

**İNCE CİDARLI CM22NBK MALZEMESİ İÇİN SIVAYARAK DELİK
DELME (FLOWDRILL) PROSESİ İLE DİŞ AÇMA VE ALTERNATİF
MALZEME ANALİZİ**

Dilek SÖZÜGÜZEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2007
ANKARA**

**İNCE CİDARLI CM22NBK MALZEMESİ İÇİN SIVAYARAK DELİK
DELME (FLOWDRILL) PROSESİ İLE DİŞ AÇMA VE ALTERNATİF
MALZEME ANALİZİ**

Dilek SÖZÜGÜZEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2007
ANKARA**

Dilek SÖZÜGÜZEL tarafından hazırlanan İNCE CİDARLI CM22NBK MALZEMESİ İÇİN SIVAYARAK DELİK DELME VE ALTERNATİF MALZEME ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Nihat GEMALMAYAN
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans/Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : : Prof. Dr. Bedri TUÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN

Üye : Prof. Dr. Muammer NALBANT

Üye : Prof. Dr. Faruk MENDİ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selim TÜRKBAS

Tarih : 25/01/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Dilek SÖZÜGÜZEL

**İNCE CİDARLI CM22NBK MALZEMESİ İÇİN SIVAYARAK DELME
(FLOWDRILL) PROSESİ İLE DİŞ AÇMA VE ALTERNATİF MALZEME
ANALİZİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Dilek SÖZÜGÜZEL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2007

ÖZET

İnce cidarlı malzemelerde montaj yüzeyine diş açmak için değişik yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden bir tanesi de sıvayarak delik açma yöntemidir. Üretim tesisimizde özellikle seyahat araçlarının ön duvarında 3 değişik yerde bu proses uygulanmaktadır. Proses, işletmede yeni olması sebebiyle diğer montaj deliklerinde henüz %100 olarak oturtulamamıştır.

Proses, üretim tesisimizde belirtilen yerlerde sadece et kalınlığı 3 mm olan CM22NBK profillerde uygulanmaktadır. Bu durumdan hareketle, üretimde yoğun olarak kullanılan St37-2 ve S460MC malzemeleri de seçilerek, bu malzemelerde sıvayarak delik açma (flowdrill) prosesi uygulandığında ortaya çıkan sonuçlar birbirleriyle mukayese edilmiştir.

Ana olarak prosesin uygulanma yöntemi incelenmiş ve sıvama işlemlerinde malzeme çeşidine göre ortaya çıkabilecek problemler analiz edilmiştir. Sıvama işleminden sonra test numunelerine diş açılarak, çatlak kontrolü için çatlak testine alınmıştır. Ardından numunelerin delik dipleri etrafındaki sertlikler incelenmiş ve son olarak tüm test numuneleri çekme test cihazına bağlanarak mukavemet değerleri incelenmiştir.

Farklı malzemeler için uygulanan bu testlerin, farklı kalınlıktaki sonuçlarını da görmek amacıyla 2 mm kalınlığındaki S460MC malzemesine de, aynı testler uygulanmış ve tüm sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Son olarak, diş açma (flowtapping) işlemi ile M8 kılavuz çekilmiş olan bir deliğe civata bağlantısı yapılarak, yük altında civatayı malzemedan sıyıran kuvvetleri kıyaslamak amacıyla özel tasarlanan numune test cihazına bağlanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, tüm yapılan bu testlerin ardından üretimde aktif olarak kullanılan CM22NBK malzemeye alternatif bir malzeme olarak, 2 mm kalınlığında ki S460MC malzemesi önerilmiş, iskelette oluşan ağırlık ve maliyet kazancı ortaya konmuştur. İskelet üzerinde seçilmiş olan ve sıvama yöntemi dışında somun ve lama kaynatılarak elde edilen deliklerin sıvama yöntemiyle elde edilmesi durumunda ortaya çıkan kazanç da ek olarak hesaplanmıştır.

Bilim Kodu	: 914.1.012
Anahtar Kelimeler	: Sıvama, delik delme, diş açma
Sayfa Adedi	: 79
Tez Yöneticisi	: Yrd. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN

**TAPPING AND ALTERNATIVE MATERIAL ANALYZING OF THIN
WALL CM22NBK MATERIAL FLOWDRILL PROCESS**

(M.Sc. Thesis)

Dilek SÖZÜGÜZEL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2007

ABSTRACT

There are different methods of tapping on surfaces of materials that have thin wall. One of these methods is flowdrill process. In the facility, especially during the production process of coach busses' front frame, flowdrill is applied to three different areas. It is not % 100 realized on other frames because it is a new production technique in the facility.

Flowdrill process is applied only to CM22NBK profiles which have 3 mm thicknesses in production lines. From this point of view, it is required to compare and evaluate the results when flowdrill process is applied to St37-2 and S460MC profiles that are used in the production more often than CM22NBK profiles.

Method of flowdrill process is examined essentially and it is analyzed likely problems during bushing operations. After bushing operations, tapping operation is applied to the test samples and bushing formed samples are sent to magnetic particular test. Afterwards, hardness around the flow drill points is examined and then whole test samples are fixed to the tensile test instrument and strength values are analyzed.

Same tests are applied to S460MC profiles which have 2 mm thicknesses and all test results are compared with each other before coming to a conclusion.

Finally, the special sample with inserted bolt into M8 thread is fixed to the tensile test instrument all over again and the force that is teared off the bolt from material is compared with each other.

Consequently, after these tests, an alternative material S460MC which have thickness 2 mm is proposed instead of CM22NBK which has a frequent usage in production and calculated weight and cost gains. The other gain that will be calculated according to process changing which were chosen on the frame from welding nut and plate by flowdrill process.

Science Code : 914.1.012
Key Words : Flowdrill, flowtapping, form bushing, drilling
Page Number : 79
Adviser: : Asist. Prof. Dr. Nihat GEMALMAYAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN'a, üretimde tüm çalışmalarımı rahatlıkla gerçekleştirebilmem için her türlü desteği gösteren MAN TÜRKİYE A.Ş. Eğitim Müdürü Uçak Mühendisi Sn. Nevres ÖZDÜZENCİLER'e, sıvama yöntemiyle delik delme ve diş açma konusundaki tecrübelerini benimle paylaşan Dr. Sn. Celalettin BAYKARA'ya, Parça İmalat Müdür Yardımcısı Makine Mühendisi Sn. Orhan SAKİNCİ'ye ve Parça İmalat çalışanlarına, Laboratuar'da görevli Fizik Yüksek Mühendisi Sn. Funda ERGİN ve Sn. Sinan KAZAN'a, Kalıphane'de görev alan Makine Mühendisi Sn. Suat KARASLAN'a ve kalıphane çalışanlarına, Yüksek Lisans boyunca sabırla desteğini esirgemeyen İş Hazırlama Müdür Yardımcım Sn. Ayhan AKAY'a, manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli arkadaşım Endüstri Mühendisi Sn. Anıl ÖZBEK'e ve öğrenim hayatım boyunca beni her zaman destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER	xvi
1. GİRİŞ	1
2. SIVAMA İLE DELİK DELME PROSESİ	4
2.1. Sıvayarak Delik Delmenin Tarihçesi ve Gelişimi	4
2.2. Sıvayarak Delik Delme İşlemi	5
2.2.1. Başlangıç safhası	7
2.2.2. Malzeme akışı	8
2.2.3. Şekillendirme safhası	8
2.3. Sıvayarak Delmenin Parametreleri	9
2.3.1. Eksenel kuvvet F_x (N)	9
2.3.2. Devir sayısı n (dak^{-1})	11
2.3.3. Tahrik gücü P (kW)	13
2.3.4. Maksimum malzeme kalınlığı	14
2.4. Sıvama Matkabı Tipleri	14
2.4.1. Uzun tip	14
2.4.2. Kısa tip	15
2.4.3. Düz tip	16
2.4.4. Özel şekiller	17
2.4.5. Rem tipi	17
2.5. Kısa Tip Uzun Tip Seçimi	18
2.6. Kılavuzla Sıvama (Flowtap)	20
2.6.1. Döndürme momenti	22

	Sayfa
2.6.2. Kesme hızı	23
2.7. Yağlama.....	24
2.7.1. Sıvama ucunun yağlanması	25
2.7.2. Kılavuz yağlaması	25
2.8. Ömrü Etkileyen Faktörler.....	26
2.9. Sıvayarak Delme ve Kılavuz Çekme İçin Tavsiyeler.....	27
2.9.1. Sıvayarak delme	27
2.9.2. Sıvayarak kılavuz çekme	28
2.10. Arızalar ve Nedenleri	28
2.10.1. Sıvama matkabındaki sorunlar	28
2.10.2. İşlenen parçada sorunlar	28
2.11. CNC Tezgahlarda Sıvayarak Delik Delme.....	29
2.12. İşlenebilir Malzemeler.....	30
2.13. Sıvama İşlemleri İçin Gerekli Donanım.....	31
2.14. Uygulama Alanları	31
3. SIVAYARAK DELİK DELME VE YAPILAN TESTLER.....	34
3.1. Test Numunelerinin Hazırlanması.....	39
3.2. Test Numunelerinin Sıvayarak Delik Delme Prosesine Alınması	39
3.2.1. Sıvayarak delik delme ekipmanları	39
3.2.2. NC matkap tezgahı	41
3.2.3. Sıvayarak delik delme işlemleri	41
3.2.4. Numune testleri.....	47
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
4.1. Sonuç	73
4.2. Öneriler.....	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Farklı kalınlıklardaki St37-2 için ortalama eksenel yükler.....	10
Çizelge 2.2. Farklı devir sayılarının parametreler üzerindeki etkileri	13
Çizelge 2.3. Sıvama ucu ölçüleri	19
Çizelge 2.4. Malzeme kalınlıklarına göre uygulanan max. tork değerleri	23
Çizelge 2.5. Düz uygulama	30
Çizelge 2.6. Standart uygulama	30
Çizelge 3.1. Devir sayıları, ilerleme hızları ve ölçülen sıcaklık değerleri	44
Çizelge 3.2. Test öncesi ölçülen Rockwell sertlik değerleri	50
Çizelge 3.3. Rockwell B sertlik değerleri	51
Çizelge 3.4. Çekme test numuneleri ölçü değerleri	57
Çizelge 3.5. Malzemelerin norm değerleri.....	57
Çizelge 3.6. M8 delinen numunelerin mukavemet değerleri	58
Çizelge 3.7. 3 mm kalınlığında CM22NBK'nın mukavemet değerleri	58
Çizelge 3.8. 3 mm kalınlığında St37-2'nin mukavemet değerleri	59
Çizelge 3.9. 3 mm kalınlığında S460MC'nin mukavemet değerleri	59
Çizelge 3.10. 2 mm kalınlığında S460MC'nin mukavemet değerleri	60
Çizelge 3.11. M8, 8.8 civatanın mukavemet özellikleri	63
Çizelge 3.12. Civataların malzemelerden sıyrılma kuvvetleri	65
Çizelge 3.13. Civataların malzemelerden sıyrılma kuvvetleri	72
Çizelge 4.1. Deney malzemelerinin alış fiyatları	74

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. İnce cidarlı profillerde vidalı yüzey için kullanılan yöntemler.....	2
Şekil 2.1. Cıvata – yatak – lehim bağlantıları	5
Şekil 2.2. Sıvama matkabı kesit şekli	6
Şekil 2.3. Başlangıç safhasındaki ilerleme kuvveti-yol arasındaki ilişki.....	7
Şekil 2.4. Malzeme akışı sırasında ilerleme kuvveti-yol arasındaki ilişki.....	8
Şekil 2.5. Şekillendirmenin sonunda ilerleme kuvveti-yol arasındaki ilişki.....	9
Şekil 2.6. İlerleme kuvveti – sıvama ucu çapı arasındaki ilişki	10
Şekil 2.7. İlerleme kuvvetinin tespiti	11
Şekil 2.8. Devir sayısı – sıvama ucu çapı arasındaki ilişki	11
Şekil 2.9. Tahrik gücü – sıvama uç çapı arasındaki ilişki.....	14
Şekil 2.10. Uzun tip sıvama matkabının kesit görünüşü.....	15
Şekil 2.11. Kısa tip sıvama matkabının kesit görünüşü	16
Şekil 2.12. Düz tip sıvama matkabının kesit görünüşü.....	16
Şekil 2.13. Geniş uç açılı sıvama matkabının kesit görünüşü.....	17
Şekil 2.14. Rem tipi sıvama matkabının kesit görünüşü.....	18
Şekil 2.15. Malzeme kalınlığına göre kısa-uzun tip seçimi	20
Şekil 2.16. Sıvama ve kılavuzla dış açma işleminin kesit görünüşü.....	20
Şekil 2.17. Kesme ve dönme hızları şematik gösterimi	23
Şekil 3.1. Seyahat araçları ön duvar 3 boyutlu görünümü	35
Şekil 3.2. Sıvama işleminde malzemenin plastik şekil değiştirmesi.....	41
Şekil 3.3. Sıvama sonrası malzeme sıcaklıkları	46
Şekil 3.4. Deliklerin solundaki Rockwell B sertlik değerleri	53
Şekil 3.5. Deliklerin sağındaki Rockwell B sertlik değerleri.....	53

Şekil	Sayfa
Şekil 3.6. Çekme numunesi.....	57
Şekil 3.7. Numunelerin çekme kuvveti değerleri.....	60
Şekil 3.8. Numunelerin uzama değerleri.....	63
Şekil 3.9. Civataların sıyrılma kuvvetleri	66

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Ön tampon tutucuları için delik yerleri	2
Resim 1.2. Taban iskeleti profili	3
Resim 1.3. Far kapağı tutucusu	3
Resim 2.1. Basınç Tankları	32
Resim 2.2. Basınç tankları	32
Resim 2.3. Yağ boruları	33
Resim 2.4. Soğutma sistemleri.....	33
Resim 3.1. Seyahat araçları şoför cam mekanizması tertibatı	36
Resim 3.2. Seyahat araçları ön duvar ön torpido	37
Resim 3.3. Seyahat araçları takograf ve otomatik vites tutucusu	38
Resim 3.4. Sıvama ekipmanları	40
Resim 3.5. Sıvama işlemi.....	42
Resim 3.6. Sıvama işleminden sonra civata yüzeyi ile temas edecek yüzey	43
Resim 3.7. Sıvama işleminden sonra civata dişleri ile temas edecek yüzey	43
Resim 3.8. Sıvamadan sonra kılavuzla diş açılması	47
Resim 3.9. Manyetik parçacık testi.....	48
Resim 3.10. Rockwell sertlik cihazı.....	52
Resim 3.11. Çekme deneyi ve test numunesinin kopması	56
Resim 3.12. Sıyırma testi için hazırlanan örnek numune ve M8, 8.8 civata.....	64
Resim 3.13. Özel tasarlanmış numunenin çekme testi.....	64
Resim 3.14. Civatanın malzemeden sıyrılmış hali.....	65
Resim 3.15. CM22NBK 2. test numunesin sıyrılmadan sonraki makro yapısı	67
Resim 3.16. M8, 8.8 test civatasının sıyrılmadan sonraki makro yapısı.....	68

Resim	Sayfa
Resim 3.17. Özel tasarlanmış 2. test numunesi.....	69
Resim 3.18. 2. tip test numunesinin çekme test cihazına bağlanması	69
Resim 3.19. Çekme testi sonrası numune ve civata	70
Resim 3.20. Çekme testi sonucu delik yüzeyinin makro görüntüsü	71
Resim 3.21. Çekme testi sonucu M8, 8.8 civatanın makro görüntüsü.....	71

SİMGELER

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Kuvvetin uygulandığı alan
cm	Santimetre
d	Sıvama ucu çapı
dak	Dakika
dev	Devir
F	Kuvvet
F_{ax}	Eksenel kuvvet
g	Gram
h_{max}	Maksimum malzeme kalınlığı
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
kW	Kilowatt
n	Devir sayısı
N	Newton
Nm	Newton metre
P	Tezgah gücü
t	İşlem süresi
T	Malzeme sıcaklığı
V	Kesme hızı
W	Açısal hız
σ	Mühendislik çekme gerilmesi
\$	Dolar

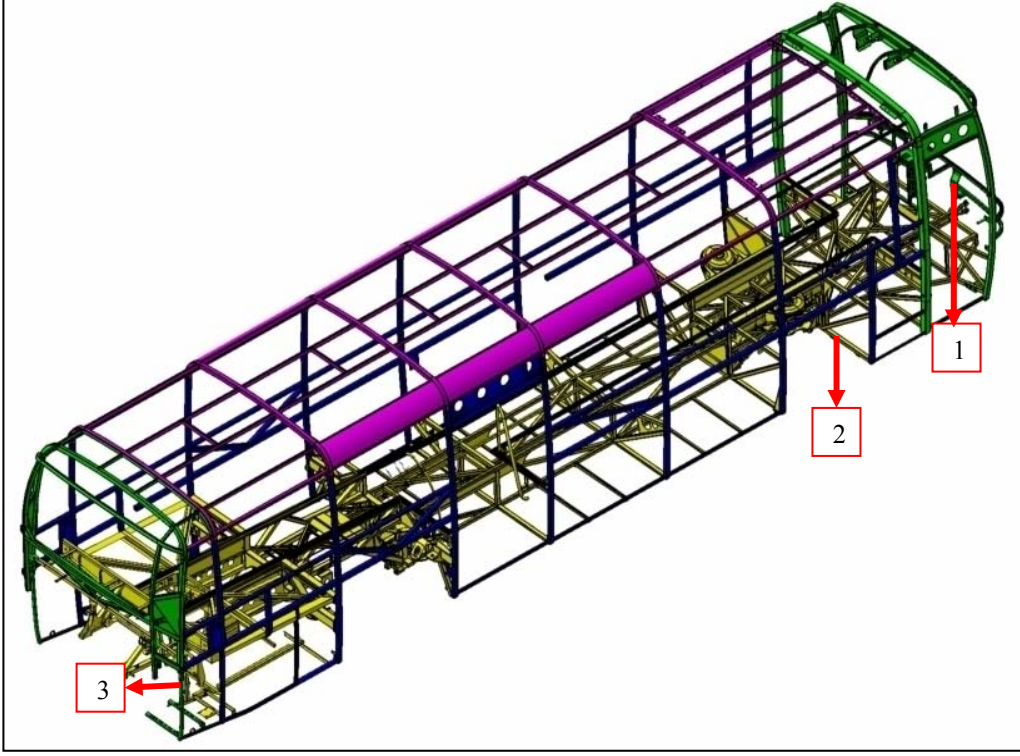
1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaşamını daha rahat ve kolay geçirmek amacıyla sürekli üretim araçları olan makine ve aletleri geliştirmeye çalışmışlardır. Gelişmeler ağır çalışma şartlarına (yüksek sıcaklık, yüksek hız vs.) uyum sağlayarak düşük enerji kayıplı, uzun ömürlü makine tasarımını zorunlu hale getirmiştir.

Üretim işlemlerini şekillendirme ve montaj olarak 2 ayrı sınıfta değerlendirecek olursak daha düşük işçilik süreleri ve daha az malzeme israfı ile düşük maliyet, yüksek kalite her üretim tesisinin ana amacıdır.

Sıvayarak delik açma prosesi de üretim süreci olarak bu ana unsurları olumlu yönde etkileyen bir yöntemidir. İnce cidarlı malzemelere bir vida montajı yapabilmek amacıyla, malzemedan talaş kaldırmaksızın diğ açmak için, malzemenin yığılması ve daha mukavim bir malzeme elde etmek adına, önemli bir adımdır. Bu durumda montaj yüzeyi için vidalı yüzey elde etmek adına, ek bir malzeme kaynatmaya, puntalamaya veya perçinlemeye gerek kalmayacaktır. Böylece ek malzeme maliyetleri düşürölerek üretim süreleri de düşürölümüş olacaktır. Bu durumda, bahsi geçen avantajlara ek olarak, meydana gelecek olan kaynak gerilmelerini de elimine edecek bir proses olması nedeniyle, sıvayarak delme prosesi diğ er ince cidarlı malzemelerde vidalı yüzey oluşturmak için uygulanan yöntemlere göre bir adım daha öne geçmektedir.

Üretim tesisinde otobüs iskeletinde ince cidarlı malzemelerde montaj prosesini gerçekleştirmek için çoğunlukla somun ya da ek malzeme kaynatma yoluna gidilmektedir. Şekil 1.1’de görölubileceğı üzere tez sonucuna göre tespit edilen bu yerlerde sıvayarak delik delme analizinin yapılması gerekliliğı de ortaya konacak ve bu proseslerin, sıvayarak delik delme prosesine çevrilebilmesi için Teknik Departmanı ile tüm görüşmeler gerçekleştirecek ve maliyetleri de ortaya konacaktır.



Şekil 1.1. İnce cidarlı profillerde vidalı yüzey için kullanılan yöntemler [1]

Resim 1.1’de gösterildiği üzere, (Bkz. Şekil 1.1.1 numaralı bölge) vidalı yüzey elde etmek için, bir yüzeyi kesilmiş profilin içine, 3 mm kalınlığında kılavuz açılmış lama kaynatılmaktadır.



Resim 1.1. Ön tampon tutucuları için delik yerleri [1]

Resim 1.2’de ise, (Bkz. Şekil 1.1, 2 numaralı bölge), 3 mm kalınlığındaki ince saca Ø8 mm somun puntalanmaktadır.



Resim 1.2. Taban iskeleti profili [1]

Resim 1.3’de ise, (Bkz. Şekil 1.1, 3 numaralı bölge), far kapağı tutucusunun montajının yapılabilmesi için Ø10 mm somun puntalanmaktadır.



Resim 1.3. Far kapağı tutucusu [1]

2. SIVAMA İLE DELİK DELME PROSESİ

Teknolojinin gelişmesi ile beraber malzemelerin işlenmesi için daha modern proseslerin geliştirilmesi gerekliliği ortaya konmuştur. Dış çekilmiş yüzey elde etmek adına talaş kaldırarak delik delme, kılavuz açılmış ek malzeme kaynatma, perçinleme vs. esaslı üretim yöntemlerinin yerlerini hızla daha ergonomik bir yöntem olan, talaş kaldırmaksızın şekillenen sıvayarak delik delme prosesi almaktadır. Fakat bu yöntemi uygulamak için malzemenin cinsi, kalınlığı, kullanılma yeri bu yöntemi seçmenin önemli kriterleridir. Özellikle ince cidarlı malzemelerde dış açma gerektiğinde bu yöntem alternatiflerine (perçin-somun, kaynak-somun vb.) oranla daha avantajlı bir proses olarak ortaya çıkmaktadır.

Perçin somun prosesi için, perçin somunun, perçin tabancası işletim sistemine benzeyen pnömatik bir el aleti ile belli bir basınç altında perçin somunu ince cidarlı malzemeye sıkıştırır ve perçin somun ile ince cidarlı malzeme kompakt bir yapıya dönüşür. Perçin somun alüminyum ve çelik malzemelerden üretilerek uygun iş parçalarında kullanılabilir ve sıvama matkabında açılan düz ve havşa başlı delikler gibi düz ve havşa başlı perçin somunlar mevcuttur. M 4'den M 8'e kadar perçin somunlar kullanılmaktadır. Düz kafalı perçin somun 0,25-5,5 mm kalınlığında, havşa başlı perçin somun ise 1,5-6,5 mm kalınlığındaki malzemelere kullanılabilir [2].

2.1. Sıvayarak Delik Delmenin Tarihçesi ve Gelişimi

Jean Claude de Valliere 1923 yılından beri, Fransa'daki küçük atölyesinde ince çelik saclara matkaplarla delik delme yerine sürtünme enerjisini kullanarak delik açacak bir alet geliştirmeye çalışmıştır.

Birçok denemeden sonra, başarılı olmuşsa da bazı nedenlerden dolayı ticari bir kullanım söz konusu olmamıştır. Bunun sebepleri:

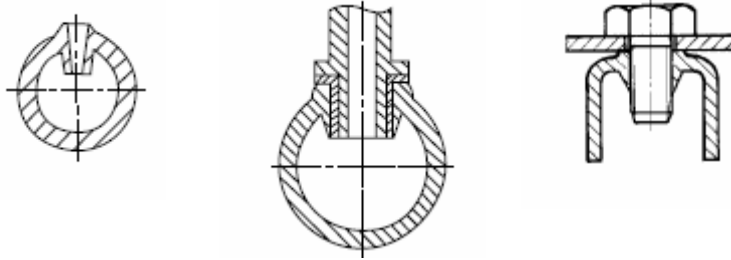
1. Bu işleme uygun sert metal daha mevcut değildi.
2. İşleyici takımların geometrisi bilinmiyordu.

3. Sert metallerin işlenmesi için gerekli elmas taşları daha mevcut değildi.
4. Tasarlanmış karmaşık profili işleyebilecek tezgahlarda mevcut değildi.

Sıvama matkabının ticari başarısı ancak 60 yıl sonra tüm bu sorunların giderilmesinden sonra gerçekleşebilmiştir.

Sıvama matkapları poligon şeklinde taşlanmış sert metal takımlardır. Oldukça yüksek bir devir ve aksenal kuvvetle ince bir metal yüzeye bastırıldığında oluşan sürtünme ısısı malzemeyi plastik şekillenmeye zorlar. Ve sıvama matkabı kolaylıkla malzemenin içinde ilerler. Bu sırada bir delik oluşur ve özellikle aşağı doğru akmaya zorlanan malzeme bir kovan şekline sokulur. Bu kovanın boyu esas malzeme kalınlığının yaklaşık 3-5 katı kadardır.

İnce cidarlı bölgelerde yüksek bir vida sıyırma mukavemetine sahip civata bağlantıları, geniş yüzeyli yataklama yerleri veya lehim ve kaynak bağlantıları gibi birçok uygulama sayılabilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Civata – yatak – lehim bağlantıları [3]

Söz konusu metot uzun zamandır başarıyla uygulanmaktadır. Optimum sonucun elde edilebilmesi için kullanıcının bu metodu, çeşitli sıvama matkap tiplerini ve gerekli tezgah değerlerini bilmesi gerekir [3].

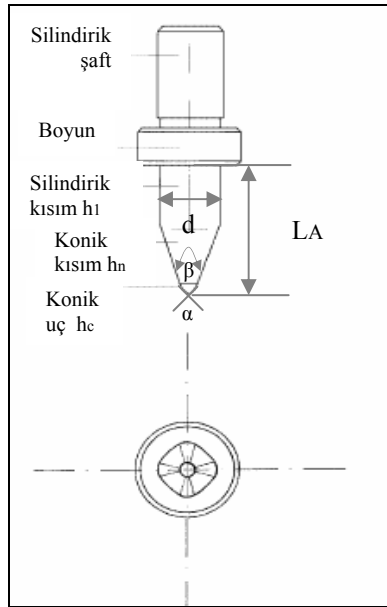
2.2. Sıvayarak Delik Delme İşlemi

Öncelikle bundan sonraki açıklamalarda standart bir sıvama matkabının esas alındığı belirtilmelidir.

Sıvama matkabının sürtünmeyi yaratan ucu koniktir. Bu konik kısım bir silindirik kısma bağlıdır. Konik ve silindirik kısım sıvama matkabının işleyen parçasını oluşturur.

Bu işleyen parçanın üzerinde, sıvama işlemi sırasında sıvama yönünün tersine doğru yükselen birikime sızdırmazlık halkası olarak şekil veren boyun; onun da üzerine sıvama matkabının pens içinde sıkışmasını sağlayacak silindirik şaft vardır (Şekil 2.2).

Konik ve silindirik kısmın poligon kesiti, sıvama işlemi sırasında çok önemi bir rol oynar. Sıvama matkabı, özellikle bu iş için özel geliştirilmiş aşınmaya ve sıcaklık değişikliklerine karşı çok mukavim bir malzemeden imal edilmiştir [3].



Şekil 2.2. Sıvama matkabı kesit şekli [3]

Konik uç: Konik şekilli ucun α açısı ve h_c yüksekliği vardır. Bu açı genel olarak dişsizdir. Dişsiz olmasının etkisi daha fazla güç ve delme başlangıcında ısı oluşmasına sebep olur. Konik uç, helezon matkap ağ dokusu gibi, delme prosesindeki sürtünme için teğetsel yönleri destekler ve takımı prosesin başlangıcında korur.

Konik kısım: Bu kısım konik uçtan daha geniş açığa sahiptir. Bu bölgedeki delik, iş parçasına sürtünme kuvveti ve ısıyı ileterek, iş parçasının sıvama ile şekil vermede ovalama görevi görür. Konik kısımdaki açı β , yükseklik ise h_n olarak gösterilir.

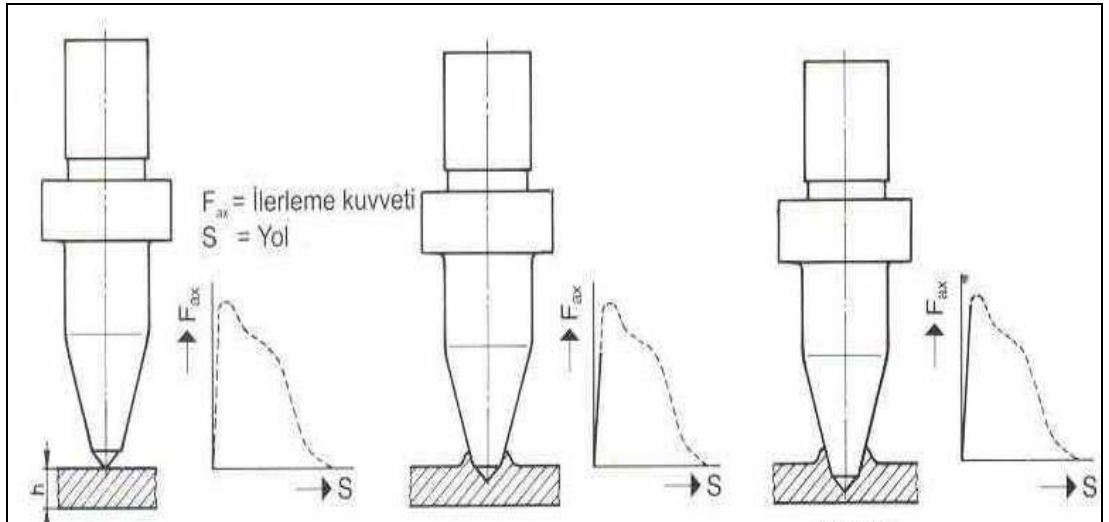
Silindirik kısım: Bu kısım deliğin forme verme ve sıvama ile şekillendirilmesine yardımcı olur. Silindirik kısmın çapı d , yüksekliği ise h_1 olarak gösterilir.

Boyun: Bu kısım iş parçasının delik ve sıvama kısmında ki başlangıç kenarı etrafına temas edip şekillendirebilir.

Silindirik şaft: Bu kısım ise sıvama takımının, tezgahın takım tutucusuna sabitlenmesini sağlar [4].

2.2.1. Başlangıç safhası

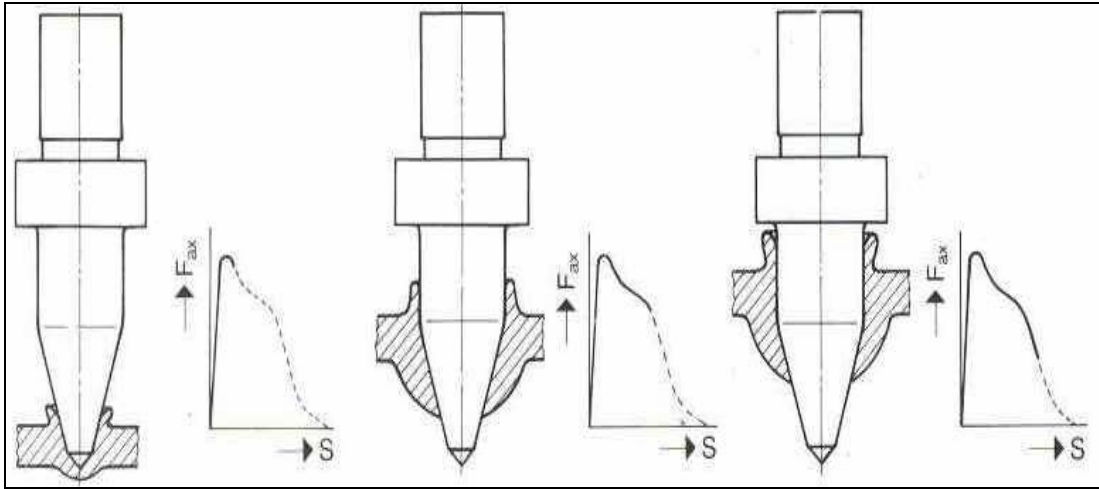
Sıvama matkabı ve işlenecek parça arasında yeterli sürtünme ısısının oluşabilmesi için, oldukça yüksek bir eksenel kuvvete ve yüksek bir devir sayısına ihtiyaç vardır. Parçanın üst yüzeyine kadar F_{ax} sürekli artar (Şekil 2.3) [3].



Şekil 2.3. Başlangıç safhasındaki ilerleme kuvveti-yol arasındaki ilişki [3]

2.2.2. Malzeme akışı

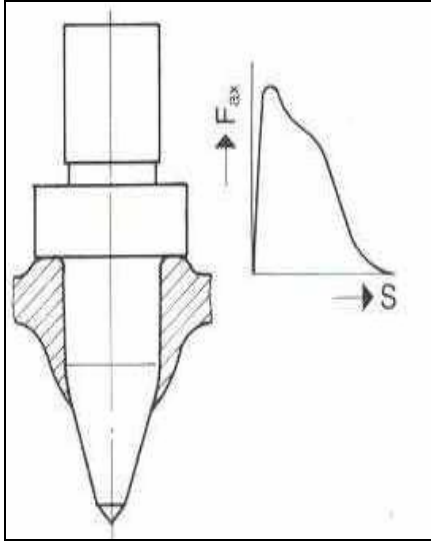
Parçadan eriyerek ayrılan malzeme öncelikle ilerleme yönünün tersine doğru akacaktır. Matkap ucunun parçayı tamamen deldiği andan itibaren ise bu akış, ilerleme yönünde olacaktır. F_{ax} ilerleme kuvveti azalırken ilerleme hızı artacaktır (Şekil 2.4) [3].



Şekil 2.4. Malzeme akışı sırasında ilerleme kuvveti-yol arasındaki ilişki [3]

2.2.3. Şekillendirme safhası

Matkabın iş parçasını oluşturan konik ve silindirik kısım, malzemeyi tamamen deler. F_{ax} ilerleme kuvvetinin değeri sıfıra kadar düşerken, aynı zamanda matkabın boynu, ilerleme yönünün tersine akmış malzemeye sızdırmazlık halkası şeklinde bir form verir (Şekil 2.5) [3].



Şekil 2.5. Şekillendirmenin sonunda ilerleme kuvveti-yol arasındaki ilişki [3]

Bu şekilde oluşturulan kovanın tipi ve geometrisi, deliğin çapına ve matkabın konik kısmının silindirik kısmına oranına bağlıdır [3].

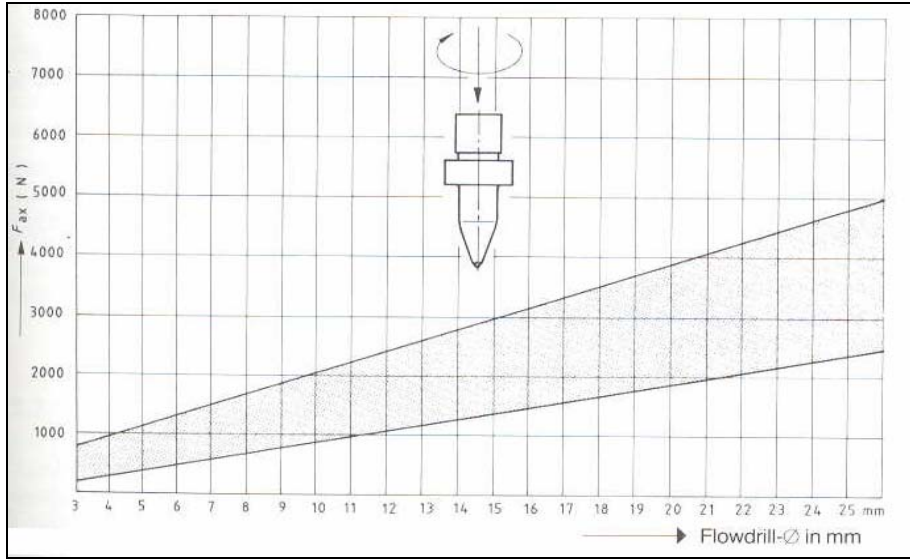
2.3. Sıvayarak Delmenin Parametreleri

- Eksenel (ilerleme) kuvvet F_{ax} , (N)
- Devir sayısı n , (dak^{-1})
- Tezgah gücü P , (kW)
- Maksimum malzeme kalınlığı h , (mm)

gibi değerler, sıvama matkabının çekirdek çapına göre belirlenir [3].

2.3.1. Eksenel kuvvet F_{ax} (N)

Eksenel kuvvetin değeri matkabın çekirdek çapına göre değişir. Sıvama matkabı sıcaklığının yükselmesiyle, eksenel kuvvetin değeri düşecek ve ilerleme hızı artacaktır (Şekil 2.6). Yapılan deneylerde, farklı malzemelerdeki test numunelerine farklı ilerleme hızları ve devir sayılarında sıvama ile delik delme işlemleri uygulanmış (sabit tahrik gücünde, 5 kW), bunun sonucunda da sıvama ile delinen deliğin kovan yapıları karşılaştırılmıştır [3].



Şekil 2.6. İlerleme kuvveti – sıvama ucu çapı arasındaki ilişki [3]

Çizelge 2.1. Farklı kalınlıklardaki St37-2 için ortalama aksenal yükler [5]

Malzeme Kalınlığı [mm]	Ortalama Aksenal Yük [N]							
	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
1,0	450	780						
1,5		1130	1080					
2,0	1010	1410	1500	1800				
3,0			2650	3400	4650	5250	6200	6300
4,0				5000	6500	7900	8600	9100
5,0						8000	8150	10000

Eksenal kuvvetin fazla yüksek olması;

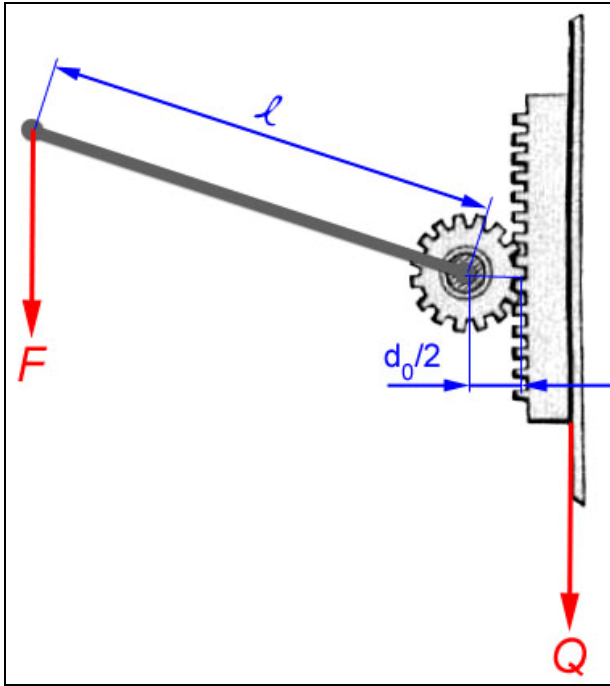
- Isının hızla yükselmesine ve bunun sonucu olarak sıvama matkabında termik gerilimlere yol açacaktır.
- Sıvama matkabının mekanik olarak zorlanmasına yol açacaktır.
- Sıcaklığın fazla yükselmesine sebep olacak, bu da malzeme dokusunu olumsuz yönde etkileyecektir.

Eksenal kuvvetin fazla düşük olması;

- Yavaş bir ısınmaya ve daha düşük termik gerilmelere,

- Gerekli ısınma sürecinin uzamasına, sıvama matkabının işlem sırasında çok ısınmasına,
- Sıvama matkabının ömrünün bu aşırı ısınmadan dolayı kışalmasına sebep olacaktır.

Yapılan testlerde ilerleme kuvvetinin tespiti için Şekil 2.7’de gösterilen mantıkla hareket edilmiştir.



Şekil 2.7. İlerleme kuvvetinin tespiti [1]

Matkap koluna ağırlık asılarak sıvama ucunun parçayı delmesi sağlanmıştır. İşlem 5 numaralı St37-2 numunesine uygulanmış ve Çizelge 2.1’de verilen değerlerle birebir uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

F: Matkap koluna uygulanan kuvvet (N)

Q: İlerleme kuvveti (N)

L : Matkap kol uzunluğu (mm)

$d_0/2$: Kremiyar pinyon bölüm dairesi yarıçapı (mm)

$$F \times L = d_0/2 \times Q \quad (2.1.)$$

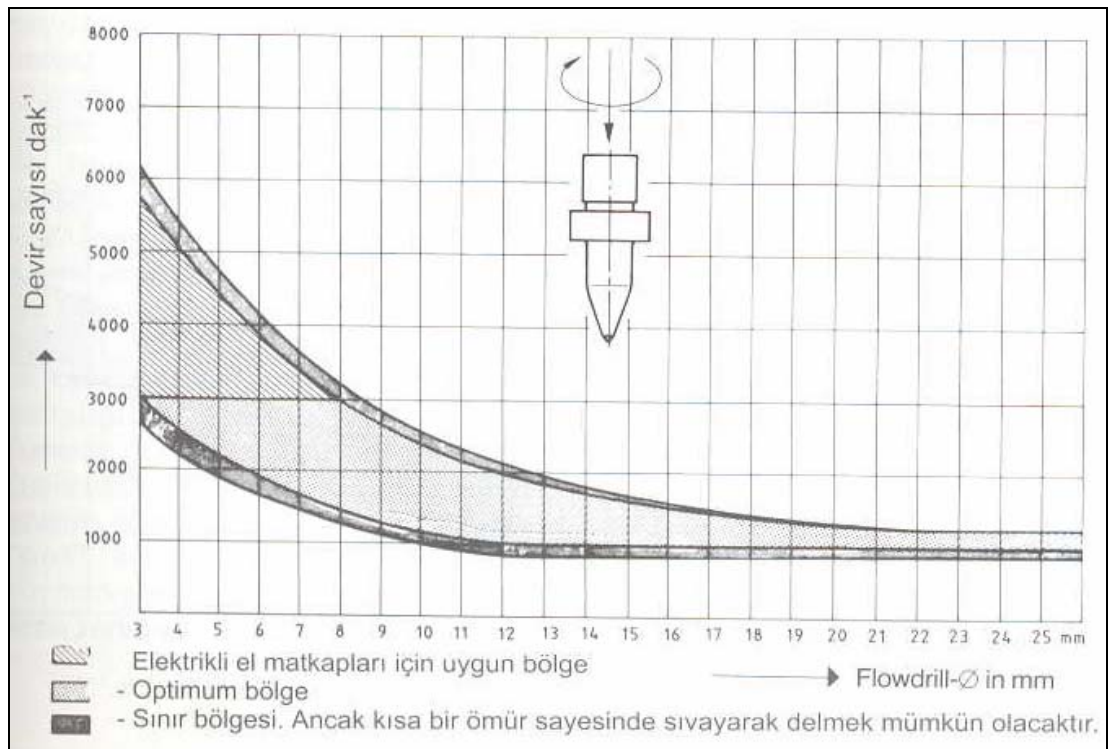
$$65 \times 235 = 45 \times Q$$

$$Q = 340 \text{ kg} = 3335 \text{ N}$$

2.3.2. Devir sayısı n (dak^{-1})

Sıvama matkabının ömrünün uzun olabilmesi için devir sayısı, mümkün olabildiğince düşük seçilmelidir.

Öncelikle çekirdek matkap çapının ölçüsüne bağlı olan devir sayısı, malzeme kalınlığına ve malzemenin cinsine de bağlıdır. Aşağıdaki grafik düşük alaşımlı çelikler esas alınarak hazırlanmıştır (Şekil 2.8). Daha yüksek alaşımlı çelikler ve paslanmaz çelikler daha düşük devir sayılarına ihtiyaç duyarlar ki; bu da doğal olarak matkabın ömrünü kısaltır. Demir dışı malzemeler ise daha yüksek devir sayılarına ihtiyaç duyarlar [3].



Şekil 2.8. Devir sayısı – sıvama ucu çapı arasındaki ilişki [3]

Yanlış seçilmiş bir devir sayısının etkisi, daha önce açıklanan uygun olmayan bir eksenel kuvvetin etkisine benzer. Bir örnek üzerine farklı devir sayılarının etkilerini Çizelge 2.2’de gösterilmiştir;

Çizelge 2.2. Farklı devir sayılarının parametreler üzerindeki etkileri [3]

Malzeme kalınlığı (h)	2 mm	2 mm
Sıvama matkabının çapı	7.3	7.3
Devir sayısı (n)	3000 dak ⁻¹	1700 dak ⁻¹
İşlem süresi (t)	1.5 sn.	3 sn.
Matkabın sıcaklığı (t)	800°C	700°C

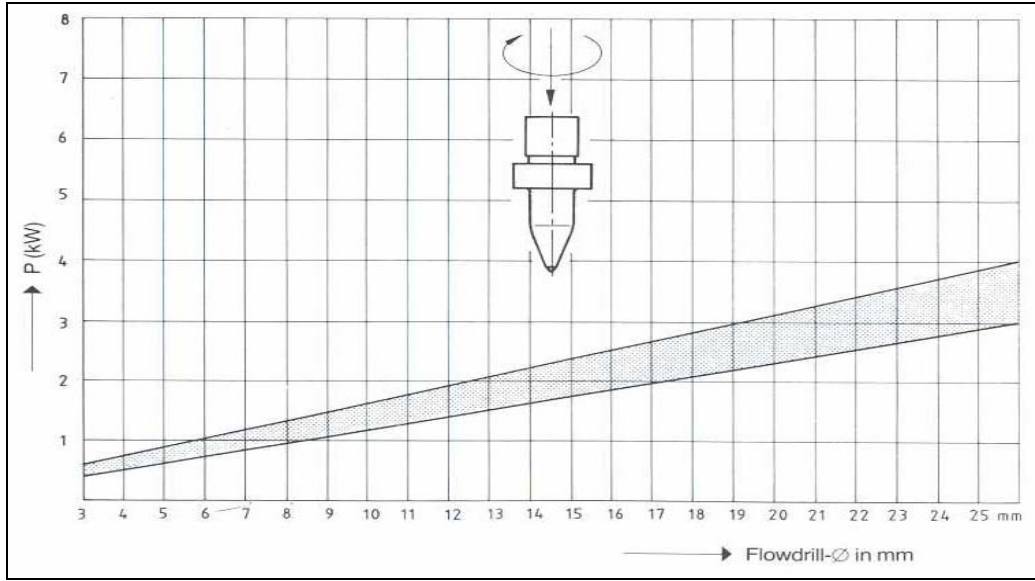
2.3.3. Tahrik gücü P (kW)

Geniş kapsamlı laboratuvar deneyleri sonucunda, matkap çapına bağlı olarak gerekli maksimum mil tahrik gücü belirlenmiştir (Şekil 2.9).

Çekirdek delik çapı ve devir sayısı kombinasyonu güç karakteristiğini oluşturur.

Yeterli tahrik gücüne ve devir sayısına sahip olduğu sürece, piyasada mevcut matkap tezgâhlarının çoğu sıvayarak delik delme işleminde kullanılabilir [3].

Otobüs ön iskeletinde uygulanan sıvama ile delik delme işlemleri ile ilgili laboratuvar deneylerinde, $t=3$ mm kalınlıktaki deney numunelerine M8 diş açılması planlanmıştır. Buradan hareketle Şekil 2.9’daki Sıvama Uç Çapı-Tahrik Gücü grafiği dikkate alındığında, yapılması düşünülen deneyde kullanılan matkap tezgahının minimum 1.3 kW tahrik gücünde olması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak işletme bünyesinde mevcut 5 kW tahrik gücüne sahip matkap tezgahının sıvama ile delik delme işlemleri için yeterli olduğuna karar verilmiştir. Deneyler farklı test numuneleri için sabit tahrik gücünde (5 kW) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.9. Tahrik gücü – sıvama uç çapı arasındaki ilişki [3]

2.3.4. Maksimum malzeme kalınlığı

İşlenebilir maksimum malzeme kalınlığı (h_{max}) sıvama matkabının çapı ile doğru orantılıdır.

Daha kalın malzemeler veya daha yüksek alaşımlı malzemeler işlenirken matkap ömrünün de daha düşük olacağı önceden bilinmelidir [3].

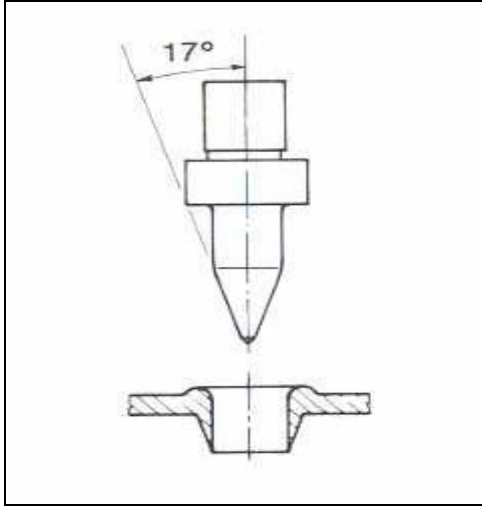
2.4. Sıvama Matkabı Tipleri

Sıvama matkaplarını uzun tip, kısa tip, düz tip, özel şekiller ve rem tipi olmak üzere 5 grupta sınıflandırabiliriz.

2.4.1. Uzun tip

Sıvama matkabının sürtünmeyi yaratan poligon kesitli konik ucu, yine poligon kesitli uzun bir silindirik kısma bağlıdır (Şekil 2.10).

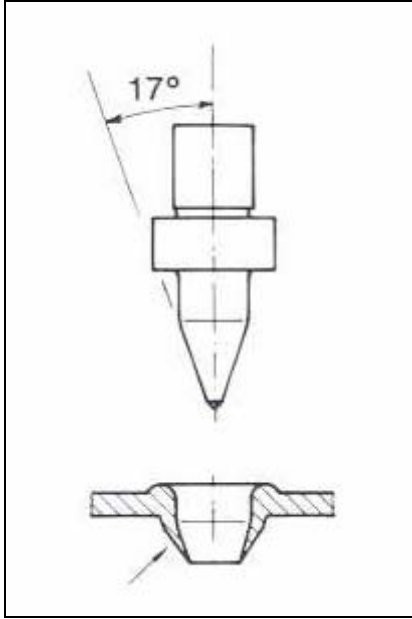
Sıvama işlemi sonunda düz boyun sayesinde sıvama yönünün tersine doğru akarak yükselmiş birikime “sızdırmazlık halkası” şeklinde bir form verilir [3].



Şekil 2.10. Uzun tip sıvama matkabının kesit görünüşü [3]

2.4.2. Kısa tip

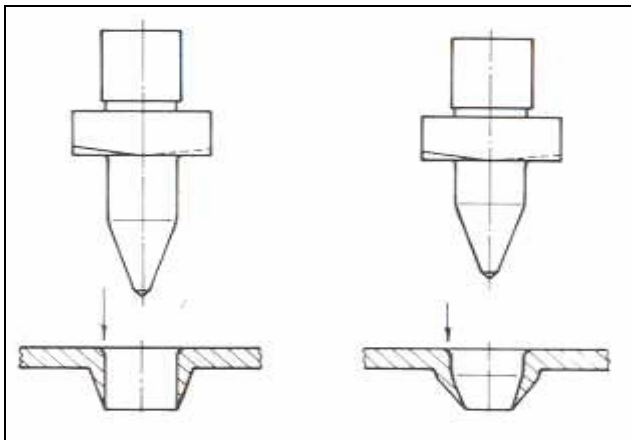
Uzun tipe kıyasla bu tipte, poligon kesitli silindirik kısmın boyu daha kısadır (Şekil 2.11). Bu matkap tipi ile şekillendirilen kovanlar genellikle konik olup, delinen kısımdaki malzemenin kalınlığı bitime doğru inceldikçe kovan daralacaktır. Bu tip, özellikle sıvama kılavuzu ile beraber kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Kovanın bu şekli kılavuzun düzgün bir şekillendirme işlemi yapmasına imkan verecektir. Bu şekilde açılan dişlerin formu çok düzgün olup, yüksek bir sıyrma mukavemetine sahiptir. Malzeme kalınlığının daha fazla olduğu hallerde sonradan kılavuz çekilecekse uzun tiplerin kullanılması tavsiye edilir. Bu tür uygulamalarda kısa tipin kullanılması halinde kovanın ucundaki daralma, kılavuzu fazla zorlayabilir [3].



Şekil 2.11. Kısa tip sıvama matkabının kesit görünüşü [3]

2.4.3. Düz tip

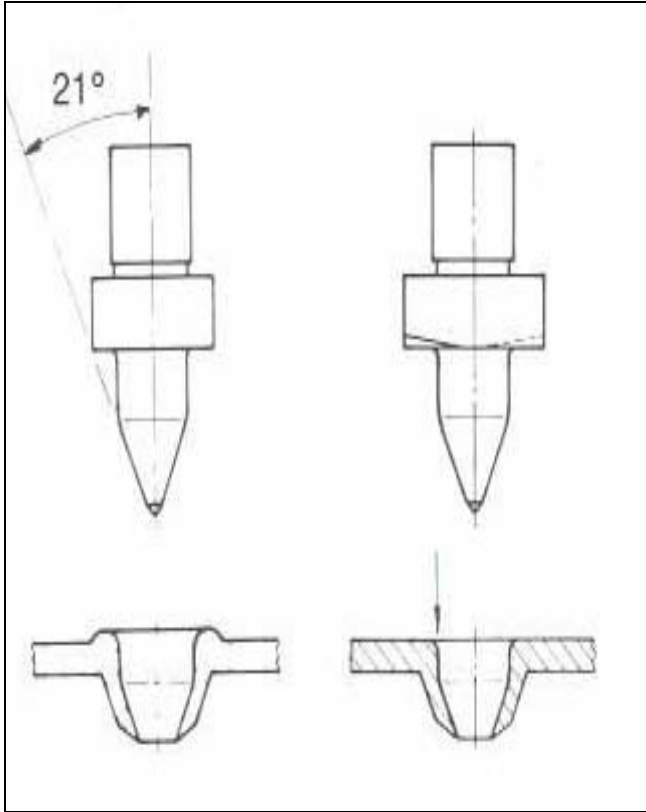
Bu tip yukarıda bahsedilen uzun ve kısa tipin her ikisi ile de kombine edilebilir. Boynunda yer alan taşlanmış kesiciler sayesinde tersine akmış malzemeyi talaş kaldırarak ayırır ve böylece işlenen parçanın üzeri düz traşlanmış olur (Şekil 2.12) [3].



Şekil 2.12. Düz tip sıvama matkabının kesit görünüşü [3]

2.4.4. Özel şekiller

Bazı durumlarda işlenecek parça çok ince olabilir veya bir boru kesiti standart sıvama matkap boyları için yeterli olmayabilir. Böyle hallerde daha geniş uç-açılı sıvama matkapları kullanılır (Şekil 2.13) [3].



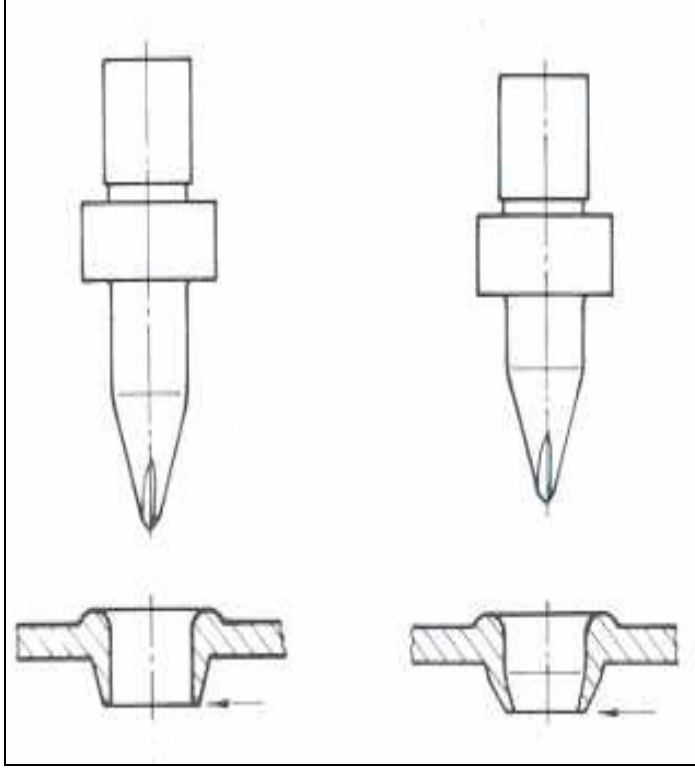
Şekil 2.13. Geniş uç açılı sıvama matkabının kesit görünüşü [3]

2.4.5. Rem tipi

Bu tipte sıvama matkabının konik kısmının her iki tarafında matkabın ucuna doğru inen kesici kenarlar bulunmaktadır. (Şekil 2.14). Bu kesici kenarlar sayesinde ilerleme kuvveti yaklaşık 1/3 oranında azaltıldığı için bu uygulama el matkapları için çok uygundur.

Bu tipin diğer bir uygulama sahası da galvanizlenmiş yüzeylerdir. Yüzeyindeki kaplamanın ilk safhada ayrışmasıyla, bu katmanda yer alan çabuk eriyen

malzemelerin yağlama etkisi önlenmiş olur. REM tipi şimdiye kadar tarif edilmiş tüm tipler ile kombine edilebilir [3].



Şekil 2.14. Rem tipi sıvama matkabının kesit görünüşü [3]

2.5. Kısa Tip Uzun Tip Seçimi

Yukarıda ayrı ayrı tarif edilen sıvama matkaplarında bahsedildiği gibi kısa tip özellikle sonrasında flowtap kılavuzu ile diş açılacak durumlar için geliştirilmiştir. Fakat daha kalın malzemelere diş açmak istendiğinde uzun tip daha uygundur. Bu tür uygulamalarda kısa tipin kullanılması halinde yoğun malzeme birikimi dolayısıyla kovanın ucunda daralma, kılavuzu fazla zorlayabilir.

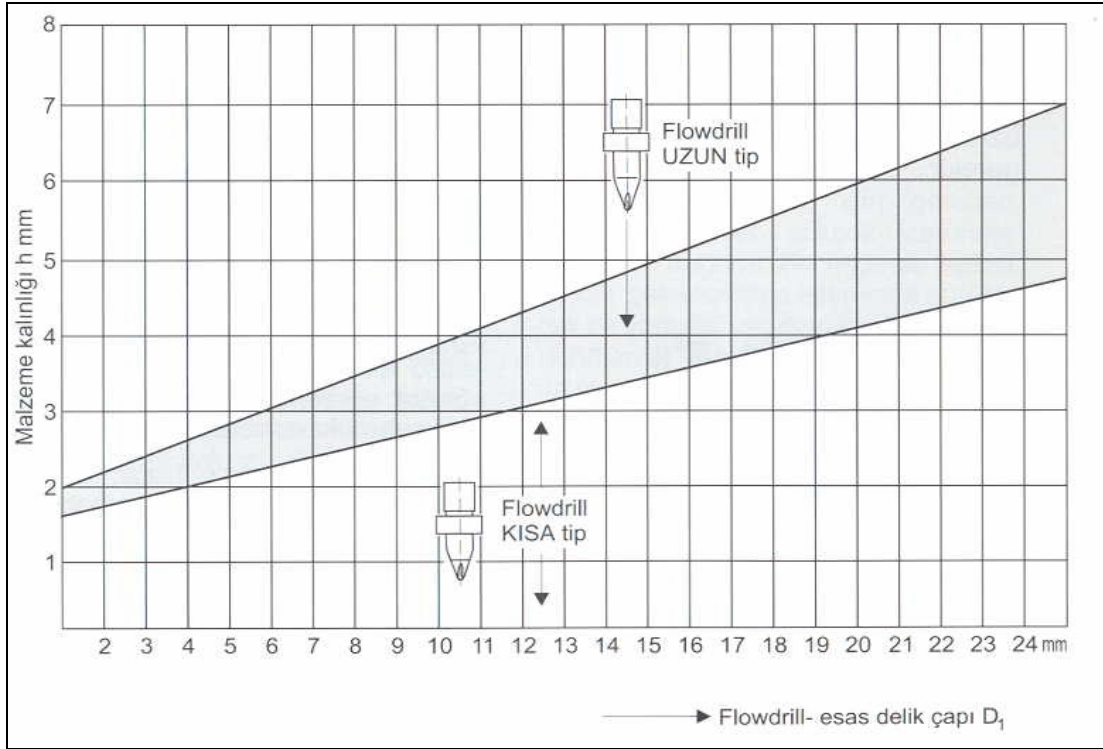
Şekil 2.2 dikkate alındığında uzun tip ve kısa tip sıvama ucu için sıvama çapı ve konik kısım – silindirik kısım – konik ucu ölçüleri Çizelge 2.3’de belirtilen ölçülerinden anlaşılabilir [5].

Çizelge 2.3. Sıvama ucu ölçüleri [5]

	D [mm]	La
M4 - kısa	3,7	7,8
M4 - uzun	3,7	10,3
M5 - kısa	4,5	9,2
M5 - uzun	4,5	11,8
M6 - kısa	5,4	10,5
M6 - uzun	5,4	13,8
M8 - kısa	7,3	13,5
M8 - uzun	7,3	18,1
M10 - kısa	9,2	16,8
M10 - uzun	9,2	22,5
M12 - kısa	10,9	19,8
M12 - uzun	10,9	26,4
M16 - kısa	14,8	26,9
M16 - uzun	14,8	35,4
M20 - kısa	18,7	34,3
M20 - uzun	18,7	44,5

Şekil 2.15’de gösterilen grafikte, matkap çapına bağlı olarak kısa tipin kullanılabileceği maksimum malzeme kalınlığı görülebilmektedir. Bu değerlerin üzerindeki malzeme kalınlıklarında uzun tip kullanılmalıdır [3].

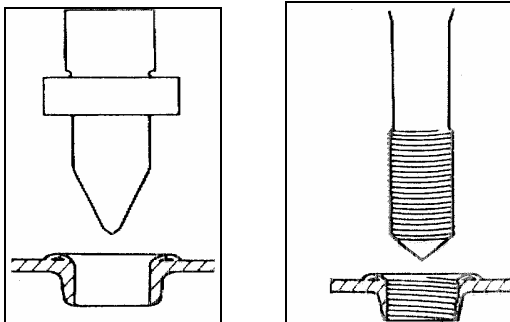
Yapılması planlanan sıvama ile delik delme deneylerinde, $t=3$ mm kalınlığındaki farklı malzemedeki test numunelerine M8 kılavuz çekilmesi planlanmıştır. Şekil 2.15 dikkate alındığında bu değerler için uzun tip sıvama ucu seçimi yapılmıştır.



Şekil 2.15. Malzeme kalınlığına göre kısa-uzun tip seçimi [3]

2.6. Kılavuzla Diş Çekme (Flowtap)

Sıvama matkaplarının en yoğun kullanıldığı uygulama ince cidarlı sac veya borularda delik açarak, bunları kılavuz çekilebilecek bir duruma getirmektir. Kılavuz çekme işlemi doğal olarak piyasadaki herhangi bir kılavuzla yapılabilecekse de, sıvanarak delinmiş delik ile bütünleşmesi açısından, soğuk şekillendirme ile diş çeken flowtap kılavuzu tavsiye edilir.



Şekil 2.16. Sıvama ve kılavuzla diş açma işleminin kesit görünüşü [3]

Kılavuz ile soğuk şekillendirme, talaşları elimine eden, kılavuz kırmalarını azaltan ve iş parçalarının kalitesini iyileştiren bir yöntem olması nedeniyle, endüstride ivme kazanan bir yöntem haline gelmiştir.

Soğuk şekil veren kılavuzlar, yuvarlanma basıncı ile dış oluşturmaya benzer bir aksiyonla iç dişler üreten metal kaldırmadan daha ziyade yer değiştirir. Şekil 2.16'da soğuk şekil veren kılavuzun bir örneği görülebilir. Kılavuz ne yivlere, nede kesici kenarlara sahiptir.

Soğuk şekillendirme ile kılavuz açma hemen hemen konvesyonel kılavuz açabilen tüm tezgahlar ile yapılabilir [6].

Şekil verici kılavuzlar, talaş kaldıran kılavuzlar gibi ısı açığa çıkartmazlar. Bunlar ısıyı kılavuzun ve iş parçasının içine doğru dağıtırlar. Sonuç olarak, bu tip kılavuzların kullanılmasıyla ilgili en önemli düşünce, kılavuz ve iş parçası arasındaki sürtünmenin artıyor olmasıdır.

Kılavuzla sıvama işlemi sıvayarak delik delme işlemine çok benzese de, belirgin ölçüde daha düşük sıcaklıkta çalışır.

Sıvama matkabının çapı, dış derinliğini ve de vidanın sıyırma mukavemetini belirler. Kılavuzla sıvamanın alışlagelmiş diş açmaya göre avantajları şunlardır;

- Yabancı, ilave bir malzemeye ihtiyaç yoktur.
- Malzemenin bütünü korunurken, talaş kaldırılmadığından malzemede herhangi bir zayıflama olmaz.
- Kesintisiz bir malzeme akışı olur.
- Soğuk şekillendirme sayesinde daha yüksek mukavemet değerleri meydana gelir.
- Daha yüksek kesme hızları ve bu şekilde daha düşük imalat zamanları oluşur.
- Kesiksiz düzgün vida sayesinde diş kapama sorunu olmaz.
- Yüksek ömür değerleri ve bununla birlikte sorunsuz bir otomasyon imkanı olur.
- Her türlü mevcut diş açma tertibatında kullanılabilir [3].

2.6.1. Döndürme momenti

Kılavuzla sıvama için gerekli döndürme momenti diş ölçüsüne, delik çapına, malzeme cinsine ve yağlamaya bağlıdır.

Alışılmış diş açmaya kıyasla kılavuzla sıvamada %20 daha fazla bir döndürme momentine ihtiyaç duyulur. Vida bağlantısının çok yüksek mukavemet değerlerine sahip olması istenirse ve bu yüzden kovan konikliğinin artması halinde, döndürme momentinin değeri iki katına çıkabilir [3].

Yapılan sıvama ile delik delme deneyleri sırasında matkap tezgahında, sıvama ucunun ortaya koymuş olduğu tork değeri aşağıdaki formülden hesaplanmıştır [7].

$$P = T \times \omega \quad (2.1.)$$

P: Tezgah Gücü (kW)

T: Tork (Nm)

ω : Açısal hız (1/s)

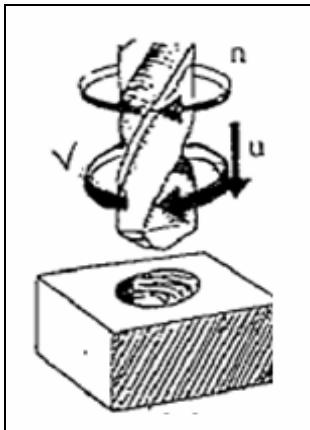
Yapılan deneylerde Tork değeri, t=3 mm St37-2 plaka; matkap tezgahının 1.3 kW'lık (1,3 kW Flowdrill Firması'nın referans gösterdiği tezgah parametresidir) uygun gördüğü sabit tahrik gücü ve max. 2000 dev/dak devir sayısı için hesaplanmıştır. Bulunan 39 Nm'lik Tork değerinin, hesaplamada kullanılan veriler için, Çizelge 2.4'de sınırlar arasında olduğu görülmüştür.

Çizelge 2.4. Malzeme kalınlıklarına göre uygulanan max. tork değerleri [3]

Torque (Nm)							
Material: Steel St37							
(mm)	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16
1.0	5	8					
1.5		11	17				
2.0	9	13	20	28			
3.0			27	50	66	136	197
4.0				67	98	163	
5.0						269	

2.6.2. Kesme hızı

Geleneksel matkap tezgahlarında; helisel bir yapıya sahip, genellikle yüksek hız çeliklerinden (HSS) yapılmış delme işleminde, kesme ve ilerleme hareketi, takımın dönmesi (n) ve ilerlemesi (U) ile gerçekleşir (Şekil 2.16) [8]. Geleneksel matkap tezgahlarının çoğunda sıvayarak delik delme işlemi gerçekleştirilebildiği için, matkapla delik delme işlemi için kullanılan formüller benzer şekilde bu proses içinde kullanılabilir.



Şekil 2.17. Kesme ve dönme hızları şematik gösterimi [8]

Matkap tezgahı ile uygulanan sıvayarak delik delme işleminde; sıvama işlemi matkabın dönme hareketine bağlı olduğundan, kesme hızı;

$$V = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ (mm/dak)} \quad (2.2.)$$

bağıntısı ile bulunur [8].

Bu formülde;

V: Kesme hızı (mm / dak)

D: Konik uç çapı (mm)

N: Devir sayısı (dev / dak)

t=3 mm kalınlığındaki St37-2 malzeme deney numunesine uygulanan M8 sıvama işlemi için 2000 dev/dak'daki kesme hızı;

$$V = \frac{\pi \times 7,3 \times 2000}{1000} = 45 \text{ mm/dak olarak hesaplanmıştır.}$$

Kılavuzla sıvamada homojen bir malzeme akışı elde etmek için uygulanan işlem hızı, normal diş açma işlemlerinde uygulanan kesme hızlarının en az %100 üzerindedir [3].

2.7. Yağlama

İki yüzey birbirini ile temas ettiği zaman yük, yüzey üzerindeki birçok nokta tarafından taşınır. Sürtünme kuvvetini düşürmeye ve kaymayı kolaylaştırmaya izin vermek için, bir yağ topluca ya da kısmi olarak, geçişlere tatbik edilir.

Yağ ekipmanın korunması ve ömrünü uzatması aşağıdaki önemli noktalar ile ifade edilebilir.

- Yağlama; hareket eden parçalar arasına bir yağ tatbik edilerek, sürtünme düşürülür.
- Soğutma; ekipmanın kritik parçalarından, ısının dağıtılmasına yardımcı olur.

- Temizlik ve askıya alma; karbon, koyulaşmış yağ ve vernik gibi tortuların ortadan kaldırılması ve askıya alınmasıyla, cihazın sarsıntısız çalışmasını kolaylaştırır.
- Koruma; oksidasyona ve korozyona sebep olan metal zararlarını önler [9].

2.7.1. Sıvama ucunun yağlanması

Sıvayarak delik delme işlemi için özel yağlar geliştirilmiştir. Bu yağlar belli aralıklarla ince bir yağ tabakası halinde sürülmelidir. Özellikle sıvama matkabının konik kısmı ile silindirik kısmı arasındaki geçişin ve boyun kısmının düzenli olarak yağlanması tavsiye edilir. Düzenli bir yağlama;

- Matkabın çalıştığı sıcaklığı düşürür ve dolayısıyla ömrünü uzatır.
- Sıvama matkabında malzeme birikmesini ve yapışmasını önler.
- Aşınmayı azaltır.
- Şekillendirilmiş kovanın yüzey kalitesini iyileştirir.
- Temiz şekillendirilmiş bir kenarın oluşmasını sağlar [3].

Sıvama ucunun yağlanması için yarı yarıya FTMZ yağı ve FD-KS yağı karıştırılarak uygun bir karışım elde edilir. Yağların data sheetlerinden alınan bilgilere göre , FTMZ yağı açık kahverengi renginde olup yoğunluğu 20°C’de $0,945 \pm 0,01$ g/cm³’dür [10], viskozitesi ise 40 °C’de 350 mm²/S’dir [11]. FD-KS ise beyaz renkli macun kıvamında olup 20 °C’de yoğunluğu 17 g/cm³’dür [12].

2.7.2. Kılavuz yağlaması

Soğuk şekillendirme için gereken yüksek kuvvetler, yüksek sürtünme kuvvetlerini doğurur. Bu nedenle kaliteli ve her şekillendirme işleminde sürülecek bir yağa ihtiyaç duyulur. Bu sayede döndürme momenti düşürülür ki, bu da sıvama kılavuzunun ömrünü olumlu yönde etkiler. Ayrıca şekillendirilmiş vidanın yüzey kalitesi iyileşmiş olur [3].

Sülfirik ve klorik yağlar soğuk şekillendiren yağlar için tercih edilir. Diğer akışkanlar genel olarak metal kesme operasyonları ve diş açma işleri için tercih edilir.

2.8. Ömrü Etkileyen Faktörler

Sıvama matkabının ömrünü etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar;

1. Sıvama matkapları çok yüksek sıcaklıklarda bile mukavemet özelliklerini koruyacak şekilde özel geliştirilmiş sert metal malzemelerden imal edilmişlerdir. Fakat bu malzeme aşırı sıcaklık değişikliklerine karşı hassas olduğundan sıvama matkabının ani ısınması veya soğuması önlenmeye çalışılmalıdır.
2. Kırılgan bir malzeme olan sert metal takım, işlenecek parçaya yumuşakça temas ettirilmelidir. Muhafaza ederken veya taşınırken darbelerden sakınılmalıdır.
3. Matkabın iş parçasına girmesi sırasında çok yüksek burulma kuvvetleri oluşur. Eksenel kuvvet ve ilerleme hızı fazla yüksek seçilmiş ise matkap iş parçasını deldikten sonra birden bir boş kaldığında yorulma kırılmalarına neden olabilir.
4. Çok yüksek seçilmiş bir eksenel kuvvet ilk anda matkabı burulmaya zorlayıp yine kırılmasına sebep olabilir.
5. Sıvayarak delme işleminin ara vermeden süreklilik içerisinde tamamlanmasına dikkat edilmelidir. Malzemenin büzüşmesi matkabın kırılmasına sebep olabilir.
6. İyi yataklanmamış bir tezgah mili veya eskimiş pensler, sıvama matkabının tam ekseninde dönmemesine, buda matkabı kırılabilir kesme kuvvetlerine neden olabilir.
7. Takımın aşınması veya yabancı malzemelerin sıvama matkabına yapışması, sıvanarak açılmış bir kovanın kalitesini azaltacaktır. Bu birikimler düzenli olarak bir ege ile temizlenmelidir.

8. Yağ ile her 1.-5. delmede yapılacak bir yağlama, takımların ömrünü belirgin bir şekilde arttıracaktır.
9. Sıvama matkabının çalışma sıcaklığı mümkün oldukça düşük tutulmalıdır.
10. Düz tip kullanılırken devir sayısı yaklaşık %25 düşürülmelidir.
11. Delme işlemi seri ve malzeme içinde duraklamadan yapılmalıdır. Özellikle düz tip uygulamalarında, kesici uçların aşınmaması için bu noktaya dikkat edilmelidir.
12. Bir pens veya soğutma halkalı bir pens tutucu yardımıyla iş parçası ve makine pinölü aşırı ısınmaya karşı korunmalıdır [3].

2.9. Sıvayarak Delme ve Kılavuz Çekme İçin Tavsiyeler

Burada verilecek bilgiler işlemin kalitesi için dikkate alınmasında önemli olan bilgilerdir.

2.9.1. Sıvayarak delme

Sıvayarak delmede işlem süresi, devir sayısı ilerleme hızı ve eksenel kuvvet olmak üzere 4 kriter önemlidir [3].

İşlem süresi

“1 sn, + her mm için 1 sn. daha” maksimum işlem süresini verecektir. Bu basit kural, 12 mm’lik delik çapına kadar geçerlidir. Daha kalın malzemelerde daha uzun bir işlem süresine ihtiyaç duyulursa da bu süre 10 sn’yi geçmemelidir [3].

Devir sayısı

Delik çapına ve malzeme kalınlığına göre belirlenmelidir [3].

İlerleme hızı ve eksenel kuvvet

İlerleme hızı ve eksenel kuvveti, malzeme cinsine, kalınlığına bağlı olarak yapılan geniş çaplı laboratuvar deneyleri ile saptanmıştır. Yapılan testlerde, matkap tezgahının özelliklerine göre ilerleme hızları kademeli olarak arttırılmıştır. Eksenel kuvvet ise Bölüm 2.3.1’de belirtildiği gibi deneysel olarak da saptanmıştır [3].

2.9.2. Sıvayarak kılavuz çekme

Sıvayarak kılavuz çekmede ise en önemli kriter merkezlemenin doğru yapılması kaydıyla yağdır. Deliğin değil de, kılavuzun yağlanması yaygın olarak yapılan bir hatadır. Kılavuz açılacak delik yağ ile sıvanmalıdır [6].

2.10. Arızalar ve Nedenleri

2.10.1. Sıvama matkabındaki sorunlar

Sıvama matkabında merkezleme yapılmamasının sebepleri;

- Mil yatağında aşınma olması,
- Penslerin aşınması,
- İlerleme hızının çok yüksek seçilmiş olması,
- Devir sayısının çok düşük seçilmiş olması, nedenleriyle ilintili olabilir.

Sıvama matkabının çok fazla ısınması;

- Devir sayısının çok yüksek olması, nedeniyle olabilir.

Sıvama matkabının renginin açık kırmızı ile açık sarı arası bir renkte olması;

- İlerleme hızının düşük olması, nedeniyle olabilir [3].

2.10.2. İşlenen parçada sorunlar

Kovanın yırtılması aşağıdaki durumlarla bağlantılı olabilir;

- Eksenel kuvvet ile ilerleme hızı oranının başlangıç safhasında çok yüksek olması,
- Mil devir sayısının fazlasıyla düşük olması,
- Tekrar delmek veya Rem Tipi yardımcı olabilir.

Kovanın ağzındaki halkanın yırtılması;

- İş bitiminde matkap ilerlemesinin fazla yavaş olmasından kaynaklanır.

Sıvama matkabında kıvılcımlar oluşması;

- Sıvama matkabı merkezlenememektedir.

Kovan boyunca rengin değişmesi;

- İlerleme hızı çok düşük olması,
- Devir sayısının çok yüksek olması [3].

2.11. CNC Tezgahlarda Sıvayarak Delik Delme

Takım ile işlenen parça arasında gerekli miktarda sürtünme ısısının oluşabilmesi için, işlemin başlangıcındaki eksenel kuvvetinin çok yüksek olması gerekir. İlerleme hızı o aşamada sıfırdır. Malzemede plastik şekillendirme başladığı andan itibaren, sıvama matkabının ve işlenen parçanın ısınmasına bağlı olarak, matkap malzemeyi tamamen delinceye kadar ilerleme hızı arttırılabilir. Gerekli ilerleme hızı manuel olarak belirlenebilir.

Yukarıda anılan proses nümerik kontrollü tezgahlarda simülasyonu için, işleme çok düşük bir ilerleme hızı ile başlamalı ve prosesin sonuna kadar dengeli bir şekilde arttırılmalıdır.

Tüm veriler delik çapı devir sayısı, malzeme cinsi ve malzeme kalınlığına bağlı olarak değişir. Ancak doğru verilerin tespiti basit deney ve gözlemlerle mümkündür.

Söz konusu değerleri belirlerken hedef, bütün işlem boyunca matkabın koyu kırmızı bir renkte sabit kalmasını sağlamaktır.

İlerleme hızı için bir örnek vermek gerekirse, kısa tip 5,4 ‘lük sıvama matkabı ile 1,6 mm kalınlığında St37 olan bir malzemeye yapılacak bir işlemi ele alalım (Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6) [3].

Çizelge 2.5. Düz uygulama [3]

0-2 mm	150 mm/dak
3-4 mm	250 mm/dak
5-8 mm	350 mm/dak
9-10 mm	1000 mm/dak

Çizelge 2.6. Standart uygulama [3]

0-2 mm	150 mm/dak
3-4 mm	250 mm/dak
5-8 mm	350 mm/dak
9-10 mm	250 mm/dak

2.12. İşlenebilir Malzemeler

Genel olarak, boyuna talaş kaldırmaya müsait tüm malzemelerin sıvama ile delme işlemine uygun olduğu söylenebilir. İnce cidara sahip tüm tüm kayna edilebilir, alaşımlı veya alaşımsız çelikler, alüminyum alaşımları, bakır, bronz, manyetik malzemeler ve özel alaşımlar sıvama ile delinebilir.

Sıvayarak delik delinebilen tüm malzemelerde flowtap-sıvama kılavuzu ile çalışmakta mümkündür. Malzemenin işlenebilirliği, esnemeye yatkınlığı ile artar. Özellikle uygun olan malzemeler şunlardır.

- Alaşımlı ve alaşımsız çelikler (paslanmaz ve aside mukavim çelikler de dahil olmak üzere), çekme gerilmesi yaklaşık 700 N/mm²,
- Demir dışı metaller (CuZn₄₀Pb₂ gibi kırılgan malzemeler hariç),

- Si oranı %5'in altında olan hafif metaller [3].

2.13. Sıvama İşlemleri İçin Gerekli Donanım

Sıvama için gerekli olan donanımlar; sıvama matkabı, yağ, takımı tezgah milinde taşıyacak olan pens koniği, pens, sıvama kılavuzu ve tüm sistemi düzgün bir şekilde muhafaza edecek bir çanta. Takımların ömrü, daha öncede belirtildiği gibi sıvayarak delik delme etkisi dışında kalan ve işlemeye dayanan faktörlere bağlıdır.

2.14. Uygulama Alanları

Sıvayarak delik delme işlemi için sayısız örnek bulunmaktadır. Aşağıda ayrıca birkaç örnek belirtilmiştir.

- Çok düzgün bir yuvaya ihtiyaç duyan geniş yüzeyli lehim bağlantıları (ısı değiştirici tabanları),
- Yüksek mukavemetli kaymalı yataklar (güneş enerjili sistemlerdeki katlama mekanizmaları),
- Rulman veya kaymalı yatakların ince cidarlı borulara oturtulmasında,
- Diş açmada.

Son belirtilen uygulama sahası en sık rastlanani olduğu için bunun üzerinde biraz daha detaylı durmak gerekir. Birkaç uygulamayı şekilsel vermek gerekirse [3];



Resim 2.1. Basınç tankları [3]



Resim 2.2. Basınç tankları [3]



Resim 2.3. Yağ boruları [3]



Resim 2.4. Soğutma sistemleri [3]

3. SIVAYARAK DELİK DELME VE YAPILAN TESTLER

Bölüm 2.6’da verilen bilgilere göre sıvayarak delik delme prosesinin alışagelmış delik delme yöntemleriyle kıyaslandığında ne kadar avantajlı bir proses olduğu görülmektedir.

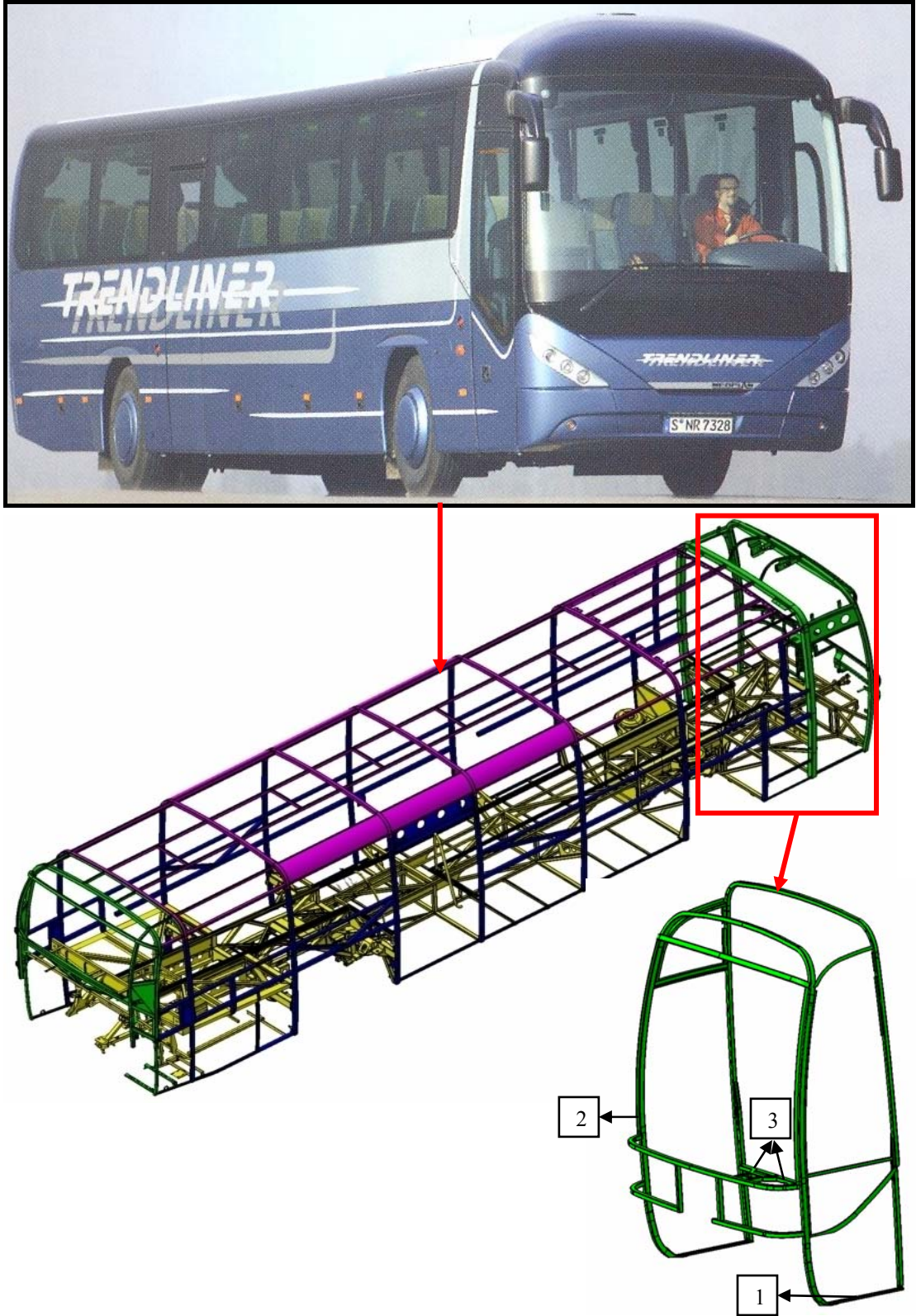
Bu kapsamda tez çalışmasına başlamadan önce, tesiste bu prosesin nerelerde kullanıldığı analiz edilmiş ve Şekil 4.1’de seyahat araçlarının ön duvarında kullanıldığı resim gösterilmiştir.

Otobüsün farklı yerlerinde ise yine ince cidarlı malzemelerde kılavuz açılmış delik elde etmek için farklı yöntemler kullanıldığı tespit edilmiştir. Yapılan deneylerin ardından, bu bölümlerde uygulanan proseslerinde sıvayarak delik delme prosesine çevrilmesi için Teknik Departmanı ile görüşülerek değişiklik çalışmaları için teklif verilecektir. Böylece dişli yüzey elde etmek için profile plaka kaynatmak, somun kaynatmak gibi prosesler bertaraf edilerek malzeme maliyetleri, proses zamanları ve araç ağırlığı düşürülecektir.

Şekil 3.1’de seyahat aracı ve bu araca ait ön duvar resmi görülmektedir. Burada;

1. Şoför cam mekanizması tertibatı
2. Ön torpido
3. Sol taraf takograf tutucusu, sağ taraf ise otomatik vites tutucusu

montajları yapılmaktadır. Bütün profillerin malzemeleri CM22NBK olup et kalınlığı ise 3 mm’dir.

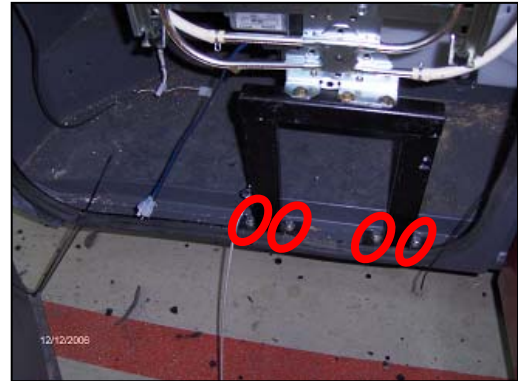


Şekil 3.1. Seyahat araçları ön duvar 3 boyutlu görünümü [1]

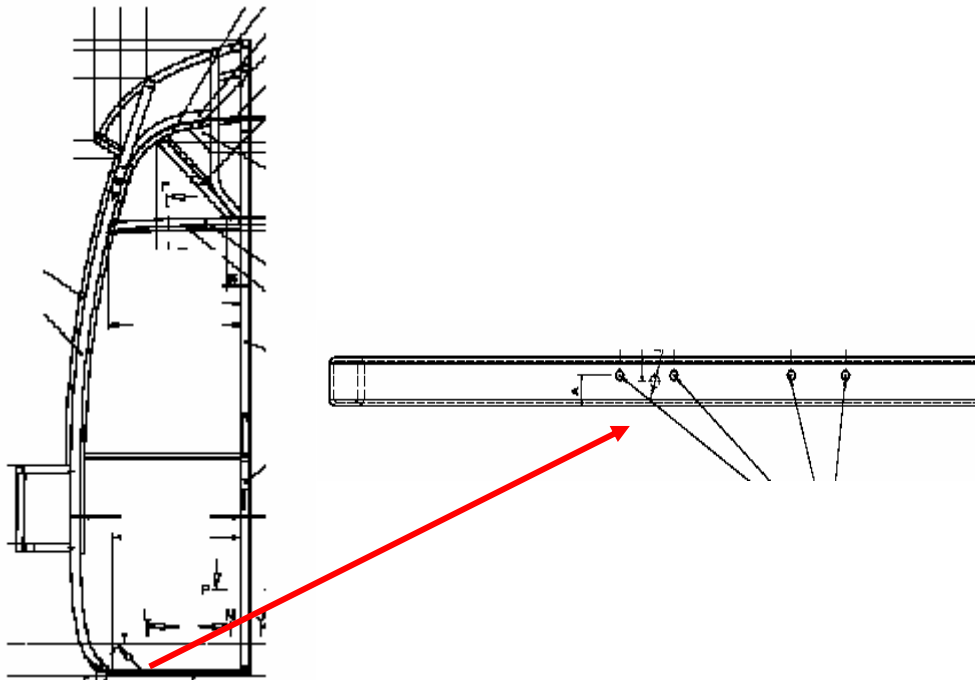
Şekil 3.1’de gösterilen şoför cam mekanizması tertibatı montaj resimleri delik fonksiyonları Resim 3.1.a’da montaj öncesi resmi, Resim 3.1.b’de montaj sonrası resmi, Resim 3.1.c’de ise teknik resim çizimi gösterilmiştir. Tesis kuralları çerçevesinde, teknik resim ölçüleri gizli kalması gerektiğinden bu ölçüler teze yansıtılmamıştır.



(a)



(b)



(c)

Resim 3.1. Seyahat araçları şoför cam mekanizması tertibatı a) Sıvama metodu ile delinen delikler, b) Montaj resmi, c) Teknik resim [1]

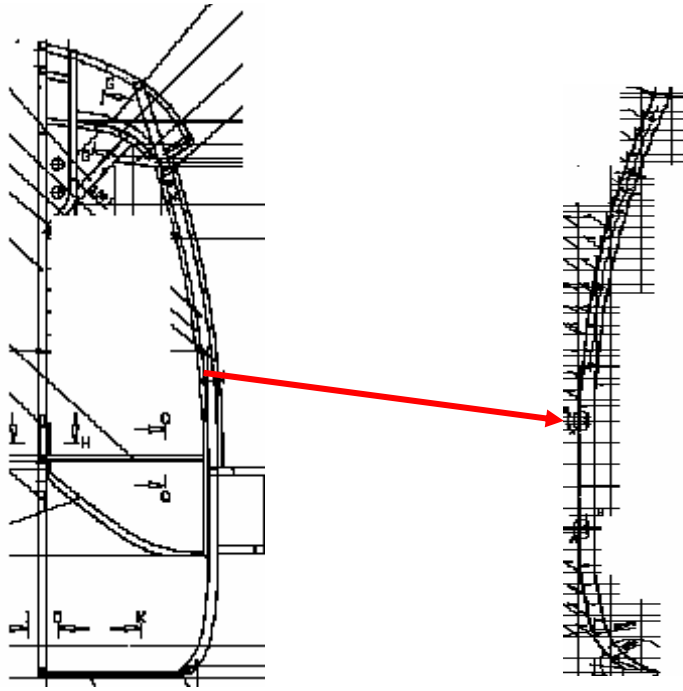
Şekil 3.1’de gösterilen ön torpido montaj resimleri delik fonksiyonları Resim 3.2.a’da montaj öncesi resmi, Resim 3.2.b’de montaj sonrası resmi, Resim 3.2.c’de ise teknik resim çizimi gösterilmiştir.



(a)



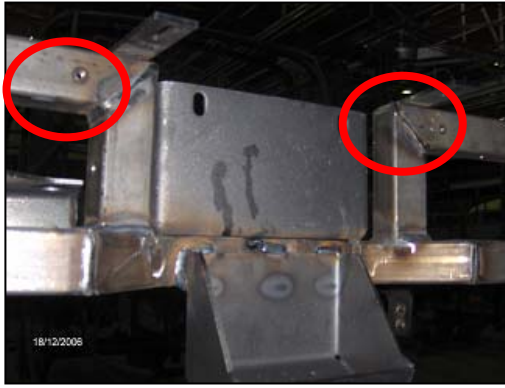
(b)



(c)

Resim 3.2. Seyahat araçları ön duvar ön torpido a) Sıvama metodu ile delinen delikler, b) Montaj resmi, c) Teknik resim [1]

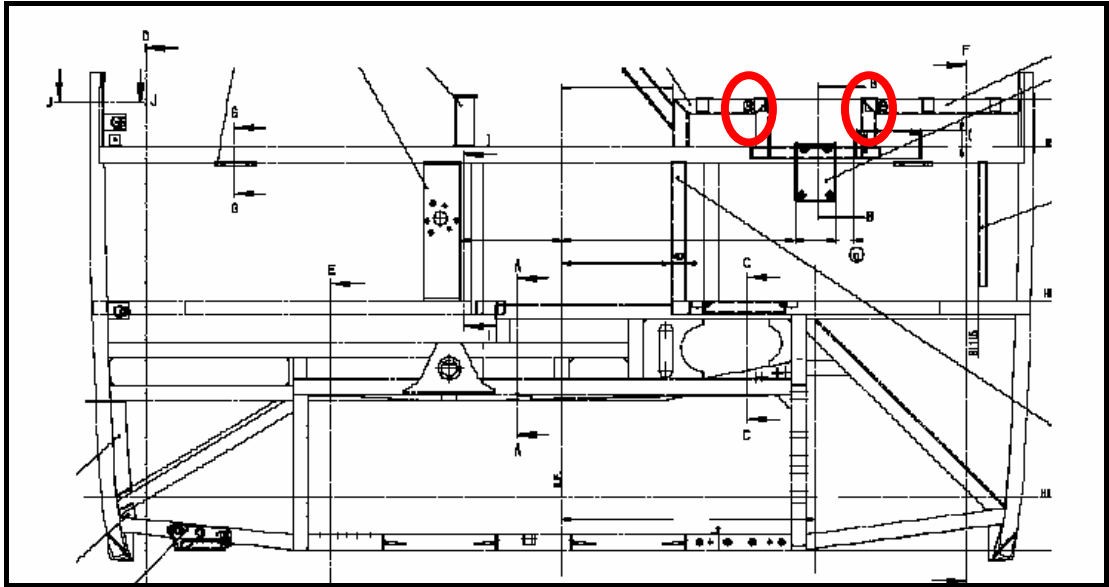
Şekil 3.1’de gösterilen takograf tutucusu ve otomatik vites tutucusunun montaj resimleri delik fonksiyonları Resim 3.3.a’da montaj öncesi resmi, Resim 3.3.b’de montaj sonrası resmi, Resim 3.3.c’de ise teknik resim çizimi gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Resim 3.3. Seyahat araçları takograf ve otomatik vites tutucusu a) Sıvama metodu ile delinen delikler, b) Montaj resmi, c) Teknik resim [1]

Tez çalışmasının akışı 3 mm kalınlıklarındaki CM22NBK, S460MC ve St37-2 malzemelerinden 10'ar adet numune alımıyla başlamıştır. Bu numuneler ilerleme hızı ve devir sayıları görülebilen NC matkap tezgahında belli değerlerle önce sıvama işlemine tabi tutulmuş ardından ise kılavuzla dış açılmıştır. Test numuneleri sırasıyla çatlak analizi için çatlak testi, sertlik analizi için Rockwell B sertlik deneyi ve mukavemet analizleri için çekme deneyine tabii tutulmuştur.

Sonuç olarak; ortaya çıkan değerler birbirleriyle analiz edilip, alternatif malzemelerin kullanılmasıyla 1 araçlık ağırlık ve maliyet kazancı elde edilip, bu oranı 1 yılda üretilen otobüs sayısı ile çarparak elde edilecek kazanç ortaya konmuştur.

3.1. Test Numunelerinin Hazırlanması

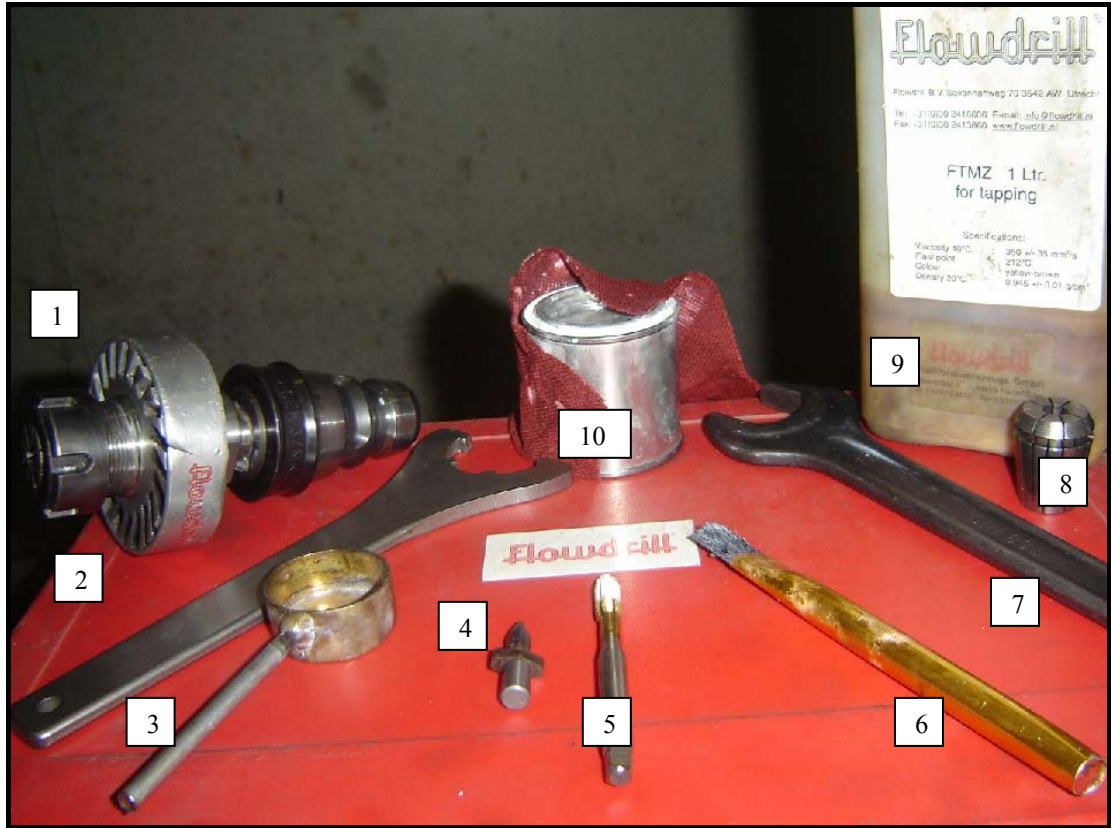
3 mm kalınlıklarında ki, 3 farklı malzeme olan CM22NBK, S460MC ve St37-2 malzemeleri özellikle çekme deneyleri baz alınarak 30x300 mm boyunda numuneler kestirilmiştir. Anlatılacak olan deney sonuçlarının sonucuna göre ek olarak et kalınlığı 2 mm olan 10 adet daha S460MC hazırlanmıştır.

3.2. Test Numunelerinin Sıvayarak Delik Delme Prosesine Alınması

Sıvama ile delik delme prosesi aşağıda anlatılacak ekipmanlarla beraber Universal, NC ve CNC matkap tezgahlarında rahatlıkla uygulanabilir.

3.2.1. Sıvayarak delik delme ekipmanları

Sıvama ile delik delme ekipmanları; Resim 3.4’de gösterildiği üzere her birinin proste ayrı yeri olan 10 adet değişik ekipmandan oluşmuştur. Ekipmanların kullanım ömrü açısından kullanım öncesi ve kullanım sonrasında sürekli özel bakım çantasında tutulmasında çok büyük faydalar vardır.



Resim 3.4. Sıvama ekipmanları: 1. Pens tutucusu, 2. 4 tırnaklı ay anahtarı, 3. Yağ kovancığı, 4. Sıvama ucu, 5. Kılavuz, 6. Yağlama fırçası, 7. Açık ağız anahtar, 8. Pens, 9. FTMZ Flowdrill yağı, 10. FD-KS flowdrill macunu [1]

Pens tutucusu: Pense yataklık ederek işlem tezgahının fonksiyon aktarımını sağlar.

Dört tırnaklı ay anahtarı: Pens tutucusu ile pensin sıkıştırılmasını sağlar.

Yağ kovancığı: Yağın içine konması için kap görevi üstlenir.

Sıvama ucu: Metalin içine yüksek devirde girerek akmasını sağlar.

Kılavuz: Sıvama işleminden sonra deliğin içine girerek diş açılmasını sağlar.

Yağlama fırçası: Yağ kovancığındaki yağı sıvama ucuna veya kılavuza sürülmesine yardımcı olur.

Açık ağız anahtar: Pens tutucusu ile pensin sıkıştırılmasını sağlar.

Yağlama fırçası: Yağ kovancığındaki yağın sıvama ucuna ve kılavuza sürülmesine yardımcı olur.

FTMZ flowdrill yağı: Sürtünmeyi azaltarak aşırı ısınmayı abzorbe eder.

FD-KS flowdrill macunu: Sürtünmeyi azaltarak aşırı ısınmayı abzorbe eder.

3.2.2. NC matkap tezgahı

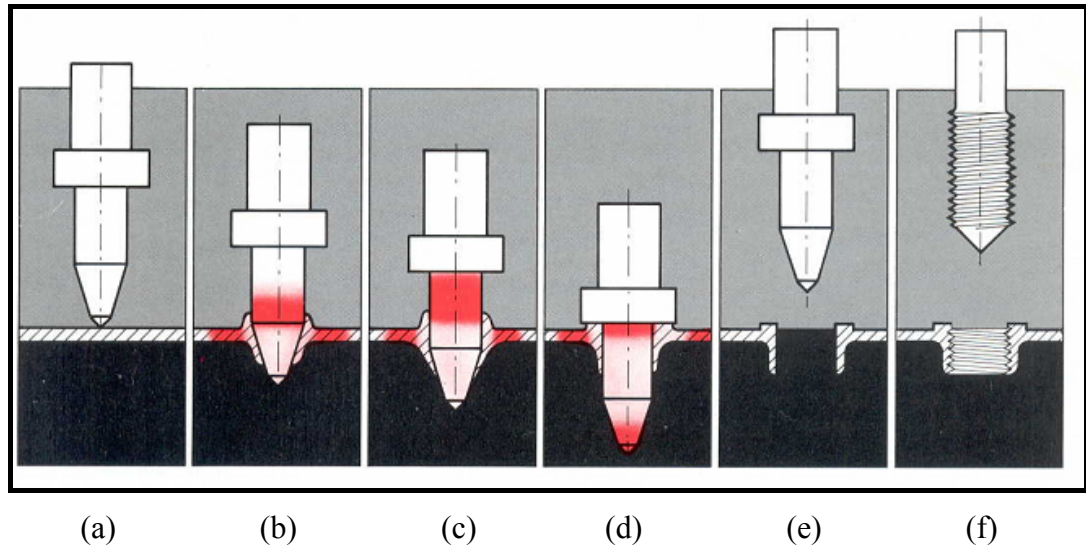
Tüm delik delme işlemleri 1983 yapımı olan HKS32MG tezgahında yapılmıştır. Matkap tezgahı ağırlığı 1620 kg olup ilerleme hızları 100 ile 400 mm/dak ve dönme devirleri ise 0 ile 2000 dev/dak arasında değişmektedir.

3.2.3. Sıvayarak delik delme işlemleri

Bu proses, sıvayarak delik delme ve kılavuzla diş açma olarak 2 kademeye ayrılabilir.

Sıvama işlemleri

Sıvama işleminde malzemede meydana gelen plastik şekil değiştirme Şekil 3.2’de verilmiştir. Sıvama ile delik delme prosesinin akışı 6 kademede incelenebilir.



Şekil 3.2. Sıvama işleminde malzemenin plastik şekil değişimi a) Sıvama matkap ucunun malzemeye ilk teması b) Sıvamanın başlangıcı, plastik şekil değiştirme c) Sıvama matkabı ucunun malzeme içerisinde ilerlemesi d) Sıvama matkabı ucunun malzemeyi tamamen delmesi e) Sıvama matkabı ucunun malzeme içerisinden çıkması f) Kılavuzla diş açma [3]

Öncelikle sıvama matkabının ucu işlenecek parça üzerine oturtulur. Sonra oldukça yüksek bir eksenel kuvvet ve devir sayısı ile işlenecek malzemenin üzerine bastırılır

(Şekil 3.2.a). Sürtünmeyle oluşan ısı sayesinde malzeme plastik şekillendirmeye uygun hale gelir (Şekil 3.2.b). Bundan sonra sıvama matkabı birkaç saniye içinde işlenen parçanın içinden geçirilebilir. Bu esnada özellikle ilerleme yönünde bir malzeme akması meydana gelir. İlerleme için gerekli kuvvet düşerken, ilerleme hızı artacaktır (Şekil 3.2.c). Sıvama matkabı ve işlenen parça metal çeşidine göre ideal çalışma sıcaklığına ulaşmıştır. Matkabın silindirik kısmı, nihai kovanın çapını belirler. Kovanın geometrisi, matkabı işleyen parçasındaki silindirik kısmın konik kısmına oranına bağlıdır (Şekil 3.2.d). İlerleme yönünün tersine akmış malzeme, sızdırmazlık halkası şeklinde bir kademe haline getirilir. Sıvama matkabının düz tipinde, bu kademe aynı işlem sırasında tıraşlanıp ayrılabilir. İşlem tamamlandığında kovan esas malzeme kalınlığının üç katına ulaşmış olur (Şekil 3.2.e). İkinci işlemde sıvanmış kovana istenirse Flowtap sıvama kılavuzu ile yine talaşsız bir şekilde, yüksek mukavemete sahip dişler açılabilir (Şekil 3.2.f) [3].

Numuneler sırasıyla ilerleme hızları ve devir sayıları belirlenerek sıvayarak delik delme işlemlerine alınmıştır. Resim 3.5’de sıvama ucu etrafında görülebileceği gibi her sıvama işleminden önce sıvama kılavuzuna fazla ısınmayı önlemek ve sürtünmeyi azaltmak amacıyla sıvama ucuna yağ sürülmüştür. Sıvama, çapı 7,3 mm olan bir uçla yapılmıştır. Resim 3.5’de sıvama işlemi, Resim 3.6’da sıvama işleminden sonra cıvata başı ile temas edecek yüzey, Resim 3.7 ise sıvama işleminden sonra cıvata dişleri ile temas edecek yüzeyin işlem sonrasında çekilmiş fotoğrafları gösterilmektedir.



Resim 3.5. Sıvama işlemi [1]



Resim 3.6. Sıvama işleminden sonra cıvata başı ile temas edecek yüzey [1]



Resim 3.7. Sıvama işleminden sonra cıvata dişleri ile temas edecek yüzey [1]

Çizelge 3.1. Devir sayıları, ilerleme hızları ve ölçülen sıcaklık değerleri [1]

Numune No	Malzemeler	Devir sayısı dev/dak	İlerleme hızı mm/dak	Sıcaklık °C
1	CM22NBK t=3	1000	100	360
	St37-2 t=3			Yok
	S460MC t=3			Yok
	S460MC t=2			Yok
2	CM22NBK t=3	1100	125	350
	St37-2 t=3			353
	S460MC t=3			368
	S460MC t=2			320
3	CM22NBK t=3	1200	160	360
	St37-2 t=3			356
	S460MC t=3			372
	S460MC t=2			323
4	CM22NBK t=3	1300	200	363
	St37-2 t=3			359
	S460MC t=3			370
	S460MC t=2			330
5	CM22NBK t=3	1400	250	370
	St37-2 t=3			362
	S460MC t=3			375
	S460MC t=2			327
6	CM22NBK t=3	1500	250	377
	St37-2 t=3			369
	S460MC t=3			382
	S460MC t=2			340
7	CM22NBK t=3	1600	315	379
	St37-2 t=3			371
	S460MC t=3			381
	S460MC t=2			350
8	CM22NBK t=3	1700	315	377
	St37 t=3			375
	S460MC t=3			389
	S460MC t=2			353
9	CM22NBK t=3	1800	400	395
	St37-2 t=3			390
	S460MC t=3			412
	S460MC t=2			370
10	CM22NBK t=3	1900	315	399
	St37-2 t=3			392
	S460MC t=3			411
	S460MC t=2			368
11	CM22NBK t=3	2000	315	403
	St37-2 t=3			396
	S460MC t=3			415
	S460MC t=2			370

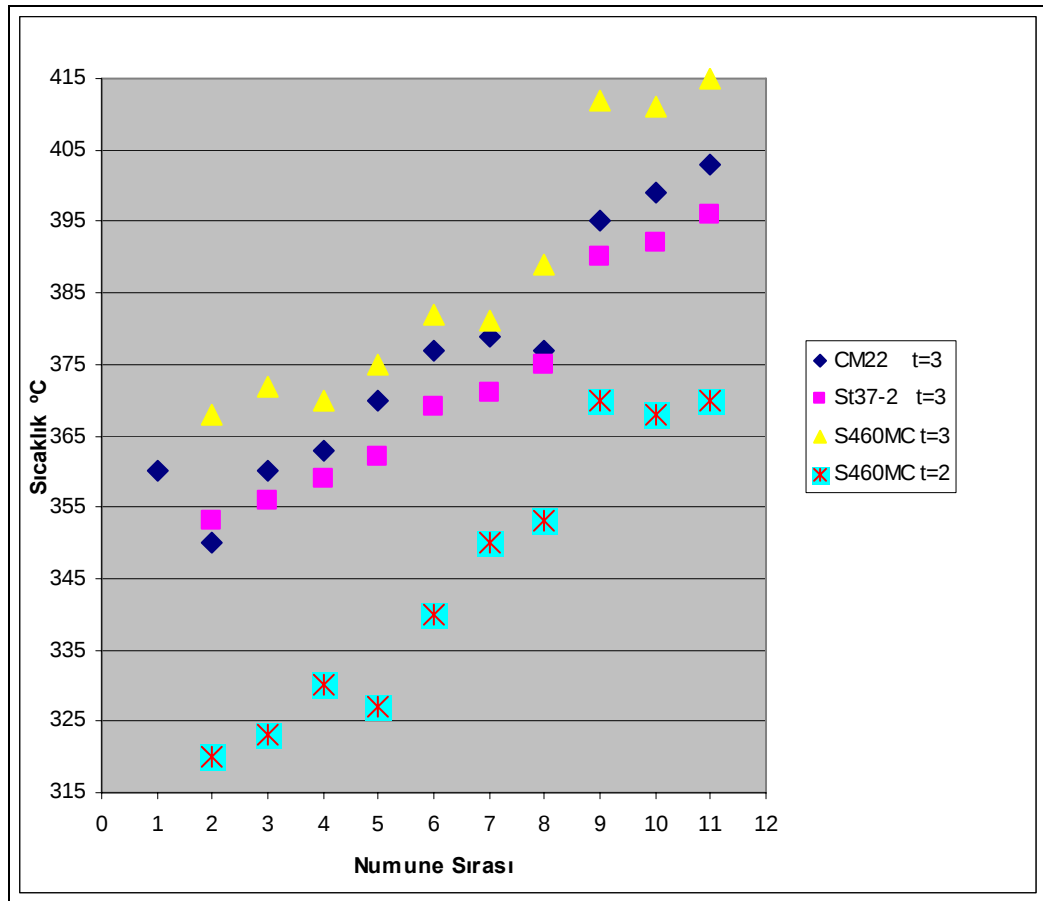
Sıvama testlerine ilk olarak CM22NBK numuneleri ile başlanmıştır. İlk numune testi için devir sayısı 1000 dev/dak ve ilerleme hızı ise 315 mm/dak seçilmiştir. Fakat bu ilerleme hızı, devir sayısına oranla çok yüksek geldiğinden sıvama matkabının ucu kırıldığından dolayı, ilerleme hızı 100 mm/dak'ya indirilmiştir. Bu devirde sıvama ucu malzemeye girerken biraz zorlanma gerçekleşse de, malzemeyi sıvamak için başlangıç kriteri belirlenmiştir. Belirlenen ilk kriterin ardından her sıvama işleminde devir sayısı 100 dev/dak arttırılmıştır. İlerleme hızlarını da devir sayısına oranla matkap tezgahının ayarlanabilir ilerleme hızları ve devir sayıları olması sebebiyle, tüm deney kriterleri artış sağlayacak şekilde belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 3.1).

İşlemler sırasında; devir sayısı ne kadar arttırılırsa sıvama işleminin o kadar kolay gerçekleştiği görülmüştür. CM22NBK için 1700 dev/dak ve 315 mm/dak ilerleme hızında sıvama ucunun malzeme içerisine, diğer test kriterlerine göre delik açılan malzemelere oranla en rahat girdiği ve malzemenin yüzeyinde hiçbir çökme olmadığı gözlemlenmiştir. Fakat 1700 dev/dak'dan yüksek devirlerde malzemenin yüzeyinde çökmeler olduğu da fark edilmiştir.

S460MC numunelerinde ise 1000 dev/dak devrinde ve 100 mm/dak'da tekrar kırıldığından bu sefer devir sayısı ve ilerleme hızı beraberce arttırılmıştır. İşlemin bu yeni deney kriterinde daha rahat sıvandığı gözlemlendiğinden, diğer numunelerinde deney başlangıç değerleri olarak saptanan bu değerler alınmıştır. St37-2'de özellikle 1400 dev/dak'ya kadar olan işlemlerde malzemedeki eğilmeler gözlenirken 2 mm et kalınlığında ki S460MC numunelerinde 1300 dev/dak'ya kadar kılavuz ucu zorlanarak malzeme içine girdiği gözlemlenmiştir.

Sıcaklık değerlerini analiz edecek olursak; bütün test numunelerinin sıcaklık ölçüm işlemleri, 39800-35 modelli Cole – Parmer Infrared termometre ile yapılmıştır. Infrared termometre ile -30 °C ile +1200 °C arasında sıcaklık ölçümü yapabilmektedir. Test numunelerini sıvama ile delik delinmesi esnasında en yüksek sıcaklık değeri, 3 mm kalınlığındaki S460MC numunelerinde ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi, S460MC malzemesinin diğer test malzemelerine oranla daha sert bir malzeme olması nedeni ile sıvama ucunun, yüksek devirle malzemeye girmesi

esnasında, diğer malzemelere göre daha fazla zorlanmasından kaynaklanmaktadır. 3 mm kalınlığındaki CM22NBK test numuneleri ile St37-2 test numunelerinin sıcaklıkları birbirleriyle yakın çıkmasına karşın CM22NBK test numunelerinin sıcaklık değerleri, St37-2 test numunelerinden daha yüksek çıkmıştır. Bu da yine CM22NBK malzemesinin St37-2 malzemesinde daha sert bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. En düşük malzeme sıcaklıkları ise 2 mm kalınlığındaki S460MC test numunelerinde ortaya çıkmıştır. Bu da doğal olarak et kalınlığının diğer test numunelerinden 1 mm daha düşük olması nedeniyle, sıvama ucunun malzemeyle daha az süre temasta kalmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 3.3) .



Şekil 3.3. Sıvama sonrası malzeme sıcaklıkları

Sonuç olarak seçilen malzemelerde devir sayısı ve ilerleme hızları arttıkça, sıvama ucunun malzemelerin içine rahatlıkla girdiği ve sıcaklık değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Kılavuz çekme

Sıvama işleminin ardından çapı 8 mm olan kılavuzla bütün test numunelerine diş açılmıştır (Resim 3.8).



Resim 3.8. Sıvamadan sonra kılavuzla diş açılması [3]

3.2.4. Numune testleri

Numuneler sıvama prosesi ile delindikten sonra ve kılavuz ile diş açıldıktan sonra sırası ile çatlak testi, Rockwell B sertlik testi ve çekme deneyi gerçekleştirilmiştir.

Çatlak testi

Malzemelerde olası deformasyonları tespit etmek amacıyla yapılan bu testte malzemenin üst yüzeyine kadar ulaşan kılcal çatlaklar aranmıştır.

Malzemeler ilk olarak temizlik işlemi için tinerli bezle silinmiştir. Temizlemedeki öncelikli amaç yabancı maddelerin test numuneleri üzerinde uzaklaştırılmasıdır. Daha sonra hava tutularak, tinerin malzemeler üzerinden %100 buharlaşması sağlanmıştır.

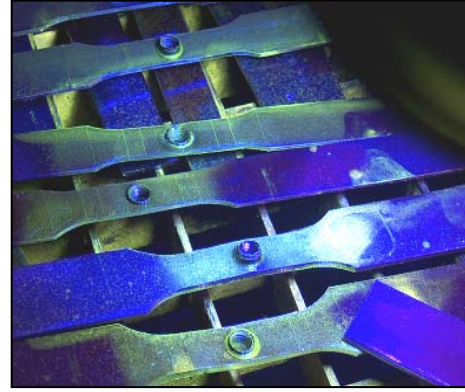
Numunelerin üzerine 42 V akım verilerek numunede manyetik alan yaratılır. Daha sonra numuneler üzerine içerisinde fosfor, demir zerrecikleri ve gazorfen içeren sıvı

NRF 101 sıvısı püskürtülür. Bu sıvı tamamen ultraviole ışınlar karşış duyarlıdır. Ultraviole ışınlarına duyarlı bu sıvı, olası kılcal çatlaklarının içine girer (Resim 3.9.a). Daha sonra numuneler, ultraviole ışığa tutularak tek tek malzemelerde çatlak olup olmadığı gözlenmiştir (Resim 3.9.b).

İşlemlerin en sonunda test numuneleri manyetik etki kaldırma cihazına alınarak daha sonraki işlemleri etkilememesi açısından oluşturulan manyetik alan giderilmiştir (Resim 3.9.c).



(a)



(b)



(c)

Resim 3.9. Manyetik parçacık testi a) Numunelerde manyetik akım yaratılması b) Ultraviole ışıkla çatlak aranması c) Manyetik akımın giderilmesi [1]

Yapılan incelemeler sonucunda tüm test numunelerinde hiçbir çatlak tespit edilmemiştir. CM22NBK için 1, 9, 11; S460MC t=3 mm için 1, 7, 10; St37-2 için 1,

8 ve S460MC $t=2$ mm için 1,9,10 'da deformasyon olduğu tespit edilmiştir ama bunlar kılcal çatlak veya yarık olarak değerlendirilmemelidir.

Rockwell B sertlik deneyi

Bütün metallerde ve özellikle çelikte sertlik soğuk şekil değiştirme ve ısıtma işlem sonucu geniş sınırlar içerisinde değişir. Bunun tersi olarak, sertlik değerlerinden malzemenin içyapı durumu hakkında sonuçlar çıkarılabilir [13].

Sertlik testinde sert bir nesne, malzeme yüzeyine batırılmak istendiğinde, malzemenin gösterdiği direnç ölçülür [14].

Bu muayene özel bir test numunesi hazırlanmasına gerek kalmadan malzeme parçası üzerinde yapılabilir. Sertlik yükün iz yüzeyine oranından yapılmaz doğrudan doğruya iz derinliğinden bulunur. İz derinliği ve sertlik değeri, derinlik ölçme aletinden okunur. Muayene süresi kısadır.

Batıcı uç: Bu yöntemde basık bir elmas koni kullanılır. Tepe açısı 120° olan koninin sivri ucu $r=0,2$ mm yarı çapında yuvarlaklaştırılmıştır.

İşleme başlamadan önce test numuneleri ölçme cihazına konulduğu yüzeyin temiz olması için nemli tinerli bezle silinir. Ölçme birkaç kademede yapılır.

a. Numune sağlam olarak temiz yüzeyli basma tepsisi üzerinde durmalı ve muayene yüzeyi yükleme yönüne dik bulunmalıdır.

b. Batıcı uç muayene ön yükü ile numune üzerine etki eder ve bu durumda ölçü saati sıfıra ayarlanır. Böylelikle ölçü bazı elde edilerek ölçü aleti ile temas halinde olan yüzeyin ve ölçü aletinin kendi toleransları ortadan kaldırılmış olur.

Pratik olarak basma tepsisi numune ile birlikte döndürülerek yükseltilir. Bu yükseltme işlemine, numune batıcı uca değip ucu yükselterek ölçme saatini sıfıra

getirene kadar devam edilir. Ölçme aletleri bu durumda bir manivela sistemi üzerinden batıcı uca muayene ön yükü etki edecek şekilde ayarlanmıştır.

c. Muayene yükü yüklenmesi: Bu yükün etkisi ile elmas uç numunenin içerisine daha fazla batar. Ölçme saati üzerinde bu durum takip edilir. İbre sabit konuma geldiğinde ölçme saati iz derinliğini gösterir. İz derinliği 3 parçadan oluşur.

1. Numunenin plastik şekil değişimi,
2. Numunenin elastik şekil değişimi,
3. Cihazın elastik şekil değişimi.

d. Muayene yükünün kaldırılması: Batıcı uç muayene ön yükü etkisi ile belirli bir miktar gömülü kalır. Ölçme saatinde batıcı ucun biraz yükseldiği görülür. Elastik şekil değiştirmeleri eski haline geri döner. Ölçme saati sadece kalıcı iz derinliğini göstermektedir [13].

Resim 3.10’da görüleceği üzere iz derinliğine ait uzunluk ölçülerinin karşılığı olan Rockwell sertlik değeri skala üzerinden gösterildiği için sertlik doğrudan doğruya okunur.

Çatlak testinden sonra delik çapı etrafındaki sertlikler ölçülmüştür. Bunun için Rockwell sertlik değerleri esas alınmıştır. Deneyler 1983 yapımı olan Dia Tester 2 RB sertlik deneyi cihazında yapılmıştır.

Sıvama işlemi öncesi her tip malzemenin sertlik ölçülen sertlik değerleri Çizelge 3.2’de görülebilir. Bu değerler tüm numunelerin sıvama ile delinmesinden önce ölçülen değerlerin ortalaması olarak alınmıştır.

Çizelge 3.2. Test öncesi ölçülen Rockwell B sertlik değerleri [1]

	CM22NBK t=3	St37-2 t=3	S460MC t=3	S460MC t=2
Malzeme Sertlikleri	72	64	88	85

Çizelge 3.3. Rockwell B sertlik değerleri [1]

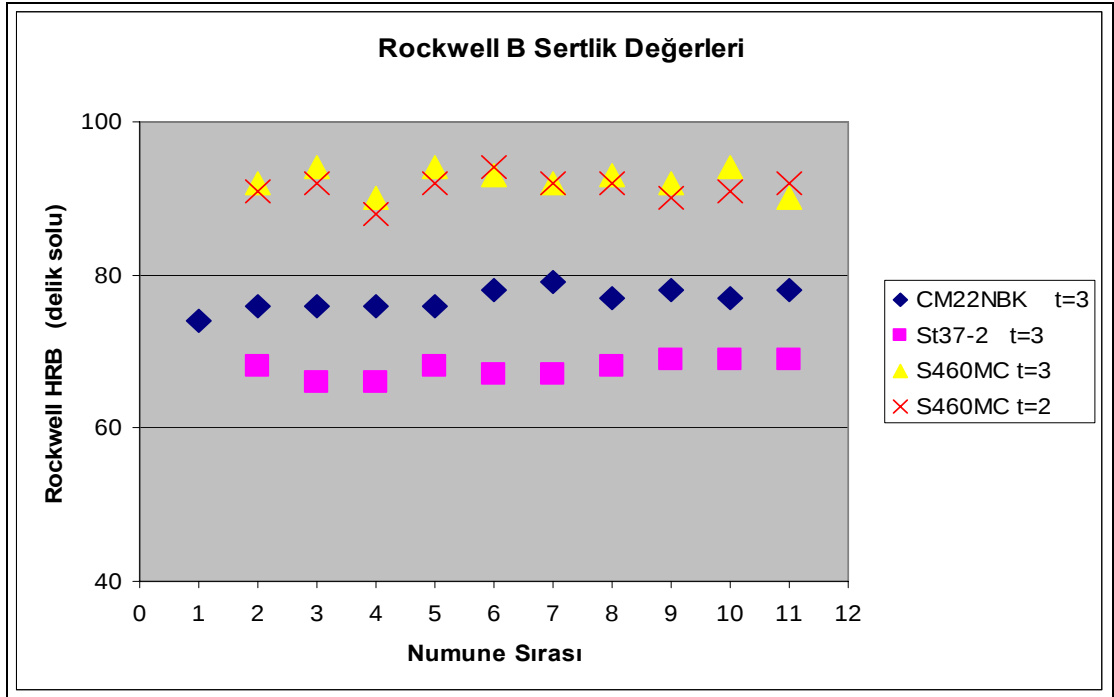
Numune no	Malzemeler	Rockwell değerleri	
		Sağ	Sol
1	CM22NBK t=3	75	74
	St37-2 t=3	yok	Yok
	S460MC t=3	yok	Yok
	S460MC t=2	yok	Yok
2	CM22NBK t=3	75	76
	St37-2 t=3	68	68
	S460MC t=3	94	92
	S460MC t=2	91	91
3	CM22NBK t=3	76	76
	St37-2 t=3	67	66
	S460MC t=3	95	94
	S460MC t=2	92	92
4	CM22NBK t=3	78	76
	St37-2 t=3	67	66
	S460MC t=3	91	90
	S460MC t=2	89	88
5	CM22NBK t=3	77	76
	St37-2 t=3	67	68
	S460MC t=3	93	94
	S460MC t=2	90	92
6	CM22NBK t=3	78	78
	St37-2 t=3	67	67
	S460MC t=3	93	93
	S460MC t=2	90	94
7	CM22 NBK t=3	78	79
	St37-2 t=3	68	67
	S460MC t=3	95	92
	S460MC t=2	93	92
8	CM22NBK t=3	79	77
	St37-2 t=3	68	68
	S460MC t=3	94	93
	S460MC t=2	92	92
9	CM22NBK t=3	76	78
	St37-2 t=3	68	69
	S460MC t=3	93	92
	S460MC t=2	93	90
10	CM22NBK t=3	77	77
	St37-2 t=3	68	69
	S460MC t=3	95	94
	S460MC t=2	92	91
11	CM22NBK t=3	78	78
	St37-2 t=3	69	69
	S460MC t=3	93	90
	S460MC t=2	90	92

Çizelge 3.3’de test numunelerin delik etrafına en yakın yerlerinden alınan sertlik değerleri görülebilir. Çizelge 3.2 ile karşılaştırıldığında tüm sertlik değerlerinde bir artış olduğu görülmüştür. Bu, doğal olarak sıvama ile delik delme esnasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıkların ardından, diş açmak için uygulanan soğuk şekillendirme işlemiyle ortaya çıkan pekleşme sonucu, malzemelerin dayanımının artmasından kaynaklanmaktadır. Değerlerden de görüleceği gibi St37-2 numunelerinin sertlik değerleri, genel olarak CM22NBK numunelerine yakın çıkarken 2 mm ve 3 mm kalınlıklarındaki S460MC numuneleri bu değerlerden daha yüksek çıkmıştır.



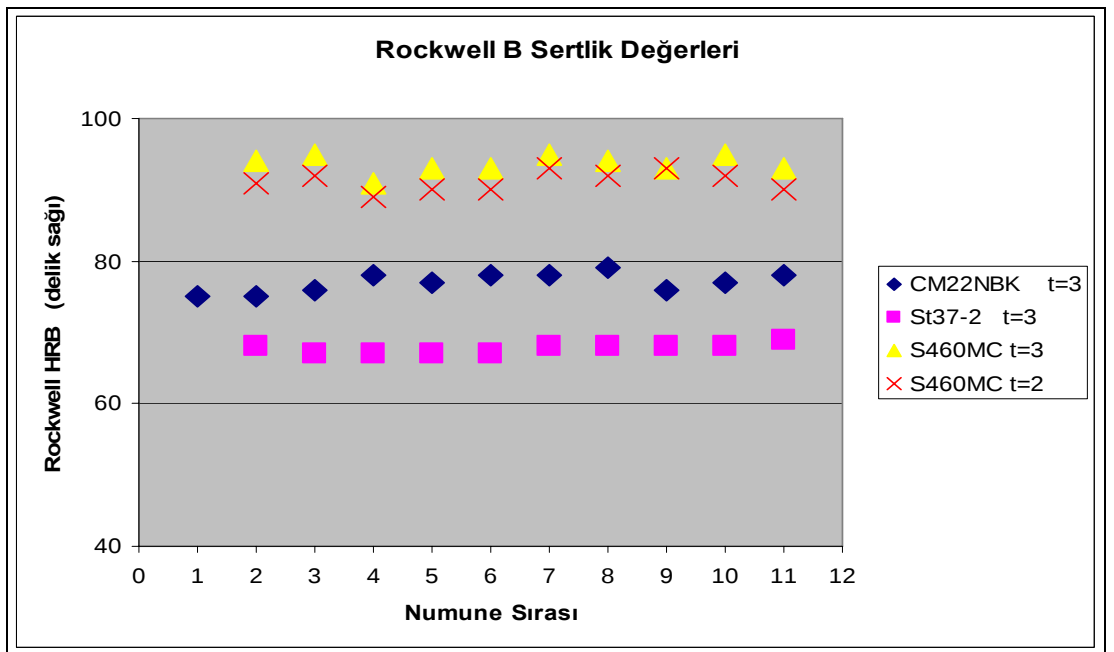
Resim 3.10. Rockwell sertlik cihazı [1]

Test sonuçlarına göre Şekil 3.4’de deliklerin solunda kalan yüzeydeki Rockwell B sertlik değerleri grafik olarak verilmiştir.



Şekil 3.4. Deliklerin solundaki Rockwell B sertlik değerleri

Test sonuçlarına göre Şekil 3.5’de de deliklerin sağında kalan yüzeydeki Rockwell B sertlik değerleri grafik olarak verilmiştir.



Şekil 3.5. Deliklerin sağındaki Rockwell B sertlik değerleri

Test sonuçlarına göre 2 ve 3 mm kalınlıklarında ki S460MC malzemelerin sertlik değerleri CM22NBK'nın üzerinde çıkmıştır. Burada en önemli etken ise S460MC'nin element yapısındaki daha fazla Mn, Si olması ve CM22NBK'da bulunmayan Ti ve V'dan kaynaklanmaktadır ki bu da, bu malzemelerin CM22NBK'ya oranla daha gevrek olduğunda işaret ederler. St37-2'nin ise CM22NBK'dan daha düşük değerlerde kalması St37-2'de Si ve Mn olmamasından kaynaklanır. Bu da CM22NBK'nın St37-2'den daha gevrek bir malzeme olduğunun göstergesidir.

Çekme deneyi

Çekme testi, özel şekil ve boyutta belirlenmiş test malzemesinin yavaş yavaş artan aynı eksenel yüklerle kopuncaya kadar etkimesinden ibarettir. Mühendislik çekme testi, malzemelerin mukavemeti hakkında temel tasarım bilgilerini elde etmek için yaygın olarak kullanılır ve malzemelerin özelliklerini belirlemek için kabul edilir bir testtir [15].

Malzemenin mukavemeti, aşırı deformasyon veya kopma olmaksızın bir yükün ağırlığını çekme kabiliyetine bağlıdır. Bu özellik malzemenin kendisine aittir ve deneysel olarak tespit edilmelidir. Her ne kadar bir malzemenin birçok mekanik özelliği bu testle hesaplanırsa da, bu test öncelikli olarak; metal, seramik, polimer ve kompozit malzeme gibi birçok mühendislik malzemelerinde normal gerilme ve şekil değiştirme arasındaki ilişkisini tespit etmede kullanılır [16].

Gerilme değeri;

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1.)$$

formülü ile hesaplanır. Bu formülde;

σ : Mühendislik çekme gerilmesi (N/mm²),

F : Kesit alandaki toplam çekme kuvveti (N),

A : Yükün uygulandığı kesit alan (mm^2) [17].

Çekme deneyi sonucunda malzeme ile ilgili aşağıdaki değerler kontrol edilebilir [18].

1. Çekme dayanımı
2. Akma gerilmesi
3. % uzama
4. % kesit daralması
5. Elastisite modülü
6. Elastik sınır
7. Rezilyans
8. Tokluk

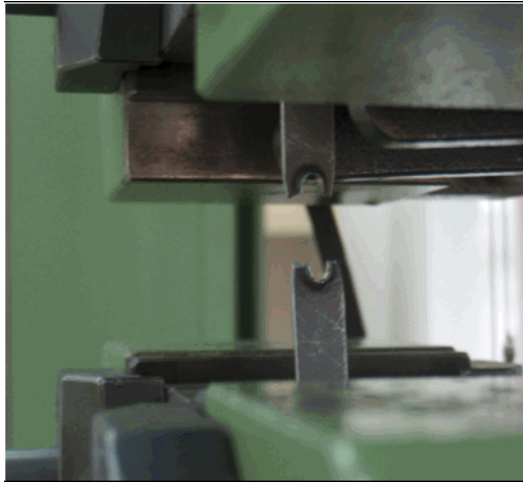
Çekme muayene yönteminin temeli, deney yapılacak numuneden alınan parçanın çekme deney makinelerinde, belli g altında çekmeye zorlanmasına dayanır. Çekme deney numunesi, çekme deney makinesinin üst çenesine bağlanır. Alt ucu ise sabit çeneye bağlanır (Resim 3.11.b). Üst ene zamanla orantılı olarak, deney parçasını yukarıya doğru eker. Malzeme alt sabit eneden kurtulamadığından, çekmeye karşı direnç gösterir. Ancak artan makine gücüne bir süre sonra karşı koyamaz ve kopar (Resim 3.11.c) [20].



(a)



(b)

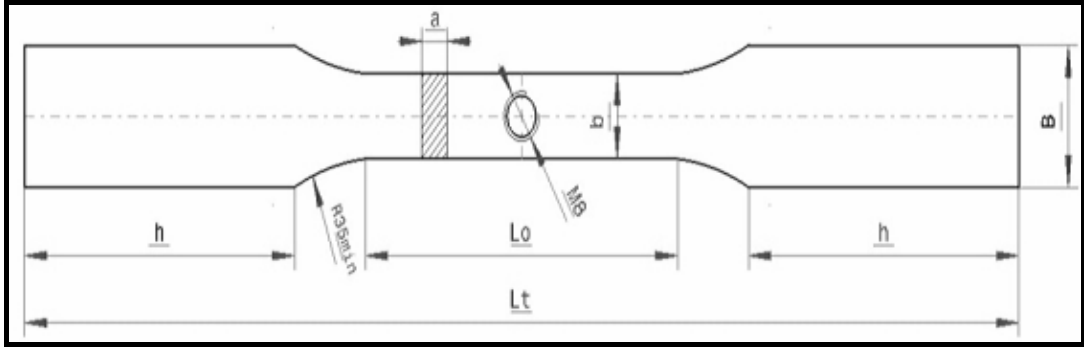


(c)

Resim 3.11. Çekme deneyi ve test numunesinin kopması a) Çekme test cihazı b) Malzemenin test cihazındaki uzaması c) Malzemenin kopması [1]

Buna göre her bir malzeme için tespit edilen ve hesaplanan değerler için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$\sigma_{akma, çekme} = \frac{F_{akma, çekme}}{(b - M8) \times a} \quad (3.2.)$$



Şekil 3.6. Çekme numunesi [1]

Test numunelerine göre çekme gerilemelerinin Eş. 3.2'ye göre değerleri Çizelge 3.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Çekme test numuneleri ölçü değerleri [1]

Malzeme	a mm	b mm	B mm	h mm	L0 mm	Lt mm
CM22NBK t=3	2,9	15	30	114	35	300
St37-2 t=3	3,1	15	30	114	40	300
S460MC t=3	2,9	15	30	107	35	300
S460MC t=2	1,95	15	30	114	46	300

Malzemelerin akma ve kopma değerleri normlara göre Çizelge 3.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Malzemelerin norm değerleri [21, 22, 23]

Malzeme	Çekme gerilmesi N/mm ²	Akma gerilmesi N/mm ²	C	P	S	N	Si	Mn	Al	Nb	V	Ti
St37-2	360 - 470	235	≤ 0,19	≤ 0,065	≤ 0,065	≤ 0,009	-	-	-	-	-	-
CM22NBK	≥ 420	290	0,16-0,23	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,21	≤ 0,28	0,40-0,75	≥ 0,02	-	-	-
S460MC	520-670	460	0,12	0,03	0,02	-	0,5	1,6	0,015	0,09	0,2	0,15

Çizelge 3.4'deki değerlere göre öncelikle malzemelere matkap tezgahında M8 delik açılarak, çekme testine alınmıştır. Ortaya çıkan değerler Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. M8 delinen numunelerin mukavemet değerleri [1]

PARÇA ADI	ÖLÇÜLER			AKMA		ÇEKME		KOPMA UZAMASI	
	mm	So	Lo	Yük kN	Muk N/mm ²	Yük kN	Muk N/mm ²	mm	%
S460MC t=2	1,95x(15-8)	13,65	30	7,1	520,1	8,9	652,0	2,5	8,3
S460MC t=3	2,9x(15-8)	20,65	40	12,1	586,0	14,2	687,6	3,1	7,8
St37-2 t=3	3,1x(15-8)	21,7	40	6,1	281,1	9,2	424,0	4,0	10,0
CM22NBK t=3	2,9x(15-8)	20,3	40	6,5	320,2	10,8	532,0	3,7	9,3

Çizelge 3.6’da görüleceği üzere matkapla delinen numunelerde ortaya çıkan gerilme değerleri Çizelge 3.5’de verilen malzemelerin norm değerlerine uyum sağlamaktadır.

Çekme testi, sıvama ile delinen numunelere de uygulanarak ortaya çıkan çekme kuvvetlerinin değerleri sırasıyla 3 mm kalınlığında CM22NBK için Çizelge 3.7’de, 3 mm kalınlığında St37-2 için Çizelge 3.8’de, 3 mm kalınlığında S460MC için Çizelge 3.9’da ve son olarak 2 mm kalınlığında S460MC için Çizelge 3.10’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Üç mm kalınlığında CM22NBK’nın mukavemet değerleri [1]

PARÇA ADI	ÖLÇÜLER			AKMA		ÇEKME		KOPMA UZAMASI	
	mm	So mm ²	Lo mm	Yük kN	Muk. N/mm ²	Yük kN	Muk. N/mm ²	mm	%
CM22NBK, t=3	2,9x(15-8)	20,3	35	15,2	748,8	16,9	832,5	4,0	11,4
CM22NBK, t=3	2,9x(15-8)	20,3	35	15,4	758,6	16,9	832,5	3,7	10,6
CM22NBK, t=3	2,9x(15-8)	20,3	35	15,3	753,7	16,8	827,6	3,8	10,9
CM22NBK, t=3	2,9x(15-8)	20,3	35	13,7	674,9	15,5	763,5	4,6	13,1
CM22NBK, t=3	2,9x(15-8)	20,3	35	13,4	660,1	16,1	793,1	3,8	10,9
CM22NBK, t=3	2,9x(15-8)	20,3	35	13,4	660,1	15,3	753,7	3,8	10,9
CM22NBK, t=3	2,9x(15-8)	20,3	35	13,4	660,1	16,4	807,9	4,1	11,7
CM22NBK, t=3	2,9x(15-8)	20,3	35	14,1	694,6	16,7	822,7	3,8	10,9
CM22NBK, t=3	2,9x(15-8)	20,3	35	15,4	758,6	17,0	837,4	3,8	10,9
CM22NBK, t=3	2,9x(15-8)	20,3	35	13,3	655,2	15,3	753,7	4,0	11,4
CM22NBK, t=3	2,9x(15-8)	20,3	35	14,2	699,5	17,0	837,4	4,6	13,1

Çizelge 3.8. Üç mm kalınlığında St37-2'nin mukavemet değerleri [1]

PARÇA ADI	ÖLÇÜLER			AKMA		ÇEKME		KOPMA UZAMASI	
	mm	So mm ²	Lo mm	Yük kN	Muk. N/mm ²	Yük kN	Muk. N/mm ²	mm	%
St 37-2, t=3	3,1x(15-8)	21,7	40	12,9	594,5	15,7	723,5	5,0	12,5
St 37-2, t=3	3,1x(15-8)	21,7	40	11,8	543,8	13,4	617,5	4,8	12,0
St 37-2, t=3	3,1x(15-8)	21,7	40	12,6	580,6	15,9	732,7	5,4	13,5
St 37-2, t=3	3,1x(15-8)	21,7	40	12,4	571,4	15,7	723,5	7,1	17,8
St 37-2, t=3	3,1x(15-8)	21,7	40	12,1	557,6	15,9	732,7	6,4	16,0
St 37-2, t=3	3,1x(15-8)	21,7	40	12,4	571,4	15,8	728,1	5,0	12,5
St 37-2, t=3	3,1x(15-8)	21,7	40	12,4	571,4	15,8	728,1	4,9	12,3
St 37-2, t=3	3,1x(15-8)	21,7	40	12,4	571,4	15,9	732,7	5,3	13,3
St 37-2, t=3	3,1x(15-8)	21,7	40	12,3	566,8	16,3	751,2	9,8	24,5
St 37-2, t=3	3,1x(15-8)	21,7	40	12,4	571,4	16,0	737,3	8,5	21,3

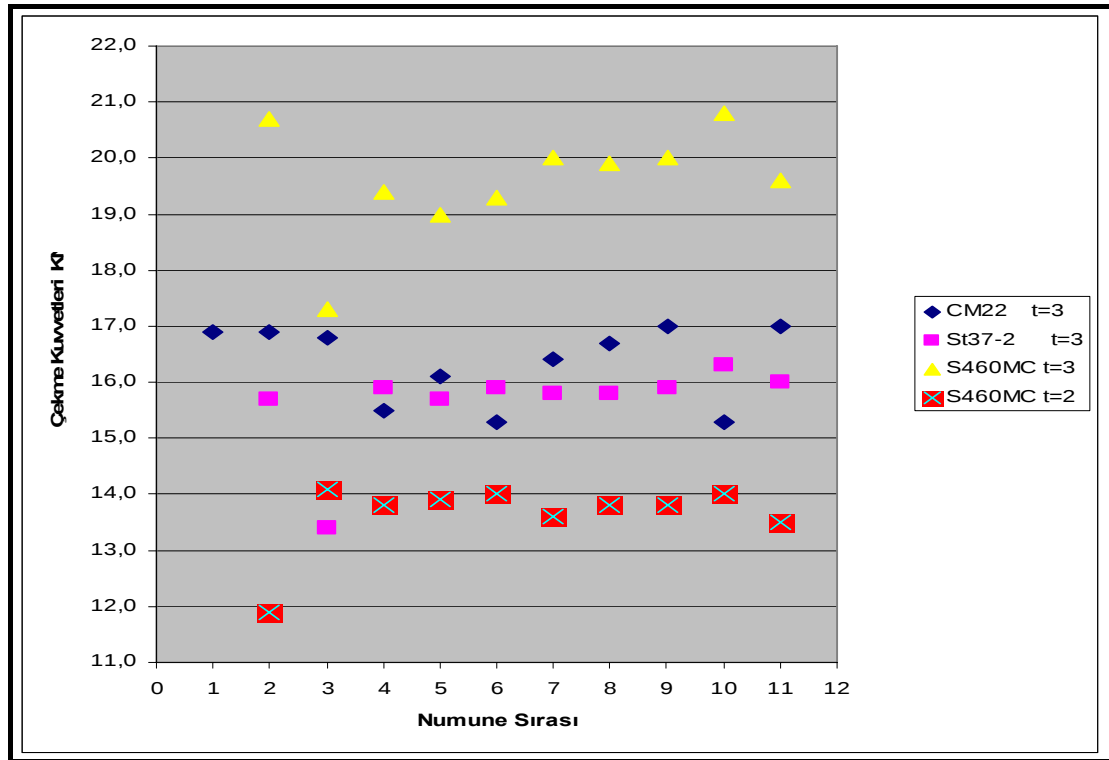
Çizelge 3.9. Üç mm kalınlığında S460MC'nin mukavemet değerleri [1]

PARÇA ADI	ÖLÇÜLER			AKMA		ÇEKME		KOPMA UZAMASI	
	mm	So mm ²	Lo mm	Yük kN	Muk. N/mm ²	Yük kN	Muk. N/mm ²	mm	%
S460MC, t=3	2,95x(15-8)	20,65	35	19,5	944,3	20,7	1002,4	3,5	10,0
S460MC, t=3	2,95x(15-8)	20,65	35	16,5	799,0	17,3	837,8	3,2	9,1
S460MC, t=3	2,95x(15-8)	20,65	35	18,4	891,0	19,4	939,5	3,0	8,6
S460MC, t=3	2,95x(15-8)	20,65	35	17,9	866,8	19,0	920,1	3,0	8,6
S460MC, t=3	2,95x(15-8)	20,65	35	17,6	852,3	19,3	934,6	3,2	9,1
S460MC, t=3	2,95x(15-8)	20,65	35	18,6	900,7	20,0	968,5	3,3	9,4
S460MC, t=3	2,95x(15-8)	20,65	35	18,2	881,4	19,9	963,7	3,3	9,4
S460MC, t=3	2,95x(15-8)	20,65	35	18,2	881,4	20,0	968,5	3,4	9,7
S460MC, t=3	2,95x(15-8)	20,65	35	19,8	958,8	20,8	1007,3	3,9	11,1
S460MC, t=3	2,95x(15-8)	20,65	35	18,5	895,9	19,6	949,2	3,0	8,6

Çizelge 3.10. İki mm kalınlığında S460MC'nin mukavemet değerleri [1]

PARÇA ADI	ÖLÇÜLER			AKMA		ÇEKME		KOPMA UZAMASI	
	mm	So mm ²	Lo mm	Yük kN	Muk. N/mm ²	Yük kN	Muk. N/mm ²	mm	%
S460MC, t=2	1,95x(15-8)	13,65	35	10,8	791,2	11,9	871,8	2,6	7,4
S460MC, t=2	1,95x(15-8)	13,65	35	12,6	923,1	14,1	1033,0	3,5	10,0
S460MC, t=2	1,95x(15-8)	13,65	35	12,6	923,1	13,8	1011,0	5,5	15,7
S460MC, t=2	1,95x(15-8)	13,65	35	12,6	923,1	13,9	1018,3	3,9	11,1
S460MC, t=2	1,95x(15-8)	13,65	35	12,8	937,7	14,0	1025,6	4,5	12,9
S460MC, t=2	1,95x(15-8)	13,65	35	12,6	923,1	13,6	996,3	3,0	8,6
S460MC, t=2	1,95x(15-8)	13,65	35	12,8	937,7	13,8	1011,0	2,6	7,4
S460MC, t=2	1,95x(15-8)	13,65	35	12,8	937,7	13,8	1011,0	3,4	9,7
S460MC, t=2	1,95x(15-8)	13,65	35	12,6	923,1	14,0	1025,6	3,5	10,0
S460MC, t=2	1,95x(15-8)	13,65	35	12,4	908,4	13,5	989,0	3,5	10,0

Yukarıdaki çizelgeler baz alınarak, çekme kuvvetlerini gösteren grafik Şekil 3.7'de, görülebilir.



Şekil 3.7. Numunelerin çekme kuvveti değerleri

Test sonuçlarından da görüldüğü üzere ilk olarak, malzemelerin kendi aralarında değerlendirmek gerekirse, üretimde kullanılan 3 mm kalınlığında ki CM22NBK sıvama ile delinen numunelerdeki çekme kuvvetleri ortalama 16,4 kN olduğu görülmüştür. Çizelge 3.6'ya bakılacak olursa matkapla delinen numunenin Çizelge 3.7'de belirtildiği üzere çekme kuvveti 10,8 kN'a oranla, ortaya çıkan kopma değerinin daha yüksek olduğu aşikârdır.

Çizelge 3.8'de verilen St37-2 malzemesinin ise çekme kuvveti ortalama 15,6 kN'dur. Çizelge 3.6'ya göre 9,2 kN 'luk değer yine sıvama ile delinen numunelerin çok çok altında kalmıştır.

Son olarak Çizelge 3.9'da, 3 mm kalınlığında ki S460MC numunelerinin ortalama 19,6 kN olan çekme kuvveti, Çizelge 3.6'da belirtildiği üzere 14,2 kN ile karşılaştırıldığında diğer numunelere göre yüksek bir değer olarak görülmüştür.

Çizelge 3.10'da ise 2 mm kalınlığında ki S460MC diğer malzemelerin çekme kuvvetleri ise ortalama 13,6 kN olan değeri Çizelge 3.6'daki 8,9 kN ile karşılaştırıldığında yine yüksek bir değer olarak kalmıştır.

Deney malzemelerinin birbirlerine oranla çekme kuvvetlerini birbirleriyle kıyaslayacak olursak; en yüksek çekme kuvveti 3 mm kalınlığında ki S460MC'dır. 2. sırada 3 mm kalınlığında ki CM22NBK, 3. sırada 3 mm kalınlığında St37-2 olup en düşük çekme kuvveti ise 2 mm kalınlığındaki S460MC numunelerinde meydana gelmiştir. S460MC malzemesi diğer malzemelere göre daha mukavim bir yapıda olmasına rağmen, 2 mm kalınlığındaki S460MC malzemesinin en son sırada yer almasının nedeni sadece et kalınlığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Kuvvet değerlerinde anlatılan artışlara paralel olarak gerilme değerlerinde de bir artış görülmüştür. Malzemeler flowdrill testlerinden sonra tüm numuneler yine tam delik merkezinden kopmuştur. Bu işlem yine malzemenin en zayıf yerinin sıvama ile delinen yer olduğunu gösterse de ortaya çıkan kopma kuvvetlerinin değer artışı malzemenin delik etrafında yığılmasının göstergesidir. Çizelge 3.3'de verilen delik

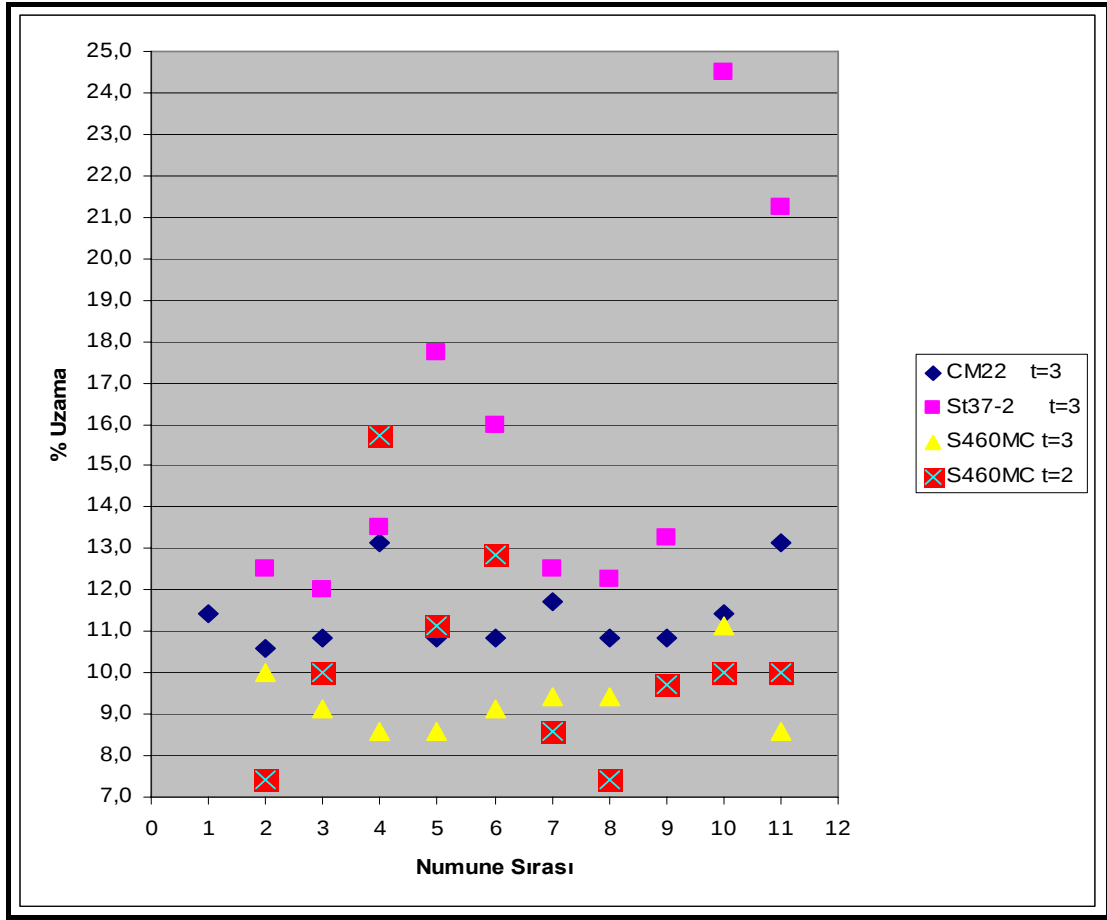
etrafındaki sertlik artışı da bu yorumu desteklemektedir. Sertlik testi yapılırken delik yüzeyinden, parçanın geometrisi nedeniyle sertlik ölçümü yapılamamıştır. Fakat sıvama matkabı ucu birebir bu yüzeyde yüksek sıcaklık oluşturması sebebiyle bu bölgede bir mukavemet artışı olduğunu göstermektedir.

Bu sonuçlara göre, sıvama ile delik delme işleminde çekme kuvvetlerinde görülen bu artış malzemelerde ki mukavemet artışının bir göstergesidir. Sıvama ile delme işleminde malzemeyi plastik deformasyonlara uğratarak sıvanmasına sebep olan yüksek sıcaklık, ardından soğuk şekillendirme yapılarak kılavuzla dış çekme işlemi malzemede bir pekleşme, dolayısıyla malzeme dayanımının artışına sebep olduğunu ortaya koymaktadır. Buna ek olarak, delinen yüzeydeki malzemenin talaş şeklinde malzemedan ayrılmaması, deliğin çeperinde yığılması kesit alanının zayıflamasının tersine daha da güçlendirmiştir. Üstelik bu yüzey pekleşmenin birebir olduğu yüzey olması vesilesiyle de daha mukavim bir dış yüzeyi oluştuğunun göstergesidir.

Burada tabî ki malzemelerin süneklikleri de önemlidir. Süneklik; malzemenin kopmaksızın dayanabileceği şekil değiştirme miktarıdır. Çekme testinden önce ve sonra numuneler üzerinde ölçü işaretleri arasındaki mesafeyi ölçmektir. Buna % uzama da denir ve kopmadan önce numunenin gerdirilen miktarını belirler [14].

$$\boxed{\%Uzama = \frac{l_s - l_0}{l_0}} \quad (3.3.)$$

Buna göre numunelerin % uzamalarına bakacak olursak CM22NBK, St37-2 nin altında, S460MC'nin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu sünek yapının grafik hali Şekil 3.8'de rahatlıkla görülebilir.



Şekil 3.8. Numunelerin uzama değerleri

Deneysel olarak anlatılan bu analizleri bir de yapılan son çekme deneyi ile M8, 8.8 cıvata geçirilip çekilerek ortaya çıkan sıyırma kuvvetleri analiz edilmiştir. Burada yine numuneler 30x300 boyutlarında 3'er adet CM22NBK, St37-2 ve S460MC malzemelerine, sıvama ile delik delme proseslerinin ardından diş açıldıktan sonra, malzemeler preste Resim 3.12'te gösterilen şekle göre preste bükülmüştür.

Çizelge 3.11. M8, 8.8 civatanın mukavemet özellikleri [19]

Sınıf Numarası	Dış Çap Aralığı	Minumum Emniyet Gerilmesi	Minumum Akma Gerilmesi	Minumum Çekme Gerilmesi	Malzeme
M8, 8.8	M3-M36	600 MPa	660 MPa	830 MPa	Orta Carbon



Resim 3.12. Sıyırma testi için hazırlanan örnek numune ve M8, 8.8 civata [1]

Malzemeler büküldükten sonra özel olarak yapılmış aparat vasıtasıyla tekrar çekme test cihazına bağlanmıştır (Resim 3.13).



Resim 3.13. Özel tasarlanmış numunenin çekme testi [1]

Uygulanan çekme yükü karşısında numuneler plastik deformasyona uğramışlar ardından civatalar test numunelerinden sıyrılmışlardır (Resim 3.14) .



Resim 3.14. Civatanın malzemeden sıyrılmış hali [1]

Civataların, malzemelerden sıyrılma kuvvetleri, Çizelge 3.12’de gösterilmiştir.

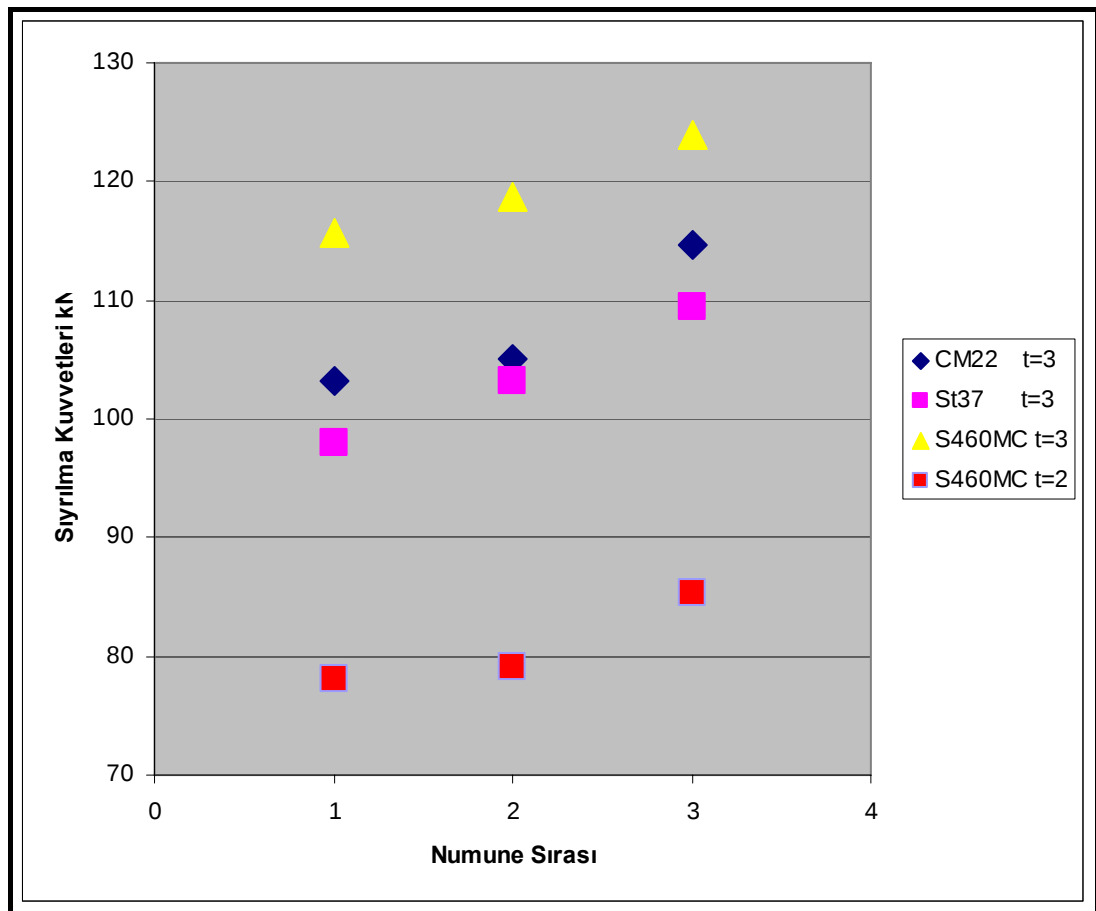
Çizelge 3.12. Civataların malzemelerden sıyrılma kuvvetleri [1]

Malzeme	N=1500 dev/dak V=0,25 mm/sn	N=1800 dev/dak V=0,4 mm/sn	N=2000 dev/dak V=0,315 mm/sn
CM22NBK, t=3	9,9 kN	9,4 kN	11 kN
S460MC, t=3	11,1 kN	11,4 kN	11,9 kN
St37-2, t=3	9,4 kN	9,9 kN	10,5 kN
S460MC, t=2	7,5 kN	7,6 kN	8,2 kN

Test sonuçlarından da anlaşılacağı üzere en yüksek sıyrılma kuvveti değerini 3 mm kalınlığında ki S460MC malzemesi vermiştir. Buradan da bu malzemenin kullanım yerine göre çok daha yüksek kuvvetleri karşılayabileceğini göstermektedir ki bu önceki yapılan testlerde de görülmüştür. St37-2 ve CM22NBK’nın test sonuçları ise birbirlerine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Bu sonuçtan hareketle, bu

malzemelerin birbirlerinin yerine kullanılabileceğini ortaya koymuştur. 2 mm kalınlığındaki S460MC malzemenin ise sıyırılma kuvvetlerinin en düşük değerlerde olduğu görülse de 2000 dev/dak'da ve 315 mm/dak'da yapılan ilerleme hızında alınan sonuç yine de CM22NBK'ya yakın sayılabilecek bir değer olmaktadır. Buradan da otobüste fazla yük almayan bu kullanım yerleri için değişikliğin uygulanabilirliği konusunda fikir vermektedir.

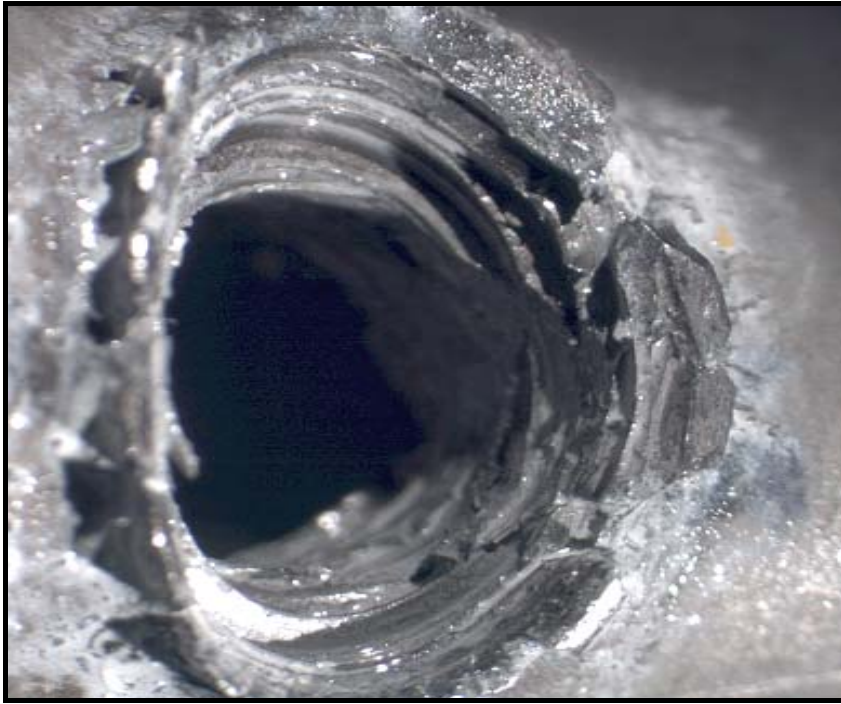
Çekme kuvvetlerine göre oluşan değerler, grafiksel olarak Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Civataların sıyırılma kuvvetleri

Civatalar 3 mm kalınlığında ki S460MC malzemesinden en yüksek sıyırma kuvvetiyle, 2 mm kalınlığındaki S460MC'nin ise et kalınlığının diğer malzemelere göre 1 mm daha düşük olması sebebiyle en düşük sıyırılma kuvvetiyle malzemelerden sıyırıldığı tespit edilmiştir.

Test sonrası malzemeler incelendiğinde diş dibinde yine herhangi bir çatlama durumuyla karşılaşılmamıştır. Fakat sıvama sonrası sıvanan ve diş açılmış olan yüzeyde deformasyon olduğu, dişlerin kaydığı ve uç bölümlerde yırtılmalar olduğu gözlenmiştir. Bu sayılanlar Resim 3.15’de Leica MZ-12 Stereo Mikroskoku’nda çekilmiş olan makro resimlerde daha ayrıntılı görülebilir.



Resim 3.15. CM22NBK 2. test numunesinin sıyırılmadan sonraki makro yapısı [1]

Yine aynı şekilde montesi yapılan civatanın dişlerinde de sıyırılmalar olduğu şekil 3.16’da rahatlıkla gözlemlenebilir.



Resim 3.16. M8, 8.8 test civatasının sıyırılmadan sonraki makro yapısı [1]

Resim 3.14 bir kez daha incelenecek olursa M8, 8.8 civatanın sıyırılmasının kolaylaştıran bir etken olduğu fark edilebilir. Buda özel hazırlanmış çekme numunesini çekme test cihazına bağlandığında, üst çenenin civatayı y ekseninde çekmesi nedeniyle, bu çekme kuvvetinden etkilenen test numunesinin şekil değiştirerek delik yüzeyinin genişlemesinden kaynaklanmıştır.

Bu yüzden test numunelerine göre, et kalınlıkları aynı olmak üzere Resim 3.17’de ve Resim 3.18’de görüleceği gibi 60 mm uzunluğunda 30x30 mm genişlik ve yüksekliğinde profiller kestirilerek, malzemenin test aşamasında deformasyona uğramaması için delik delinen yüzeyine plakalar kaynatılmıştır. Malzemenin çekme cihazının alt çenesi tarafından tutulabilmesi için de yine profilin alt yüzeyine bir plaka kaynatma yoluna gidilmiştir.



Resim 3.17. Özel tasarlanmış 2. tip test numunesi [1]



Resim 3.18. 2. tip test numunesinin çekme test cihazına bağlanması [1]

Çekme testi boyunca, kuvvet arttıkça, numunenin delik açılan yüzeyini genişletecek deformasyonun oluşmadığı görülmüştür. Cıvata sıyrıldıktan sonra test numunesini ve M8, 8.8 cıvata Resim 3.19’da görülebilir.



Resim 3.19. Çekme testi sonrası numune ve cıvata [1]

Test sonrası numuneler incelendiğinde dış dibinde yine herhangi bir çatlama olayıyla karşılaşılmamıştır. Fakat sıvama sonrası sıvanan ve dış açılmış olan yüzeyde deformasyon olduğu, dışların kaydığı ve uç bölümlerde yırtılmalar olduğu gözlenmiştir. Resim 3.20’de görülen test numunesinin mikroskopta alınan makro görüntüsü Resim 3.21’de, M8, 8.8 civatanın makro görüntüsü görülebilir.



Resim 3.20. Çekme testi sonucu delik yüzeyinin makro görüntüsü [1]



Resim 3.21. Çekme testi sonucu M8, 8.8 civatanın makro görüntüsü [1]

Çekme testinde M8, 8.8 civatanın malzemeden sıyırılma kuvvetleri Çizelge 3.12’de görülebilir.

Çizelge 3.12. Civataların malzemelerden sıyırılma kuvvetleri [1]

Malzeme	N=1500 dev/dak V=0,25 mm/sn	N=1800 dev/dak V=0,4 mm/sn	N=2000 dev/dak V=0,315 mm/sn
CM22NBK, t=3	17,8 kN	18,5 kN	19,1 kN
S460MC, t=3	19,3 kN	20,0 kN	20,4 kN
St37-2, t=3	17,0 kN	17,7 kN	18,6 kN
S460MC, t=2	13,8 kN	14,1 kN	14,3 kN

Yeni tasarlanmış numunelere göre de en yüksek sıyırma kuvveti yine 3 mm kalınlığında ki S460MC malzemesinde ortaya çıkmıştır. Bir önceki test numunesinde olduğu gibi, bu malzemenin kullanım yerine göre çok daha yüksek kuvvetleri karşılayabileceği bir kez daha görülmüştür. St37-2 ve CM22NBK’nın test sonuçları ise birbirlerine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Bu sonuçla malzemelerin birbirlerinin yerine kullanılabilecekleri tekrar ortaya konmuştur. 2 mm kalınlığındaki S460MC malzemenin ise sıyırılma kuvvetlerinin en düşük değerlerde olduğu görülse de 2000 dev/dak’da ve 315 mm/dak’da yapılan ilerleme hızında alınan sonuç yine de CM22NBK’ya yakın sayılabilecek bir çekme kuvveti değeri vermiştir. Buradan da otobüste fazla yük almayan bu kullanım yerleri için değişikliğin uygulanabilirliği konusunda fikir vermektedir. Sonuç olarak yeni test numuneleriyle ortaya çıkan sonuçlar malzeme deformasyonunun elimine edilmesiyle aynı paralellikte fakat daha yüksek çekme kuvvetleri olduğu görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç

2. bölümde anlatıldığı üzere otobüs üzerinde kullanılan tüm sıvama ile delik delme prosesleri, 3 mm kalınlığındaki CM22NBK profillerine yapılmaktadır. Bu sebeple üretimde en çok kullanılan 3 tip malzeme tipi seçilerek birbirleriyle kıyaslama yoluna gidilmiştir. Yapılan tüm denemelerde;

- Aktif olarak kullanılan CM22NBK malzemesini sıvamak için kullanılan kriterlerin, diğer malzemelerin sıvanmasında da kullanılabileceği görülmüştür.
- Malzemelerin sıvayarak delik delme prosesi sonucunda, hiçbir şekilde çatlamaya uğramadığı tespit edilmiştir.
- Malzemelerin sertlik değerlerinin, sıvama sonucu ortaya çıkan sürtünme ve ısı etkisiyle arttığı anlaşılmıştır. Bu da sıvayarak delme ve soğuk şekillendirerek dış açma prosesi sonucu, malzemelerde mukavemet artışı olduğu tespit edilmiştir.
- Ortaya çıkan kopma kuvvetleri malzemelerin kullanım yerine göre kabul edilebilir değerler olduğu tespit edilmiştir.

Yukarıda verilen bilgiler sonucunda kullanım yerleri itibariyle çok yük altında kalmayışları nedeniyle 3 mm kalınlığında ki St37-2 malzemesi de, 2 mm kalınlığında ki S460 MC malzemesi de, CM22NBK malzemesi yerine kullanılabilir. St37-2 malzemesinin seçilmesi durumunda maliyetten, 2 mm kalınlığındaki S460MC malzemesinin seçilmesi durumunda ise hem maliyetten hem de otobüs ağırlığından bir kazanıma gidilecektir. Resim 3.1’de gösterildiği üzere;

Kütle ve maliyet kazanımı

1 numaralı bölgenin malzeme ağırlığı = 1,689 kg.

2 numaralı bölgenin ağırlığı = 10,399 kg.

3 numaralı bölgenin ağırlığı = 2,292 kg.

Toplam ağırlık = 14,38 kg.

Bütün malzemelerin öz ağırlığı $7,85 \text{ g/cm}^3$ olduğu göz önüne alınırsa et kalınlığı değiştirilmediği sürece tüm alternatiflerden bir ağırlık kazancı söz konusu değildir. Bu durumda ağırlık kazancı için sadece 2 mm kalınlığındaki S460MC olur bu durumda ağırlıklar her bir bölge için aşağıdaki şekilde oluşacaktır.

1 numaralı bölgenin malzeme ağırlığı = 1,268 kg.

2 numaralı bölgenin ağırlığı = 7,06 kg.

3 numaralı bölgenin ağırlığı = 1,628 kg.

Toplam ağırlık = 9,956 kg.

Bu durumda iki malzeme arasındaki toplam ağırlık farkı 4,424 kg olduğu ve tesiste yılda 2000 araç üretildiği varsayılırsa ağırlıktan toplam kazanç 8848 kg olacaktır.

Çizelge 4.1'deki maliyetler de dikkate alınarak toplam kazanç şu şekildedir.

Çizelge 4.1. Deney malzemelerinin alış fiyatları [1]

Malzeme	Fiyat (Dolar / Metre)
CM22NBK, t=3	2,58
S460MC, t=3	2,67
St37-2, t=3	2,53
S460MC, t=2	1,93

1 metre 40x20x3 CM22NBK için ağırlık 2,39 kg, 1 metre 40x20x2 S460MC için ağırlık 1,758 kg olduğu göz önüne alınırsa;

CM22NBK için 1 araçta harcanan maliyet = $(14,38 \times 2,58) / 2,39 = 14,32 \text{ \$}$

S460MC için 1 araçta harcanan maliyet = $(9,956 \times 1,93) / 1,758 = 10,93 \text{ \$}$

Bu durumda maliyet farkı 2000 araç için 6780 \$ kazanç getirecektir.

Aynı şekilde St37-2 içinde düşünecek olursak aynı et kalınlıkları için ağırlıktan bir kazancımız olmayacaktır. Dolayısıyla St37-2 için sadece maliyet açısından incelemekte yarar vardır ki bu da;

St37-2 için maliyet kazancı = $(2,58-2,53) * 2000 = 100 \$$ 'dır.

4.2. Öneriler

Şekil 1.1'de, vidalı yüzey elde etmek için alternatif yöntemler gösterilmiştir. Yapılan testler sonucunda, bu bölgelerin de sıvayarak delik delme ve ardından soğuk şekillendirme yöntemiyle dış açma yöntemiyle yapılması tavsiye edilebilir. Bu sayede tez içeriğinde anlatılan avantajlara ek olarak, tekrar ağırlık ve maliyet kazancına gidilecektir.

Resim 1.1'de ki maliyet kazancına bakacak olursak;

Malzeme ağırlığı ve maliyet kazancı

Şekil 1.1 için; 2 adet Ø6 dış çekilmiş 40x20x7 mm ölçülerinde, 2 adet St37-2 plakanın ağırlığı 42 gr'dır.

$$2000 \text{ otobüs için: } \frac{42 \times 2000}{1000} = 84 \text{ kg}$$

$$(84 \times 2,58) / 2,39 = 91 \$$$

Şekil 1.2 için; plakaya puntalanan Ø8 mm somununun maliyet kazancı ağırlık değil adet üzerinde hesaplanmaktadır. İlgili bölge için aks ekseni sağ ve solu olmak üzere toplamda 4 adet somun kullanılmaktadır.

$$2000 \text{ otobüs için: } 4 \times 2000 = 8000 \text{ adet}$$

Somun alımları 1000 adet üzerinden 11 € olduğundan kazanç; 88 €'dur.

Şekil 1.3 için; plakaya puntalanan Ø10 mm somununun maliyet kazancı ise aks eksenini sağ ve solu olmak üzere toplamda 2 adet somun kullanılmaktadır.

2000 otobüs için: $2 \times 2000 = 4000$

1000 adet Ø10 mm somunun maliyeti 25 € olduğundan

$4 \times 25 = 100$ € kazanç elde edilir.

İşçilik kazancı

İşçilik süreleri hesaplanırken tüm teçhizatın hazır olduğu ve birbiri ardına yapılan işlemlerin, bir adet bazına düşen süresi alınmıştır. Bu varsayım üretimdeki tüm siparişlerin aylık bazda açıldığı ve stoklardan malzemelerin tek seferde çekildiği düşünülerek gerçekleştirilmiştir.

Şekil 1.1'deki 1 adet lama plaka için işçilik süresi = 9 sn

Şekil 1.2'deki 4 adet somun için işçilik süresi = 15 sn

Şekil 1.3'deki 2 adet somun için işçilik süresi = 12 sn

İşlemin sıvayarak delik delme ve soğuk şekillendirme ile diş açma prosesine çevrildiği düşünülürse;

Şekil 1.1'deki 1 adet lama plaka için işçilik süresi = 14 sn

Şekil 1.2'deki 4 adet somun işçilik süresi = 12 sn

Şekil 1.3'deki 2 adet somun için işçilik süresi = 8 sn

Şekil 1.1'de sürenin uzun çıkması sıvayarak delik delmenin ardından ek olarak kılavuzla diş açma işlemi gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Somun puntalamanın süresinin daha uzun çıkması ise, kaynak torcunun somun etrafındaki hareket zorluğundan kaynaklanmaktadır. Zaman etüdlerinden sonra +2 saniye kazanç olacağı ortadadır. Şirket prensipleri nedeniyle saat bazında işçilik ücretinin verilmesine izin verilmediğinden işçilik kazancı, süresel olarak hesaplanmayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Sözüğüzel, D., arşivinden, MAN TÜRKİYE A.Ş., (2006).
2. Baykara, C., Öz, H.R., Akpolat, A., “Bolted Connection Methods On The Thin Section Profiles “**9th. International Research/Expert Conference**, Antalya, 661-663 (2005).
3. Dekkers, G., *Flowdrill prosesi firma katalogları*, Copyright by Flowdrill B. V. Holland, 1-30 (1993).
4. Miller, S.F., Li, R., Wang, H., Shih, A. J. “Journal of Manufacturing and Engineering-Transactions of the Asme 128, 3. Edition”, **Asme – Amer Soc Mechanical Eng, Three Park Ave**, New York, 802-810 (2006).
5. Prof. Dr.-Ing TİKAL, High Resistance Threads In Thin Metal Sheets “**14th International Conference on Production Research** “, Japan, 394-397 (1997).
6. McClure, W., “ASM Metals Handbook, 9. Edition” **ASM INTERNATIONAL Materials Park OH 440730002**, USA, 16: 265-267 (1997).
7. Beer, F. AND Johnston, E., “Design of Transmission Shafts”, Mechanics of Materials, **McGraw-Hill Limited**, USA, 120 (2000).
8. Prof. Dr. Çakır M. C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, 1 Baskı”, **Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın**, Bursa, 158: 158 (2000).
9. Syed, Q. A., “ASM Metals Handbook, 9. Edition” **ASM INTERNATIONAL Materials Park OH 440730002**, USA, 18: 98-106 (1997).
10. **DIN 51757 Normu, Deutsche Industrie Norm**, “Yağ Minerallerinin ve İlgili Materyallerin Testi: Yoğunluk Hesabı”.
11. **Flowdrill Firması**, Material Safety Data Sheet for FTMZ According to 91 / 155 EWG.
12. **Flowdrill Firması**, Material Safety Data Sheet for FD-KS According to 91 / 155 EC.
13. Weissbach W., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, 6. Baskı” Prof. Dr. Anık, S., Prof. Dr. Anık, E. S., Doç. Dr. Vural, M., **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 232-243 (1998).

14. Askeland, D.R., “ The Science and Engineering of Materials, 1. Edition”, Dr. Erdoğan, M. *Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti.*, Ankara, 100-125 (1998).
15. Dieter, G. E., “ASM Metals Handbook, 9. Edition”, *ASM INTERNATIONAL Materials Park OH 440730002*, USA, 8: 18-25 (1997).
16. Hibeler, R.,C., “Mechanics of Materials, Sixth Edition”, *Pearson Prentice Hall*, New Jersey, 85-90 (2005).
17. Marks, L. S., “Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers”, Avallone, E. A., Baumeister T., *McGraw-Hill*, New York, 5.13-18 (1996).
18. <http://www.mmf.cu.edu.tr/mmb/manufacturing/olanaklar.htm#tensile>, (2006).
19. Norton, R., “Machine Design 2.nd Edition”, *Prentice Hall*, USA, 901 (2000).
20. Serfiçeli, Y., “Malzeme Bilgisi Temel Ders Kitabı, 1. Baskı”, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 176 (2000).
21. *DIN EN 10 149-2 Normu, Deutsche Industrie Norm*, “Soğuk Şekillendirme İçin Yüksek Mukavemetli Çeliklerden Üretilmiş Sıcak Haddeli Yassı Ürünler”.
22. *DIN 2395-3 Normu, Deutsche Industrie Norm*, “Dikdörtgen ve Kare Elektrik Kaynaklı Özel İmalat Çelik Borular”.
23. *DIN 17200 Normu, Deutsche Industrie Norm*, ”Genel Yapı Çelikleri”.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SÖZÜGÜZEL, Dilek
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 17.05.1979 Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 314 74 25
 Faks : 0 (312) 398 10 02
 e-mail : dileksozuguzel@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği	2003
Lise	İncirli Süper Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004 -	MAN TÜRKİYE A.Ş.	İş Hazırlama Müh.

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Hobiler

Basketbol, müzik