



SAE MÜHENDİSLİK
ENGINEERING & CONSULTING

TEKNİK YAYINLAR • No. 10

Metalografi ve Numune Hazırlama

Numune alma ve kesme, bakalite alma, zımparalama ve parlatma kademeleri, dağlama reaktifleri, nicel metalografi ve hazırlama artefaktlarının tanınması

Hazırlayan: Ahmet Asım ESER — SAE Mühendislik ve Danışmanlık Hizmetleri

Sürüm: 1.0 • **Tarih:** Ekim 2026 • **saemuhendislik.com**

Bu doküman SAE Mühendislik tarafından özgün olarak hazırlanmıştır. Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

1. Giriş: Mikroyapı Neyi Söyler?

Metalografi, bir metalin iç yapısını hazırlanmış bir kesit üzerinde inceleme disiplini. Mikroyapı; malzemenin bileşimini, uygulanmış ısıt işlemleri, imalat geçmişini ve hasara giden yolu aynı anda taşır. Pratikte metalografiye şu sorularla gidilir: **Isıl işlem doğru yapılmış mı? Tane boyutu şartnameye uygun mu? Yüzeyde dekarbürizasyon var mı? Sertleştirilmiş tabaka ne kadar derin? Bu çatlak nereden başlamış?**

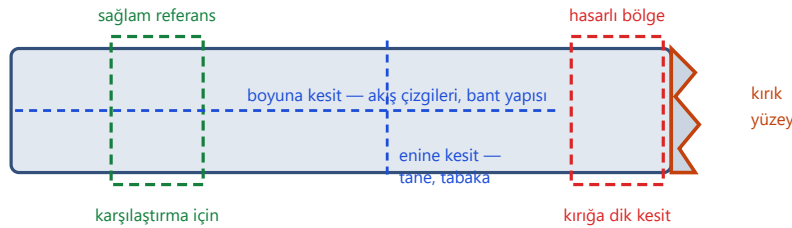
Bu soruların cevabı, incelenen kesitin **gerçekten malzemeyi temsil etmesine** bağlıdır. Yanlış yerden alınmış, kesilirken yanmış ya da kötü parlatılmış bir numune, mikroskop ne kadar iyi olursa olsun yanlış cevap verir. Bu nedenle metalografide işin ağırlığı mikroskopta değil, **hazırlıktadır**.

Temel ilke: Her hazırlama kademesi, bir öncekinin bıraktığı **deformasyon tabakasını** kaldırmak zorundadır. Kaldıramazsa, o hasar sonraki kademelerde yüzeyin altında saklanır ve dağlama sonrası "gerçek mikroyapı" sanılan şey aslında hazırlama artefaktı olur.

2. Numune Alma ve Kesme

Numunenin **nereden** ve **hangi yönde** alındığı, sonucun yarısıdır:

- **Hasar incelemesinde:** numune kırık yüzeye **dik** ve çatlak başlangıcını içerecek şekilde alınır; mümkünse aynı parçadan **sağlam bir referans kesiti** de alınır.
- **Üretim kontrolünde:** standardın tarif ettiği yerden; ıslah parçalarında yüzey ve çekirdek birlikte görülecek şekilde.
- **Yön: Boyuna** kesit haddeleme/dövme akış çizgilerini, bant yapısını ve inklüzyon uzamasını gösterir; **enine** kesit tane boyutu, tabaka derinliği ve dekarbürizasyon için uygundur. Şüphede kalırsa ikisi birden alınır.



Şekil 1 — Numune alma: hasar incelemesinde kırık yüzeye dik kesit ve aynı parçadan sağlam referans; kesit yönü incelenen özelliklere göre seçilir. (SAE Mühendislik özgün çizimi.)

Kesme, numuneye verilen ilk ve en derin hasardır. Kurallar nettir: bol soğutma sıvısıyla, uygun sertlikte aşındırıcı diskle, **düşük ilerleme** ile kesilir. Testere, taşlama taşı veya alevle kesme mikroyapıyı değiştirir. Kesme sırasında yanan bir yüzey, sonradan yapılan hiçbir işlemle düzeltilemez — **o numune atılır**.

3. Bakalite Alma

Yöntem	Koşul	Ne zaman
Sıcak (pres)	≈150–180 °C, 20–30 MPa; fenolik, epoksi veya diallil ftalat reçine	Hızlı ve boyutsal düzgün; ısıya duyarlı olmayan numuneler
Soğuk (döküm)	Oda sıcaklığı; epoksi (vakum altında emdirme yapılabilir)	Isıl işlemi bozulabilecek, gevrek, gözenekli veya kaplamalı numuneler

- **Kenar koruması:** Yüzey tabakası, kaplama veya dekarbürizasyon ölçülecekse kenarın yuvarlanmaması gerekir. Çözüm: sert dolgulu reçine, numunenin yanına destek parçası koymak ya da kenarı kaplamak.
- **İzlenebilirlik:** Numune numarası bakalitin üzerine kazınır. Numarasız numune, raporda kanıt değildir.

4. Zımparalama ve Parlatma

Hazırlama, giderek incelen aşındırıcılarla bir önceki kademenin hasarını kaldırma zinciridir:



Şekil 2 — Her kademe, bir öncekinin bıraktığı deformasyon tabakasını kaldırır. Bir kademe atlanırsa hasar yüzeyin altında kalır ve dağlamadan sonra yanıltıcı bir yapı olarak görünür. (SAE Mühendislik özgün çizimi, şematiktir.)

Zımparalama

- SiC kağıtlarla kademeli: tipik olarak P120 → P240 → P400 → P800 → P1200 → P2500; su ile soğutulur.
- **Her kademede numune 90° döndürülür** ve bir önceki kademenin çizikleri tamamen kaybolana kadar zımparalanır. Bu, "kademe bitti mi?" sorusunun tek güvenilir ölçütüdür.
- Aşırı bastırma, ısı ve derin deformasyon üretir; kağıt köreltiğinde değiştirilir.

Parlatma

- Elmas süspansiyonla kademeli: 9 µm → 3 µm → 1 µm; uygun çuha ve yağlayıcı ile.
- Son kademede 0,05 µm alümina veya **OPS** (koloidal silika) kullanılır; OPS hafif kimyasal etkisiyle çok temiz yüzey verir ancak kuruyunca kristalleşip numuneyi kirletir — **işlem sonunda mutlaka yıkanır**.
- Yumuşak malzemelerde (alüminyum, bakır, kurşun) aşırı parlatma **relief** (kabartı) yaratır; sert fazlar yüksekte kalır.

5. Dağlama ve Reaktifler

Parlatılmış yüzey aynadır; faz ve tane sınırları ancak **dağlama** ile görünür hâle gelir. Dağlayıcı, incelenecek yapıya göre seçilir — yanlış reaktif, aradığınız detayı hiç göstermez:

Reaktif	Bileşim (tipik)	Kullanım / ortaya çıkardığı
Nital	%2–5 HNO ₃ + etanol	Karbonlu ve düşük alaşımlı çelik; ferrit tane sınırı, perlit, martenzit, beynit
Pikral	%4 pikrik asit + etanol	Sementit ve perlit ayrıntısı, küreselleştirilmiş yapı; ferrit sınırlarını açmaz
Villella	1 g pikrik asit + 5 mL HCl + 100 mL etanol	Martenzitik paslanmaz, temperlenmiş martenzit, karbürler
Marble	4 g CuSO ₄ + 20 mL HCl + 20 mL su	Östenitik paslanmaz ve nikel esaslı alaşımlar
Kalling No.2	5 g CuCl ₂ + 100 mL HCl + 100 mL etanol	Dupleks paslanmaz, Ni esaslı süperalaşımlar
Keller	2,5 mL HNO ₃ + 1,5 mL HCl + 1 mL HF + 95 mL su	Alüminyum alaşımları; tane yapısı ve intermetalikler
Kroll	2 mL HF + 6 mL HNO ₃ + 92 mL su	Titanyum ve alaşımları; α/β yapısı
Oksalik asit (elektrolitik)	%10 oksalik asit, 6 V	Paslanmazda karbür çökmesi / hassaslaşma taraması
Beraha (renk)	Sodyum metabisülfid esaslı	Faz ayrımı: ferrit/martenzit, dupleks fazlar renkli görünür

Güvenlik: Pikrik asit kurduğunda patlayıcıdır ve nemli saklanır; HF ciltte derine işler ve kalsiyum glukonat jeli olmadan çalışılmaz; tüm asit işlemleri çeker ocakta, uygun eldiven ve gözlükle yapılır. Dağlayıcılar daima **asit suya** sırasıyla hazırlanır.

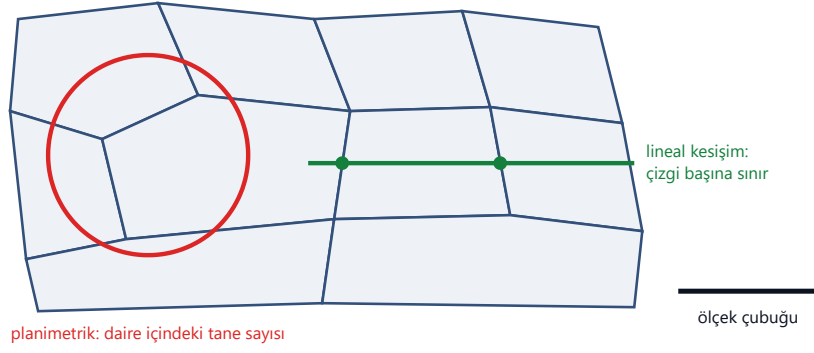
Dağlanmadan bakılması gereken durumlar da vardır: küresel grafitli dökme demirde nodülerite ve grafit sayımı **parlatılmış (dağlanmamış)** yüzeyde yapılır; ferrit/perlit oranı için aynı numune sonra nital ile dağlanır. İnküzyon değerlendirmesi de dağlanmamış yüzeyde yapılır.

6. İnceleme ve Görüntüleme

- Büyütme seçimi:** Tane yapısı 100–500×, karbür ve ince yapı 500–1000×; tabaka derinliği düşük büyütmede, mikro ayrıntı yüksek büyütmede ölçülür. Her görüntüye **ölçek çubuğu** konur.
- Aydınlatma teknikleri:** Karanlık alan çatlak ve gözenekleri öne çıkarır; polarize ışık anizotropik fazlarda (grafit, α-Ti) işe yarar; DIC yükseklik farklarını görünür kılar.
- SEM'e ne zaman?** Işık mikroskobunun çözemediği ölçek (striasyon, dimple, ince çökelti) ve element analizi (EDS) gerektiğinde. Kırık yüzey incelemesi için **Teknik Yayınlar No.6**'ya bakılabilir.

7. Nicel Metalografi

Mikroyapı yalnız tarif edilmez, **ölçülür**. Ölçümün standarda bağlanması, raporu tartışmadan çıkarılır:



Şekil 3 — Tane boyutu ölçümünün iki klasik yolu: planimetrik (Jeffries) sayım ve lineal kesişim. Her görüntüde ölçek çubuğu zorunludur. (SAE Mühendislik özgün çizimi, şematiktir.)

Ölçüm	Standart	Not
Tane boyutu (G sayısı)	ASTM E112 · ISO 643	Planimetrik veya lineal kesişim; görüntü analizi için ASTM E1382
Faz oranı (ör. ferrit/perlit)	ASTM E562	Nokta sayım yöntemi; istatistiksel hata birlikte verilir
İnklüzyon içeriği	ASTM E45 · ISO 4967	Dağlanmamış yüzeyde; A/B/C/D tipleri ayrı raporlanır
Dekarbürizasyon derinliği	ISO 3887	Enine kesitte; serbest ferrit ve kısmi dekarbürizasyon ayrımı
Sertleştirilmiş tabaka derinliği	EN ISO 18203	Mikrosertlik profili; sınır sertliği tanımlanır (bkz. No.7)
Küresel grafit yapısı	ISO 945-1 · ASTM A247	Nodülerite ve grafit tipi, parlatılmış yüzeyde değerlendirilir
Numune hazırlama	ASTM E3	Genel hazırlama; dağlayıcılar için ASTM E407

8. Hazırlama Artefaktları: Gerçek mi, Hata mı?

Metalografinin en pahalı hatası, hazırlama kusurunu malzeme kusuru sanmaktır. Tanıma rehberi:

Görünen	Gerçek nedeni	Ayırt etme
Paralel ince çizgiler	Önceki zımpara kademesinin çizikleri	Tek yönlü ve düzenli; yapı ile ilgisiz
Kuyruklu iz (comet tail)	Parlatmada tek yönlü hareket, sert parçacık sürüklenmesi	Hep aynı yöne bakar
Boşluk / "gözenek"	Sert fazın sökülmesi (pull-out), inklüzyon düşmesi	Keskin kenarlı ve düzensiz; gerçek gözenek yuvarlakçadır
Kenarda yumuşak bant	Kenar yuvarlanması (odak kaybı) ya da gerçek dekarburizasyon	Sertlik ölçümü ile ayrılır; kenar koruması şart
Aşırı koyu / lekeli yüzey	Fazla dağlama veya yıkanmamış OPS kalıntısı	Yeniden parlatıp kısa süreli dağlanır
Beklenmedik martenzit	Kesme sırasında ısınma ve kendiliğinden su verme	Yalnız kesilen kenarda; numune yenilenir

Altın kural: Şüpheli bir bulgu, **yeniden hazırlanmış ikinci bir numune**de görülüyorsa bulgu değildir. Hasar raporuna giren her mikroyapı iddiası, en az iki kesitte doğrulanmalıdır.

9. Raporlama ve İzlenebilirlik

- Numunenin **alındığı yer ve yön** krokiyle gösterilir; parça üzerindeki konum belirsiz bırakılmaz.
- Her görüntüde **büyütme, ölçek çubuğu, dağlayıcı ve süre** yazılır ("Nital %3, 8 s" gibi).
- Ölçüm sonuçları **standart numarasıyla** verilir (ör. "tane boyutu G 8,5 — ASTM E112, lineal kesişim").
- Hazırlama kademeleri kaydedilir; artefakt tartışması çıktığında tek dayanak bu kayıttır.
- Numune ve bakalit, rapor kapandıktan sonra da saklanır; tekrar inceleme ihtimali her zaman vardır.

10. Pratik Kontrol Listesi

- Numune doğru yerden ve doğru yönde mi alındı? Sağlam referans var mı?
- Kesme soğutmalı mıydı? Kenarda yanma izi var mı?
- Kenar ölçümü yapılacaksa kenar koruması uygulandı mı?
- Her zımpara kademesinde 90° döndürüldü ve önceki çizikler kayboldu mu?
- Son parlatmadan sonra OPS kalıntısı yıkandı mı?
- Dağlayıcı yapıya uygun mu; süre kontrollü mü?
- Ölçüm hangi standarda göre, kaç alanda yapıldı?
- Şüpheli bulgu ikinci numune de doğrulandı mı?

11. Yararlanılan Temel Kaynaklar

- ASM International, *ASM Handbook Vol. 9: Metallography and Microstructures*, 2004.
- Vander Voort, G.F., *Metallography: Principles and Practice*, ASM International, 1999.
- Petzow, G., *Metallographic Etching*, 2. baskı, ASM International, 1999.
- Bramfitt, B.L., Benscoter, A.O., *Metallographer's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels*, ASM International, 2002.

5. Geels, K., *Metallographic and Materialographic Specimen Preparation, Light Microscopy, Image Analysis and Hardness Testing*, ASTM International, 2007.
6. *İlgili standartlar:* ASTM E3 (hazırlama), ASTM E407 (dağlayıcılar), ASTM E112 ve ISO 643 (tane boyutu), ASTM E1382 (görüntü analizi), ASTM E562 (nokta sayım), ASTM E45 ve ISO 4967 (inklüzyon), ISO 3887 (dekarbürizasyon), EN ISO 18203 (tabaka derinliği), ISO 945-1 ve ASTM A247 (küresel grafit).