

# Soğuk Dövmede Kullanılan Yüzey İşlem Metotları

Fatih Kocaturk<sup>1</sup>, Doğuş Zeren<sup>2</sup>, Sezgin Yurtdaş<sup>3</sup>, M. Burak Toparlı<sup>4</sup>, Cenk Kılıçaslan<sup>5\*</sup>

## ÖZ

Hammadde yüzey işlem ve yüzey kaplama aşamaları soğuk dövme için elzem uygulamalardır. Yüzey işlemin kalitesi, kaplamanın yüzeye yapışma derecesini ve korozyon direncini etkilemektedir. Buna bağlı olarak malzemenin dövme sırasındaki akışı da doğrudan etkilenmektedir. Soğuk dövme işleminin başarılı bir şekilde uygulanması verimli bir hammadde kaplama sistemi ile yakından ilgilidir ve en yaygın kaplama sistemi çinko-fosfat kaplamasıdır. Son zamanlarda çinko-fosfat kaplama çevreye zarar veren bir kaplama türü olarak kabul edilmektedir. Çinko-fosfat kaplama performansına en yakın alternatif kaplama tipi polimer kaplamadır. Polimer kaplama, daha yalın üretimi teşvik edebilen, işletme maliyetlerini ve stokları azaltabilen ve karlılığı artırabilen çevre dostu bir kaplama yöntemidir. Bu çalışmada soğuk dövmede kullanılan çevreye daha az zararlı, yüzey temizleme ve kaplama yöntemleri incelenmiştir. Ayrıca, kumlama işlemi sonrası polimer kaplanmış hammaddeler ile asitle temizlenmiş ve çinko-fosfat kaplanmış hammaddeler ile üretilen civata örneklerinin yüzey kaliteleri incelenmiştir. Çevreye daha duyarlı bir yöntem olan polimer kaplamaya ait dövme performansının geleneksel yöntem olan çinko-fosfat kaplama ile benzer olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kumlama, asit temizleme, polimer kaplama, çinko-fosfat kaplama, soğuk dövme

## Surface Preparation Methods Used in Cold Forging

### ABSTRACT

Pre-treatment and coating stages of raw material are essential applications for cold forging. The quality of the pre-treatment affects the adhesion, appearance, and corrosion resistance of the coating. Accordingly, the material flow during forging is also highly affected. Successful cold forging operation is closely related to an efficient raw material coating operation and the most common coating system is zinc-phosphate coating. Recently, zinc-phosphate coating has been accepted as an environmentally dangerous coating type. The most promising alternative of zinc-phosphate coating is polymer coating. Polymer coating is an environment-friendly coating method that can promote lean production, low operating costs and stocks and higher profitability. In this study, raw material pre-treatment and coating methods used in cold forging were examined. Moreover, the surface qualities of bolt samples produced with polymer coated after sandblasting raw materials and zinc-phosphate coated after acid cleaning raw materials were studied. The forging performance of the polymer coating, which is a more environmental-friendly method, has been found to be similar to that of the conventional method, the zinc-phosphate coating.

**Keywords:** Sandblasting, acid cleaning, polymer coating, zinc-phosphate coating, cold forging

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 16.10.2019

Kabul/Accepted : 09.06.2020

<sup>1</sup> Norm Civata San. ve Tic. A.Ş., ArGe Merkezi, İzmir, fatih.kocaturk@norm-fasteners.com.tr  
ORCID: 0000-0001-7387-9907

<sup>2</sup> Norm Civata San. ve Tic. A.Ş., ArGe Merkezi, İzmir, dogus.zeren@norm-fasteners.com.tr  
ORCID: 0000-0002-7878-5886

<sup>3</sup> Norm Civata San. ve Tic. A.Ş., ArGe Merkezi, İzmir, sezgin.yurtdas@norm-fasteners.com.tr  
ORCID: 0000-0002-4120-8882

<sup>4</sup> Norm Civata San. ve Tic. A.Ş., ArGe Merkezi, İzmir, burak.toparli@norm-fasteners.com.tr  
ORCID: 0000-0002-5203-5171

<sup>5</sup> Norm Civata San. ve Tic. A.Ş., ArGe Merkezi, İzmir, cenk.kilicaslan@norm-fasteners.com.tr  
ORCID: 0000-0002-5787-9891



## 1. GİRİŞ

Soğuk dövme otomotiv parçalarının üretiminde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Hammadde sarfiyatının düşük hacimde olması, üstün malzeme özellikleri ve dar geometrik toleranslar sunması, soğuk dövmeyle üretilen parçalara maliyet kazancı sağlamaktadır. Soğuk dövme işleminde malzeme akışını, dövme kuvvetini ve buna bağlı olarak kalıp ömrünü etkileyen en önemli faktör dövülen malzeme ile kalıplar arasındaki tribolojik durumdur. Neredeyse tüm çelik soğuk dövme işlemlerinde çinko fosfat kaplama üzerine sabun yağlama sistemi kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu yağlama sistemine ait kimyasal yan ürünlerin imha edilmesi zordur ve zararlı çevresel etkileri bulunmaktadır [1]. Literatüre bakıldığında kaplamalar üzerine önemli çalışmaların olduğu görülmektedir. Gariety ve diğerleri [1] çalışmasında çinko fosfat bazlı yağlama sistemine alternatif olacak üç yağlayıcı geliştirilmiştir: EC Homat, Daido AquaLub ve MCI Z-Coat. Bu yağlayıcıların performans değerlendirmesi geriye ikili bardak ekstrüzyon (İng. double cup backward extrusion) testi kullanılarak yapılmıştır. DEFORM sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak farklı sürtünme faktörü değerleri için sürtünme faktörü kalibrasyon eğrileri yani zımba strokuna karşı bardak yükseklik oranı oluşturulmuştur. Geliştirilen üç yağlayıcının çinko fosfat kaplama ile karşılaştırılabilir veya ondan daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Ngaile ve diğerleri [2] tarafından gerçekleştirilen çalışmada polimerik malzemelerden oluşan yeni bir metal şekillendirme yağlayıcısı geliştirilmiştir. Yağlayıcı, emülsiyon kopolimerizasyonu yoluyla geliştirilmiştir. Stearil metakrilat ve 2-hidroksietil metakrilat asit fosfatın ortak bileşimine sahip kopolimerler üç ikincil polimerle yapılmıştır: metil metakrilat, butil akrilat ve 2-hidroksietil metakrilat. Geliştirilen yağlayıcının performansı halka basma (İng. ring-compression) ve burma basma (İng. twist-compression) testleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve geliştirilen polimerik yağlayıcının performansı, dövme işleminde yaygın olarak kullanılan çinko-fosfat kaplama ve diğer üç ticari yağlayıcı ile karşılaştırılmıştır. Polimerik yağlayıcı, oda sıcaklığında yapılan tüm testlerde diğer yağlayıcılar ile yakın sonuçlar vermiştir. Gerçekleştirilen test sonuçlarına göre, geliştirilen yağlayıcının düşük deformasyon oranlı kafa şişirme ve ekstrüzyon işlemleri gibi soğuk dövme işlemleri için etkili bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Yağlayıcılar (kaplama), iş parçası ile kalıplar arasındaki sürtünme katsayısını düşürmek ve malzemenin kalıp üzerine yapışmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Soğuk dövme işleminde kullanılan kaplama iki işlevi yerine getirmelidir; i) düşük sürtünme katsayısı ve ii) kaplamanın yüzeyden kalkmasını önlemek için ana metale yüksek yapışma mukavemeti. Wang ve diğerleri [3] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, iki işlevi ayırarak kaplama performansını değerlendirmek için bir test yöntemi önerilmektedir. Geliştirilen test yöntemi kullanılarak çok istasyonlu soğuk dövme işleminde yerinde kuru kaplamanın (İng. dry in-place coating) performansı çinko fosfat kaplama ile düşük karbonlu çelik numuneler kullanılarak gerçekleştirilen deneylerle karşılaştırılmıştır. Su bazlı yağlayıcıdan suyun buharlaştırılması ile uygulanan ve nu-



mune yüzeyinde tipik reaktif olmayan bir tip kaplama oluşturma işlemi yerinde kuru kaplama olarak adlandırılmıştır. Bu yöntemin “yerinde kuru kaplama” olarak isimlendirilmesinin sebebi kaplamanın bir dövme hattında yapılabilmesidir [4]. Yerinde kuru kaplamanın yapısı çinko fosfat kaplamasının yapısına benzemektedir, yani kaplama filmi iki katmandan oluşmaktadır: üst katman, kalıp yüzeyi ile sürtünmeyi azaltmakta ve alt katman, kalıp yüzeyinin doğrudan numune yüzeyi ile temasını engellemektedir. Alt tabakanın ana bileşeni suda çözünen bir alkali metal tuzudur. Alkali metal tuzu, çelik numune yüzeyi ile yüksek birleşme eğilimine sahiptir ve yüksek temas basıncı ve sıcaklığa karşı direnç göstererek numune yüzeyini fiziksel olarak korumaktadır. Üst tabaka, başlangıçta suda dağılan inorganik veya organik yağlama bileşenlerinden oluşmaktadır. İnorganik bileşenler için grafit, molibden disülfür ve çinko fosfat kullanılmaktadır. İnorganik bileşenler sıcaklık artışına ve temas basıncına karşı yüksek direnç sahiptir ve bu nedenle kapalı kalıp dövme gibi ağır çalışma koşullarında kullanılabilir. Wang ve diğerleri [3] çalışmasında gerçekleştirilen tek aşamalı sürtünme testinde, yerinde kuru kaplamanın çinko fosfat kaplama ile aynı sürtünme eğilimi ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Geliştirilen çok aşamalı testle, çok aşamalı proseste kuru yerinde kaplamanın yüzeye yapışma kabiliyetinin çinko fosfat kaplamasından daha düşük olduğu şişirme adımıyla kaplamanın yüzeyden ayrılmasıyla ortaya çıkmıştır. Yerinde kuru kaplamanın yüzeye yapışma kabiliyeti, numune yüzeyinin ıslak kumlama kullanılarak ön işlemden geçirilmesi ile büyük ölçüde geliştirilmiş ve çinko fosfat kaplamasından daha iyi bir seviyeye getirilmiştir. Çok istasyonlu soğuk dövme işleminde numune yan yüzeyindeki kaplamanın performansını araştırmak için Wang ve diğerleri [5] çalışmasında yeni bir sıkma-ekstrüzyon tipi tribometre geliştirilmiştir. Çinko fosfat kaplama ve yerinde kuru kaplama kullanılarak yapılan deneysel sonuçlar, takımın yüzey pürüzlülüğünün yüzeyden kaplama ayrılması üzerindeki etkisini ifade etmek için azaltılmış tepe yüksekliği olan R<sub>p</sub> değerinin maksimum yükseklik değeri R<sub>z</sub>'den daha uygun olduğunu göstermiştir. Yerinde kuru tip kaplamanın yüzeye yapışma kabiliyeti, kaplamadan önce iki aşamalı bir kumlama ile büyük ölçüde geliştirilmiş ve çinko fosfat kaplamanın tutunma kabiliyetinden daha iyi bir seviyeye ulaşmıştır. 23MnB4 dövme çeliği çinko fosfat üzerine sabun kaplama ve polimer bazlı yağlayıcı ile kaplanarak akış davranışları Tanrıku ve diğerleri [6] tarafından ileri yönde soğuk ekstrüzyon testleri yapılarak karşılaştırılmıştır. İş parçası ve kalıp arasındaki sürtünme katsayısını belirlemek için, simufact.forming sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak ekstrüzyon test modelleri hazırlanmıştır. Sonuçlar, polimer bazlı kaplamanın tribolojik performansının geleneksel çinko fosfat üzerine sabun kaplamasına çok yakın olduğunu göstermiştir. Bay ve diğerleri [7] tarafından yayınlanan çalışmada da soğuk, ılık ve sıcak dövme işlemlerinin yanı sıra sac şekillendirme ve delme gibi operasyonlarında da kullanılan çevreye zararlı yağlayıcıların yerine geçebilecek çevreye daha az zararlı yağlayıcıların olduğundan bahsedilmiştir.

Farklı yağlayıcıların sürtünme kuvvetine olan etkisi yaygın olarak uygulanan üç yağ-



layıcı (molibden disülfid, polimer, vaks ve inorganik tuz bileşimi) için ikili-bardak-ekstrüzyon (İBE, İng. double-cup-extrusion) testleri gerçekleştirilerek incelenmiştir [8]. Klasik yağlama yöntemi olan fosfat kaplamanın sürtünme faktörü üzerindeki etkisi de araştırılmış, ancak bu kaplamanın araştırılan yağlama sistemlerinin yağlama özellikleri için önemli bir gelişme sağlamadığı bulunmuştur. İBE testleri sonucuna göre molibden disülfid bazlı yağlayıcı en yüksek sürtünme koşullarını ortaya çıkarırken vaks ve polimer esaslı yağlayıcılar çok daha düşük sürtünme kaybı oluşmasını sağlamıştır. Lorenz ve diğerleri [8] İBE test sonuçlarına en yakın tribolojik koşullar için ZWEZ-Lube PD 470 gibi polimer bazlı yağlayıcıları önermişlerdir. Polimer kaplı metal ekstrüzyonunu başarıyla gerçekleştirmek için gerekli olan işlem parametrelerini analiz etmek için üst sınır yöntemini uygulayan yeni bir matematiksel model Wang ve diğerleri [9] çalışmasında geliştirilmiştir. Soğuk dövme işleminde kullanılan sert kaplamalı kalıplara uygulanan mikro tekstürlerin kalıp ömrüne olan etkisi Geiger ve diğerleri [10] tarafından araştırılmıştır. Yapışma mukavemeti testlerinin sonuçları nedeniyle, kalıplar önce kaplanmış ve daha sonra tekstüre edilmiştir. Basma testi ve genel tasarım kriterleri ile yapılan deneylerin sonuçlarına dayanarak, soğuk dövme zımbalarına tekstürler uygulanmış ve endüstriyel seri üretim koşulları altında bir test merkezinde testler gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre kalıp ömrünün mikro tekstür etkisi ile arttırıldığı gösterilmiştir. Soğuk dövme işlemlerinde kaplamalı kalıplara uygulanan doğrudan lazer tekstüre (İng. direct laser texturing) yönteminin triboloji üzerindeki etkisi Popp ve Engel [11] çalışmasında araştırılmıştır. Gerçekleştirilen saha testlerinde kalıp ömrünün bazı durumlarda %300'ün üzerine çıkabileceğini kanıtlamışlardır. Soğuk dövme işlemleri için sıcaklığın çevreye duyarlı tribolojik yağlayıcılar üzerindeki etkisi Groche ve diğerleri [12] tarafından araştırılmıştır. İncelenen tuz vaks kaplamanın ve polimerin performansının sıcaklıktan büyük ölçüde etkilendiği gözlemlenmiştir. Her iki yağlayıcı için de sürtünme katsayısı 100 °C yüzey sıcaklığına ulaşıldığında %30 azalmıştır. Tuz vaks yağlayıcısı için 25 °C yüzey sıcaklığına kıyasla %50 oranında bir azalma ile 200 °C yüzey sıcaklığında en düşük sürtünme katsayısı gözlemlenmiştir, ancak üçüncü numuneden sonra yapışma oluşmuştur. Yapılan çalışmada kayganlaştırıcıdan bağımsız olarak kayar plakada veya numunede 125 °C'nin altındaki sıcaklıklarda aşınma tespit edilmemiştir. Bu nedenle, tek banyo ile uygulanabilen her iki yağlayıcının düşük konsantrasyonda ve düşük yağlayıcı miktarında bile düşük sıcaklıklarda iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir. 150 °C'nin üzerindeki sıcaklıkların kaplama performansının kritik olduğu kanıtlanmıştır. Kalıp-iş parçası yüzeyindeki gerçek sıcaklık bilgisi ve kontrolünün, uygulanan yağlayıcı ve tribolojik yük için ideal bir sıcaklık ayarlanabilmesini sağlayarak soğuk dövme işlemlerini iyileştirebileceği belirtilmiştir. İş parçası üzerinde kalan yağlayıcı miktarının sürtünme katsayısı üzerindeki yüksek etkisi bir soğuk dövme tribometresi olan kayma basma testi (İng. sliding compression test) kullanılarak Müller ve diğerleri [13] tarafından gösterilmiştir. Ayrıca, önceden yağlanmış takımlarla yapılan



testlerin sürtünmeyi azalttığı gösterilmiş ve kaba takım yüzeleriyle yapılan testlerin sonuçları sunulmuştur. Kaba yüzelerle sürtünme katsayısı araştırması yapılabilmesi için önceden yağlanmış takımların kullanılması gerektiği aksi takdirde yapışma görüleceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, literatürdeki söz konusu araştırmaların aksine, kumlanmış takım yüzeleri ile sürtünme katsayısının optimizasyonu mümkün olmuştur. Yanlış bir yağlama işlemi sonrası numune üzerindeki kaplama çok ince ise ya da numuneye uzun kayma mesafesi uygulanmış ise kaba yüzeyli bir takım pürüzsüz olandan daha fazla yağlayıcı sağlayabilmektedir [13]. Sürtünme katsayısının belirli değerlerde olması işlem performansını etkilemektedir. İş parçası ile kalıplar arasındaki kritik sürtünme katsayısı hammaddenin dövme işleminden önce özel operasyonlarla temizlenmesi ve kaplanması ile istenilen değerlere getirilmektedir. Bu işlem bütününe yüzey işlem adı verilmektedir. Yüzey işlem iki adımda gerçekleştirilmektedir: i) yüzey temizleme işlemi ile hammadde yüzeyindeki tüm pas ve kir giderilmektedir, ii) temizleme işleminden sonra hammadde yüzeyi fosfat ya da polimer gibi kimyasallarla kaplanmaktadır. Yüzey temizleme işlemi genellikle hammadde (kangal olarak da adlandırılmaktadır) asit ve su dolu havuzlara sırasıyla daldırılması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Diğer bir metotta ise küçük çelik bilyelerin yüksek hızlarda hammadde yüzeyine püskürtülmesiyle uygulanan (kumlama adı verilmektedir) yüzey temizleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Kaplama işlemi hammaddenin sırasıyla kaplama kimyasalının bulunduğu havuzlara daldırılmasıyla uygulanmaktadır. Bu işlem sayesinde hammaddenin oksijen ile teması kesilerek paslanma önlenmektedir. Çinko-fosfat kaplama yöntemi daldırma yoluyla gerçekleştirilmekte, hammadde kangalları her bir banyonun içine daldırılarak belli sürelerde bekletilmektedir. Klasik bir çinko-fosfat kaplama prosesi şu şekilde sıralanabilir: asitle yüzey temizleme (hidroklorik ya da sülfürik asit), durulama, aktivasyon, çinko-fosfat kaplama, nötralizasyon, reaktif sabun banyosu ve kurutma. Çinko fosfat kaplama işlemi yüksek seviyelerde atık su, enerji tüketimi ve fosfor bileşiği oluşmasına sebep olmaktadır [14]. Polimer kaplama reaktif olmayan, su bazlı ve sürdürülebilir bir yüzey işlem yöntemidir. Tek adımlı bir işlem olarak, polimer kaplama tüm durulama adımlarını ortadan kaldırdığı için su tasarrufu sağlamakta ve aynı zamanda suyu ısıtmaya gerek kalmadığı için daha az enerji kullanmakta ve CO<sub>2</sub> salınımını azaltmaktadır. Kaplama, herhangi bir reaksiyon olmadan fiziksel olarak yüzeye yapıştığından kaplamadan sonraki kurutma aşamasında ortaya çıkan su buharıdır. Ayrıca, soğuk şekillendirilmiş civatalar son ısıl işlem için defosfatlama işlemine alındığında, polimer kaplamanın çıkarılması daha kolay olduğundan daha düşük konsantrasyonda defosfatlama kimyasalı kullanılır ve maliyet kazancı sağlanmış olur [15]. Hammadde ön işlem ve kaplama aşamaları soğuk dövme için elzem uygulamalardır. Ön işlem aşaması, kaplama öncesi ham madde yüzeyine uygulanan işlemlere verilen isimdir. Ön işlemin kalitesi, kaplamanın yapışmasını, görünümünü, nem ve korozyon direncini etkiler. İyi bir ön işleme sahip kaplama ömrü basit hammadde temizliği (asitle yıkama) sonrası yapılanla karşılaştırıldığında, 4-5 kat daha uzun ömre sahiptir.



Bu makale, soğuk dövme uygulamalarında önem arz eden yüzey işlem prosesi hakkında detaylı bilgiler içeren ve çevre dostu yağlayıcılar hakkında literatürde yapılan çalışmaları özetleyen bir derlemedir. Çalışma kapsamında, soğuk dövmede kullanılan hammadde yüzey işlemi sırasında uygulanan asitle ve kumlama yöntemiyle yüzey temizleme metotları ile çinko-fosfat ve polimer kaplama metotları incelenmiştir.

## 2. YÜZEY İŞLEM METOTLARI

Bu bölümde soğuk dövme yönteminde kullanılan hammaddelere uygulanan yüzey işlem metodu iki ana başlık altında incelenmiştir: Yüzey temizleme yöntemleri ve yüzey kaplama yöntemleri. Yüzey kaplama yöntemi öncesinde uygulanan asitle temizleme ve kumlama yöntemiyle yüzey temizleme metotları açıklanmış, yüzey kaplama yöntemi olarak çinko-fosfat ve polimer kaplama yöntemleri açıklanmıştır.

### 2.1 Yüzey Temizleme Yöntemleri

Soğuk dövme işleminde kullanılacak olan kangalların ilk gördüğü işlem yüzey temizleme işlemidir. Yüzey temizleme işleminin amacı kangalların üzerinde zamanla oluşan Şekil 1’de görülen yağ, pas ve tufallerin temizlenerek kaplamaya hazır hale getirilmesidir. Yüzeyi iyi temizlenmiş hammadde kullanımı kaplama havuzlarında oluşan kirlenmeyi engellemektedir ve bu sayede kullanılan kaplama sıvıları daha uzun süre kullanılabilir. Bilinen en yaygın yüzey temizleme yöntemi asitle temizleme yöntemidir ve kullanılan asitler genellikle hidroklorik veya sülfürik asitlerdir. Asitle temizlemeye alternatif olarak kullanılan diğer yüzey temizleme metodu kumlama yöntemidir. Kumlama yönteminde asit kullanılmadığı için hem çevreye



Şekil 1. Kangal Yüzeyindeki Pas ve Tufaller



daha az zarar vermekte hem de su kullanımını ortadan kaldırarak su tasarrufu sağlamaktadır.

### 2.1.1 Asitle Temizleme

Asitle hammadde temizliği sıvı dolu havuzlara kangalların daldırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Temizleme işlemi belirli sıcaklıktaki su ve asit dolu havuzlara sırasıyla daldırılarak ve belirli süre bekletilerek yapılmaktadır. Tipik bir asitle temizleme işlemi şu şekildedir: Öncelikle basınçlı su ile hammadde yıkanarak üzerindeki pas ve tufaller kabaca temizlenmekte, daha sonra sıcaklığı 30-70 °C arasında olan su havuzunda durulama yapılmakta ve asit havuzuna alınarak belirli bir süre bekletilmektedir. Son olarak tekrar basınçlı suyla ve su havuzuna daldırılarak durulama yapılmaktadır. Hammadde yüzeyinin yeteri kadar temizlenmemesi halinde asit ve durulama havuzlarına tekrar daldırılarak işlem tekrarlanabilmektedir.

### 2.1.2 Kumlama Yöntemiyle Temizleme

Klasik ön işlem yöntemi olan asitle yıkama metodunun alternatifi kumlama yöntemidir. Kumlama yönteminde numune yüzeyine yüksek hızda püskürtülen metal bilyeler (kum) yüzeydeki oksit tabakasını azaltır, yüzey salgısını ortadan kaldırır ve yüzey katmanında yerel plastik deformasyon oluşumunu sağlar. Ek olarak, yüzey altı bölgede bir bası yönünde artık stres katmanı oluşur. Yapılan çalışmalarda östenitik çeliklerde kumlama kaynaklı mikro yapı değişikliklerinin de meydana geldiği gözlemlenmiştir [16].

Kumlama, yüksek hızlı kum akışının etkisiyle bir yüzeyi temizlemek ve pürüzlü hale getirmek için kullanılır [17]. Püskürtme malzemelerini (bakır, kuvars, silisyum karbür, çelik malzemeler) işlenecek iş parçasının yüzeyine yüksek hızda püskürtmek için



Şekil 2. Kumlama Makinesi



basınçlı hava kullanılır ve bu şekilde iş parçası yüzey formunda değişiklik meydana gelir. İş parçası yüzeyi üzerindeki aşındırıcı maddenin etkisi ve kesme hareketi nedeniyle, iş parçası yüzeyi temiz olmakla birlikte farklı pürüzlülükte gelebilmektedir. Kumlamayla iş parçası yüzeyinin mekanik özellikleri iyileştirilir, böylece iş parçasının yorulma direncini ve iş parçası ile kaplama arasındaki yapışmayı artırırken kaplamanın akışını da kolaylaştırmaktadır. Hammaddeye kaplama işlemi öncesinde kumlama yapılırsa hammadde yüzeyindeki tüm kirleri vs. temizleyebilir ve iş parçası yüzeyinde pozitif özellikler sunan pürüzlü bir yüzey oluşturabilir. Hammadde kaplama kalitesini büyük ölçüde iyileştirmek ve kaplamanın yapışmasını daha güçlü ve kaliteli hale getirmek için farklı boyutlarda aşındırıcılar kullanılabilir. İş parçasının ısı işleminden sonra kumlama işlemiyle temizlenmesi ve parlatılması iş parçası yüzeyindeki (oksit veya yağ kalıntıları vb.) tüm kirleri temizleyebilir. İş parçasının yüzey parlatma amacıyla kumlanması iş parçasının daha parlak görünmesini sağlayabilir. Kumlama çapak alma amacıyla kullanılırsa, iş parçası yüzeyindeki küçük talaşları temizleyebilir ve iş parçası yüzeyini daha düzgün hale getirebilir. Dahası, kumlama işlemi iş parçası yüzeyinin birleşme noktalarında oluşan küçük köşelere uygulanarak daha pürüzsüz bir yüzey elde edilebilir.

## 2.2 Yüzey Kaplama Yöntemleri

Karmaşık geometriler ve hassas ölçülerde üretim yapılması soğuk dövme prosesinde iş parçasına uygulanan kaplama işleminin sürtünmeyi azaltarak kalıp ömrünü uzatmak için daha yüksek mekanik ve ısı gerilmelere dayanmasını gerekli kılmaktadır. Soğuk dövmedeki tribolojik koşullar son derece ağırdır. Yüksek sıcaklıklardaki kalıp yüzeyleri ve yüksek yüzey genleşme faktörleriyle birleşir. Bu nedenle, hammadde üzerindeki kaplama tribolojik olarak zor koşullara maruz kalır. Bu ağır koşullar altında iyi yüzey özelliklerine sahip olmayan hammadde, iş parçasının hatalı üretilmesine ya da kalıbın hasar görmesine sebep olur. Soğuk dövme prosesinin başarılı bir şekilde uygulanması verimli bir hammadde kaplama işlemiyle yakından ilgilidir. Yukarıda belirtilen tüm koşullara karşı etkinliği ile bilinen en yaygın kaplama sistemlerinden birisi çinko-fosfat üzerine sabun kaplamasıdır.

### 2.2.1 Çinko-Fosfat Kaplama

Çinko-fosfat kaplama en çok kullanılan yüzey işlem kaplama yöntemi olarak bilinmektedir. Çinko-fosfat kaplama, hammaddelerin çinko-fosfat havuzuna daldırılmasıyla birlikte hammadde yüzeyinde oluşan kimyasal reaksiyon sonucunda gerçekleşmektedir. Kaplama esnasında sıcaklık, banyo konsantrasyonu, süre, pH, toplam ve serbest asit dikkat edilmesi gereken noktalar [18]. Çinko-fosfat kaplama işlemi 35-98 °C sıcaklıkta 5-10 dakika ve %3-20 konsantrasyonlarda yapılabilmektedir. Çinko-fosfat kaplamanın iyi şekilde yapılması için kangalların (hammaddelerin) pas, yağ ve tufallerden arındırılmış olması gerekmektedir. Bu nedenle çinko-fosfat kaplama önce-





si kangalı pas ve tufalden arındırmak amacıyla yüzey temizleme işlemi uygulanmaktadır. Tel çekme işlemi için çinko-fosfat kaplama kalınlığı 7-15 g/m<sup>2</sup> arasında olması gerekmektedir [19]. Çinko-fosfat kaplama işleminden en iyi verimin alınabilmesi için yapılan kaplamanın homojen bir yapıda olması gerekmektedir. Tel üzerindeki kaplama ince kristalli veya homojen değil ise fosfat banyosu öncesinde aktivasyon kullanılmalıdır. Fosfat banyosu öncesi uygulanan aktivasyon, çinko fosfat çekirdek yapısını etkileyerek kaplamanın daha ince ve pürüzsüz olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, alkali titanyum tuzları içeren aktivasyon banyosu ince ve yoğun bir çinko-fosfat kaplamasının oluşmasını sağlayarak kalın kristalli kaplamalarda görülen tozlanma problemini de ortadan kaldırmaktadır. Metal yüzeyin fosforik asit ile eritilmesi sonucu oluşan asit-baz etkileşimi çinko-fosfat kaplama reaksiyonu olarak kabul edilmektedir. Fosforik asit etkisi ile metal eridikçe asit havuzunun pH değerinde artış gözlemlenmektedir. Gerçekleşen kimyasal reaksiyon sonucu oluşan metalik fosfat metal üzerinde çözünmez bir tabaka oluşturur ve metalik renkli bir görünüm elde edilir. Teller çinko-fosfat kaplama işleminden sonra nötralizasyon banyosuna alınmaktadır. Buradaki amaç tellerin pastan korunması ve tel üzerinde tuz oluşumu sağlayarak reaktif sabunun daha iyi tutunmasını sağlamaktır. Çinko-fosfat kaplamanın son aşamada teller reaktif sabun banyosuna alınarak çekime hazır hale getirilmektedirler. Çinko-fosfat kaplama daldırma metoduyla, kangallar her bir banyonun içine daldırılarak belli sürelerde bekletilerek gerçekleştirilmekte ve bu şekilde kaplama sağlanmaktadır (Şekil 3). Klasik bir çinko-fosfat kaplama proses hattı sırası ile şu şekildedir:

- Pas, yağ ve tufal alma
- Durulama
- Aktivasyon
- Çinko-fosfat kaplama
- Nötralizasyon
- Reaktif sabun banyosu
- Kurutma

Fosfat banyosundaki demir yoğunluğunu azaltmak için hızlandırıcı veya serbest asit düzenleyici malzemeler kullanılmaktadır. Fosfat banyolarında zamanla kangallar üzerinden temizlenen pas, yağ ve tufaller çamur oluşturur. Bu çamur belli zamanlarda temizlenmeli veya bir filtre sistemi ile sürekli dışarı alınmalıdır. Çinko-fosfat kaplanmış kangallar soğuk dövme öncesi tel çekme işlemine tabi tutulmaktadır. Hammadde yapısındaki karbon oranı çinko-fosfat kaplama kalınlığını etkilemektedir. Çinko-fosfat kaplı kangalların çekiminde uygun fosfat kalınlığının sağlanması gerekmektedir. Çinko-fosfat kaplama kalınlığının aşırı yüksek olması sürtünme katsayısını artırırken, düşük kaplama kalınlığı da çoklu tel çekimlerinde kaplamanın tamamen kalkmasına ve başka sorunların oluşmasına neden olmaktadır. Tel çekme işleminde çinko-fosfat kaplama sayesinde tel çekim hızı da artmaktadır. Soğuk dövmede kullanılacak olan kangalların çinko-fosfat kaplanmasının en önemli tercih sebebi, çinko-fosfat kapla-



Şekil 3. Çinko-Fosfat Kaplama Tesisi

manın metal yüzeye çok iyi tutunması ve çoklu çekim sonrasında dahi devamlılığını korumasıdır. Çinko-fosfat kaplamanın kristal yapısı film kırılmaları ve bozulmalarını engellemekte ve sonraki aşamalarda uygulanacak yağlayıcı ve sabunlar için mükemmel bir zemin oluşturmaktadır. Çinko-fosfat kaplanan kangalların kullanılması sayesinde tel çekim kalıplarının ve haddenin aşınımı azalmakta ve bu sayede hadde ve kalıp ömürleri uzamaktadır. Soğuk çekim sonrası yüzeydeki fosfat tabakası hem iyi bir yüzey kaplaması oluşturmakta hem de depolama ve nakliye sırasında yüksek bir korozyon direnci sağlamaktadır. Her ne kadar çinko-fosfat kaplamanın performansı kanıtlanmış olsa da, son zamanlarda hem işyeri hem de küresel çevre açısından çevreye zarar veren bir kaplama türü olarak kabul edilmektedir. Endüstriyel üretimin küreselleşmesi dövme endüstrisini daha iyi bir çözüm aramaya zorlamaktadır. Güçlü yapışma ve gelişmiş korozyon koruması gibi avantajları ile bilinmesine rağmen, çinko-fosfat kaplama birçok dezavantaja da sahiptir. Çinko-fosfat kaplama işleminin en büyük dezavantajı, tehlikeli atık oluşturan ve bu atığın işlenmesini ya da elden çıkarılmasını gerektiren farklı kimyasallar içermeleridir. Kaplama işlemi sırasında kullanılan banyolar kurşun ve kadmiyum gibi ağır metallerle kirlenir. Hem banyo hem de atık sularda tehlikeli kirleticiler içeren çamur birikmektedir. Banyoların ve kullanılmış suların çoğu geri dönüştürülemede ve tehlikeli atık olarak işlem görmektedir. Bu olumsuzluklara ek olarak, çinko-fosfat kaplama işlemi, yeni kaplama sistemlerden daha fazla miktarda su, enerji ve daha uzun işlem süresi gerektirmektedir. Şüphesiz,



dövme öncesi yapılan çinko-fosfat kaplama işlemi soğuk dövme parçasının kalitesi için önemli olmasına rağmen beraberinde bir takım çevresel kaygı uyandırmaktadır. Bu nedenle lider şirketler alternatif süreçler üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Çinko-fosfat kaplama sistemine alternatif olarak polimer bazlı kaplamalardan söz edilebilir.

### **2.2.2 Polimer Kaplama**

Polimer kaplama tek veya çok istasyonlu soğuk dövme hatları için uygundur [20]. İş parçasının deformasyonu arttıkça, kontrol parametreleri daha hassas hale gelecektir. Bu nedenle, üretimde kapsamlı deneyime sahip nitelikli bir işgücü ile bu yeni kaplama türünden oldukça faydalanılabilir. Polimer kaplamanın faydaları şu şekilde sıralanabilir: i) Diğer kaplama yöntemlerine göre çevreye daha az atık bırakması: Ağır metaller, çamurlar ve tehlikeli atıklar bulunmadığından, hem iş gücü hem de küresel çevre için oldukça emniyetli bir tribolojik sistemdir. ii) Maliyette düşüş sağlaması: Daha düşük enerji ve su tüketimi sağlamakla beraber atıkların masraflı arıtımına ihtiyaç bulunmamaktadır. iii) Devam eden işleri azaltır: Polimer kaplama, neme duyarlı kuru bir işlemdir. Bu nedenle, kaplamalı hammaddeler kesin olarak tanımlanmış bir süre içinde dövülmelidir ki bu da bekleyen işlerin artmasını engeller. iv) İşleme kolaylığı sağlar: Polimer kaplamanın sonraki işleme operasyonlarında işlenmesi çok daha kolaydır. Çinko-fosfat kaplama, tornalama gibi talaşlı imalat işlemlerinde fazla toz oluşumuna sebebiyet vermektedir. Soğuk dövme endüstrisi, daha iyi çözümler aramaya kendini yönlendirmiştir ve çinko-fosfat kaplama sistemi ve bu sistemin tehlikeli atıklarıyla ilgili sorunu en kısa sürede çözmeye zorlamıştır. Sonuç olarak, polimer kaplama, daha yalın üretimi teşvik edebilen, işletme maliyetlerini ve stokları azaltabilen ve karlılığı artırabilen çevre dostu bir kaplama yöntemi olmaya aday olduğu söylenebilir.

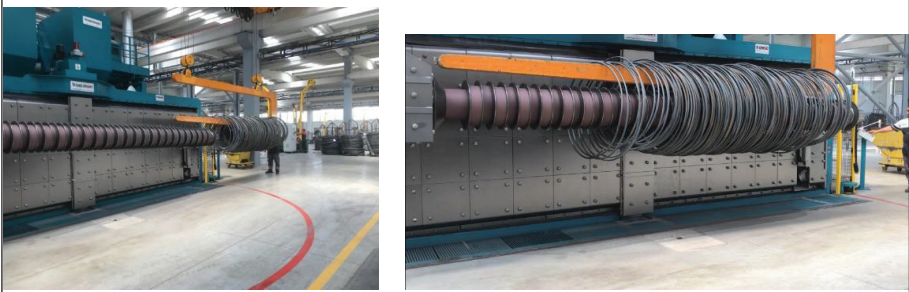
## **3. ÖRNEK UYGULAMA**

Bu bölümde Norm Cıvata fabrikasında uygulanmakta olan kumlama ve polimer kaplama süreçlerinden bahsedilmiş ve bu yöntemle üretilen cıvatalar ile çinko-fosfat kaplı cıvatalar karşılaştırılmıştır. Norm Cıvata fabrikasında Şekil 2’de verilen kumlama makinesi bulunmaktadır. Bu makinede işlenen kangallar iki kollu ve kendi ekseninde dönebilen tezgâha yerleştirilir ve değişmeli olarak çok sayıda metal kum tanesinin kangalın tüm yüzeyine yüksek hızda püskürtüldüğü kumlama odasına taşınır. Makine tezgâhının iki kollu olmasından dolayı aynı anda iki kangal hammadde kumlama işlemine alınabilir ve kangallar tezgâha açılarak yerleştirildiği için kumlama işlemi hammaddenin bütün yüzeylerinde eşit olarak uygulanabilmektedir. Şekil 4’de verilen tezgâhın kangal taşıyan kolundan iki adet bulunmaktadır. Görseldeki kolun simetriği tezgâhın içindedir. Kapı görseldeki ekseninde dönmekte olup kangal içeri alınmakta ve kapının arkasındaki simetrik kol dışarı çıkmaktadır. Bir kangal kumlanırken diğer koldaki kangal da değiştirilmektedir.



**Şekil 4.** Kumlama Makinesi Tezgâh Kolu

Kumlama bölmesinin içindeki kolun dönüşü, kangalın aşındırıcı etkiye en etkili şekilde maruz kalmasını sağlamak için programlanmıştır. Tezgâhın dışta kalan kolunun dönüşü operatör tarafından kontrol edilebilir. Tezgâh kollarının zıt pozisyonda olması aynı anda iki kangalın kumlanmasına ve bir kangal kumlanırken diğer tarafta kangal yükleme / boşaltma işleminin yapılabilmesine olanak sağlar. Kumlama işleminde kangallar açılarak kumlama tezgâhının kollarına yerleştirilmektedir (Şekil 5). Kumlama işlemi uygulanan kangalın kumlama öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 6’da verilmiştir. Kumlama işlemi sonrasında parlak ve hafif pürüzlü bir yüzeye sahip hammadde elde edilmiştir.



**Şekil 5.** Kangalların Açılarak Kumlama Tezgâhının Kollarına Takılması

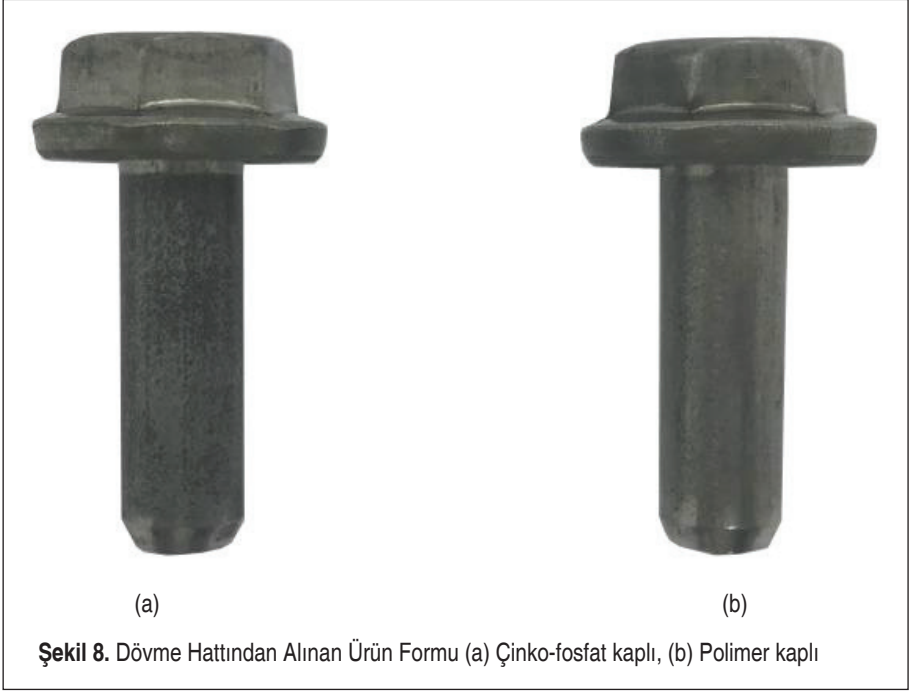
Kumlama makinesinde makine hızı ve kumlama süresi olmak üzere iki ayar bulunmaktadır. Kumların püskürtüldüğü makinenin hız kapasitesi 1800–3000 dev/dk’dır. Kumlama süresi ise malzemenin tedarikçisine göre ve malzeme çapına göre ayarlanmaktadır. Hammadde çapı küçüldükçe kangal sarımının sıkılaşması sebebiyle kumlama süresi uzatılmaktadır. Bununla beraber, hammadde tonajı arttıkça da kumlama süresi artabilmektedir. Kumlama makinesinde hammadde temizlemek için kum olarak



isimlendirilen düşük karbonlu çelik bilyeler kullanılmaktadır. Düşük karbonlu çelik bilyeler, başlangıçta 43-44 HRC sertliğinde iken çalışma sırasında ortalama 50 HRC sertlik değerine ulaşmaktadır. Bu nedenle temizleme performansı artmaktadır. Kumlama bilyeleri tezgâh çalıştıkça devir daim ettirilerek tekrar kullanılmaktadır, ancak bir süre sonra makine içindeki tamburdan geçebilecek kadar küçülen taneler tezgâh tarafından hurdaya ayrılmaktadır (Şekil 7).

Kumlama sonrası kangallar önce polimer havuzuna alınmaktadır. Polimer fırından çıkan kangallar haddelenmektedir. Şekil 8’de fosfat ve polimer kaplı malzemeden üretilen cıvata numuneleri gösterilmektedir. Polimer kaplı malzemeden üretilen cıvatanın daha parlak ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğu görülmektedir.





#### 4. SONUÇLAR

Soğuk dövmede kullanılacak olan hammaddeye uygulanan yüze işlemin kalitesi soğuk dövmede kullanılan kalıpların ömrünü ve üretilen ürünün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada yüze işlem metotları yüze temizleme ve yüze kaplama yöntemleri olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir. Geleneksel asitle yüze temizleme ve bu yöntemin alternatifi olarak ortaya çıkan kumlama yüze temizleme yöntemleri incelenmiştir. Asitle yüze temizleme sonucunda asit banyolarında oluşan kimyasal atıkların geri dönüştürme maliyetleri ve çevreye verdiği zararlar, yoğun su ve suyu belli derecelere kadar ısıtmak için enerji kullanılması global ölçekte ve firmalar nezdinde yeni yüze temizleme yöntemi arayışının başlamasına neden olmuştur. Bu kapsamda su ve kimyasal madde kullanmadan bir kumlama odasında küçük metal bilyeleri hammadde yüzeyine yüksek hızlarda püskürterek hammadde yüzeyini temizleyen kumlama yöntemi ortaya çıkmıştır ve birçok endüstriyel uygulamada bu yöntem kullanılmaktadır.

Yüze kaplama yöntemlerinden ilk olarak klasik çinko-fosfat kaplama yöntemi incelenmiştir. Çinko-fosfat kaplama soğuk dövmede kullanılacak olan kangalların metal yüzeyine çok iyi tutunduğu için ve çoklu çekim sonrasında dahi devamlılığını korumasından dolayı tercih edilmektedir. Çinko-fosfat kaplanan kangalların kullanılması



sayesinde tel çekim kalıplarının ve hadde kalıbının aşınımı azalmakta ve bu sayede kalıp ömürleri uzamaktadır. Soğuk çekim sonrası yüzeydeki fosfat tabakası hem iyi bir yüzey kaplaması oluşturmakta hem de depolama ve nakliye sırasında yüksek bir korozyon direnci sağlamaktadır. Güçlü yapışma ve gelişmiş korozyon koruması gibi avantajları ile bilinmesine rağmen, çinko-fosfat kaplama birçok dezavantaja da sahiptir. Çinko-fosfat kaplama işleminin en büyük dezavantajı, tehlikeli atık oluşturan ve bu atığın işlenmesini ya da elden çıkarılmasını gerektiren farklı kimyasallar içerme-leridir. Kaplama işlemi sırasında kullanılan banyolar kurşun ve kadmiyum gibi ağır metallerle kirlenir. Hem banyo hem de atık sularda tehlikeli kirleticiler içeren çamur birikmektedir. Banyoların ve kullanılmış suların çoğu geri dönüştürülemede ve tehlikeli atık olarak işlem görmektedir. Bu olumsuzluklara ek olarak, çinko-fosfat kaplama işlemi, yeni kaplama sistemlerden daha fazla miktarda su, enerji ve daha uzun işlem süresi gerektirmektedir. Çinko-fosfat kaplama sistemine alternatif olarak polimer bazlı kaplamalardan söz edilebilir. Polimer kaplama yöntemi makalede bahsedildiği üzere birçok avantaja sahiptir. Bu nedenle uygulanacak olan yüzey temizleme ve kaplama türü hassasiyetle seçilmez.

## KAYNAKÇA

1. **Gariety, M., Ngaile, G., Altan, T.** 2007. "Evaluation of New Cold Forging Lubricants without Zinc Phosphate Precoat," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 47, no. 3–4, p. 673–681.
2. **Ngaile, G., Cochran, J., Stark, D.** 2007. "Formulation of Polymer-Based Lubricant for Metal Forming," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 221, no. 4, p. 559–568.
3. **Wang, Z. G., Komiyama, S., Yoshikawa, Y., Suzuki, T., Osakada, K.** 2015. "Evaluation of Lubricants without Zinc Phosphate Precoat in Multi-Stage Cold Forging," *CIRP Ann.*, vol. 64, no. 1, p. 285–288.
4. **Yamaguchi, H., Imai, Y., Yoshida, M.** 2002. "Metallic Material for Plastic Working With Gradient Two-Layer Lubricant Coating Film and Process for Producing the Same," Patent no. WO2002072345A1.
5. **Wang, Z. G., Komiyama, S., Yoshikawa, Y.** 2014. "Development of Upsetting-Extrusion Type Tribometer for Evaluating Lubrication Coating Performance in Cold Forging," *Adv. Mater. Res.*, vol. 966–967, p. 281–289.
6. **Güneş, S., Tanrıkulu, B., Özüğürlü, D. C., Kılıçaslan, C., İnce, U.** 2018. "A Comparative Study : Zinc Phosphate-Soap Coating Versus Polymer Based Coating in Cold Forward Extrusion," *Manisa Celal Bayar University II. International University Industry Cooperation, R&D and Innovation Congress*, p. 14–15.
7. **Bay, N., Azushima, A., Groche, P., Ishibashi, I., Merklein, M., Morishita, M., Nakamura, T., Schmid, S., Yoshida, M.** 2010. "Environmentally Benign Tribo-Systems for Metal Forming," *CIRP Ann.*, vol. 59, no. 2, p. 760–780.



8. **Lorenz, R., Hagenah, H., Merklein, M.** 2018. "Experimental Evaluation of Cold Forging Lubricants Using Double-Cup-Extrusion-Tests," *Mater. Sci. Forum*, vol. 918, p. 65–70.
9. **Wang, J., Shah, R., Huang, Y.-H., Chang, D.-F.** 2009. "An Analysis of Polymer Coated Metal Rod Extrusion," *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 131, no. 1, p. 0110121–0110129.
10. **Geiger, M., Popp, U., Engel, U.** 2002. "Excimer Laser Micro Texturing of Cold Forging Tool Surfaces - Influence on Tool Life," *CIRP Ann.*, vol. 51, no. 1, p. 231–234.
11. **Popp, U., Engel, U.** 2006. "Microtexturing of Cold-Forging Tools - Influence on Tool Life," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 220, no. 1, p. 27–33.
12. **Groche, P., Zang, S., Müller, C., Bodenmüller, D.** 2015. "A Study on the Performance of Environmentally Benign Lubricants at Elevated Temperatures in Bulk Metal Forming," *J. Manuf. Process.*, vol. 20, p. 425–430.
13. **Müller, C., Rudel, L., Yalcin, D., Groche, P.** 2014. "Cold Forging with Lubricated Tools," *Key Eng. Mater.*, vol. 611–612, p. 971–980.
14. **Bay, N.** 1994. "The State of the Art in Cold Forging Lubrication," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 46, no. 1–2, p. 19–40.
15. **Smyth, L.** 2017. "New Polymeric Coatings for Cold Forming," <https://www.engineerlive.com/content/new-polymeric-coatings-cold-forming>.
16. **Wang, X. Y., Li, D. Y.** 2003. "Mechanical, Electrochemical and Tribological Properties of Nano-Crystalline Surface of 304 Stainless Steel," *Wear*, vol. 255, no. 7–12) p. 836–845.
17. Ningbo Hewcho Industrial Limited. "Sandblasting," <http://www.hewcho.com/surface-treatment/sandblasting.html>.
18. İlve Kimya. "Tel Çekme Öncesi Çinko Fosfat Kaplama," <http://cinko.fosfatkaplama.com/tel-cekme.html>.
19. İlve Kimya. 2019. "Tel Çekme Çinko Fosfat," <http://www.ilve.com.tr/yislem/tel-cekme-cinko-fosfat.html>.
20. **Peycheva, R.** 2015. "Using Polymer Lubricants to Optimize Cold Forging," <https://www.forgingmagazine.com/forming/using-polymer-lubricants-optimize-cold-forging>.