

**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
2017-DP-008**

**SIVAMA OPERASYONUNUN MALZEMENİN
MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Onur KARAGÖZ

**Dönem Projesi Danışmanı
Prof. Dr. İsmail BÖĞREKÇİ**

AYDIN

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Tezsiz Yüksek Lisans Programı öğrencisi Onur KARAGÖZ tarafından hazırlanan Sıvama Operasyonunun Malzemenin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi başlıklı dönem projesi, 28.07.2017 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı Soyadı	Kurumu	İmzası
Başkan :	Prof.Dr.İsmail BÖGREKÇİ	ADÜ	
Üye :	Doç.Dr.Pınar DEMİRCİOĞLU	ADÜ	
Üye :	Yrd.Doç.Dr.Mustafa ASKER	ADÜ	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu Tezsiz Yüksek Lisans Dönem Projesi Enstitü Yönetim KurulununSayılı kararıyla tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Aydın ÜNAY
Enstitü Müdürü

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu dönem projesinde sunulan tüm bilgi ve sonuçların, bilimsel yöntemlerle yürütülen gerçek deney ve gözlemler çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce, sonuç ve bilgilere bilimsel etik kuralların gereği olarak eksiksiz şekilde uygun atıf yaptığımı ve kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

28/07/2017

Onur KARAGÖZ

ÖZET

SIVAMA OPERASYONUNUN MALZEMENİN MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Onur KARAGÖZ

Dönem Projesi, Makine Mühendisliği

Dönem Projesi Danışmanı: Prof. Dr. İsmail BÖĞREKÇİ

2017, 35 sayfa

Bu çalışmada, jant üretiminde yoğun olarak kullanılan ve kullanımı artarak devam eden sıvama operasyonunun tarihi, sıvama yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Sıvama yöntemlerinin kendi aralarındaki avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Bağımsız – et kalınlığı değişimli sıvama yöntemiyle üretilen kamyon kasnak jantlarının sıvama operasyonu öncesi ve sonrası malzeme özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Mekanik özelliklerdeki bu değişimleri çekme testi ve sertlik testi uygulayarak gözlemlemeye çalışılmıştır. Ayrıca bu incelemeler, mikroyapı incelemeleri ile desteklenmeye çalışılmıştır. Sıvanarak ağırlık hafifletme amacıyla yapılan çalışmada, akma ve çekme mukavemetlerinde artış gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bağımsız-et kalınlığı değişkenli sıvama, metal sıvama, çekme testi, mikroyapı

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF FLOW FORMING OPERATION ON MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF MATERIALS

Onur KARAGÖZ

Master Term Project, Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İsmail BÖĞREKÇİ

2017, 35 pages

In this study, information about the history of spinning operation and the methods of spinning are given which is used extensively in wheel production and which continues to increase in usage . The advantages and disadvantages of spinning methods are mentioned. The changes in the material properties before and after the forming operation of truck rims produced by flow-forming method were investigated. These changes in mechanical properties have been tried to observe by applying tensile test and hardness test. In addition, these studies have been tried to be supported by microstructure studies. In the work carried out for weight reduction by flow forming, an increasing at yield and tensile strengths was observed.

Key Words: Flow Forming, Sheet Metal Spinning, Tensile Test, Microstructure.

ÖNSÖZ

Talaşsız imalat yöntemlerinden biri olan ve jant üretim yöntemlerinde önemli bir yer tutan sıvama operasyonu, prosesi gereği malzeme hafifletme yönünde çalışmalara olanak sağlamaktadır. Bu prosesin kullanılması ile jant hafifletme çalışmalarına hız verilmiştir ve jant üretiminde yoğun olarak tercih edilmektedir. Deformasyon sertleştirmesinin meydana getirdiği malzemede dayanım artışı ile birlikte nihai üründe daha hafif bir tasarım yapmaya olanak sağlamaktadır.

Gerek derslerimde, gerekse “Sıvama Operasyonunun Malzemenin Mekanik Ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi ” konulu tez çalışmamda, bana danışmanlık ederek beni yönlendiren danışmanım Prof. Dr İsmail Böğrekci, yine tez çalışmalarında bana yardımını esirgemeyen Doç Dr. Pınar Demircioğlu’na ayrıca bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen tüm JANTSA A.Ş. çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Onur KARAGÖZ

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
BİLİMSEL BİLDİRİM SAYFASI	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
1 . GİRİŞ	1
1.1. Sıvamanın Tanımı Ve Tarihsel Gelişimi.....	1
1.1.1. Sıvamanın Tanımı	1
1.1.2. Sıvamanın Tarihsel Gelişimi	2
1.2. Sıvama Yöntemleri.....	8
1.2.1. Standart Sıvama	8
1.2.2. Bağımlı-Et Kalınlığı Değişimli Sıvama (Yatırmalı Sıvama)	12
1.2.3. Bağımsız Et Kalınlığı Değişimli Sıvama	18
2. KAYNAK ÖZETLERİ	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM	26
4. BULGULAR	32
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	33
KAYNAKÇA.....	34
ÖZGEÇMİŞ	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

S_0	Sıvanmamış düz malzeme kesiti kalınlığı, mm
$S_0^{\`}$	Sıvanmamış konik malzeme kesiti kalınlığı, mm
S_1	Düz malzemeden sıvanmış iş parçası kesit kalınlığı, mm
$S_1^{\`}$	Konik malzemeden sıvanmış iş parçası kesit kalınlığı, mm
D_0	Sıvama öncesinde iş parçası dış, mm
D_1	Sıvama sonrasında iş parçası dış çapı, mm
D_s	Hidrolik silindirlerde silindir iç çapı, mm
d_i	Boru biçimli iş parçası iç çapı, mm
L_0	İş parçasının sıvama öncesi uzunluğu, mm
$L_0^{\`}$	İş parçasının sıvanmayan kısmının uzunluğu, mm
L_1	Takım hareket yönüne dik kuvvet, N
r	Röle burun yarıçapı, mm
h	Röle adımı, mm
b	Röle izi derinliği, °
α	Sıvanmış iş parçası koniklik açısı, °
β	Sıvanmamış iş parçası koniklik açısı, °
θ	Çok röleli sistemlerde rölelerin eşdeğer açısı, °
γ	Sıvama rölesi etkin açısı, °
δ	Sıvama rölesi süpürme açısı, °
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, μm
F_R	Radyal kuvvet, N
F_A	Eksenel kuvvet, N
F_T	Teğetsel kuvvet, N
V	Rölenin aksenal yönde ilerleme hızı, mm/sn.
$V^{\`}$	Rölenin aksenal yönde, iş parçası devrine bağlı ilerleme hızı, mm/sn
n	İş parçası dönüş devri, dev/dk.
P	Basınç, MPa

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 1-Röle ile şekillendirme. 2-Kaşık ile şekillendirme.....	2
Şekil 1.2. Çeşitli röle ve kaşık geometrileri.	2
Şekil 1.3. El ile yapılan sıvama işlemini gösteren bir illüstrasyon.....	3
Şekil 1.4. Sıvama tezgahlarında takım destek düzenekleri	4
Şekil 1.5. Elektrik tahrikli sıvama makinesi ve şekillendirici takım için el çarkı düzeneği	5
Şekil 1.6. Şekillendirici makarası hidrolik sistem ile tahrik edilen sıvama tezgahı. 5	
Şekil 1.8. Taklit sistemli sıvama tezgahında operatörün prototip bir parça işlemesi 6	
Şekil 1.7. Şekillendirici makara grubunun kontrolü için şablon kopya sistemi kullanılan bir tezgahın şematik gösterimi	7
Şekil 1.9. Modern bir CNC sıvama makinesi.....	8
Şekil 1.10. Standart sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen çeşitli parça formları 8	
Şekil 1.11. DIN 8582 ve DIN 8584'e göre standart sıvama.....	9
Şekil 1.12. Standart sıvama tezgahının şematik gösterimi	10
Şekil 1.13. Şekillendirici makara ilerlemesinin farklı yönleri için iş bölgesinde oluşan gerilme dağılımları.....	10
Şekil 1.14. Bölgesel ısıtma kullanarak yapılan bir sıvama işlemi.....	10
Şekil 1.15. Sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen çeşitli parçalar	11
Şekil 1.16. Standart sıvama esnasında karşılaşılabilen bozukluklar	12
Şekil 1.17. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama prosesinin ana prensibi.....	12
Şekil 1.17. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama prosesinin ana prensibi.....	13
Şekil 1.18. DIN 8582 ve DIN 8584'e göre bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama ...	14
Şekil 1.19. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama şematik gösterim	14
Şekil 1.20. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama operasyonu için paralelogram uygulaması	15
Şekil 1.21. İki adet şekillendirici makaraya sahip bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama tezgahı.....	16
Şekil 1.22. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama kullanılarak imal edilen parça formlarının şematik gösterimi	17
Şekil 1.23. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama yöntemi ile imal edilen parçalar. 17	
Şekil 1.24. Bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama yönteminin şematik gösterimi . 19	

Şekil 1.25. 3 Röle ile yapılan bir bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama işleminde rölelerin birbirine göre konumu.....	21
Şekil 1.26. Bir sıvama tezgahında 120° açılı 3 röle yerleşimi.....	21
Şekil 1.27. 1- İleriye doğru bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama, 2- Geriye doğru bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama.	23
Şekil 1.28. İleriye doğru bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama ile işlenmekte olan bir parça.....	23
Şekil 1.29. Geriye doğru bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama ile işlenmekte olan bir parça.	24
Şekil 3.1. Sıvanan bölgedeki kesit kalınlığı ölçümü.....	26
Şekil 3.2. Sıvama öncesi - hadde yönünde ve sıvama sonrası - sıvama yönüne dik alınan numuneler	27
Şekil 3.3. Sıvama sonrası mikroskopta incelenme yönleri	29
Şekil 3.4. Sıvama öncesi hadde yönünde (1a) ve sıvama sonrası sıvama yönüne dik (1b) mikroyapı karşılaştırılması (büyütme : 500x - dağlayıcı: nital %5)29	
Şekil 3.5. Sıvama öncesi hadde yönüne dik (2a) ve sıvama sonrası sıvama yönünde (2b) mikroyapı karşılaştırılması (büyütme : 500x - dağlayıcı: nital %5)29	
Şekil 3.6. Mikro sertlik ölçümünün şematik gösterimi.....	30

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Standart sıvama ile yatırmalı sıvama arasındaki farklar	16
Çizelge 1.2. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen parçalar için ulaşılabilir bitmiş parça toleransları	18
Çizelge 3.1. Çekme test sonuçları	27
Çizelge 3.2. Sıvama öncesi – hadde yönünde alınan numuneye ait stress – strain grafiği	27
Çizelge 3.3. Sıvama sonrası – sıvama yönüne dik alınan numuneye ait stress – strain grafiği.....	28
Çizelge 3.4. Numune kesit yönleri	28
Çizelge 3.5. Sıvama operasyonu öncesi sertlik sonuçları	31
Çizelge 3.6. Sıvama operasyonu sonrası sertlik sonuçları	31
Çizelge 3.7. Sıvama öncesi ve sonrası sertlik değerlerinin karşılaştırılması.....	31

1. GİRİŞ

Üreticiler için en uygun imalat yöntemleri, istenilen özelliklerdeki ürünü en az maliyet ve en kısa zamanda üretebildikleri yöntemdir. Seri imalat süreçlerinde, bunu sağlamak için genel yaklaşım talaşlı imalat yöntemleri yerine mümkün olduğunca talaşsız imalat yöntemlerini seçmek ve üretim için kullanılan operasyon sayısını azaltmaya çalışmaktır.

Metal sıvama, artan şekillendirme özelliği sayesinde diğer sac metal şekillendirme işlemlerine kıyasla kendine özgü avantajlara sahiptir. Bu avantajlar arasında süreç esnekliği, özel olmayan takımlar, düşük şekillendirme yükü, kaliteli finiş yüzeyi ve şekillendirilen parçanın daha iyi mekanik özelliklere sahip olması yer alır. Bu nedenle, sac metal sıvama süreçleri sıklıkla otomotiv parçalarının üretiminde, uzay endüstrisinde, sağlık, inşaat ve savunma sektörlerinde kullanılmaktadır.

Günümüzde metal şekillendirme yöntemleri birçok çeşitlilik göstermekle birlikte her ürünün kendi özelliklerine uygun imalat yöntemleri, üreticiler tarafından geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Bu kapsamda “Sıvama Yöntemleri”, talaşsız imalat yöntemleri arasında geniş kullanım alanına sahip olup giderek kapsamını artırmaktadır.

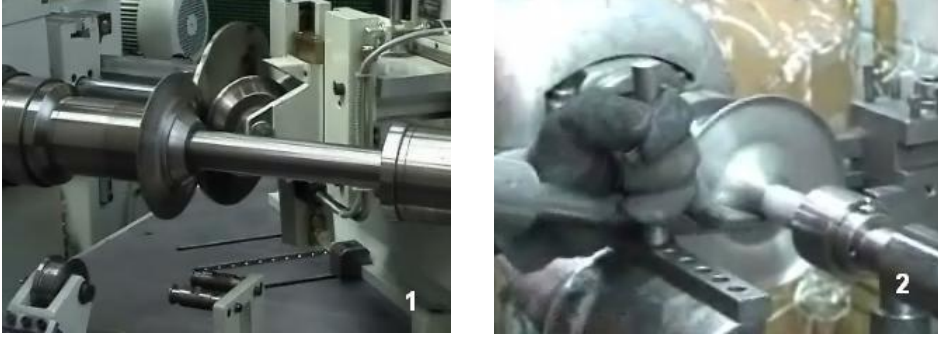
Yapılan bu çalışmada, sıvama yöntemleri ile ilgili bilgiler verilmiş, proseste meydana gelebilecek problemlere değinilmiştir. Sıvama sonrası mekanik değerlerdeki ve mikroyapıdaki değişimler gözlemlenmiştir. Jant kasnak üretiminde kullanılan sıvama operasyonunun jantın dayanımına olan etkileri araştırılmıştır.

1.1. Sıvamanın Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

1.1.1. Sıvamanın Tanımı

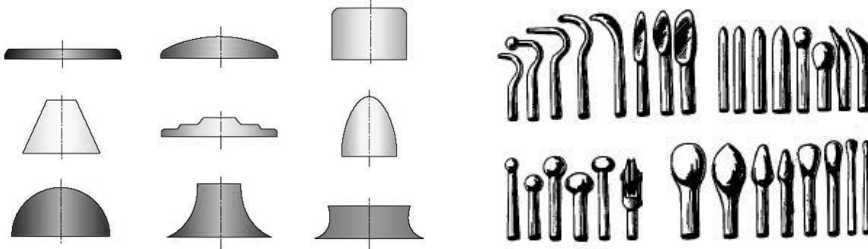
Sıvama; sac veya boru biçimli malzemelerin, kendi eksenleri etrafında döndürülürken, çeşitli takımlar ile uygulanan radyal ve/veya aksel yönde kuvvetler neticesinde şekillendirilmesidir. Sıvama ile islenecek parçalar dönme eksenine göre simetrikler; örneğin dairesel kesilmiş plakalar, borular, vb. gibi geometridirler. Sıvama, bu tanıma uygun olan fakat birbirinden farklı birçok yöntemi kapsar. İşlem esnasında, sıvama tipine göre, malzeme belirli bir kalıbın üzerine sıvanarak şekillendirilebileceği gibi belirli bir kalıp geometrisi olmadan,

boşlukta da şekillendirilebilir. Şekillendirme, işlemin gereklerine göre soğuk veya sıcak olarak yapılır. Sıvama ile imalatta, talaş kaldırılmaması ve imalat hızının yüksek olması, sıvamayı cazip kılan temel etmenlerdir.



Şekil 1.1. 1-Röle ile şekillendirme. 2-Kaşık ile şekillendirme.

Şekillendirme için kullanılan takımlar ya is parçasına temas ile dönen veya hiç dönmeyen sabit şekildedirler. Dönen takımlar endüstride “röle” veya “top” olarak, dönmeyen takımlar ise “kaşık” olarak isimlendirilirler. Röle ile sıvama ve kaşık ile sıvama örnekleri Şekil 1.1.’de gösterilmiştir. Modern sıvama makinelerinde; dönen takımlar kullanılırken, elle sıvama yapılan makinelerde genellikle kaşık tipi takımlar kullanılırlar. Şekil 1.2 de çeşitli röle ve kaşık geometrileri gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Çeşitli röle ve kaşık geometrileri.

1.1.2. Sıvamının Tarihsel Gelişimi

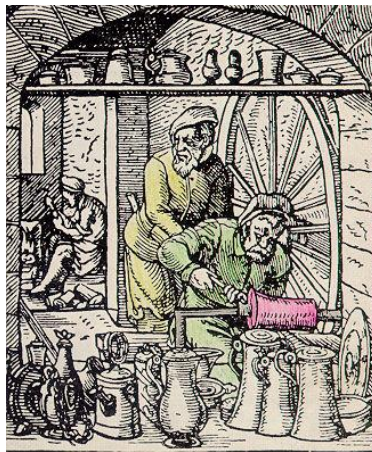
Metal sıvama teknolojisinin tarihi çok eski zamanlara dayanmaktadır. Her ne kadar, metal malzemeleri şekillendirmek için bu tekniğin kullanıldığına dair ilk kanıtlar orta çağdan kalmış olsa da büyük olasılıkla, antik Mısırlıların çömlek

imalatında kullandıkları tekerlekler bu tekniğin temelini oluşturmuştur. Yapılan çeşitli kazılarda, metal kapların, sıvanmasında kullanılan çeşitli tahta parçaları bulunmuştur.

Sıvama yönteminin, 10 yüzyılda Çin’de kullanıldığına dair kanıtlar mevcuttur. 3.Edward döneminde (14. yy) İngiltere’ye geldiği bilinmektedir. 19. yüzyılda ise Amerika’da kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 1.3’de gösterildiği gibi, eski zamanlarda, metal sıvama işlemi tahta bir sıvama tornası üzerinde bir aparat (çubuk) yardımıyla sağlanırdı. Malzemeyi şekillendirmek için gerekli dönme hareketi ise, genellikle ayrı bir kişi tarafından elle tahrik edilen ve göreceli olarak çok büyük ebatlarda bir çark mekanizması tarafından sağlanırdı.

Günümüzde kullanılan en düşük özelliklere sahip sıvama tezgâhının bile en az 1,5 kW elektrik motor gücüne sahip olduğu dikkate alınırsa, yukarıda anlatılan sistemin şekillendirme kabiliyetleri oldukça düşüktür. Bahsedilen çubuklu mekanizma ile yalnızca, çok ince ve yumuşak metal malzemeler sıvanabilirdi. Çeşitli dezavantajlarına rağmen, bu yöntem, döküm ve dövme nazaran önemli avantajlar getirmiştir.

Zaman içinde, fener milini döndürmek için hem su gücünden hem de buhar gücünden yararlanılmıştır. Buna rağmen, düz plaka şeklindeki malzemeyi, yuvarlak içi boş iş parçasına dönüştürmek için gerekli şekillendirme hareketi için hala insan gücü kullanılmaktadır.

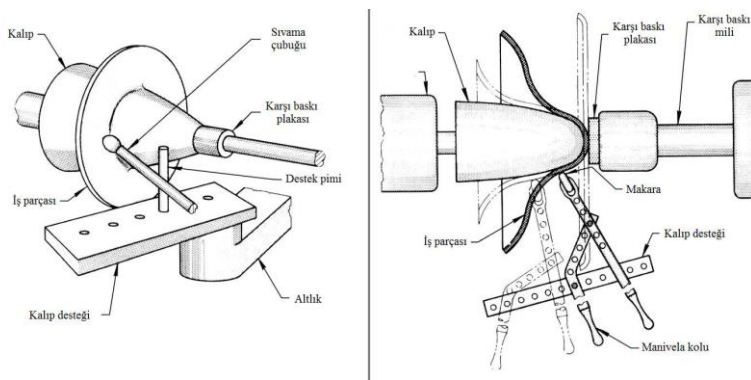


Şekil 1.3. El ile yapılan sıvama işlemini gösteren bir illüstrasyon

20. yüzyıl başlarında, sıvama işlemi, bir bilimden daha çok bir sanatkâr seviyesindeydi. Sıvama işleminin başarısında, şekillendirme işlemini yapan kişinin kabiliyetinin ve yeteneklerinin çok büyük bir önemi vardı. Sonuç olarak sıvama yöntemi, bu sanatkârlar tarafından, genellikle eve ait gereçler, çorba kabı, pişirme kapları gibi tekrarlanabilirliğin ve ölçüsel toleransların çok önemli olmadığı parçaların imalatında, basit bir torna tezgâhı benzeri tezgâhlarda kullanılmaya başlandı. Yapılan operasyon her ne kadar kalifiye bir tecrübeli çalışan gerektirse de ortaya çıkan bu maliyet artışı, düşük kalıp maliyetleri ile dengelenmiştir.

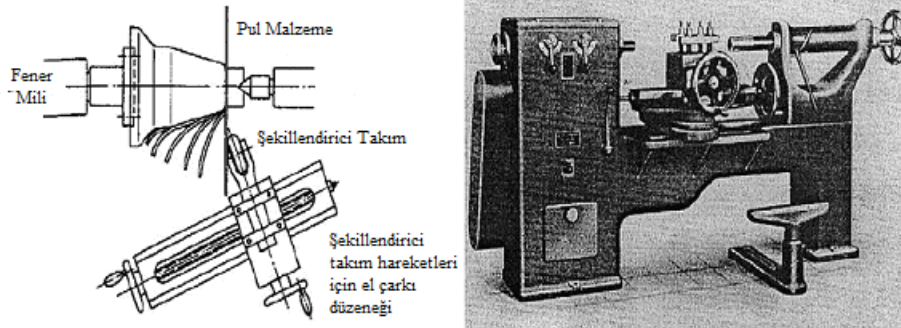
Fener milinin tahriki için, elektrik motorlarının kullanılmasıyla, el kontrollü sıvama tezgâhlarının kapasitesi, sıvama operatörünün gücüyle kısıtlanmıştır. Bir sonraki adımda sıvamacı, çeşitli yardımcı güç ekipmanları ile desteklenerek, şekillendirilebilir ürün çeşitliliği artırılmıştır .

Fener mili tahriki için elektrik gücü kullanan ilk sıvama makinesi 1930'lu yıllarda imal edildi. Bu makinede, dönen iş parçası genellikle çelikten yapılan bir çubuk yardımıyla şekillendirilmekteydi. Sıvamacının hareket kabiliyetini arttırmak ve en büyük güçle çalışmasını sağlamak amacıyla şekillendirici takım, “takım desteği” (T-rest) adı verilen bir platformdan destek alınarak kullanılmaktaydı. Şekil 1.4’de gösterilen kalıp desteği üretilecek parçanın özelliklerine göre farklı bir pozisyona bağlanabilir ve yüksekliği ile açısı ayarlanabilirdi. Büyük çaplı malzemelerde eteklerdeki kırışmayı önlemek için, parçanın etek kısmını destekleyen ilave bir arka destek mekanizması da kullanılmaktadır.



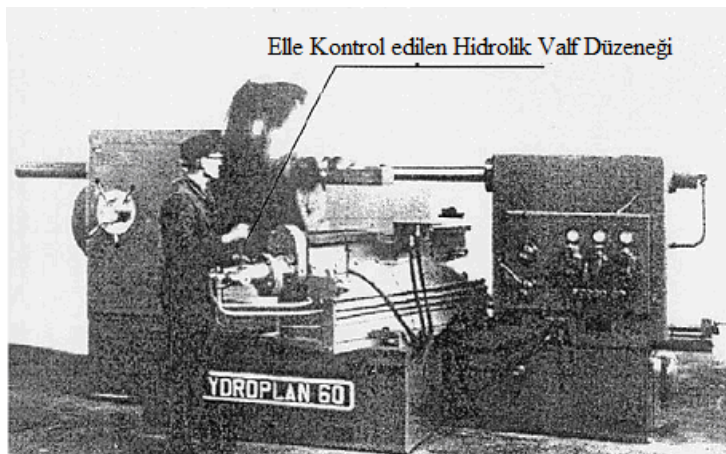
Şekil 1.4. Sıvama tezgâhlarında takım destek düzenekleri

Şekillendirici takımın hareketi için el çarkına bağlanmış vidalı miller de kullanılmıştır. Fakat bu sistemler işlem sırasında gerekli hızları yeterince sağlayamadıkları için olumlu neticeler vermemişlerdir.



Şekil 1.5. Elektrik tahrikli sıvama makinesi ve şekillendirici takım için el çarkı düzeneği

Sıvama teknolojisi alanındaki gerçek gelişme, şekillendirici takım yerine şekillendirici makaraların kullanılması ve bu makaranın hidrolik güç kullanılarak tahrik edilmesiyle ortaya çıkmıştır. 1945 yılında, hidrolik güç tahrikli ilk tezgâh üretilmiştir. Bu tezgâhta operatör, Şekil 1.6'da gösterildiği gibi, bir el kumandalı valf yardımıyla şekillendirici makara sistemini kontrol etmekteydi .



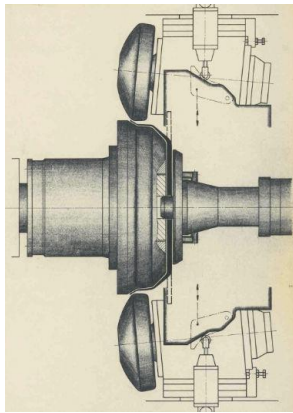
Şekil 1.6. Şekillendirici makarası hidrolik sistem ile tahrik edilen sıvama tezgâhı

Geliştirilen hidrolik tezgâhlar sayesinde, eski sistemlere göre daha kalın ve daha yüksek mukavemetli malzemeler şekillendirilebilmiştir. Ayrıca hidrolik tahrikli tezgâhlar, “yatırmalı sıvama” ve “cidar ezmeli sıvama” gibi daha yeni teknolojilerin geliştirilmesine imkân sağlamıştır.

Bütün bu geliştirmelere rağmen operatör tarafından elle kontrol edilen bu tezgâhlarda üretilen her bir parçanın başarısı, halen operatörün kabiliyetlerine ve dikkatine bağlıdır. Diğer bir deyişle, insan faktörü halen devrededir.

Yüksek tekrarlanabilirlik için ihtiyaç duyulan çözüm, şablon sistemi ve hidrolik kopya sistemi ile gelmiştir. Bu sistem makinelere çok büyük bir esneklik kazandırmıştır.

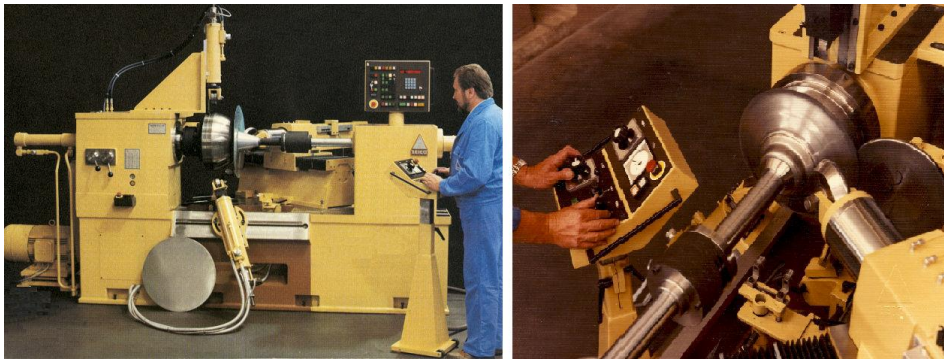
Kopya plakasının çalışma prensibi, standart ev anahtarlarının kopyalanmasına benzetilebilir. Bu işlemde hidrolik bir valf grubuna bağlı olan küçük bir kol, bir plaka üzerine işlenmiş profili takip ederken, rölelere bağlı hidrolik silindirler, bu kolun hareketlerine bağlı olarak iş parçasını şekillendirirler. Örnek bir kopya plakası ve kopya başlığı Şekil 1.7’de gösterilmiştir. Bir ürünün profili için genel hatlarıyla hazırlanan kopya plakası, ürünün tam şekli hassas olarak elde edilene kadar, çeşitli denemelerle tekrar tekrar işlenerek seri üretime hazır hale getirilirdi. Bu nedenle kopya sistemli tezgâhlarda optimizasyon işlemi uzun ve zorlu bir süreçti. Ayrıca hazırlanan kopya plakası, yalnızca bir ürün tipi için kullanılabilirdi.



Şekil 1.7. Şekillendirici makara grubunun kontrolü için şablon kopya sistemi kullanılan bir tezgahın şematik gösterimi

Kopya plakaları ile çalışan sıvama makineleri 1970'li yılların sonlarına kadar imal edilmişlerdir. Bugün halen bu makinelerden faal olanlarını görmek mümkündür. Gelişen teknoloji ile birlikte, 1970-1980'li yıllarda elektronik kontrol sistemleri ile çalışan sıvama makineleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu ilk elektronik kontrol sistemleri daha çok taklit sistemleri olarak bilinirler.

Şekil 1.8'de bir örneği görülen taklit sistemli bir sıvama tezgahında, şekillendirici makara grubun hareketlerinin sisteme tanıtılması amacıyla, sıvama konusunda tecrübeli bir operatör makarayı elle kumanda ederek, prototip bir parça işler. Bu esnada elektronik kontrol sistemi, operatörün makine üzerinde yaptığı bütün hareketleri hafızasına kaydeder. Bu hareketler seri üretim esnasında da sistem tarafından aynen taklit edilerek istenen ürün imal edilirdi.



Şekil 1.8. Taklit sistemli sıvama tezgahında operatörün prototip bir parça işlemesi

Kopya plakası ve taklit sistemleri ile çalışan sıvama makinelerinin yerini 1990'lı yıllarda ortaya çıkan NC kontrollü ve daha sonra da CNC kontrollü sıvama makineleri almıştır. Günümüzde imal edilen hemen hemen tüm endüstriyel sıvama makineleri CNC kontrollüdür. Bu sayede parça daha işlenmeden rölelerin hareketleri belirlenmekte, G-kodları kontrol sistemine tanımlanmakta ve tezgâhın hareketleri sanal olarak simüle edilebilmektedir. Eldeki veriler kolaylıkla kayıt altına alınmakta, kopyalanmakta ve hatta internet üzerinden uzaktan erişimle makinelerin ayarları ve ürün programları dünyanın herhangi bir yerinden değiştirilebilmektedir. Bu tarihsel gelişim esnasında, sıvama işlemlerinin hassasiyetleri de zamanla artmıştır. Elle yapılan sıvama işlemlerinde oldukça kaba bir tolerans bölgesinde çalışılmakta iken bugün artık bazı makinelerde 0.01mm'nin altında ölçü hassasiyetlerinden söz etmek mümkündür.



Şekil 1.9. Modern bir CNC sıvama makinesi.

1.2. Sıvama Yöntemleri

1.2.1. Standart Sıvama

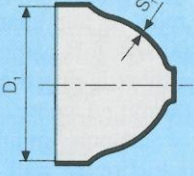
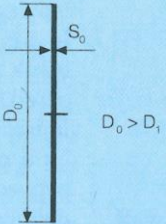
Standart sıvama, düz pul (genellikle yuvarlak forma sahip) veya ön formlu (konik, konkav vb.) malzemeden, döner yönde simetrik, içi boş parçaları şekillendirmek için kullanılan bir tekniktir. Şekil 1.10'de standart sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen çeşitli parça formları şematik olarak gösterilmiştir .



Şekil 1.10. Standart sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen çeşitli parça formları

Başlangıç malzemesi, genellikle yuvarlak forma sahip plaka biçimli malzemelerdir. Düz pul, sıvama kalıbı ile karşı baskı grubuna rulmanlı bir yapı ile bağlanmış olan karşı baskı plakası arasında sıkıştırılır. Fener mili tahrik edilirken; şekillendirici makaralar, radyal veya aksel doğrultuda hareketler yaparak parçayı şekillendirirler. Gerçekleşen bir dizi hareketten sonra iş parçası dönen sıvama kalıbının üzerine sıvanır. İşlem çok pasoda gerçekleşen bir işlemdir. Her bir pasoda malzeme, kalıba bir miktar daha yatırılmaktadır.

Şekil 1.11’de DIN 8582 ve DIN 8584’e göre standart sıvamada başlangıç ve bitiş malzemesinin sahip olduğu geometrik özellikler gösterilmiştir.

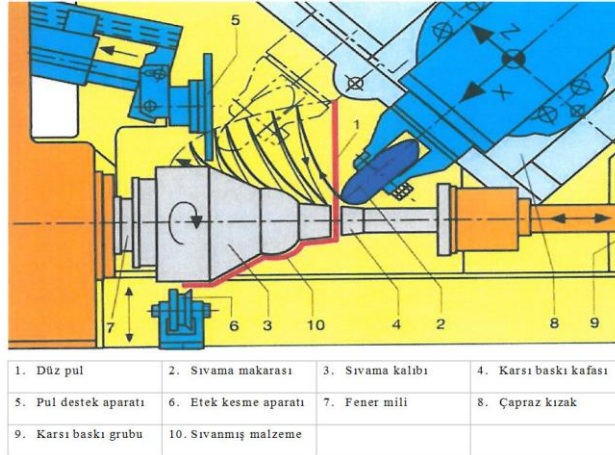
Standart	Standart Sıvama	Başlangıç Malzemesi	Et Kalınlığı
Compression forming DIN 8582 Tension forming DIN 8584, T4			Yaklaşık olarak $S_1 = S_0$

Şekil 1.11. DIN 8582 ve DIN 8584’e göre standart sıvama

Teorik olarak, işlem sırasında malzeme kalınlığı korunmaktadır. Bitmiş parçanın yüzey alanı, başlangıç malzemesinin alanı ile aynıdır, cidar kalınlığı ise çok küçük değişimler göstermektedir.

Yapılan deneysel çalışmalarda, standart sıvama işleminde rol oynayan parametrelere ve özellikle iş parçasının malzemesine bağlı olarak cidar kalınlığında küçük de olsa bir miktar azalma gözlemlenmiştir. İş parçasından istenen hassasiyete de bağlı olarak, kaba toleranslara sahip iş parçaları için en büyük %30’luk bir cidar kalınlığı azalması, standart sıvama prosesi için normal kabul edilir.

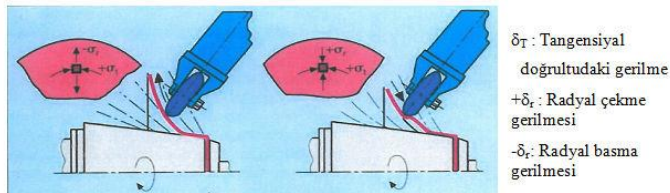
Şekil 1.12’de standart sıvama tezgahının şematik gösterimi yer almaktadır. Klasik sıvama için kullanılan tezgâhlarda, torna tezgâhlarına benzer şekilde; ana gövde (makine yatağı), ana fener mili, tahrik sistemi, karşı baskı grubu ve takım desteği yer alır. Fener milinin üzerine, normal tornalardaki sıkma çenesinin yerine, üretilecek parçanın iç konturuna sahip sıvama kalıbı bağlanmıştır.



Şekil 1.12. Standart sıvama tezgahının şematik gösterimi

Bunlara ilave olarak, şekillendirme sırasında, malzemenin kırışmaması için fener mili tarafında konumlandırılmış olan pul destek aparatı kullanılabilir. Sıvama prosesi esnasında; rölenin iş parçasına temas ettiği noktada lokal plastik deformasyon bölgesi oluşur. Bu lokal deformasyon bölgesinin avantajı sıvama esnasında ihtiyaç duyulan kuvvet ihtiyacının geleneksel presleme operasyonu ile kıyaslandığında çok daha az olmasıdır. Bu sebeple sıvamada kullanılan ekipmanlar ve kalıplar çok daha küçüktür.

Şekil 1.13'de şekillendirici makara ilerlemesinin farklı yönleri için iş bölgesinde oluşan gerilme dağılımlarını göstermektedir. Bu bölgede basma ve çekme kuvvetleri birbirine eklenir ve böylece iş parçasının cidar kalınlığı şekillendirme esnasında sabit kalır. Makaranın ileri doğru hareketi sırasında çapsal doğrultuda gerilmeler ve teğetsel doğrultuda basma gerilmeleri oluşur. Gerilme sıvama kalıbı doğrultusunda bir akış üretmekte ve incelmeye yol açmaktadır ki, bu basma gerilmelerinin yol açtığı kalınlaşma etkisini dengeler.

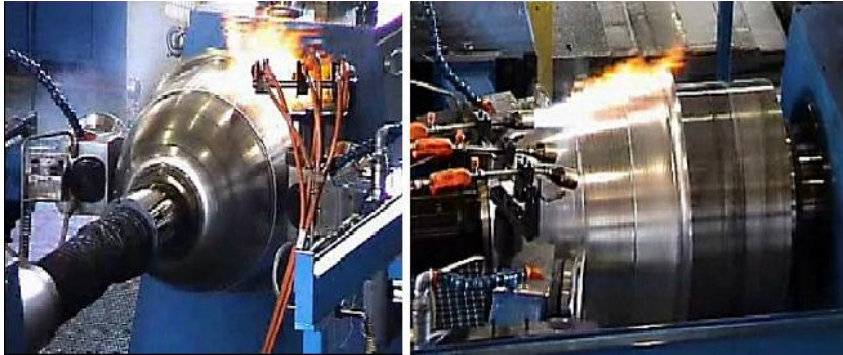


Şekil 1.13 Şekillendirici makara ilerlemesinin farklı yönleri için iş bölgesinde oluşan gerilme dağılımları

Makara, geriye giderken merkeze doğru bir hareket de yaparsa; rölenin önünde metal artışı olur. Bu da makara ve kalıp arasında; teğetsel doğrultuda ve yarıçapsal doğrultuda basma gerilimlerinin oluşmasına yol açar. Bu sıkıştırma streslerinin bir sunucu olarak malzeme kalıp doğrultusuna yer değiştirir. Standart sıvama yöntemi kullanılarak çeşitli aydınlatma reflektörleri, gaz tüpleri, fren diskleri vb. parçalar imal edilebilir.

Kullanılan malzemeler, saç metal plakalar, alaşımsız veya düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, ısıya dayanıklı malzemeler, demir dışı metaller vb. oldukça çeşitlidir. Bazı malzemeleri şekillendirirken, bir ara tavlama işlemi gerekebilir. Bazı uygulamalarda ise bölgesel ısıtma işlemi ile şekillendirme gerçekleştirilir.

Bölgesel ısıtma işlemi, malzemenin ve verilmek istenilen formun özelliklerine göre şekillendirme işlemi başlamadan on ısıtma tarzında olabileceği gibi, şekillendirme işleminin herhangi bir aşamasında da olabilir. Gerekli durumlarda tezgahın bir tarafında makara yardımıyla şekillendirme yapılırken, diğer tarafında ise ısıtma işlemi kesintisiz olarak devam edebilir. Şekil 1.14'te detay fotoğrafı gösterilen sıvama tezgahında, hem şekillendirme hem de bölgesel ısıtma işlemi aynı anda yapılmaktadır.



Şekil 1.14. Bölgesel ısıtma kullanarak yapılan bir sıvama işlemi

Standart sıvama ile 10 mm ile 5000mm çap aralığında ve 0,5 mm'den 30 mm'ye kadar cidar kalınlığına sahip malzemeler şekillendirilebilir.

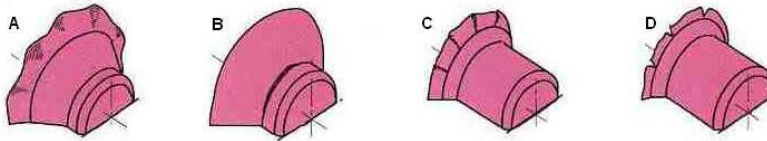
Standart sıvama ile elde edilen tolerans değerleri sınırlıdır. Örneğin, yapılan çeşitli uygulamalarda, 500 mm çapa kadar olan parçaların cidar kalınlığı için $\pm 0,1$ mm tolerans değeri elde edilmiştir. Üretilen parçanın çapı ve kalınlığı arttıkça,

üretilebilir tolerans aralığı artmaktadır. Gerçekleştirilen bir uygulamada, bir sıvı tankının ön ve arka kısmına kaynatılmak amacıyla üretilmiş olan, 3000 mm çapa ve 10 mm kalınlığa sahip parçada, $\pm 0,4$ mm cidar kalınlığı tolerans aralığı elde edilmiştir. Bu parçaların eş eksenliği ve doğrusallığı içinde benzer değerler gözlemlenmiştir. Genellikle standart sıvama ile imal edilen parçalar geniş tolerans aralığının kabul edildiği yerlerde, herhangi ilave bir işlem yapılmadan, nihai parça olarak kullanılırlar. Eğer hassas parça toleransları isteniyorsa, standart sıvamanın ardından çeşitli ilave şekillendirme proseslerinin yapılması gereklidir.



Şekil 1.15. Sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen çeşitli parçalar

Standart sıvamada, sıvama esnasında genel olarak karşılaşılan bazı bozukluklar Şekil 1.16 'de görülmektedir. Şekilde, "A", sıvanmayan bölgede oluşabilen dalgalanmaları; "B", paso başlangıç düzleminde oluşabilen yırtılmaları; "C", ise parçasında oluşabilen çatlamları ve "D", sıvama bölgesinin parçalanmasını göstermektedir.



Şekil 1.16. Standart sıvama esnasında karşılaşılabilen bozukluklar.

1.2.2. Bağımlı-Et Kalınlığı Değişimli Sıvama (Yatırmalı Sıvama)

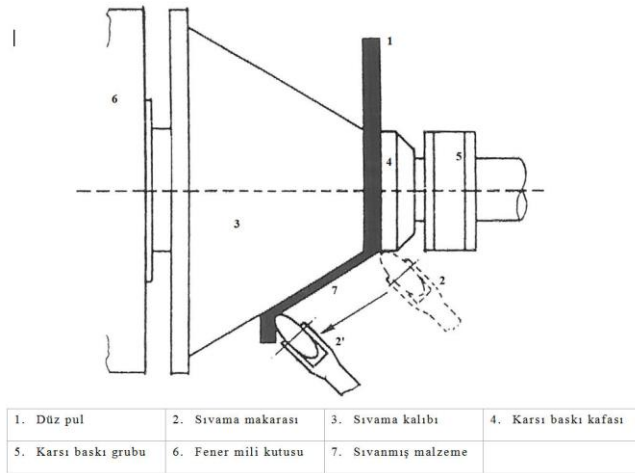
Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama, standart sıvamaya oldukça benzer bir sıvama tekniğidir. İki yöntem arasındaki ayırt edici temel özellik, bağımlı-et kalınlığı değişimli sıvamada is parçasının et kalınlığının azaltılmasıdır. Ayrıca,

standart sıvamadan farklı olarak, bağımlı et kalınlığı değişimli sıvamada işlem tek bir pasoda gerçekleştirilir ve islenen parçanın dış çapı işlem esnasında ve işlem bittikten sonra da sabit kalır. Uygun röleler kullanılarak, benzer parçalar için her iki yöntem de aynı makinede gerçekleştirilebilir. Sıvama prosesinde, hidrolik ekipmanların kullanılmasıyla beraber, ilk olarak İsviçre’de ortaya çıkmıştır .

Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama, içi boş, 8° ila 80° derecelik bir açığa sahip, konik veya konveks parçaların imalatı için sıvamadan türetilmiş bir yöntemdir.

Başlangıç malzemesi, pul ya da derin çekilmiş bir kap şeklinde ön formlu malzeme olabilir. Bu malzeme kalıp üzerine tutturulur. Şekillendirici makaralar, radyal ve aksenal doğrultuda hareket ederek kalıbın sahip olduğu formu, önceden hesaplanmış bir aralık mesafesinde takip ederler. Böylelikle iş parçası, makaraların önünde uzatılır ve ütülenir. Birçok uygulamada final şekle ulaşmak için tek bir paso yeterlidir. Birden fazla paso ihtiyacı varsa, her paso öncesinde sıvama kalıbın değiştirilmesi gereklidir.

Şekil 1.17’de Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama prosesinin ana prensibi, şematik olarak gösterilmiştir.

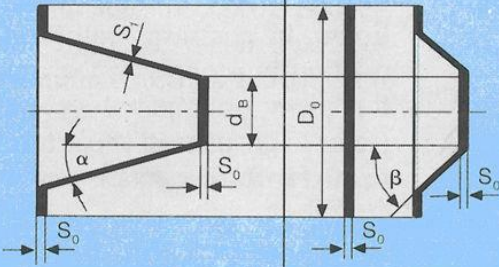
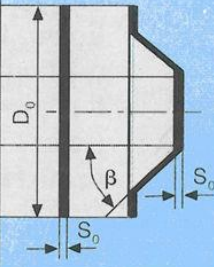


Şekil 1.17. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama prosesinin ana prensibi.

Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama sırasında, kuvvet röle ile şekil değiştiren malzeme arasındaki temas noktasına uygulanmaktadır. Bu prosesin belirgin özelliği herhangi bir an için malzemenin küçük bir alanına/bölgesine şekillendirme

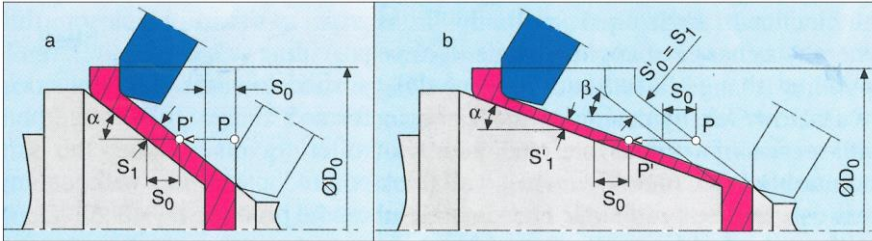
kuvvetlerinin etkimesidir, malzemenin geri kalanı, şekil değiştirmeden eski formunu korumaktadır. Bunun pratik uygulamada ki avantajı, verilen kalınlık için ihtiyaç duyulan şekil değiştirme enerjisinde ortaya çıkmaktadır. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama için ihtiyaç duyulan şekil değiştirme enerjisi diğer birçok yönüde kıyasla önemli oranda düşüktür.

Şekil 1.18’de DIN 8582 ve DIN 8583’e göre bağımlı et kalınlığı değişimli sıvamada başlangıç ve bitiş malzemesinin sahip olduğu geometrik özellikler gösterilmiştir.

Standart	Yatırmalı Sıvama	Başlangıç Malzemesi	Et Kalınlığı
Flow forming DIN 8582			taban ve uç kısmında (şekillendirilmemiş bölge) $S = S_0$
Spinning DIN 8583, T2			Şekillendirilmiş bölge için: $S_1 = S_0 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$

Şekil 1.18. DIN 8582 ve DIN 8584’e göre bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama

Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvamada, standart sıvamanın aksine cidar kalınlığında belirgin bir değişim olur, bu değişim miktarı ön form pul malzemesinin cidar kalınlığına ve final formun makine eksenine arasında açı değerine bağlıdır.



Şekil 1.19. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama şematik gösterim

Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama prosesinde, işlem parametrelerine bakılacak olursa; özetle, sıvanan bölgenin cidar kalınlığı (S_1, S_1'), islenmemiş parçanın

cidar kalınlığının (S_0, S_0') işlenmemiş parçanın kesit açısının (β) ve kalıbın kesit açısının (α) bir fonksiyonudur (Şekil 1.19).

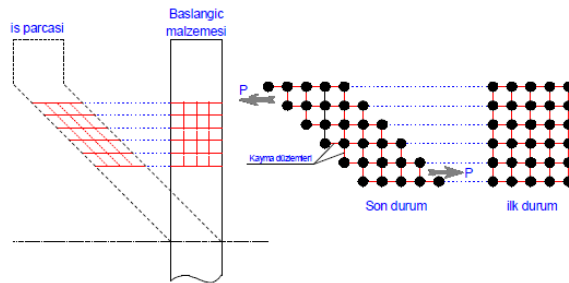
$$S_1 = S_0 \cdot \sin \alpha \quad (1.1)$$

Alternatif olarak işlem, bir ön form verilmiş malzemelerden de yapılabilir. Bu durumda formülde ön formun ve nihai formun sahip olduğu açıların ilişkisinin de irdelenmesi gerekir [6].

$$S_1' = S_0' \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (1.2)$$

Bu formüllerin ortaya koyduğu gibi, bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama prosesinde, elde edilecek parçanın cidar kalınlığı, işlenmemiş parçadan, bağımsız olarak kontrol edilememektedir.

Parça üzerinde, Şekil 1.20'deki gibi dikdörtgen bir kesit düzlemi alınır, yatırmalı sıvama operasyonu bir paralellogramda ele alınabilir.



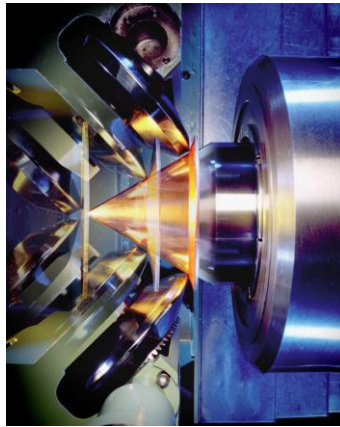
Şekil 1.20. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama operasyonu için paralellogram uygulaması

Başlangıç malzemesi, kalın cidarlı, yuvarlak ya da kare şeklinde pullar veya ön form verilmiş parçalar olabilir. Kalın cidarlı plakalar için genellikle, 180° açı ile karşılıklı yerleştirilmiş 2 adet şekillendirici makaraya sahip tezgâhlar kullanılır. Bu tip tezgâhlarda, şekillendirme sırasında kalıp üzerinde oluşan kuvvetler karşılıklı makaralar ile dengelendiği için, daha düşük tolerans aralığına sahip parçaların üretilmesi mümkündür.

Çizelge 1.1. Standart sıvama ile yatırmalı sıvama arasındaki farklar

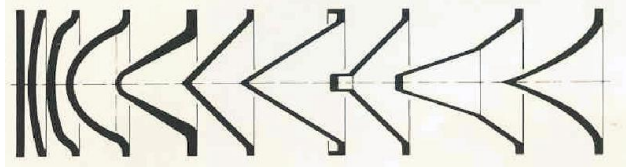
STANDART SIVAMA (Şekil 3.2)	YATIRMALI SIVAMA (Şekil 3.9)
Makarının birden fazla radyal ve eksenel yönde hareketi ile çok pasoda şekillendirme işlemi.	Genellikle tek pasoda şekillendirme işlemi.
$S_1 = S_0$	$S_1 = S_0 \sin \alpha$ $S'_1 = S_0 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$
Başlangıç malzemesi ve bitmiş parçanın cidar kalınlıkları aynıdır.	Bitmiş parçanın cidar kalınlığı, başlangıç malzemesinin cidar kalınlığına ve bitmiş parçanın açısına bağlı olarak değişim gösterir.
$A_1 = A_0$	$A_1 > A_0$
Başlangıç ve bitmiş parça yüzey alanları aynıdır	Bitmiş parça yüzey alanı daha büyüktür.
$D_0 > D_1$	$D_0 = D_1$
Başlangıç malzemesinin çapı, bitmiş parçanın çapından büyüktür.	Başlangıç ve bitmiş parça dış çapı aynıdır.

Şekil 1.21’de iki adet şekillendirici makaraya sahip Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama tezgahında, bakır koni parçası imal edilirken değişik zamanlarda çekilen görüntüler, tek bir resim üzerinde bir arada gösterilmiştir.



Şekil 1.21. İki adet şekillendirici makaraya sahip bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama tezgahı

Şekil 1.22’de ve 1.23’te örnekleri gösterildiği gibi, bitmiş parçanın şekli düz, koni, konkav, konveks yapıda geometriler veya bunların birleşimi olabilir.



Şekil 1.22. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama kullanılarak imal edilen parça formlarının şematik gösterimi



Şekil 1.23. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama yöntemi ile imal edilen parçalar

Daha önce de belirtildiği gibi bu işlem 8° ila 80° arası acılarda yapılabilir. Ancak, tek paso ile işlem yapılacaksa, minimum acı değeri yaklaşık 13° ’dir. 8° ila 13° derece acı arasındaki parçalar için 2 pasolu bir operasyon gereklidir.

Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama yönteminin avantajları:

- Düşük kalıp maliyeti
- Yakın ölçüsel hassasiyet
- Yüksek üretim adetleri
- Malzeme tasarrufu (talaş kaldırma işlemi yok)
- Parçalarda pekleşme
- Üretim sırasındaki farklı parça için ayar işleminin hızlı ve kolay olması
- Yarı kalifiye elemanla kontrol edilebilecek kadar kolay tezgâh kontrolü

Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama yöntemi ile standart sıvamada olduğu gibi, plastik olarak şekillendirilebilen tüm metal malzemeler sıvanabilmektedir. Sıvama sonucunda elde edilecek yüzey kalitesi, iş parçası malzemesine, rölenin ilerleme hızına, iş parçasının dönme hızına, vb. parametrelere bağlı olarak değişir.

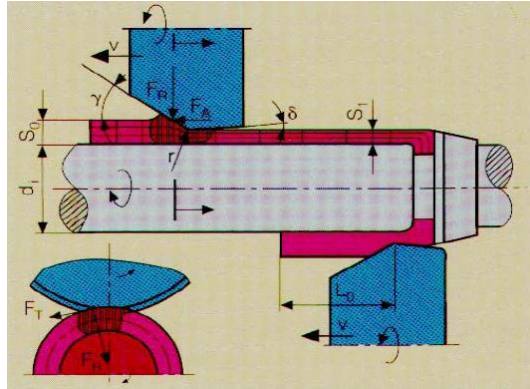
Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen parçalar için ulaşılabılır bitmiş parça toleransları Çizelge 1.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.2. Bağımlı et kalınlığı değişimli sıvama yöntemi kullanılarak imal edilen parçalar için ulaşılabılır bitmiş parça toleransları

İş parçası referans ölçüleri		Ulaşılabılır bitmiş parça toleransları	
Koni yüksekliği	50 ila 300mm	Et kalınlığı (uzunlamasına)	$\pm 0,03\text{mm}$
Açık taraftaki çap	40 ila 300mm	Et kalınlığı (çevresel)	$\pm 0,02\text{mm}^*$
Çıkış açısı	25° ila 50°	Ovalite (Disk pul)	$\leq 0,04\text{mm}^*$
Et kalınlığı	2 ila 10mm	Ovalite (Kare pul)	$< 0,08\text{mm}$
Başlangıç malzemesi et kalınlığı	5 ila 13mm	Açı	$\pm 0,05^\circ$
Malzeme	Cu (%99,9)	Yüzey kalitesi (ortalama)	$\leq 0,4\mu\text{m}$
* Başlangıç malzemesinin sahip olduğu özelliklere bağlı olarak daha düşük değerler elde edilebilir			

1.2.3. Bağımsız Et Kalınlığı Değişimli Sıvama

Bağımsız et kalınlığı değişimli sıvama yöntemi çoğunlukla boru biçimli silindirik malzemelerin şekillendirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin en önemli özelliği, iş parçasının et kalınlığının, parça malzemesine bağlı olarak %90'lara varan oranlarda düşürülebilmesi ve malzeme üzerinde farklı noktalarda farklı et kalınlıklarının elde edilebilmesidir. Bunun sonucu olarak malzemenin boyunda ciddi bir artış sağlanabilir. Bu yöntem boru biçimli malzemeler dışında, konik biçimli malzemeler üzerinde de uygulanır.



Şekil 1.24. Bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama yönteminin şematik gösterimi

Bağımsız et kalınlığı değişimli sıvama yönteminin prensibi Şekil 1.24.'de görülmektedir. Şekilde; d_i , sıvama kalıbının çapını; L_0 , sıvamaya başlanacak noktadan itibaren sıvanmamış is parçasının uzunluğunu; S_0 , sıvanmamış bölgenin et kalınlığını; S_1 , sıvanmış bölgenin et kalınlığını, F_R , rölle tarafından malzemeye uygulanan radyal kuvveti, F_A , rölle tarafından malzemeye uygulanan aksel kuvveti; F_T , sürtünme sonucu ortaya çıkan teğetsel kuvveti; V , röllelerin aksel ilerleme hızını; γ , röllelerin etkin açısını; δ , röllelerin süpürme açısını ve r , röllelerin burun yarıçapını ifade etmektedir.

İşlemden önce, öncelikle uygun biçimde imal edilmiş bir is parçası, kalıba itilerek yerleştirilir ve sabitlenir. Ana mil ve kalıp vasıtasıyla döndürülen is parçasına rölleler ile radyal (F_R) ve aksel yönde (F_A) kuvvet uygulanır. Aynı zamanda rölleler fener mili grubuna doğru aksel yönde V hızıyla ilerler. Sıvama işlemi, rölleler ile parçanın birbirine temas ettikleri noktaların altında oluşan bir basınç bölgesinde malzemenin plastik şekil değiştirmesi ile sağlanır. Bu bölgede malzeme incilir ve akar. Bu esnada, inceltile bölgedeki malzemenin hacmi ile doğru orantılı olarak is parçasının uzunluğu (L_0) artar. Bağımsız - et kalınlığı değişimli sıvamada karakteristik olarak, röllelerin önünde bir malzeme dalgası oluşur ve rölleler ile birlikte ilerler. Bu dalganın geometrisi ve büyüklüğü proses mühendisleri açısından işlemin doğruluğu ile ilgili önemli birer parametredir.

Ayrıca rölle ile malzemenin temas ettiği noktada, is parçası üzerinde teğetsel bir malzeme akışı da oluşur. Bu teğetsel malzeme akışının minimum olması istenir; zira bu malzeme akışı is parçasının iç çapının artmasına sebep olan bir etkidir. İdeal şartlar altında ve is parçası boyunca sabit bir et kalınlığı elde edilecek şekilde

yapılan bir sıvama işleminde, malzemenin hacminin değişmemesi gerektiği de göz önünde bulundurularak, is parçasının sıvama sonundaki uzunluğu aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$L_1 = L_0 \cdot \frac{S_0 \cdot (d_i + S_0)}{S_1 \cdot (d_i + S_1)} + L'_0 \quad (1.3)$$

Formülde;

L_1 : Sıvama sonunda elde edilen parça uzunluğu,

L_0 : Sıvamaya başlanacak noktadan itibaren is parçasının uzunluğunu,

L'_0 : Sıvanmayan kısmın uzunluğunu,

S_0 : İş parçasının başlangıç et kalınlığını,

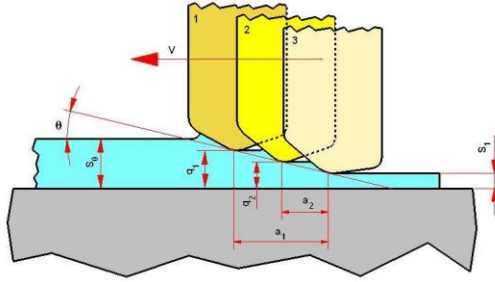
S_1 : İş parçasının işlem sonrası et kalınlığını,

d_i : İş parçasının iç çapını

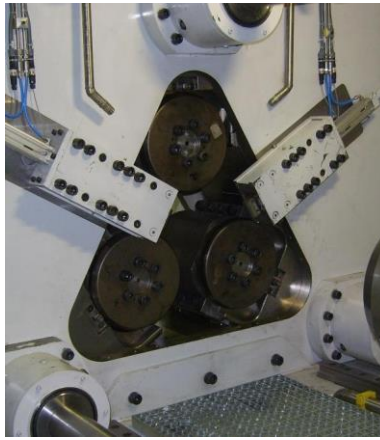
ifade etmektedir.

Bagımsız-et kalınlığı degisimli sıvama makineleri, çoğunlukla 3 röleli olarak imal edilirler. Sıvama mesafesinin nispeten uzun olduğu makinelerde 120° açıyla yerlestirilmiş 3 röle kullanılır. Röleler aksnel yönde beraber hareket ederlerken, radyal yönde bagımsızdırlar. Yeni yapılan bazı uygulamalarda, aksnel yönde, röleler yerine is parçası da hareket ettirilmektedir. Aynı gruba baglı röleler arasında grup içinde konuslanmış bir mekanizma ile aksnel yönde sabit bir ofset ayarlanır.

Röleler, sıvama esnasında, sıvanacak malzeme miktarını belirli oranlarda paylaşırlar. Şekil 1.25 'de, 3 röleli bir bagımsız-et kalınlığı degisimli sıvama tezgâhında, rölelerin aynı düzlemde gösterimiyle elde edilmiş bir islem anı görülmektedir. Şekilde; $a1$ ve $a2$ rölelerin birbirine göre ofset değerlerini, $q1$ ve $q2$ ara bölgede kalan malzeme et kalınlıklarını; θ ise rölelerin eşdeğer sıvama açısını ifade etmektedir.



Şekil 1.25. 3 Röle ile yapılan bir bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama işleminde rölelerin birbirine göre konumu



Şekil 1.26. Bir sıvama tezgahında 120° açılı 3 röle yerlesimi.

Bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama esnasında, rölelerin temas noktalarının altındaki bölgede basınç çok yüksek değerlere çıkar. Bu nedenle, is parçası bir anlamda lokal olarak kalıba preslenir. İş parçasının iç yüzey kalitesi işlem sonrasında kalıbın yüzey kalitesine eşdeğer olur. Kalıbın yüzey kalitesinin çok iyi olması durumunda, örneğin hassas olarak taşlanmış bir kalıpta, sıvama sonrasında; is parçasının iç yüzeyi de honlama kalitesinde elde edilir. Bunun yanında, kalıp malzemesinin kalitesine ve kalıbın işleme toleranslarına bağlı olarak; çok uzun parçalarda çok iyi ölçü toleransları elde edilebilir. Örneğin; 5000 mm uzunluğunda bir parçada iç çap, parça boyunca ortalama ± 0.05 ölçü hassasiyeti değerinin altında işlenebilir.

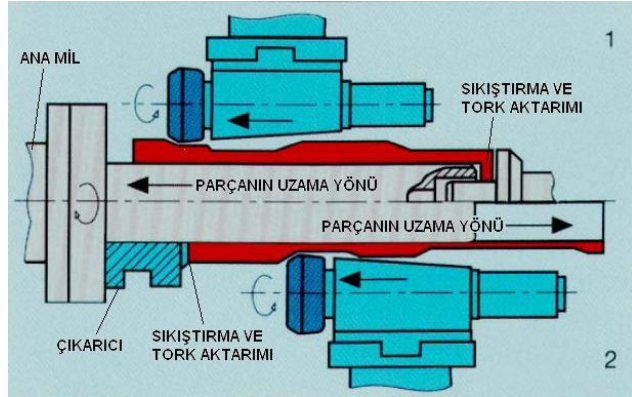
Bağımsız et kalınlığı değişimli sıvamanın 2 temel tipi mevcuttur. Bunlar:

- a. İleriye Doğru Bağımsız-Et Kalınlığı Değişimli Sıvama (Forward Flow Forming)
- b. Geriye Doğru Bağımsız-Et Kalınlığı Değişimli Sıvamadır (Reverse Flow Forming).

Bu iki yöntemin ortaya çıkma sebebi aslında iş parçalarının geometrileri ve bunun sonucu olarak makineye bağlanma/yüklenme şekilleridir. Bağımsız et kalınlığı değişimli sıvama yapılacak bir parçanın geometrisi 2 temel şekle benzer olabilir. Bunlardan birincisi bir ucu tam kapalı veya kısmen kapalı olan boru biçimli, ikincisi ise iki ucu da açık boru biçimli geometridir.

Sıvamanın ileri tipte veya geri tipte olarak isimlendirilmesi rölelerin hareket yönünden dolayı değil, is parçasının uzama yönünden dolayıdır. Zira röleler her şekilde fener miline doğru hareket ederler. Parça ise eğer fener miline doğru uzuyorsa ileri doğru, fener milinin tersi yönde uzuyorsa geriye doğru uzuyor denir. Bir ucu kısmen kapalı boru biçimli parçalar, bir karşı baskı elemanı ile kalıba sıkıştırılmaya uygundurlar. Bu nedenle fener mili tarafındaki ucu boşta kalan parça fener miline doğru uzar, yani ileriye doğru uzar. İki ucu açık boru biçimli bir parça ise ancak üzerinde dişler olan bir plakaya bastırılarak sabitlenebilir ve bu dişlerin parçaya batması vasıtasıyla döndürülebilir. Bu nedenle is parçası, kalıp üzerinde bulunan bir tork aktarım plakasına kadar itilir ve sıkıştırılır. Bu plakalar genellikle çıkarıcı görevi de görürler. Fakat yeni yapılan uygulamalarda, parçayı kalıptan çıkarma sorunu farklı yollarla çözülmeye başlanmıştır. Bu şekilde makineye bağlanan parça ancak ana milin tersi yönünde uzayabilir, yani geriye doğru uzar.

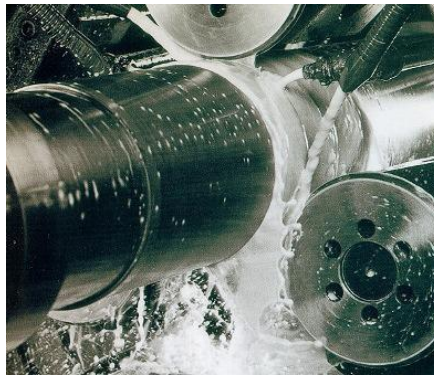
Belirtilen bu iki farklı yöntemin şematik gösterimi Şekil 1.27 de verilmiştir.



Şekil 1.27. 1- İleriye doğru bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama

2- Geriye doğru bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama.

Bu iki yöntemin pratikte çok önemli bir farkı vardır. Eğer imal edilmek istenen parça, örneğin; büyük bir roket gövdesi veya bir ağır vasıta şaft mili benzeri, uzun bir parça ise ileriye doğru sıvamada, işlenmiş parçanın boyundan daha uzun bir kalıp gereklidir. Geriye doğru sıvamada ise işlenmemiş parçanın boyundan daha kısa bir kalıp bile kullanılabilir. Elbette, geriye doğru sıvamada, eğer kalıp çok kısa olursa, islendikçe uzayan parça kalıptan uzaklaşır ve içinde herhangi bir destek olmamasından dolayı salınımlı olarak dönmeye baslar ve titreşim üretir. Böyle bir durum hem is parçasının kalitesine hem de makineye zarar verebilir. Bu tür uygulamalarda karşı baskı grubuna bağlı bir eleman is parçasına destek olarak kullanılabilir.



Şekil 1.28. İleriye doğru bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama ile işlenmekte olan bir parça.



Şekil 1.29. Geriye doğru bağımsız-et kalınlığı değişimli sıvama ile işlenmekte olan bir parça.

Uygulamada, bağımsız et kalınlığı değişimli sıvama operasyonları, islenen parçaya bağlı olarak yüksek soğutma emülsiyonu ihtiyacı gösterebilir. Örneğin, bir uygulamada 12mm et kalınlığından 5mm et kalınlığına düşürölmek istenen ST 44 malzeme için geriye doğru bağımsız et kalınlığı değişimli sıvama yapılırken 600 lt/dk soğutma emülsiyonu kullanılmaktadır. Bu değer bazı uygulamalarda 1000lt/dk'yı geçebilmektedir. Geriye doğru bağımsız et kalınlığı değişimli sıvama işlemlerinin nispeten daha büyük güçler gerektirdiği ve daha fazla soğutma emülsiyonuna ihtiyaç duyduğu da unutulmamalıdır.

Bağımsız et kalınlığı değişimli sıvama işlemleri, çok uzun malzemelerde, çok iyi ölçü toleransları sağlamalarından; islenen parçaların yüzey kalitelerinin iyi olmasından, çoğu is parçası için soğuk olarak uygulanabilmelerinden, islenen malzemelerin işlem öncesine göre daha mukavemetli olmalarından ve diğer imalat yöntemlerine nispeten hızlı ve ucuz üretim imkânı doğurmalarından dolayı endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Savunma ve uzay sanayilerinde; roket gövde ve parçalarının imalatları, nükleer uygulamalarda kullanılan hassas toleranslı boru biçimli elemanların imalatları ve otomotiv sektöründe kullanılan şaft mili ve benzeri parçaların imalatları bunlara örnek olarak verilebilir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Gün (2007), yapmış olduğu çalışmada belirli kriterlere uygun olarak bir disk sıvama makinesi tasarlamış ve üretimini gerçekleştirmiştir. Bu model Türkiye’de tasarlanmış ve üretilmiş ilk CNC sıvama makinesi olma özelliğini taşımaktadır. Kompleks bir makine tasarımı gerçekleştirildiği için iş parçasının sıvama işlemi sonrasındaki ölçü tamlığı ve şekil hassasiyetini etkileyen parametreler incelenmemiştir. Yapılan çalışmada sıvama diski tasarlanırken yüzey kalitesine etkisi araştırılmış ve iş parçasının sıvama işlemi sonrasında hangi yüzey kalitesine olacağı hesaplanmıştır.

Biro (2011), yapmış olduğu çalışmada cidar ezmeli sıvama yönteminde şekillendirici makara sayısının altı adede çıkarılmasının işlem karakteristikleri ile parça kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Buradaki asıl amacı cidar ezmeli sıvama yönteminde parça şekillendirme hızının yavaş olmasına bir çözüm bulabilmektir. Bunun için standart olarak kullanılan 2 röle yerine 6 röleli bir tasarım geliştirilerek deneyler yapılmıştır. İşlemin sonucunda cidar ezmeli sıvama yönteminde şekillendirici makara sayısının artırılması, poligonal etkiyi minimize ederek, ilerleme hızının daha yüksek değerlere artırılmasına imkân vermiştir. Çalışmada sadece röle sayısı araştırılmış olup diğer parametreler incelenmemiştir.

Özcan (2015), ilerleme hızı, sac malzeme et kalınlığı, malzeme türü ve devir gibi parametreler güvenilirliği ispatlanmış bir sonlu elemanlar yazılımıyla incelemiştir. Bunun için öncelikle sıvama parçalarının modelleri bilgisayar ortamında tasarlamıştır. Her parametre için üç farklı değer belirlenerek en az üç analiz gerçekleştirmiştir. Bunlara göre parça üzerindeki gerilme ve gerilmeler, kalınlık dağılımı, malzeme akışı, elastik deformasyon, sıvama kuvvet diyagramları incelemiştir. Farklı parametre durumlarına göre elde edilen sonuçları, birbirleriyle karşılaştırmıştır.

Demirtaş (2017), ilerleme oranı ve sac malzeme et kalınlığı sıvanabilirliği etkileyen en önemli parametre olduğu belirlemiştir. İlerleme oranı değişikliklerinin, sac malzeme et kalınlık değişimi, sıvanabilirlik, finiş yüzey kalitesi ve geri esneme üzerinde önemli etkiye sahip olduğu tespit etmiştir. Düşük ilerleme hızı ve yüksek devir sayısı sacda daha iyi bir finiş yüzey kalitesi ortaya çıkarmış ancak sacın et kalınlığında incelmeye yol açmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Malzeme Bilgileri:

Etiket No: 104294763

Döküm No: 432412

Kalınlık: 11 mm

Kalite: ERD 6237 (S235J2)

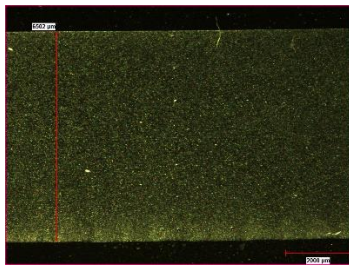
Malzemenin Mekanik Özellikleri (Erdemir Sertifika):

Akma Dayanımı: 291,3 N/mm²

Çekme Dayanımı: 408,0 N/mm²

% Uzama: % 35

Aynı sonuçları gözlemek adına kıvrılmış ve alın kaynak işlemi yapılmış kasnaklardan sıvama öncesi ve sıvama sonrası numuneler alınarak testler - incelemeler gerçekleştirilmiştir. Testler yapılmak üzere alınan bölgelerde kalınlık, 11 mm 'den 6.5 mm' e düşmüş kısımlardır. Sıvanan bölgenin kesit kalınlığının ölçümü Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Sıvanan bölgedeki kesit kalınlığı ölçümü

Bu numuneler çekme testi yapılmak üzere düzeltilmiş ve çekme testi numuneleri hazırlanmıştır. (Şekil 3.2)

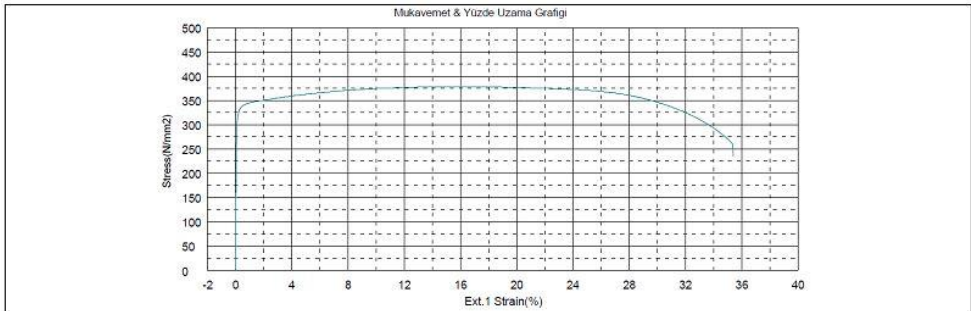


Şekil 3.2. Sıvama öncesi - hadde yönünde ve sıvama sonrası - sıvama yönüne dik alınan numuneler

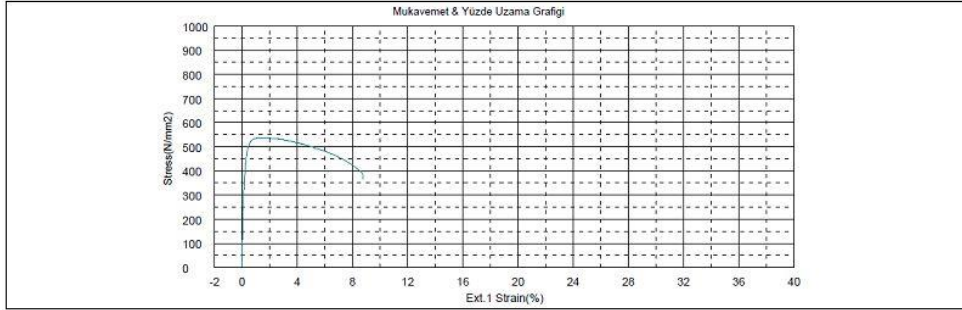
Çizelge 3.1. Çekme test sonuçları

Numune Bilgisi	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	% Uzama
Sıvama Öncesi – Hadde Yönünde - 1	333,4	378,4	35,4
Sıvama Öncesi – Hadde Yönünde - 2	325,4	382,8	34,9
Sıvama Sonrası – Sıvama Yönüne Dik - 1	494,3	537,2	8,7
Sıvama Sonrası – Sıvama Yönüne Dik - 2	489,9	524,8	8,7

Çizelge 3.2. Sıvama öncesi – hadde yönünde alınan numuneye ait stress – strain grafiği



Çizelge 3.3. Sıvama sonrası – sıvama yönüne dik alınan numuneye ait stress – strain grafiği



Yapılan çekme testi sonucunda, sıvama sonrası çekme ve akma dayanımlarının sıvama öncesine göre %45 oranında arttığı gözlenmiştir. % uzama değerinin %75 oranında azaldığı gözlenmiştir.

Mikroyapı İncelemeleri:

Sıvamanın malzemenin mikroyapısına olan etkisini gözlemek için sıvama öncesi ve sıvama sonrası mikroyapılar incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri aynı kesit yönlerinden alınmıştır. Sıvama öncesi hadde yönünde olan kesit sıvama sonrası sıvama yönüne dik, sıvama öncesi hadde yönüne dik olan kesit sıvama sonrası sıvama yönünde olarak incelenmiştir ve karşılaştırılmıştır. İncelenen kesit yönleri Çizelge 3.4.'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Numune kesit yönleri

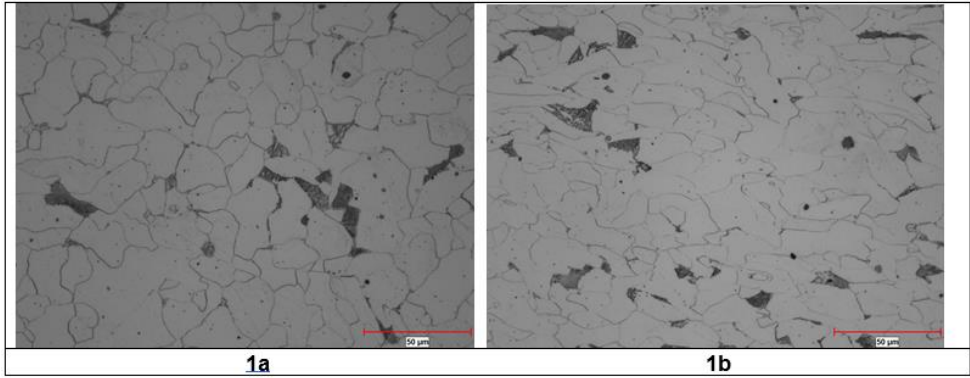
Numune Kesit Yönleri	
Sıvama Operasyonu Öncesi	Sıvama Operasyonu Sonrası
1a - Hadde Yönünde	1b - Sıvama Yönüne Dik
2a - Hadde Yönüne Dik	2b - Sıvama Yönünde

Sıvama operasyonu sonrası mikroskopta inceleme yönleri Şekil 3.3.' te verilmiştir.

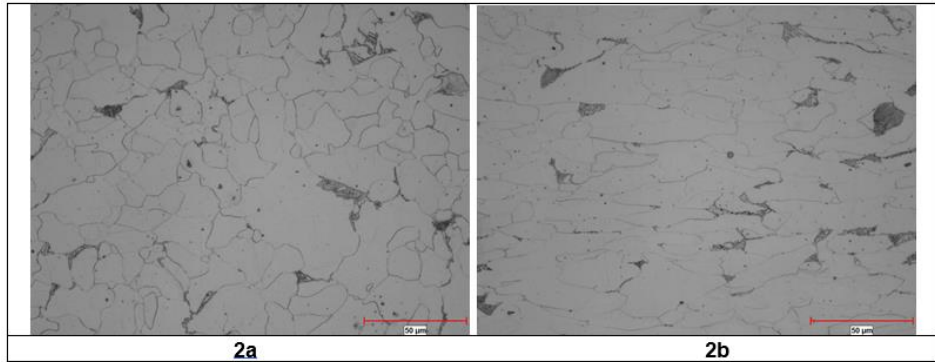


Şekil 3.3. Sıvama sonrası mikroskopta incelenme yönleri

Mikroskopta incelenen numunelere ait mikrograflar Şekil 3.4.' te ve Şekil 3.5.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Sıvama öncesi hadde yönünde (1a) ve sıvama sonrası sıvama yönüne dik (1b) mikroyapı karşılaştırılması (büyütme : 500x - dağlayıcı: nital %5)



Şekil 3.5. Sıvama öncesi hadde yönüne dik (2a) ve sıvama sonrası sıvama yönünde (2b) mikroyapı karşılaştırılması (büyütme : 500x - dağlayıcı: nital %5)

Sıvama öncesi hadde yönünde ve hadde yönüne dik olarak alınan kesitlerin (Şekil 3.4. ve Şekil 3.5. 1a - 2a) ve mikro yapılarında ferritik - perlitik yapı gözlenmiştir. Açık renkli kısımlar ferrit , koyu renkli kısımlar ise perlitir. Perlitteki sementit ağı da mikroyapıda görülmektedir. Ayrıca yapıda karbürler de mevcuttur. Tanelerin boyutları küçük ve eş eksenlidir.

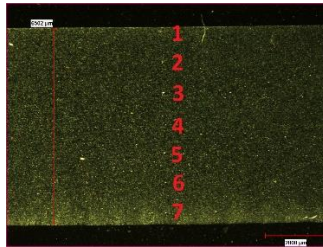
Sıvama sonrası sıvama yönünde ve sıvama yönüne dik kesitler incelendiğinde, sıvama yönünde incelenen kesitte sıvamadan kaynaklı tanelerin uzaması belirgin bir şekilde gözlenmektedir (Şekil 3.5. – 2b). Taneler incelmıştır. Bu pekleşme durumu malzemenin mukavemetini artıran bir durumdur.

Bu sıvamadan dolayı tanelerin incilmesi durumu sıvama yönüne dik kesitte de mevcuttur fakat sıvama yönündeki kadar belirgin değildir (Şekil 3.4. - 1b).

Bu tanelerin sıvama yönünde uzaması ve incilmesi tüm kesit boyunca gerçekleşmiştir. (üst -merkez – alt)

Mikro sertlik İncelemeleri:

Çizelge 3.4.' de gösterilen; Hadde Yönünde (1a), Sıvama Yönüne Dik (1b), Hadde Yönüne Dik (2a) ve Sıvama Yönünde (2b) alınan numunelere Şekil 3.6.'da verilen şekilde 1 mm ara ile mikro sertlik ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3.6. Mikro sertlik ölçümünün şematik gösterimi

Mikro sertlik Ölçüm Sonuçları:

Mikro sertlik ölçümleri HV1 (1000gf) olarak yapılmıştır. Sıvama öncesi alınan numunelerden 1 mm ara ile 12 noktadan, sıvama sonrası numunelerden ise 1 mm ara ile 7 noktadan sertlik ölçümü yapılmıştır.

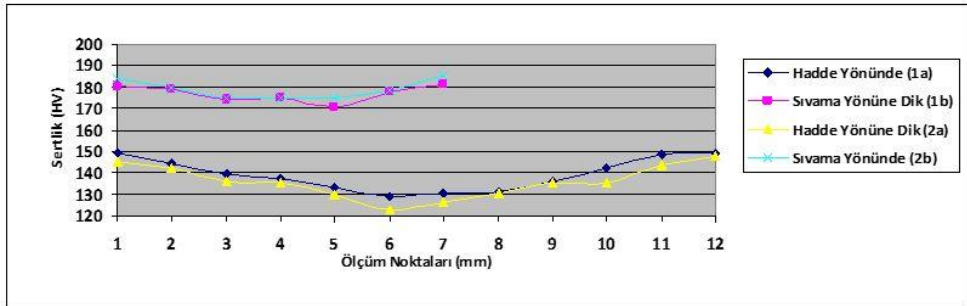
Çizelge 3.5. Sıvama operasyonu öncesi sertlik sonuçları

Sıvama Öncesi			
1a - Hadde Yönünde		2a - Hadde Yönüne Dik	
1-	149,0 HV	1-	145,2 HV
2-	144,6 HV	2-	142,1 HV
3-	139,4 HV	3-	135,9 HV
4-	137,3 HV	4-	135,2 HV
5-	132,9 HV	5-	130,0 HV
6-	129,3 HV	6-	123,0 HV
7-	130,3 HV	7-	126,1 HV
8-	130,9 HV	8-	130,2 HV
9-	136,3 HV	9-	135,1 HV
10-	142,4 HV	10-	135,4 HV
11-	148,2 HV	11-	144,0 HV
12-	149,1 HV	12-	147,6 HV

Çizelge 3.6. Sıvama operasyonu sonrası sertlik sonuçları

Sıvama Sonrası			
1b - Sıvama Yönüne Dik		2b - Sıvama Yönünde	
1-	180,3 HV	1-	184,1 HV
2-	179,1 HV	2-	180,1 HV
3-	174,0 HV	3-	175,3 HV
4-	175,3 HV	4-	174,8 HV
5-	171,0 HV	5-	175,2 HV
6-	177,5 HV	6-	178,5 HV
7-	181,4 HV	7-	185,6 HV

Çizelge 3.7. Sıvama öncesi ve sonrası sertlik değerlerinin karşılaştırılması



Sıvama öncesi malzemenin kesitinde üst-merkez-alt şeklinde yapılan sertlik taramasında; üst yüzeyden merkez hattına doğru sertlik parabolik olarak düşmekte, merkez hattından alt yüzeye doğru sertlik parabolik olarak artmaktadır.

Sıvama sonrası malzemenin kesitinde yapılan sertlik taramasında da bu yukarıda bahsedilen alt-merkez-üst yüzey sertlik geçişi gözlemlenmiştir. Ve sıvama sonrası sertlik artışı bariz bir şekilde görülmektedir.

4. BULGULAR

Sıvama operasyonu (soğuk şekillendirme) sonrasında malzemenin kristal ve tane yapısı değiştiğinden dolayı (Şekil 3.5. – 2b) dayanım ve sertlikleri artmaktadır. Bu duruma pekleşme adı verilmektedir.

Tüm incelemeler göz önünde bulundurulduğunda, sıvama operasyonu ile malzemenin dayanımı % 45 oranında artmaktadır. Teorikte de belirttiği gibi soğuk şekil değiştirme arttıkça akma ve çekme dayanımları arasındaki fark azalmaktadır. % uzama değerleri de büyük oranda düşmektedir. Bu durum sıvama operasyonu sonrası yapılan çekme testi sonuçlarında görülmektedir. Tanelerin sıvama yönünde incelendiği mikroyapı incelemelerinde görülmektedir. Ayrıca kesit boyunca yapılan mikro sertlik ölçümleri dayanım artışını net bir şekilde göstermektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çelik jant üretiminde; tüm üretim giderler içinde en yüksek maliyetin malzeme maliyeti olduğu düşünüldüğünde, sıvama operasyonu hem malzemedeki tasarruf sağlanması adına hem de malzemenin mukavemetine olumlu yöne katkı sağladığı rahatlıkla söylenebilir. Sıvama operasyonu sonrasındaki proseslerde de artan bu mukavemet değerlerine göre kalıp, makine tasarımı yapılması önem arz etmektedir. Artan bu mekanik özelliklerle birlikte tasarlanan jantın daha yüksek taşıma kapasiteli ve daha yüksek yorulma ömrüne sahip olacağı görülmektedir. Bu denemeler sonucunda üretilen yeni ürünün yorulma test sonuçları ile de desteklenecektir.

KAYNAKÇA

- Biro, C.D. 2011. Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminde Şekillendirici Makara Sayısının Altı Adede Çıkarılmasının İşlem Karakteristikleri İle Parça Kalitesi Üzerindeki Etkileri. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Demirtaş, M. 2017. Paslanmaz Sac Malzemelerin Sıvama Parametrelerinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Gün, B. 2007. Sıvama Yöntemleri Ve Sıvama Makinası Tasarımı. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze.
- Özcan, M. 2015. Sıvama Parametrelerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Onur KARAGÖZ

Doğum Yeri Ve Tarihi :Aydın - 21.09.1987

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Kocaeli Üniversitesi / Metalurji ve Malzeme Müh.

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

A) Bildiriler

-

-

-

İLETİŞİM

E-Posta Adresi : karagoz_onur@hotmail.com

Tarih :28/07/2017