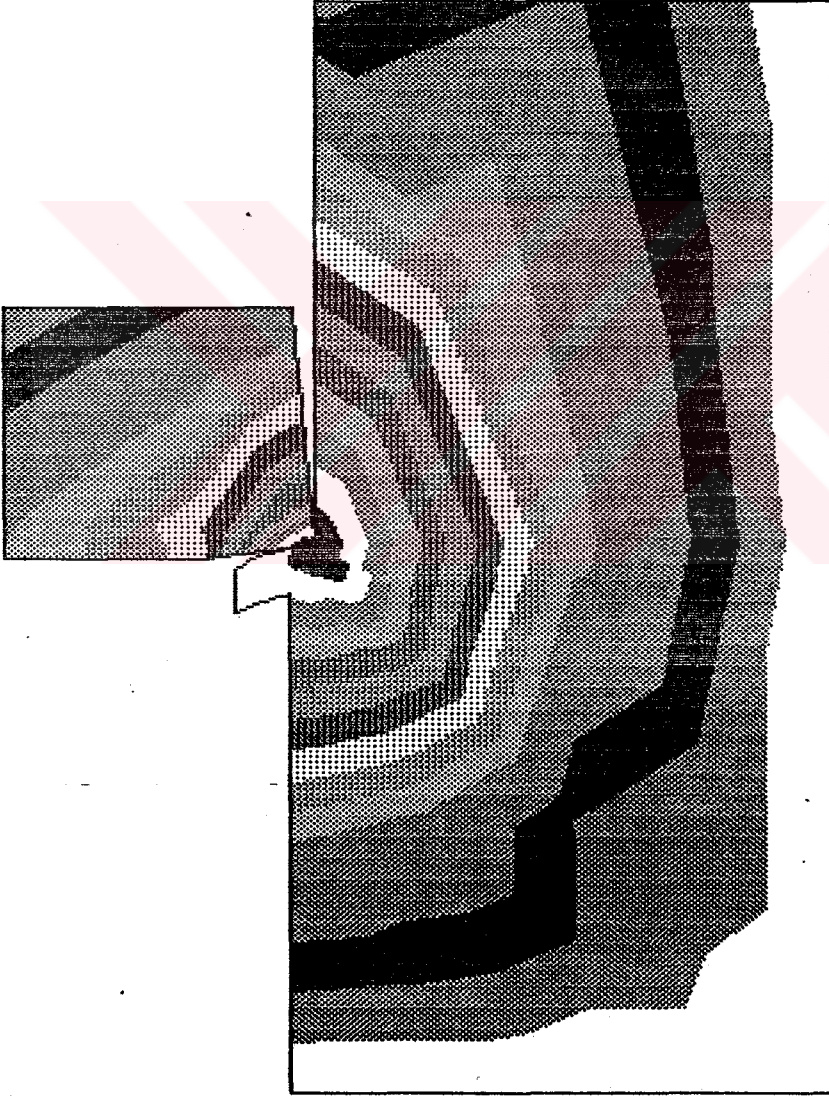


Şekil 6.5(b). 2.Model için (aşınmış takım) 100 sn'deki sıcaklık dağılımı (transient).

COSMOS/M 1.61 QW 7:30:1993 14:54

TEMP.

1



TEMP.	Value
<	54.316
<	88.632
<	122.947
<	157.263
<	191.579
<	225.895
<	260.211
<	297.526
<	328.842
<	363.158
<	397.474
<	431.790
<	466.105
<	500.421
<	534.737
>	534.737

MIN.=20

NOD.=31

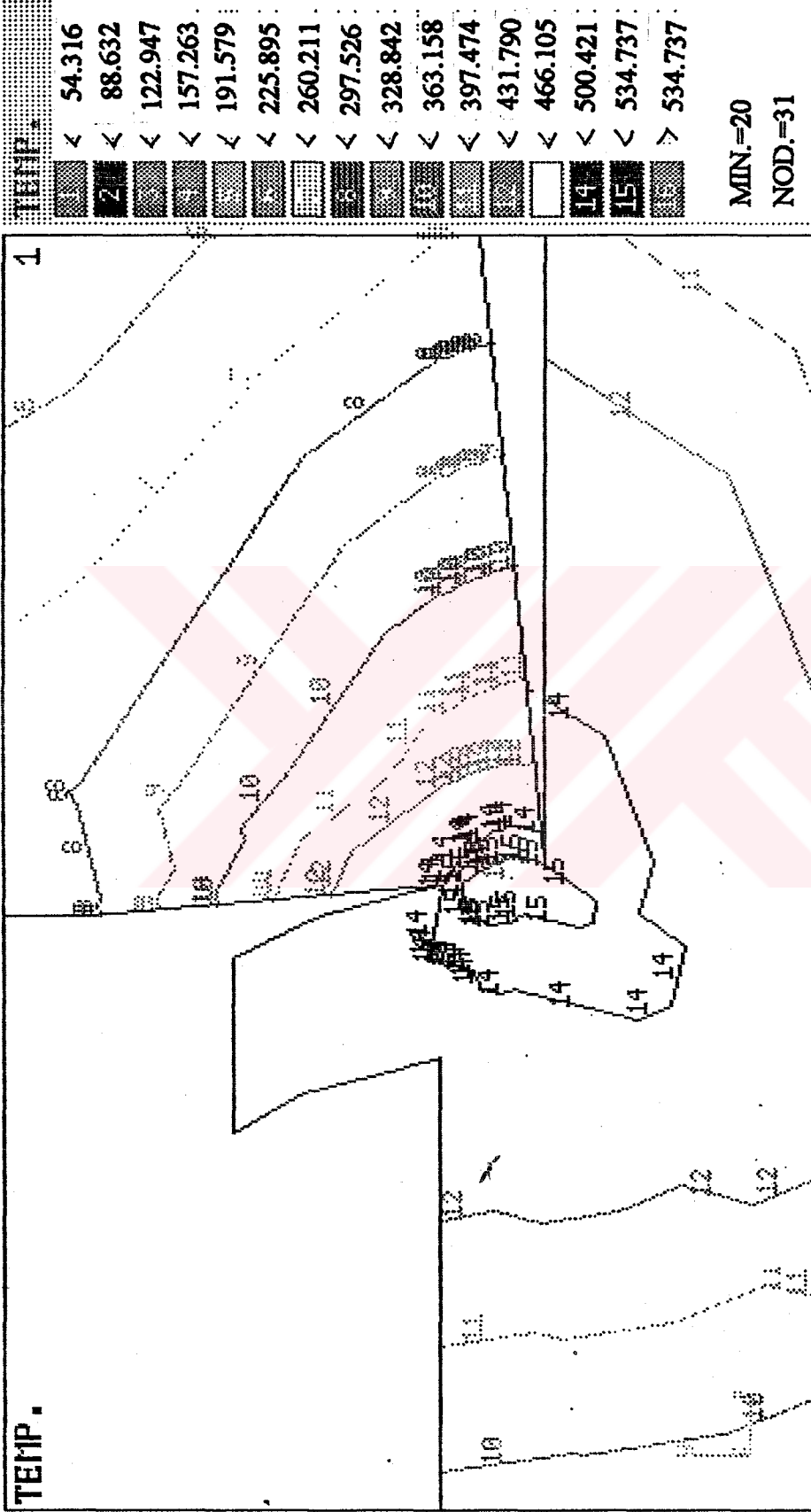
MAX.=569.05

NOD.=5

Şekil 6.6(a) 2.Model için (aşınmış takım) steady-state (sürekli-durum) sıcaklık dağılımı

COSMOS/M 1.61 QW 7:30:1993 14:54

TEMP.



Sekil 6.6(b). 2. Model için (aşınmış takım) steady-state (sürekli durum) sıcaklık dağılımı

6.3. SONUÇ

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

-Şekillerden kesme takımlarının talaş yüzeyinde üniform olmayan sıcaklık dağılımının ortaya çıktığı ve max. sıcaklığın daima kesme kenarından bir miktar mesafede meydana geldiği gözlenir.

-Talaş yüzeyindeki sıcaklıklar serbest yüzeydeki sıcaklıklardan çok daha yüksektir.

Şekiller.6.7 - 6.8 - 6.9 - 6.10 serbest yüzey ve talaş yüzeyindeki sıcaklıkların dağılımını grafiksel olarak göstermektedir.

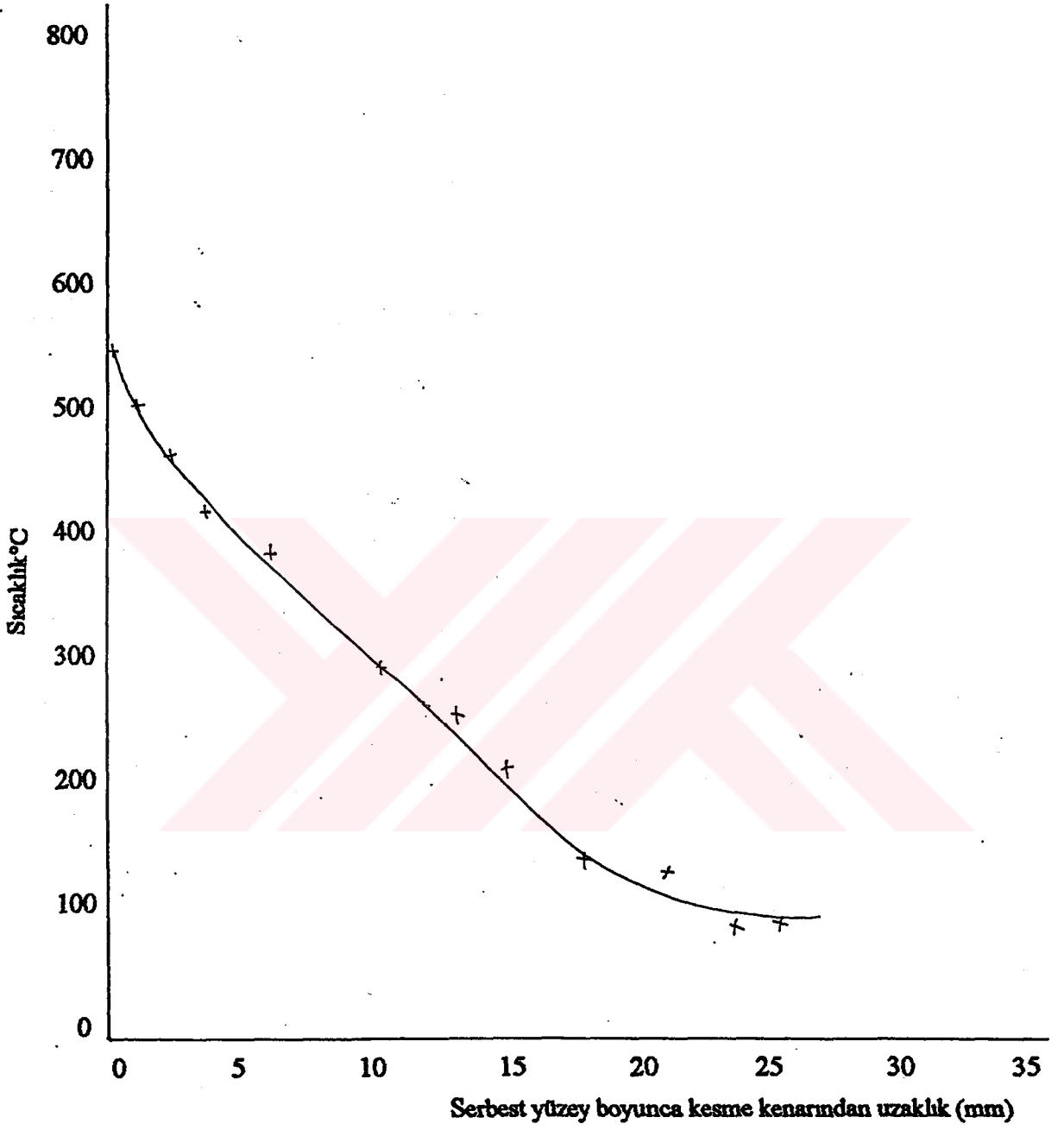
-Aşınmış takımda sıcaklığın daha düşük olduğu görüldü .Buna neden ısı iletim katsayısının sıcaklıkla arttığı, aşınmış takımda temas yüzeyinin artmasından dolayı ısı kaçışının çok olduğudur.

-Aşınmamış takımda 100. sn de max. sıcaklık 619.790°C olarak 5 numaralı düğümde,min. sıcaklık 59.986 °C olarak 25 numaralı düğümde,

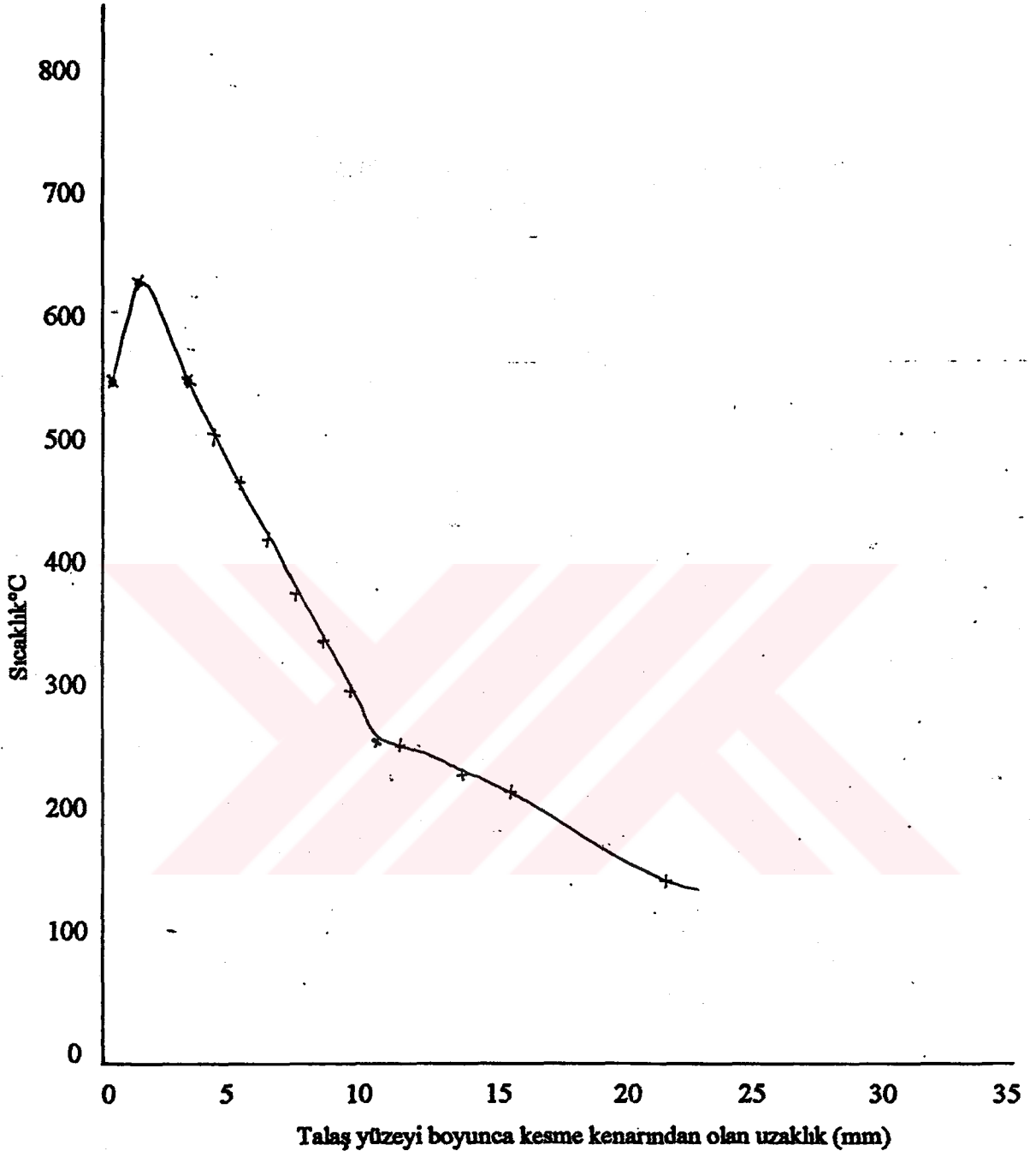
-Aşınmamış takımda 1000 sn de max. sıcaklık 798.210°C olarak 5 numaralı düğümde, min. sıcaklık 71.881°C olarak 25 numaralı düğümde,

-Aşınmış takımda 100 sn de max. sıcaklık 470.72 °C olarak 5 numaralı düğümde, min sıcaklık 20°C olarak 31 numaralı düğümde,

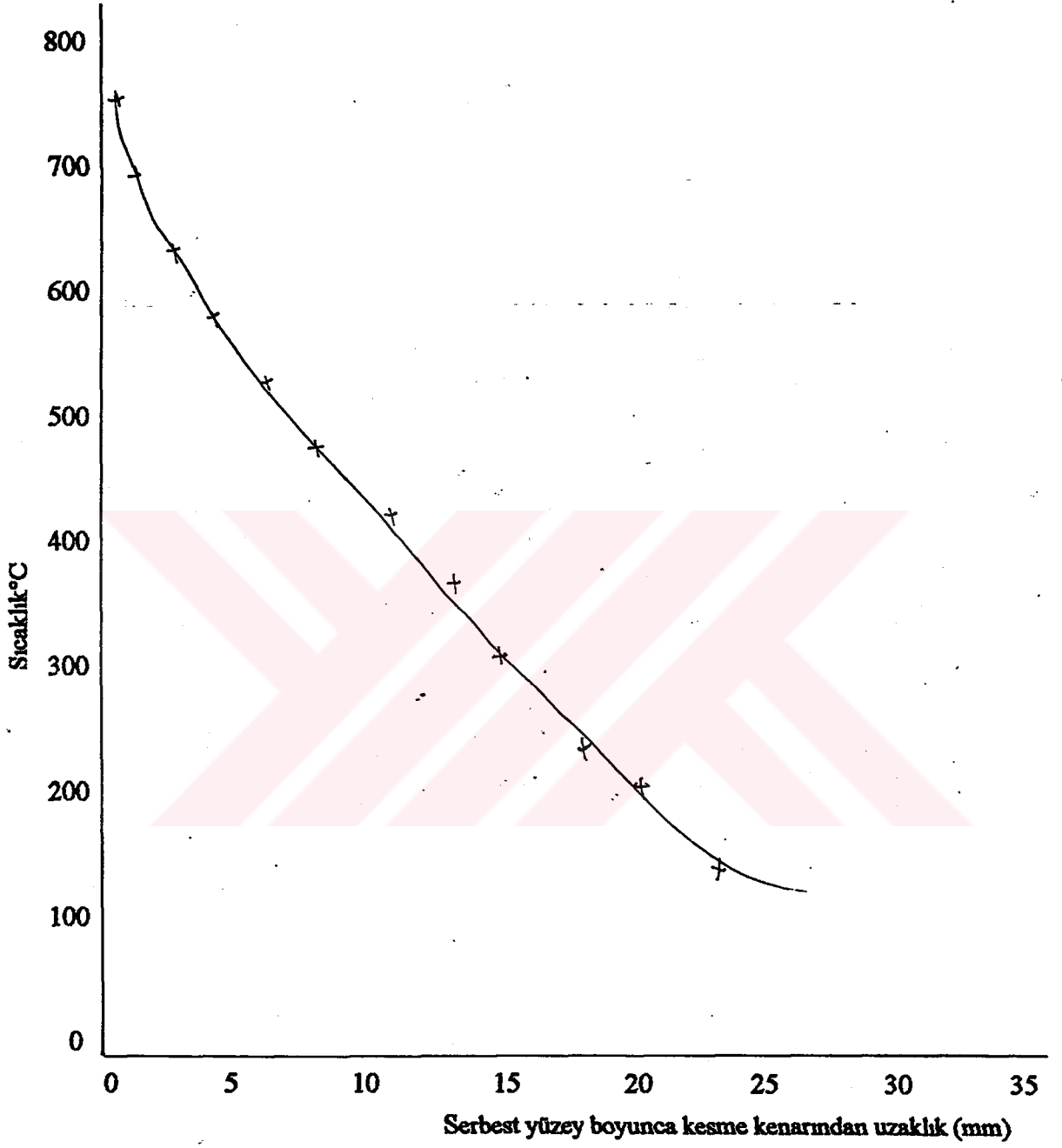
-Aşınmış takımda dengeli-durumda (Steady state) max. sıcaklık 569.05 °C olarak 5 numaralı düğümde, min. sıcaklık 20°C olarak 31 numaralı düğümde ortaya çıkmıştır.



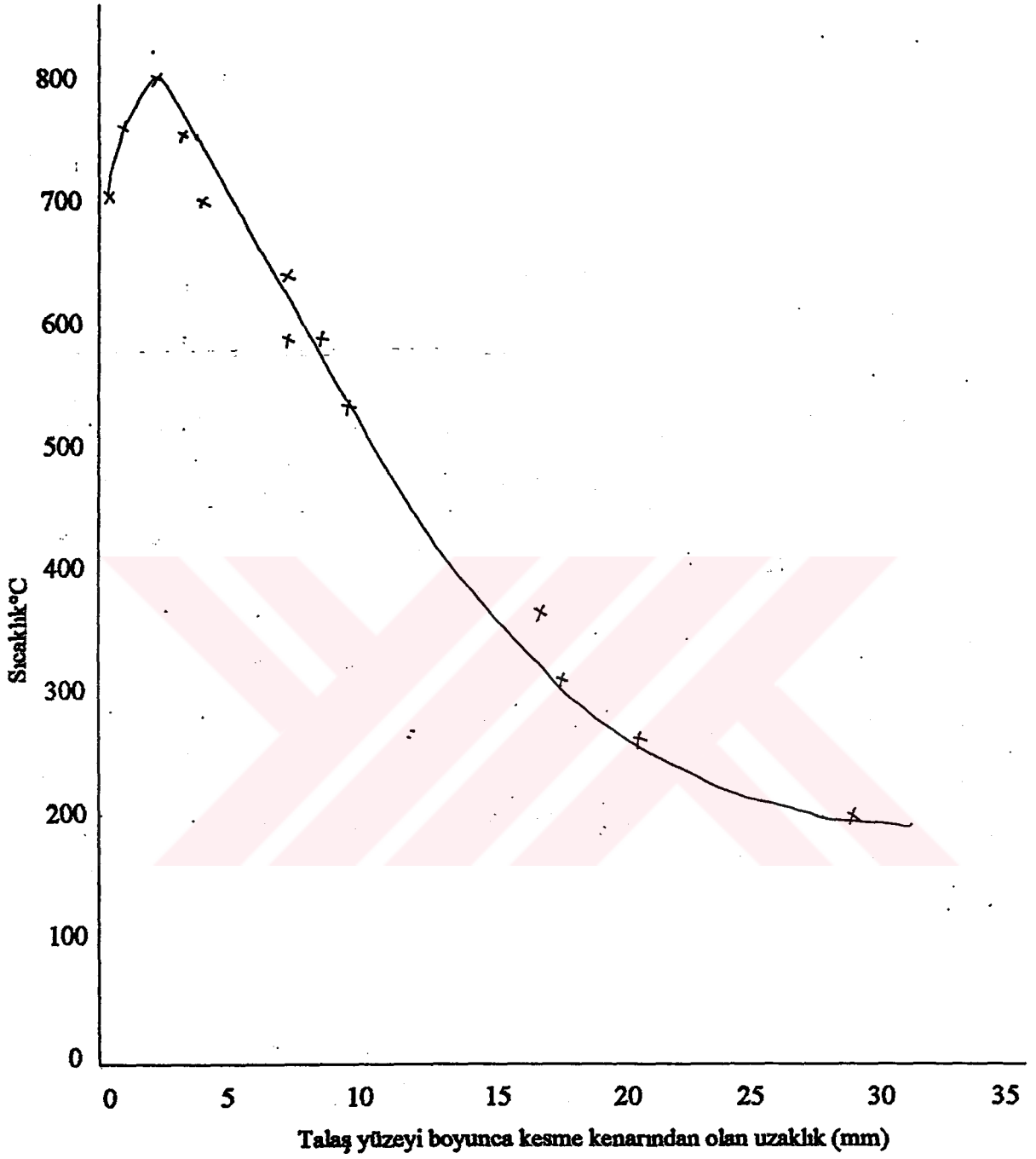
Şekil 6.7a. Serbest yüzey boyunca sıcaklıklar (Aşınmamış takımda 100.sn de)
(Transient)



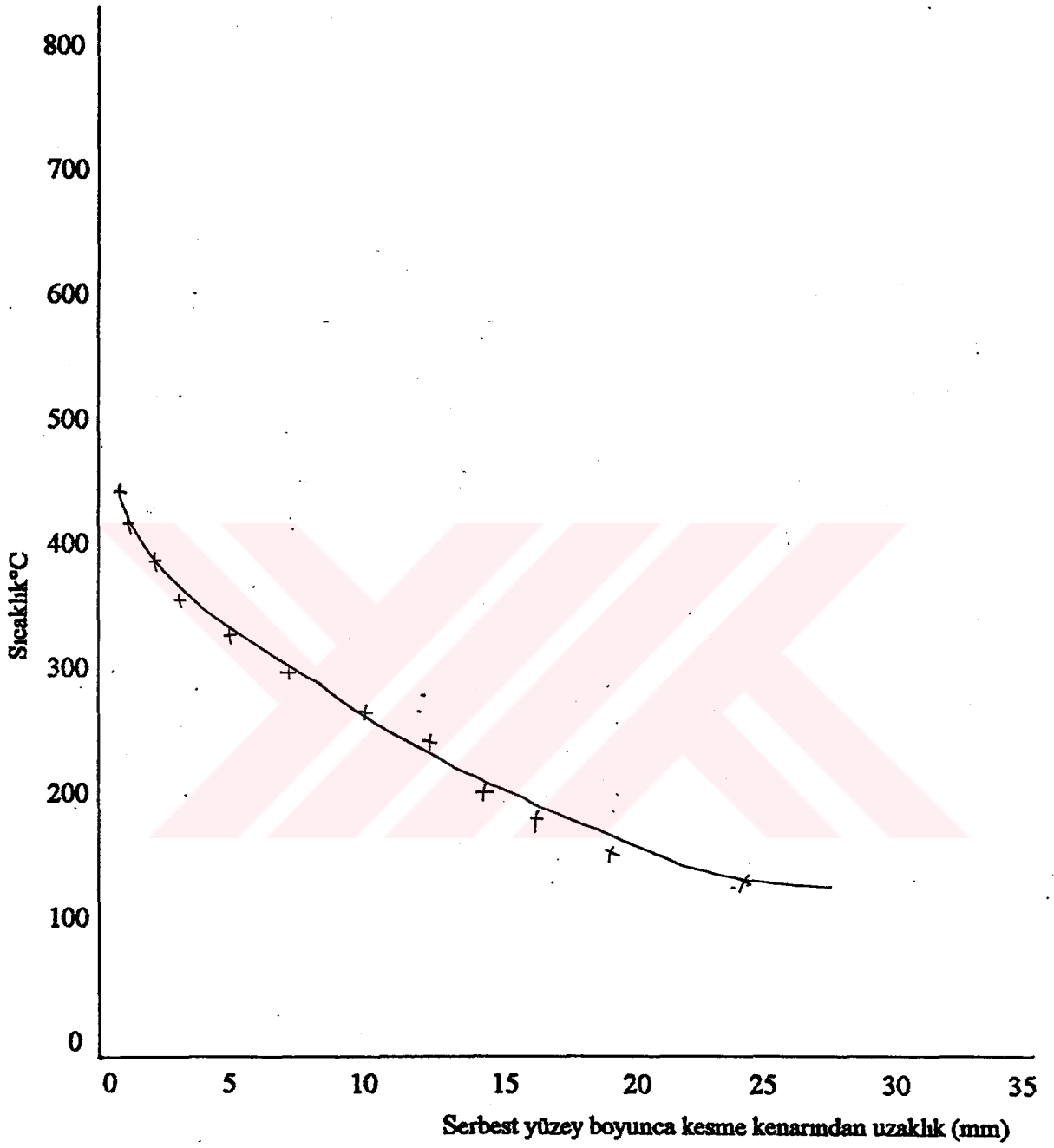
Şekil 6.7b. Talaş yüzeyi boyunca sıcaklıklar (Aşınmamış takımda 100. sn de)
(Transient)



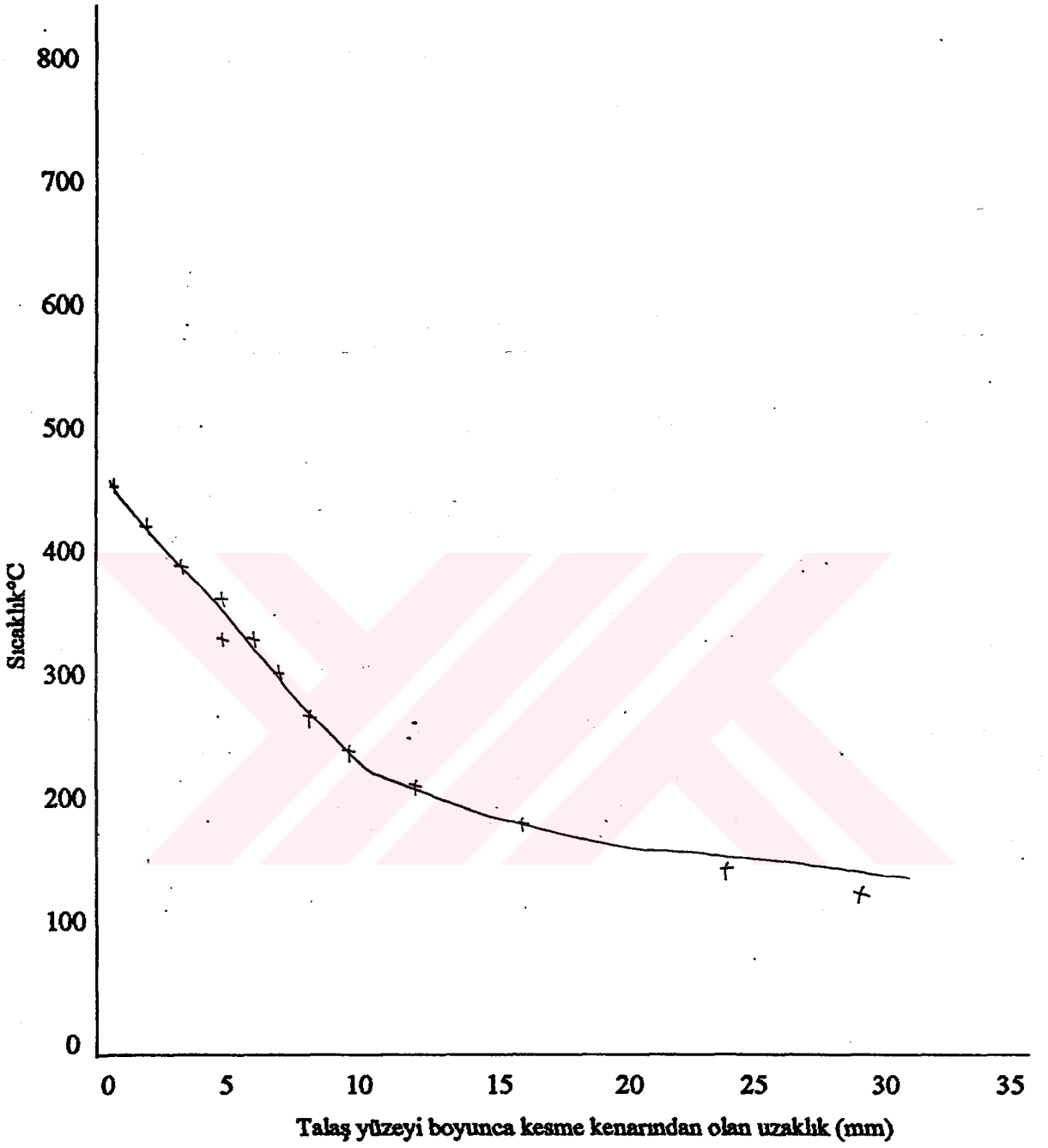
Şekil 6.8 a. Serbest yüzey boyunca sıcaklıklar. (Aşınmamış takımda 1000 sn de)
(Transient)



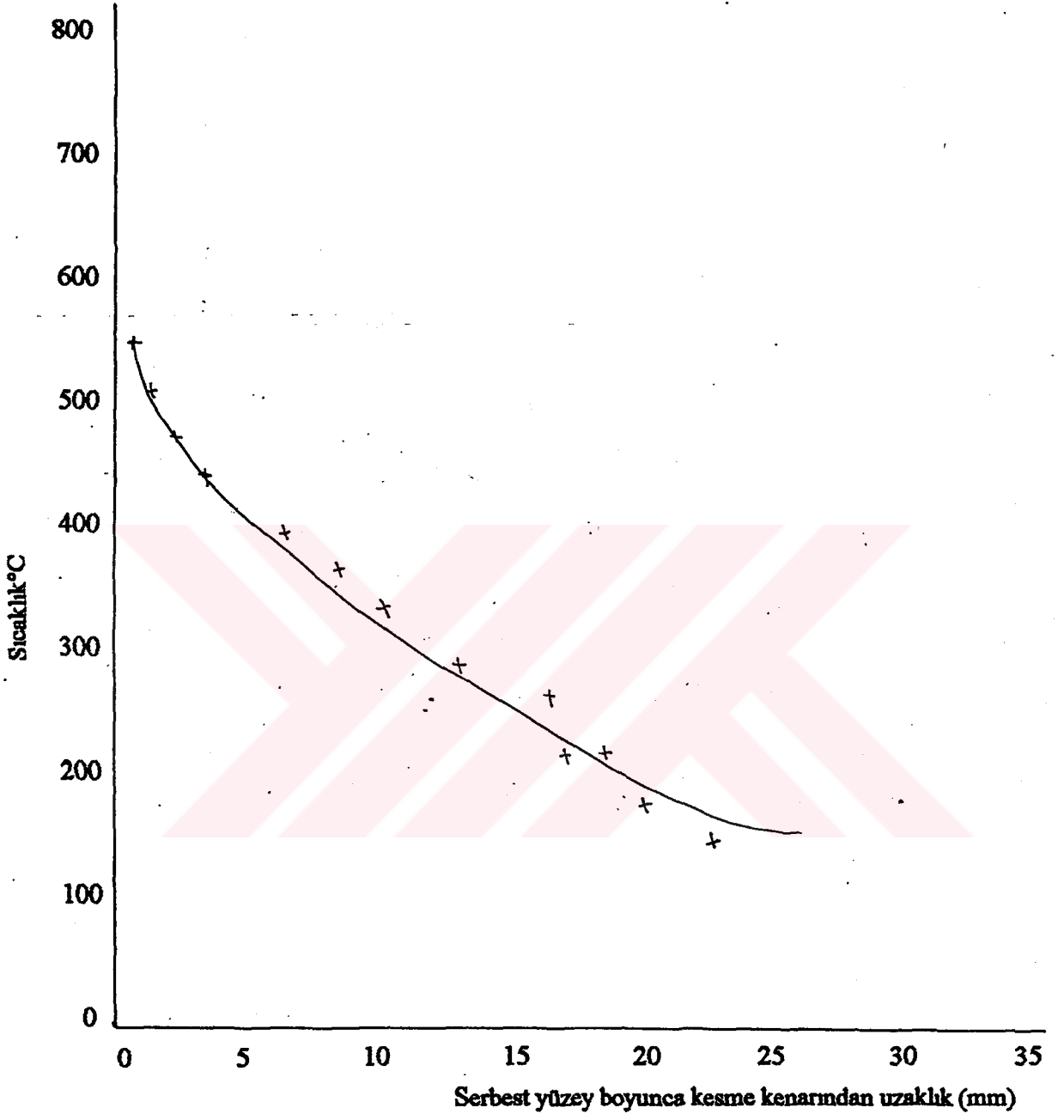
Şekil 6.8 b. Talaş yüzeyi boyunca sıcaklıklar (Aşınmamış takımda 1000 sn de)
(Transient)



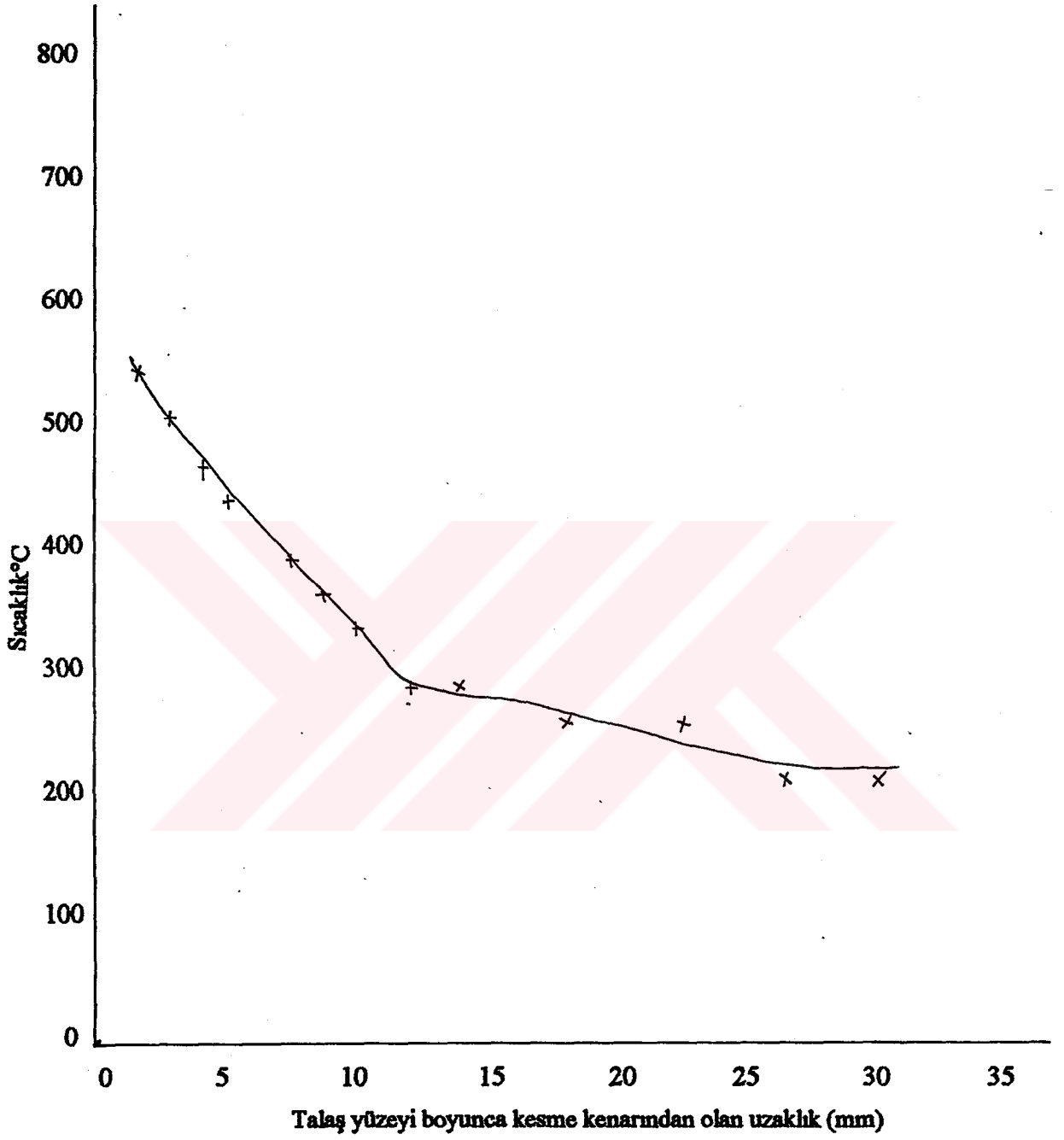
Şekil 6.9 a. Serbest yüzey boyunca sıcaklıklar (Aşınmış takımda 100 sn de)
(Transient)



Şekil 6.9 b. Talaş yüzeyi boyunca sıcaklıklar (Aşınmış takımda 100 sn de)
(Transient)



Şekil 6.10 a. Serbest yüzey boyunca sıcaklıklar (Aşınmış takımda Steady State)



Şekil 6.10 b. Talaş yüzeyi boyunca sıcaklıklar (Aşınmış takımda Steady -state)

7. SONUÇ

Cosmos/M programı ile elde edilen sıcaklık dağılım eğrileri, bu güne kadar yapıla gelenden farklı olarak her iki model içinde parça,plaket(takım), takım tutucu ve talaş üzerinde birlikte analiz edilmiş ve gösterilmiştir.

Çalışmada - talaş açısı kullanılmıştır ki bugüne kadar negatif talaş açısı ile yapılan çalışma yok denecek kadar azdır.

Genelde HSS ve sadece sert metal plaket üzerinde yapılan çalışmalara karşı, bu çalışmada plaket ile birlikte takım tutucuda sıcaklık dağılımı analizinde ele alınmıştır.

Bu çalışmada, sıcaklık dağılımını etkileyen soğutma sıvısı kullanılmamıştır,soğutma söz konusu olduğunda takımdaki sıcaklık dağılımının farklılık göstereceği göz önüne alınmalıdır.Çalışma ele alınan parametreler ölçüsünde Muraka' nın (1979) sonuçları ile iyi bir uyum göstermektedir. Bu çalışmada sıcaklık dağılımı iki boyutlu olarak ele alınmıştır.Bir sonraki aşama olarak , daha geniş sınır koşulları altında ,üç boyutlu analiz çalışma konusu olarak düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- 1-Adil, G.K., Jain, V.K., Sundararajan T., 1988. The finite element analysis of temperature in accelerated cutting, *Int. Journal of Mach. Tool Manufact.* V28. No:4 577-590
- 2-Alexandre, J.M., Brewer, R.C., Rowe, G.W., 1987. Metal removal processes (Temperature in metal cut.), *Manufacturing Tech.* V1 Eng. Materials.
- 3-Arndt, G., Brown, R.H., 1967. On the temperature distribution in orthogonal machining, *Int. J. Mach. Tool Des. Res.* V7 39-53
- 4-Balint, J.G., Brown, R.H. 1964. A note on The investigation of rake face tool wear, *Int. J. Mach. Tool. Des. Res.* V4 117-122.
- 5-Ber, A., Goldblatt, M., 1989. The influence of Temperature gradient on cutting tool's life. *Annals of the CIRP*, V38 69-73.
- 6-Cengiz, Y.B., 1976. Tornalama, matkaplama ve taşlama işlemlerinde kullanılan kesici takımların aşınmalarının Etüdü. Yeterlilik çalışması, İDMMA makina bölümü.
- 7-Chow, J.G., Wright, P.K., 1988. On-line estimation of tool/chip interface temperature for a turning operation. *Journal of Eng. for Ind.* V110 56-64
- 8-Dearnley P.A., 1986. A preliminary investigation of the effect of tool geometry on tool temperatures when turning steel at high speed. *Int. J. Mach. Tool Des. Res.* V26. N1 15-20
- 9-Boothroyd, G., 1975. *Fundamentals of metal Machining and Machine tools.* McGraw-Hill co. Washington.
10. Groover, M., Karpovich, R., Levy E.K., 1977. A study of the relationship Between Remote thermocouple temperatures and tool wear in machining. *Int. J. Prod. Res.* V25 N2 129-141
- 11-Kakaç, S., 1990. Örneklerle ısı transferi. Orta doğu teknik üniversitesi müh fak yayını.
- 12-Huebner, K.H., Thornton, E.A. 1982. *The finite element method for engineers.* John Wiley & Sons U.S.A.

13-Levy,E.K. Tsai,C.L.,Groover,M.P., 1976.Analytical investigation of the effect of tool Wear on the Temperature Variations in a metal cutting tool.Journal of Eng.for ind. 251-257.

14-Lezansky,P.,Shaw,M.,1990.Tool face temperatures in high speed milling.ASME V112 313-318

15-Mathew,P., 1989.Use of predicted cutting temperature in determining tool performance.Int.J.Mach.Tools Manufact. V29 N4 481-497.

16-Muraka,P.,Barrow,G.,Hinduja,S., 1979.Influence of process variables on the temperature distribution in orthogonal machining using the finite element. Int.J.Mech.Sci.V21. 445-456.

17-Scrutton,R.F. 1967.Thermal Analysis of metal Flow at the chip-tool interface in metal cutting. Journal of Eng. for Ind. 539-542.

18-Stephenson D.A.,1991.Assessment of steady-state metal cutting temperatures models based on simultaneous infrared and thermocouple data. Journal of eng.for ind. V113 121-128.

19-Stevenson,M.G.,Wright,P.K. 1983.Further Developments in applying the finite element method to the calculation of temperature distributions in machining and comparisons with experiment.Journal of Eng. for Ind. V105 149-154.

20-Strenkowsky,J.S.,Jin Moon,K.,1990.The finite element prediction of chip geometry and tool/workpiece temperature distributions in orthogonal metal cutting.ASME Journal of Eng. for Ind. V112 313-318.

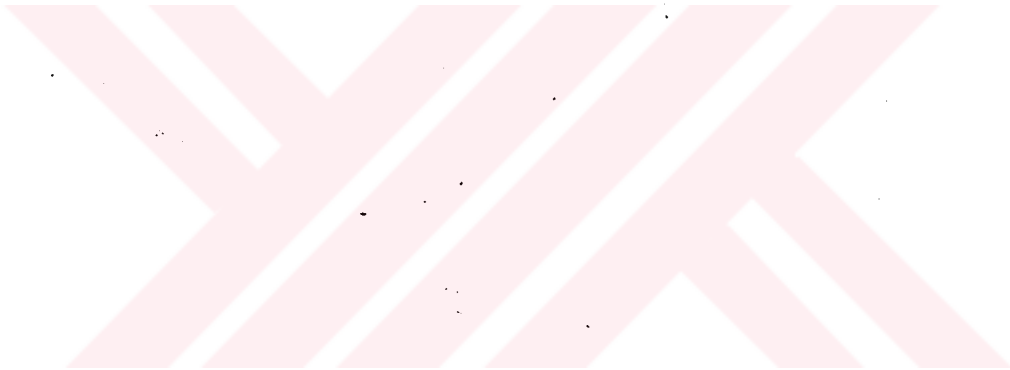
21-Tay,A.O.,Stevenson,M.,Vahl Davis,G. 1976.A Numerical Method For Calculating Temperature Distribution in Machining From Force and Shear Angle Measurements.Int.J.Mech.Tool Des.Res. V16 N1 15-20.

22-Venuvinod,P.K.,Lau,W.S.,Rubenstein,C.,1990.Tool Life in Oblique Cutting as a Function of Computed Flank Contact Temperatures.Journal of Eng. for Ind. V102 123-128.

23-Wright,P. 1978.Corrlation Of Tempering Effects With Temperature Distribution Steel Cutting Tools.Journal of Eng. for Ind. V100 131-136.

24-Wright,P.K.,McCormick,S.,Miller,T.R., 1980.Effect of Rake Face Design on Cutting Tool Temperatures Distribution.Journal of Eng.for Ind. V102 123-128.

25-Cosmos/M Manuel.



EKLER

EK 1. TABLO 1. Metallerin Isıl Özellikleri (Sadık Kakaç)

	20 °C de Özellikler				λ , W/m °C				
	ρ Kg/m ³	C_p J/kg °C	λ W/m °C	a m ² /s	100	200	300	400	500
							°C		
Alüminyum, saf	2707	896	204	$8,42 \times 10^{-5}$	206	215	229	249	
Alüminyum, 94-96 Al, 3-5 Cu	2787	883	164	6,68	182	194			
Alüminyum, saf	11370	130	34,6	2,34	33,4	31,5	29,8		
Alüminyum, saf	7987	452	72,7	2,03	67,5	62,3	55,4	48,5	39,8
Alüminyum, biçimlendirilmiş, C %0,5	7849	460	58,9	1,63	57,1	51,9	48,5	45,0	36,4
Alüminyum, saf	7272	419	51,9	1,70					
Alüminyum, saf	7833	465	53,7	1,47	51,9	48,5	45,0	41,5	34,6
Alüminyum, saf	7753	486	36,4	0,97	36,3	36,3	34,6	32,9	31,2
Alüminyum, saf	7945	460	26,0	0,72					
Alüminyum, saf	8073	460	12,1	0,33					
Alüminyum, saf	8266	460	13,8	0,36					
Alüminyum, saf	8506	460	26,0	0,67					
Alüminyum, saf	8762	460	46,7	1,16					
Alüminyum, saf	7865	460	60,6	1,67	55,4	51,9	46,7	41,5	36,4
Alüminyum, saf	7833	460	39,8	1,11	38,1	36,4	36,4	32,9	29,4
Alüminyum, saf	7785	460	31,2	0,87	31,2	31,2	29,4	29,4	31,2
Alüminyum, saf					32,5	30,2		25,6	
Alüminyum, saf					16,3	15,1		13,9	
Alüminyum, saf	7817	460	16,3	0,44	17,3	17,3	19,0	19,0	22,5
Alüminyum, saf	7865	460	14,0	0,39	15,1	15,1	16,3	17,3	19,0
Alüminyum, saf	7865	460	38,1	1,05	36,4	36,4	36,4	34,6	32,9
Alüminyum, saf	7961	444	62,3	1,76	58,9	53,7	48,5	45,0	36,4
Alüminyum, saf	7673	460	31,2	0,89					
Alüminyum, saf	8954	383	386	11,2	379	374	369	364	353
Alüminyum, saf	8960	343	26,0	0,86					
Alüminyum, saf	8522	385	111	3,41	128	144	147	147	
Alüminyum, saf	8618	394	24,9	0,73	31,2	39,8	45,0	48,5	
Alüminyum, saf	8922	410	22,7	0,61	22,2	26,0			
Alüminyum, saf	1746	1013	171	9,71	168	163	158		
Alüminyum, saf					83,4				
Alüminyum, saf	10220	251	123	4,79	118	114	111	109	106
Alüminyum, saf					37,2	34,9		30,2	
Alüminyum, saf	8906	446	90,0	2,27	83,1	72,7	64,0	58,9	
Alüminyum, saf	10520	234	407	16,6	415	374	362	360	
Alüminyum, saf	19350	134	163	6,27	151	142	133	126	113
Alüminyum, saf	7144	384	112	4,11	109	106	100	93,5	
Alüminyum, saf	7304	227	64,0	3,88	58,9	57,1			

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihim 15 Ekim 1965

Doğum yerim İstanbul

1972- 1977 tarihleri arasında Beşiktaş Şair Nedim İlkokulunda ,

1977-1980 tarihleri arasında Beşiktaş Esentepe Orta okulunda ,

1980-1983 tarihleri arasında Beşiktaş Kız Lisesinde okudum.

1983 te Yıldız Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü kazandım.

1988 yılında Yıldız Üniversitesinden Makina mühendisi olarak mezun oldum.

1989 yılında Beko dikiş makineleri üretimini gerçekleştiren, Özgün Dikiş Makina Ticaret ve Sanayi A.Ş'inde kalite kontrol ve araştırma geliştirme şefi olarak çalışmaya başladım.

1989 Ekim'inde Yıldız Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü İmal ve konstrüksiyon programına kabul edildim.

1989 Eylül de YÖK'ün yurt dışında öğretim görevlisi yetiştirmek üzere açmış olduğu sınavı kazandım.

1990 Mart'ta Kocaeli Meslek Yüksek okuluna öğretim görevlisi olarak atandım.

1990 yılı Kasım ayında öğretim görevlisi olarak yetiştirilmek üzere İngiltere'ye gittim.

1991 yılında yüksek lisans eğitimine başlayabildim.Halen Yıldız Teknik Üniversitesi

Fen bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği anabilim dalında İmal usulleri

programında yüksek lisans öğrencisiyim ve Kocaeli Üniversitesi Kocaeli Meslek

Yüksek Okulu Makina Bölümünde öğretim görevlisi olarak çalışmaktayım.