



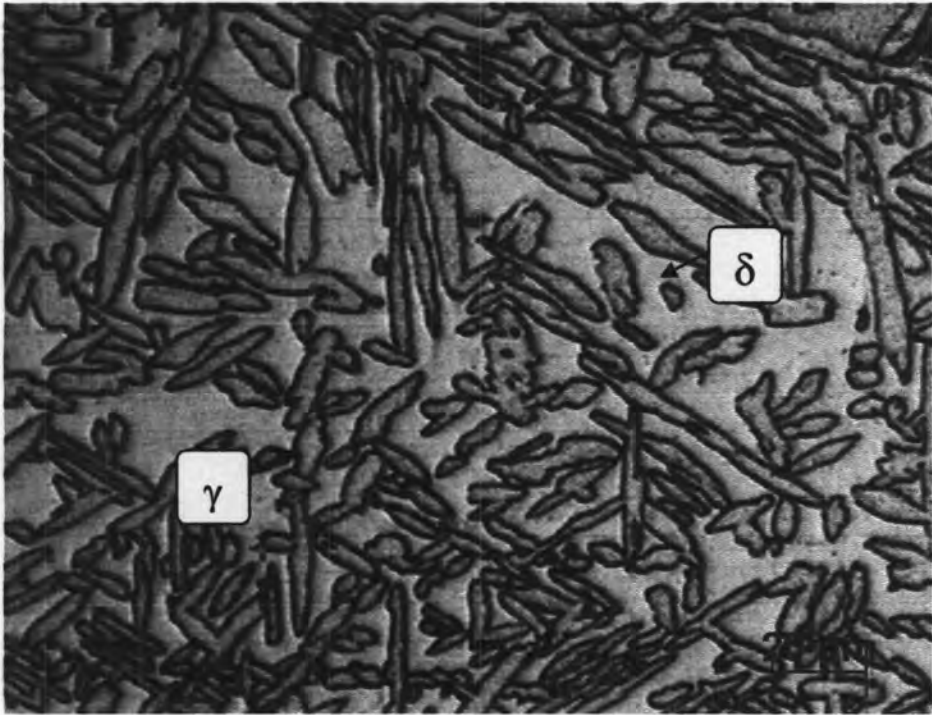
ผลการทดลองและการอภิปราย

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคได้ใช้สัญลักษณ์และอักษรย่อต่าง ๆ โปรดดูความหมายในคำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

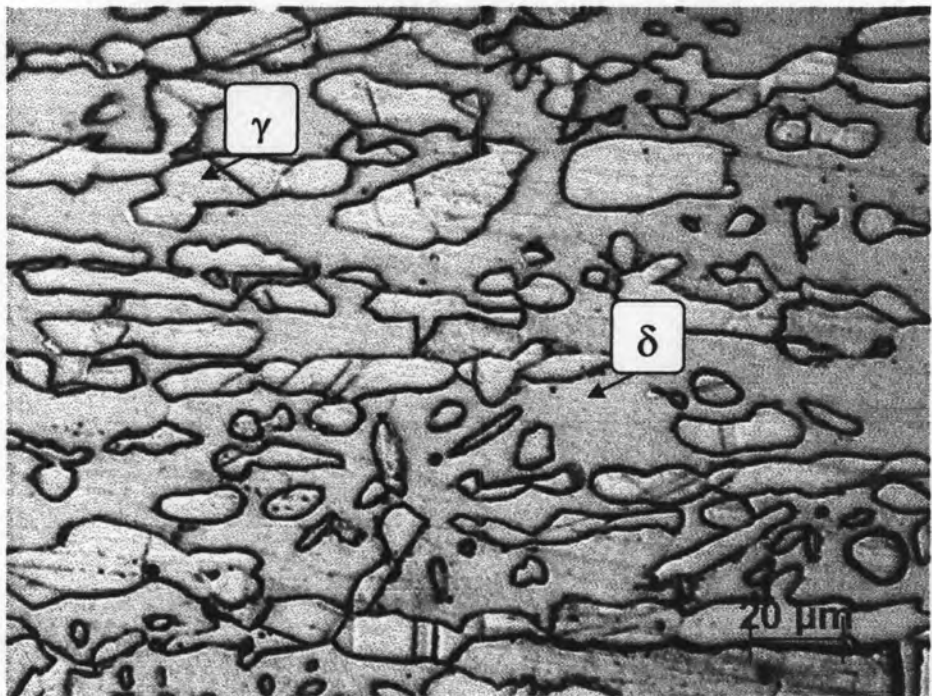
4.1 โครงสร้างจุลภาคของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+(1-5% N₂)

เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นิกเกิล 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไนโตรเจน 0.0018(K1), 0.1100(K2), 0.2300(K3) และ 0.3400(K4) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+(1-5% N₂) พบว่ามีโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณเนื้อเชื่อม ที่บริเวณแนวการหลอมเหลว และที่บริเวณกระทบร้อน แตกต่างไปจากเนื้อโลหะพื้น รูปที่ 4.1 – 4.4 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะเนื้อเหล็ก K1- K4 รูปที่ 4.5 – 4.9 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณต่าง ๆ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเชื่อมทิกพัลส์ของเหล็ก K1 รูปที่ 4.10-4.14 แสดงโครงสร้างที่บริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1 รูปที่ 4.15-4.19 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1 รูปที่ 4.20-4.24 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณกระทบร้อนของเหล็ก K1 รูปที่ 4.25 แสดงตะกอนโครเมียมไนไตรต์ในเนื้อเชื่อมเหล็ก K1 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า รูปที่ 2.26 แสดงตะกอนโครเมียมไนไตรต์ในแนวการหลอมเหลวเหล็ก K1 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า รูปที่ 4.27 แสดงตะกอนโครเมียมไนไตรต์ในบริเวณกระทบร้อนเหล็ก K1 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า รูปที่ 4.28 – 4.32 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณต่าง ๆ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเชื่อมทิกพัลส์ของเหล็ก K2 รูปที่ 4.33-4.37 แสดงโครงสร้างที่บริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K2 รูปที่ 4.38-4.42 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K2 รูปที่ 4.43-4.47 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณกระทบร้อนของเหล็ก K2 รูปที่ 4.48 แสดงตะกอนโครเมียมไนไตรต์ในบริเวณแนวการหลอมเหลวเหล็ก K2 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า รูปที่ 2.49 แสดงตะกอนโครเมียมไนไตรต์ในบริเวณกระทบร้อนเหล็ก K2 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า รูปที่ 4.50 – 4.54 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณต่าง ๆ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการ

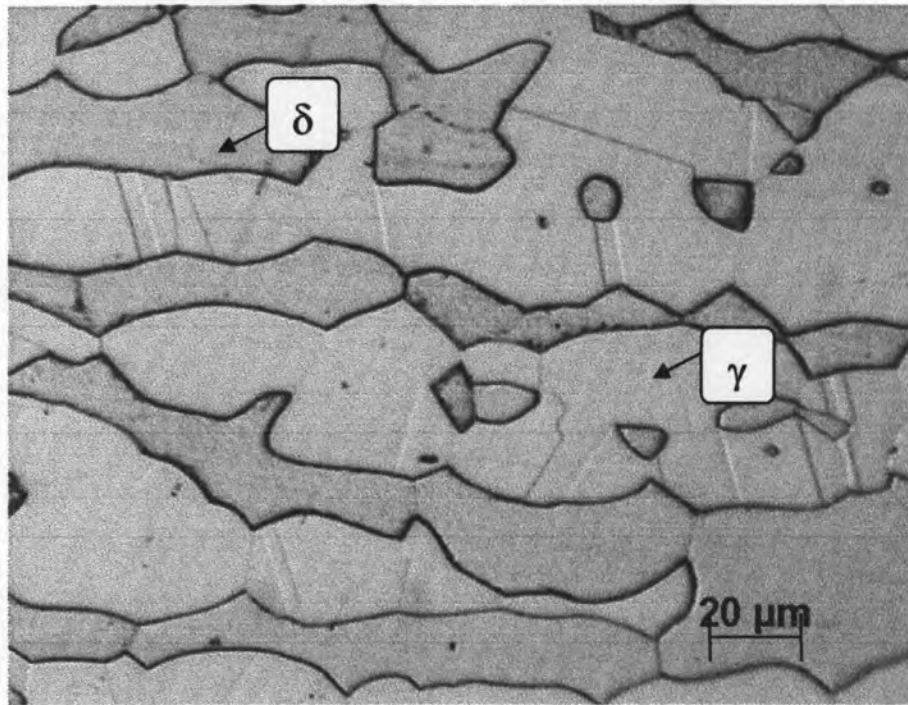
เชื่อมของเหล็ก K3 รูปที่ 4.55-4.59 แสดงโครงสร้างที่บริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K3 รูปที่ 4.60-4.64 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K3 รูปที่ 4.65-4.69 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณกระทันของเหล็ก K3 รูปที่ 4.70 แสดงตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในบริเวณแนวการหลอมเหลวเหล็ก K3 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า รูปที่ 4.71 แสดงตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในเนื้อบริเวณกระทันเหล็ก K3 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า ที่ 4.72 – 4.76 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณต่าง ๆ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเชื่อมของเหล็ก K4 และรูปที่ 4.77-4.81 แสดงโครงสร้างที่บริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K4 รูปที่ 4.82-4.86 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K4 รูปที่ 4.87-4.91 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณกระทันของเหล็ก K4 รูปที่ 4.92 แสดงตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในบริเวณแนวการหลอมเหลวเหล็ก K4 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า รูปที่ 4.93 แสดงตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในบริเวณกระทันเหล็ก K4 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า จากรูปที่ 4.5-4.84 เห็นได้ว่าโครงสร้างจุลภาคของออสเทนไนต์ที่พบภายหลังการเชื่อมทิกพัลส์ มีลำดับตลอดจนกลไกการเกิดแตกต่างกัน เมื่อมีการแข็งตัวเกิดโครงสร้างเดลตาเฟอไรต์เป็นอันดับแรก เมื่อเย็นตัวต่อไปจะเกิดโครงสร้างจุลภาคต่าง ๆ ดังนี้ Grain Boundary Austenite (GBA) ดังตัวอย่างรูปที่ 4.10 โดยโครงสร้าง GBA จะมีการเติบโตตามขอบเกรนเดลตาเฟอไรต์ โครงสร้าง Widmannstatten Austenite (WA) ดังตัวอย่างรูปที่ 4.33 ซึ่งเป็นโครงสร้างเกรนมีลักษณะเหมือนขนนกที่เกิดและขยายตัวจากด้านข้างของเฟสเดลตาเฟอไรต์พุ่งเข้าสู่ใจกลางเดลตาเฟอไรต์ และโครงสร้าง Inter Granular Austenite (IGA) ดังตัวอย่างรูปที่ 4.55 โดยเป็นโครงสร้างที่มีขนาดเล็ก และกระจายตัวภายในเดลตาเฟอไรต์ เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่ต้องอาศัยแรงขับเคลื่อน (driving force) การแพร่ของไนโตรเจนในการเกิดสูงเพราะเกิดที่อุณหภูมิต่ำ [16][18] นอกจากนี้ยังพบโครงสร้าง Partially Transformed Austenite (PTA) ดังตัวอย่างรูปที่ 4.60 เป็นโครงสร้างออสเทนไนต์ที่เปลี่ยนแปลงเพียงบางส่วนเนื่องจากเวลาในการเปลี่ยนเฟสสั้น โดยจะพบโครงสร้าง PTA ในเหล็กที่มีไนโตรเจนสูง เพราะว่าไนโตรเจนทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสออสเทนไนต์เป็นเฟสเดลตาเฟอไรต์เพิ่มสูงขึ้น [1] ออสเทนไนต์บางส่วนจึงไม่สามารถละลายได้หมด



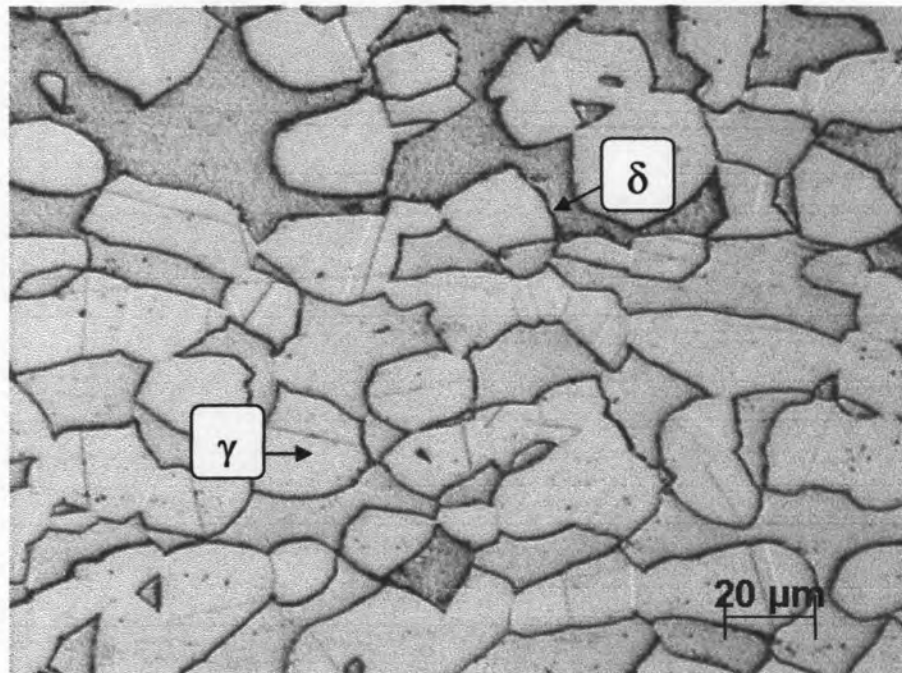
รูปที่ 4.1 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณโลหะเนื้อพื้นเหล็ก K1 (0.0018%N)



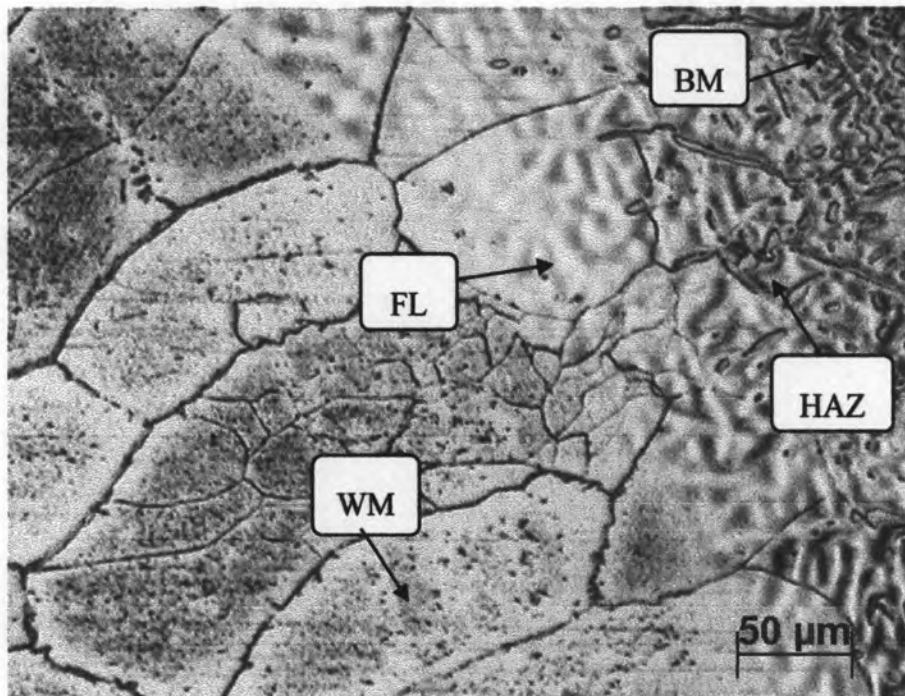
รูปที่ 4.2 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณโลหะเนื้อพื้นเหล็ก K2 (0.1100%N)



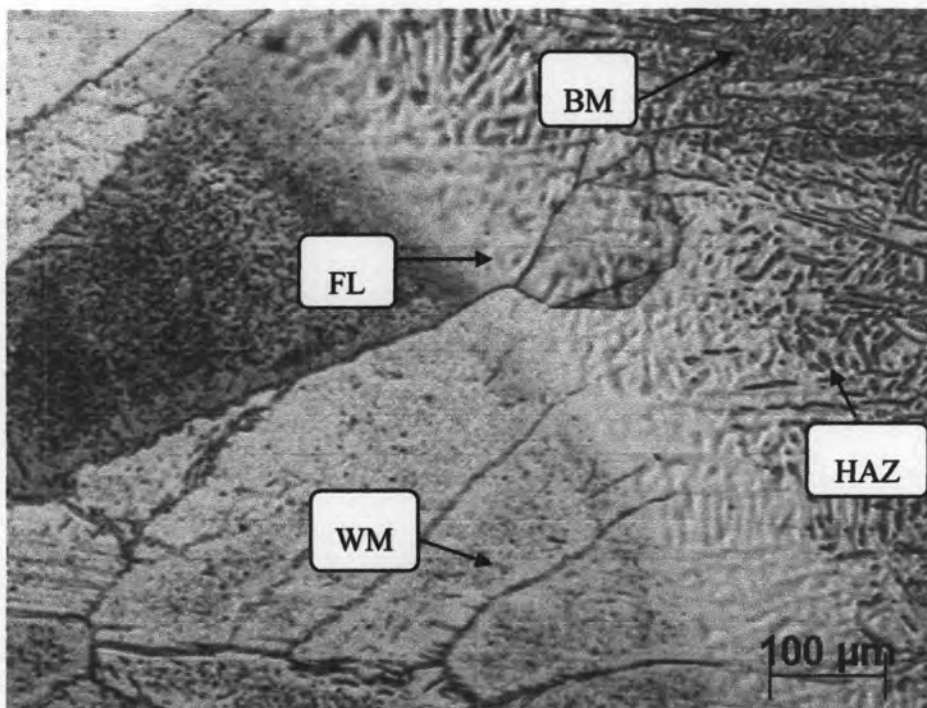
รูปที่ 4.3 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณโลหะเนื้อพื้นเหล็ก K3 (0.2300%N)



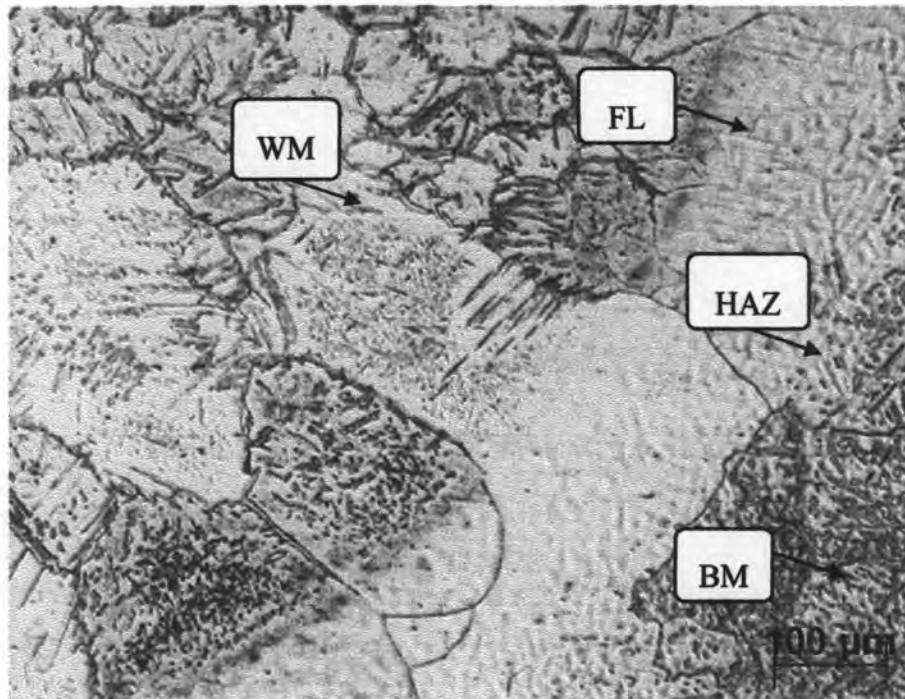
รูปที่ 4.4 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณโลหะเนื้อพื้นเหล็ก K4 (0.3400%N)



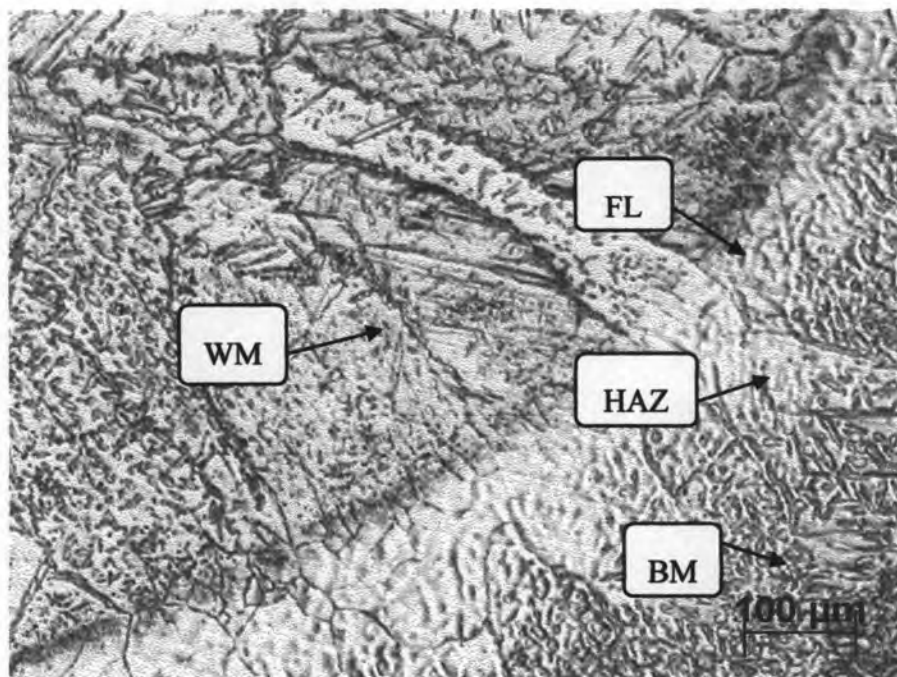
รูปที่ 4.5 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่างๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K1
 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1% N₂



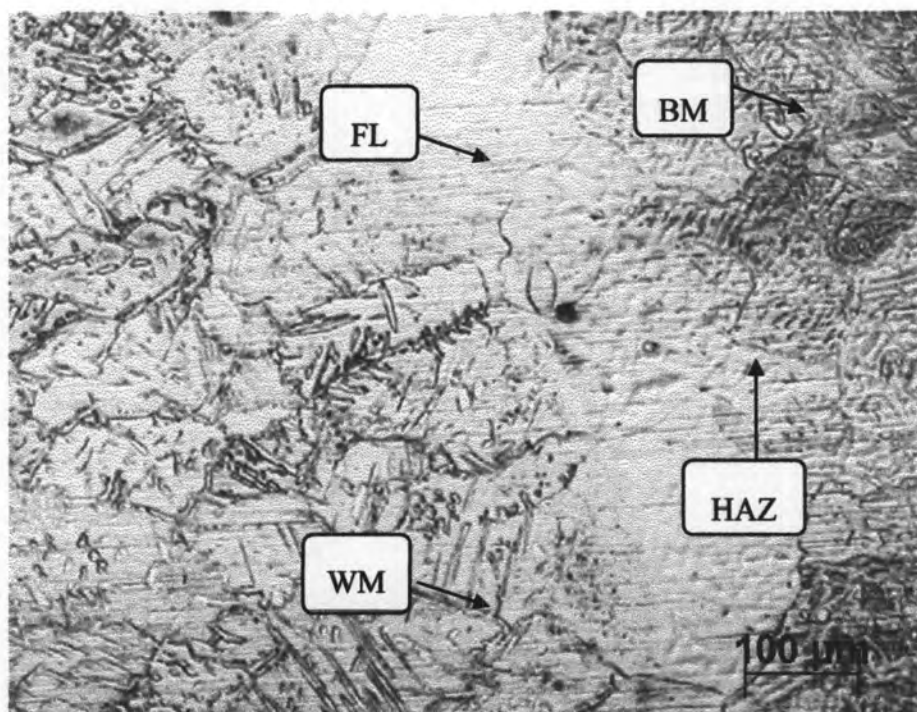
รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่างๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K1
 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+2% N₂



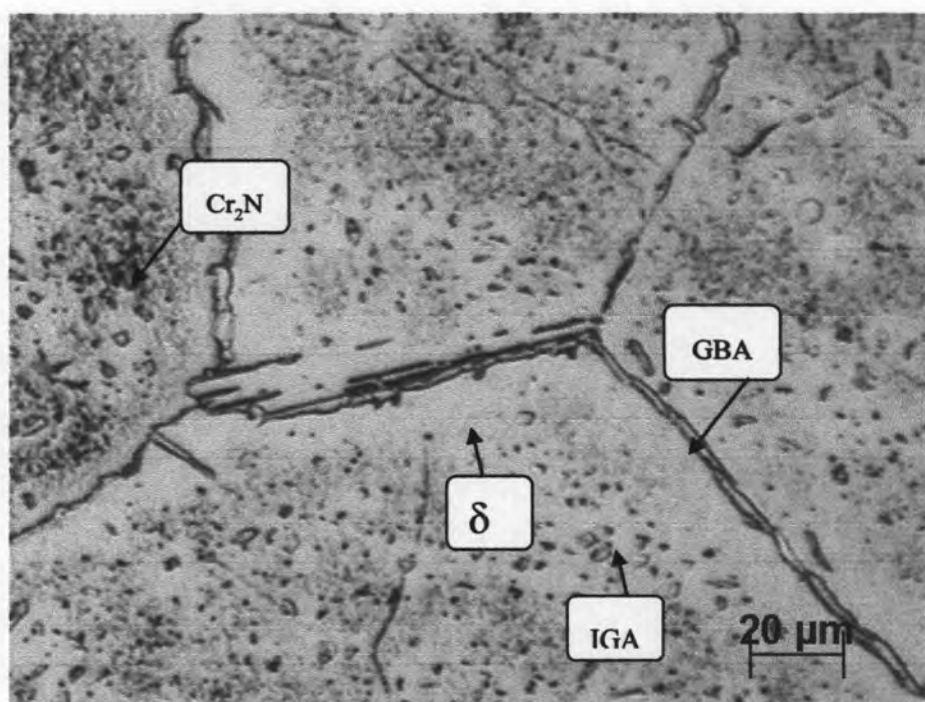
รูปที่ 4.7 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K1
 ภายหลังการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+3%N₂



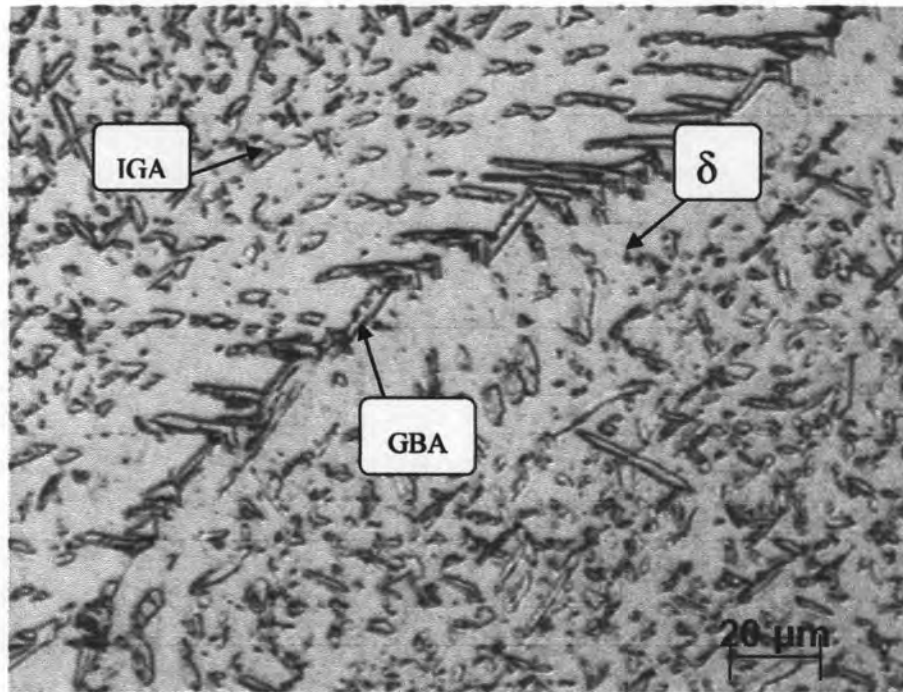
รูปที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K1
 ภายหลังการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



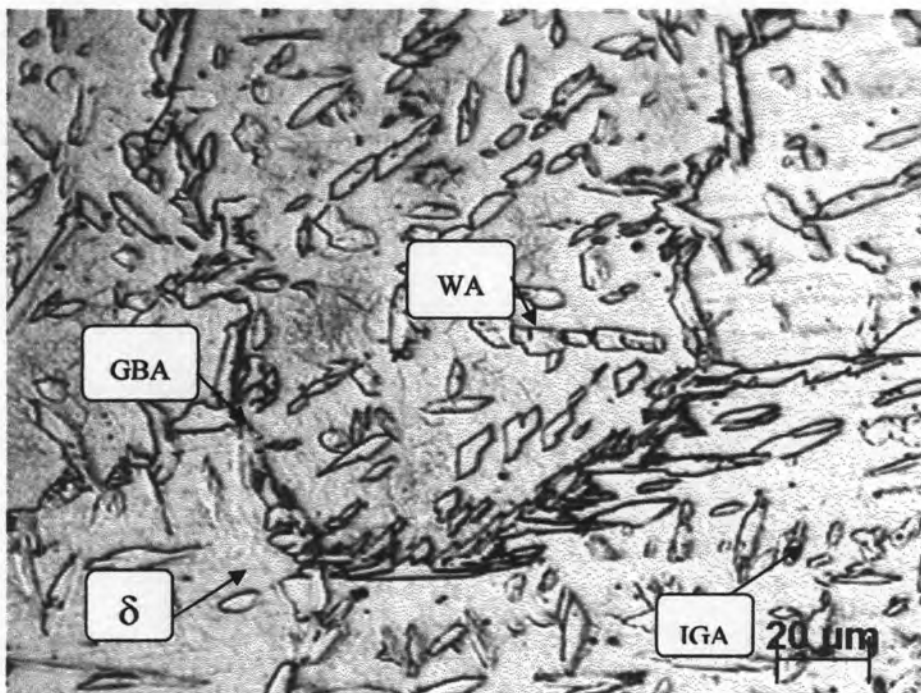
รูปที่ 4.9 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K1
 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂



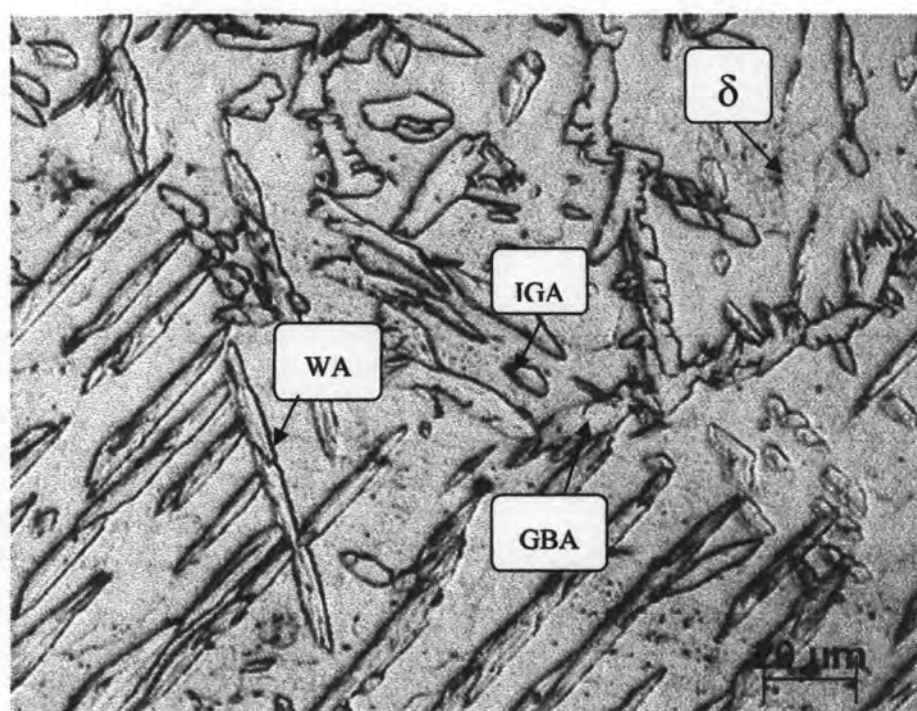
รูปที่ 4.10 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์
 โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



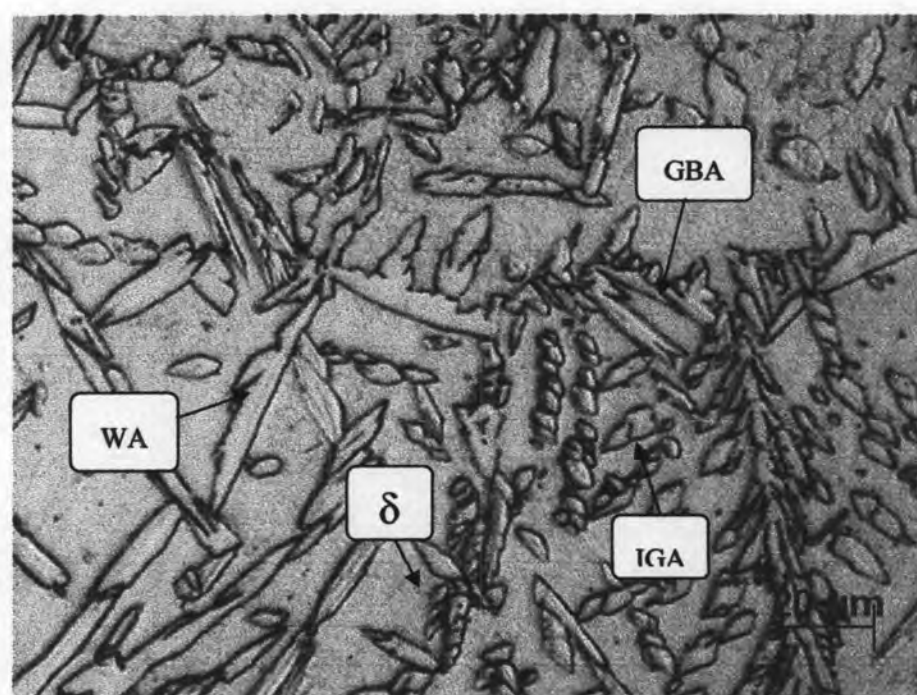
รูปที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+2%N₂



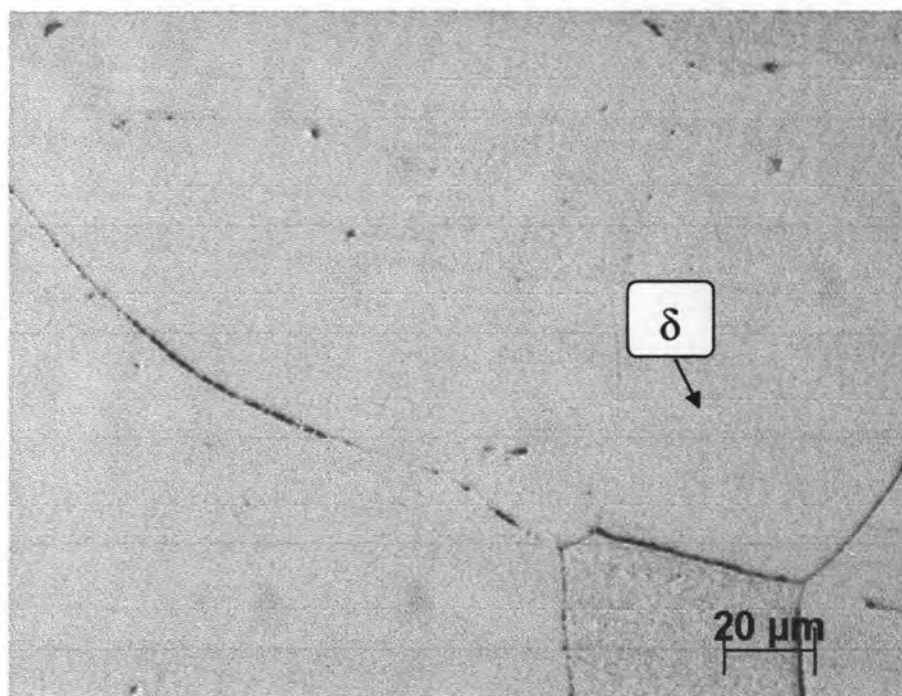
รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+3%N₂



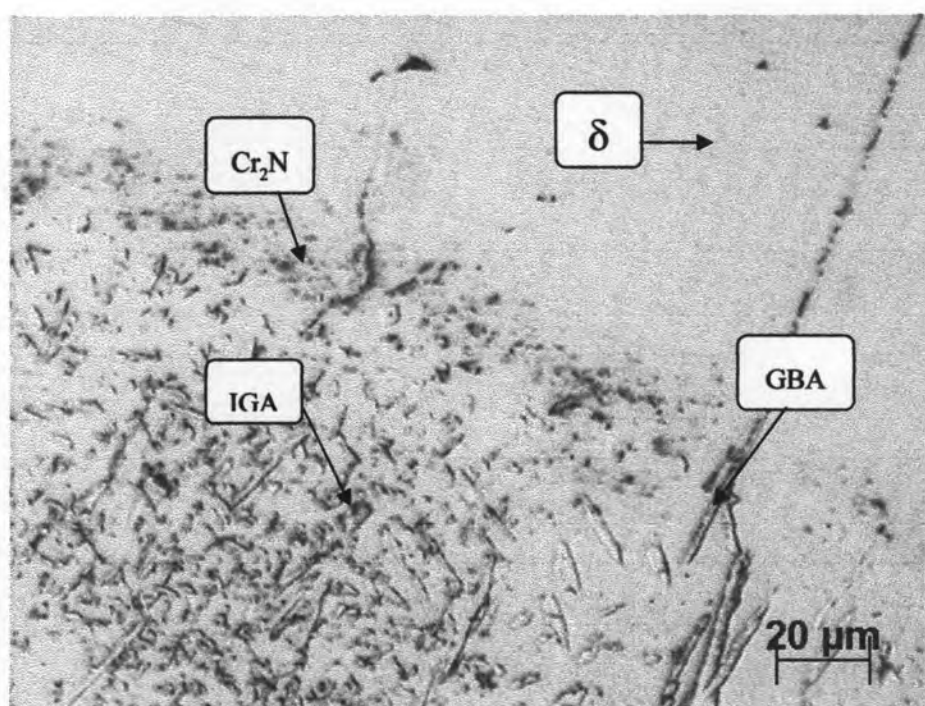
รูปที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



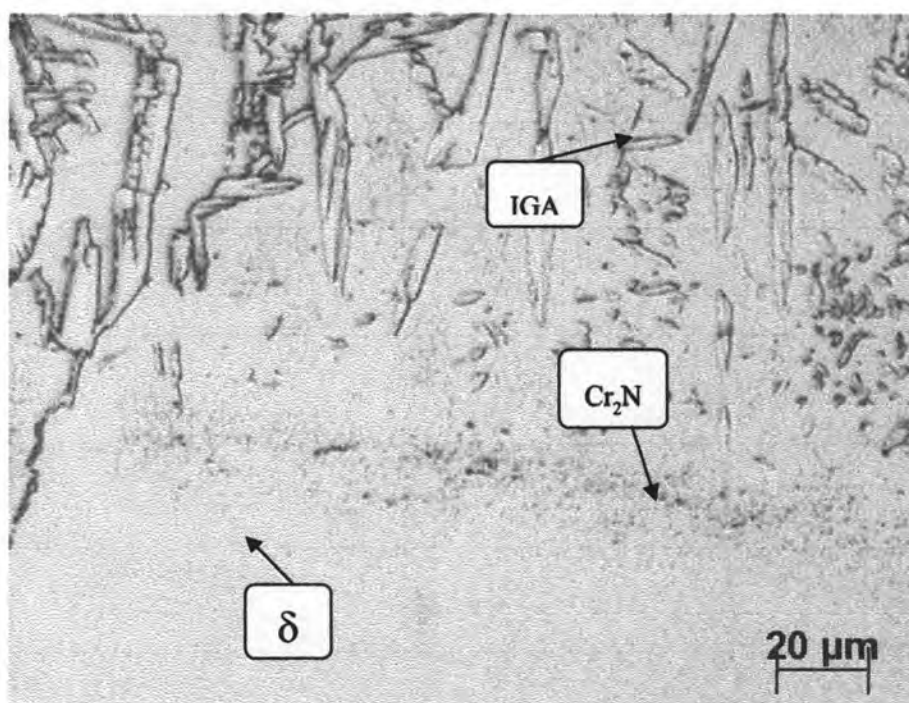
รูปที่ 4.14 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂



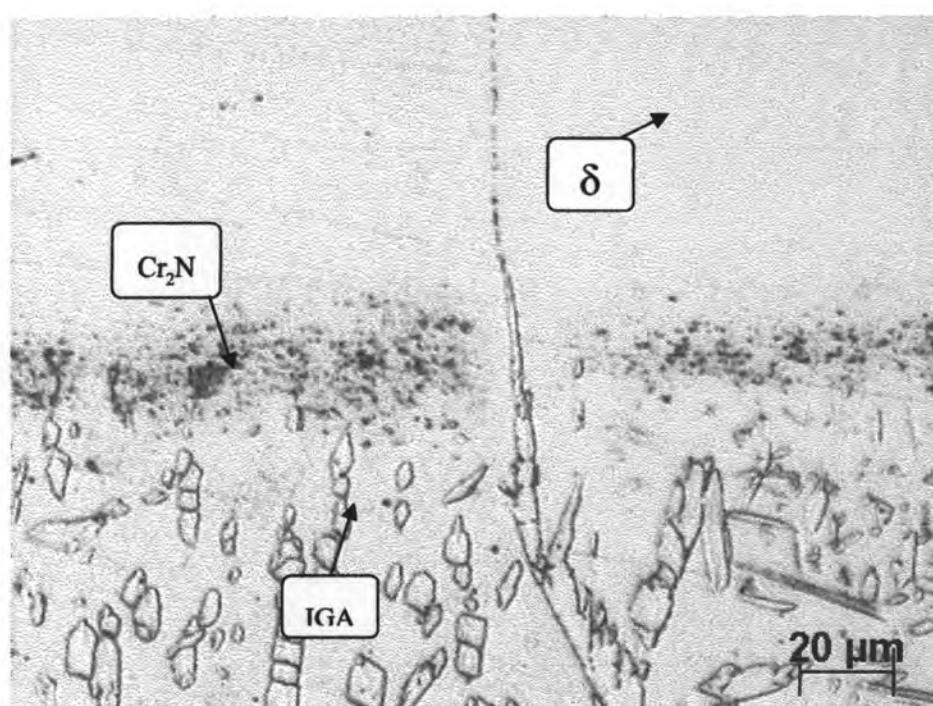
รูปที่ 4.15 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



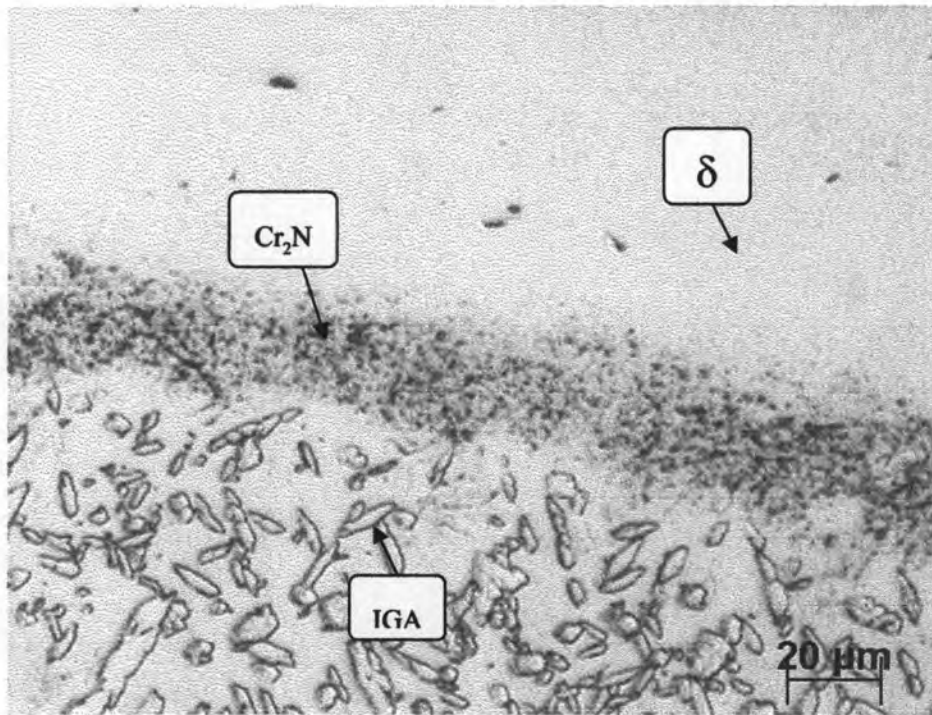
รูปที่ 4.16 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+2%N₂



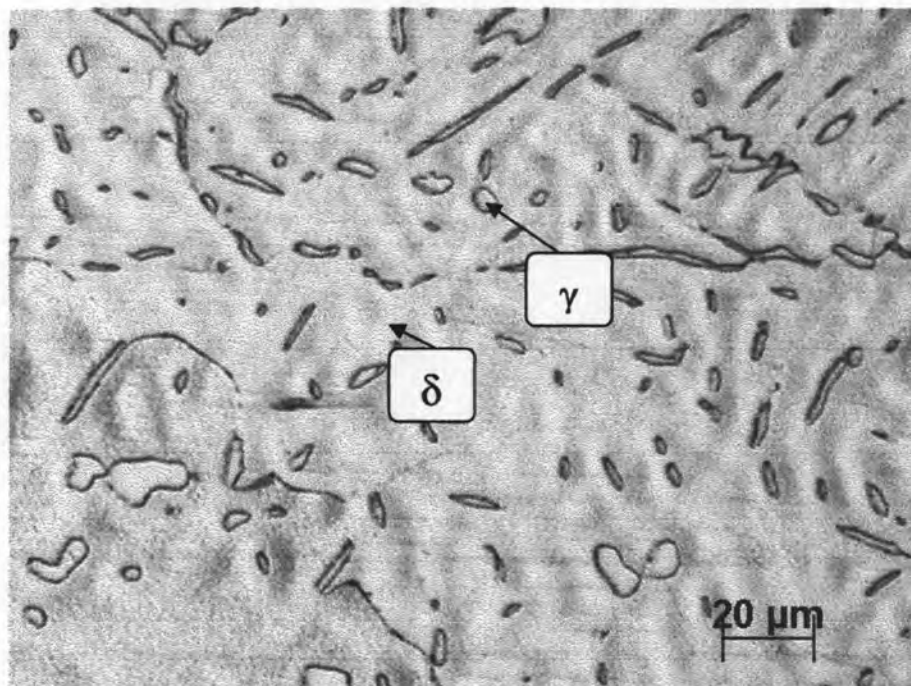
รูปที่ 4.17 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+3\%N_2$



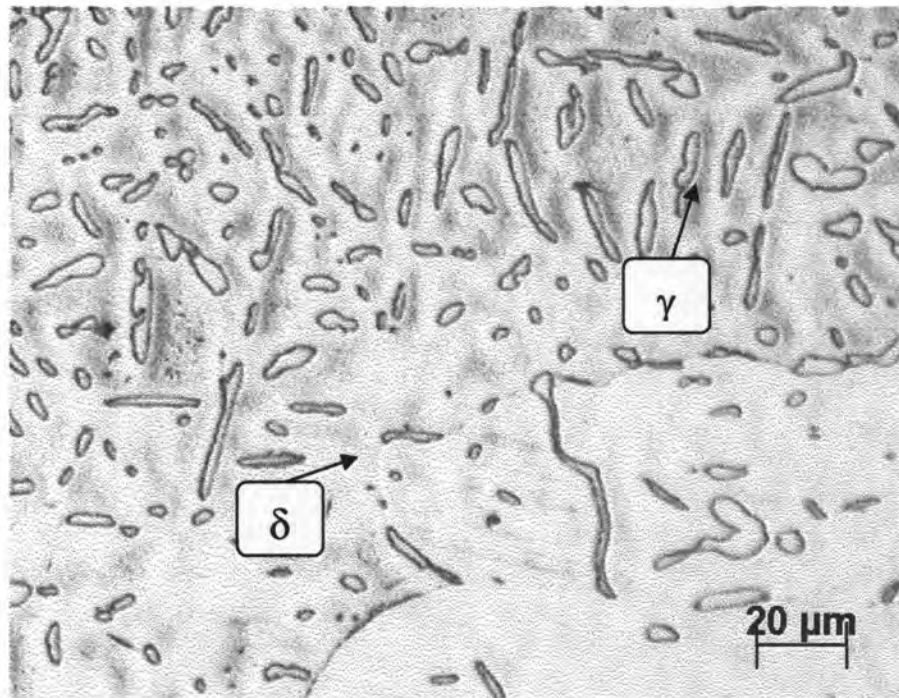
รูปที่ 4.18 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+4\%N_2$



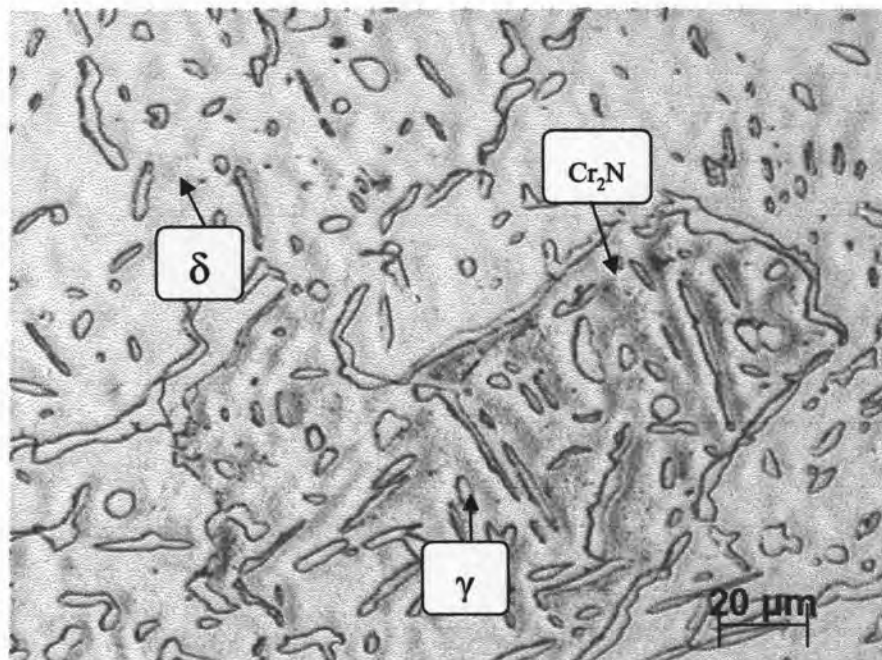
รูปที่ 4.19 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂



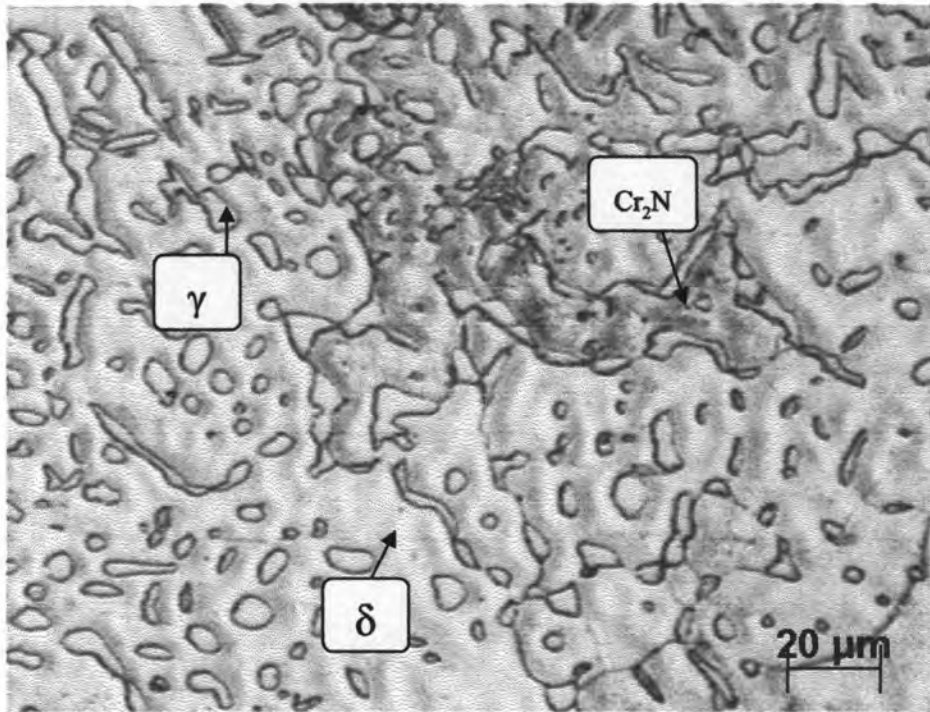
รูปที่ 4.20 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระพร้อนของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์
โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



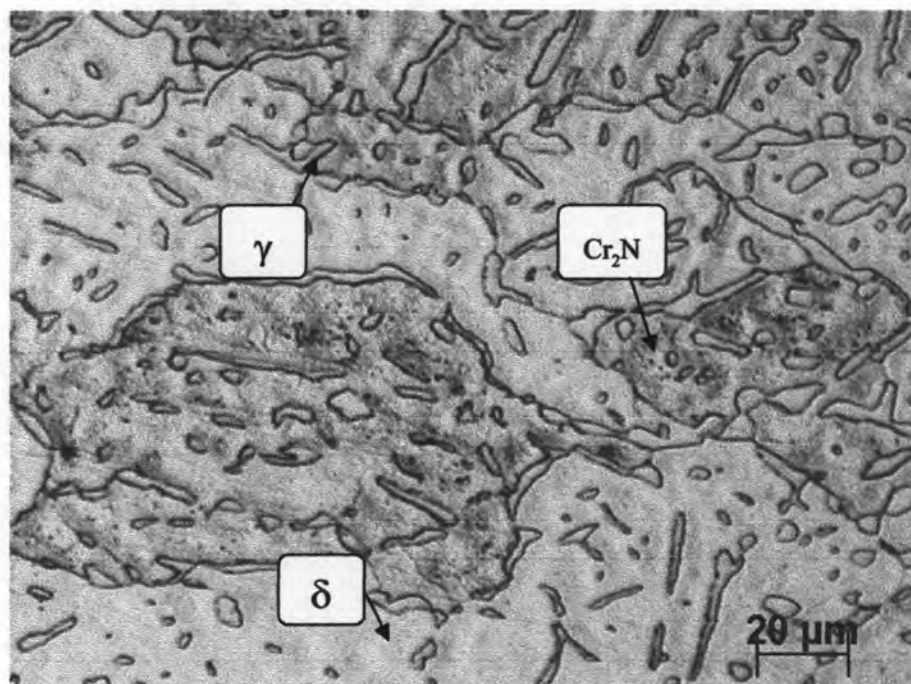
รูปที่ 4.21 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+2%N₂



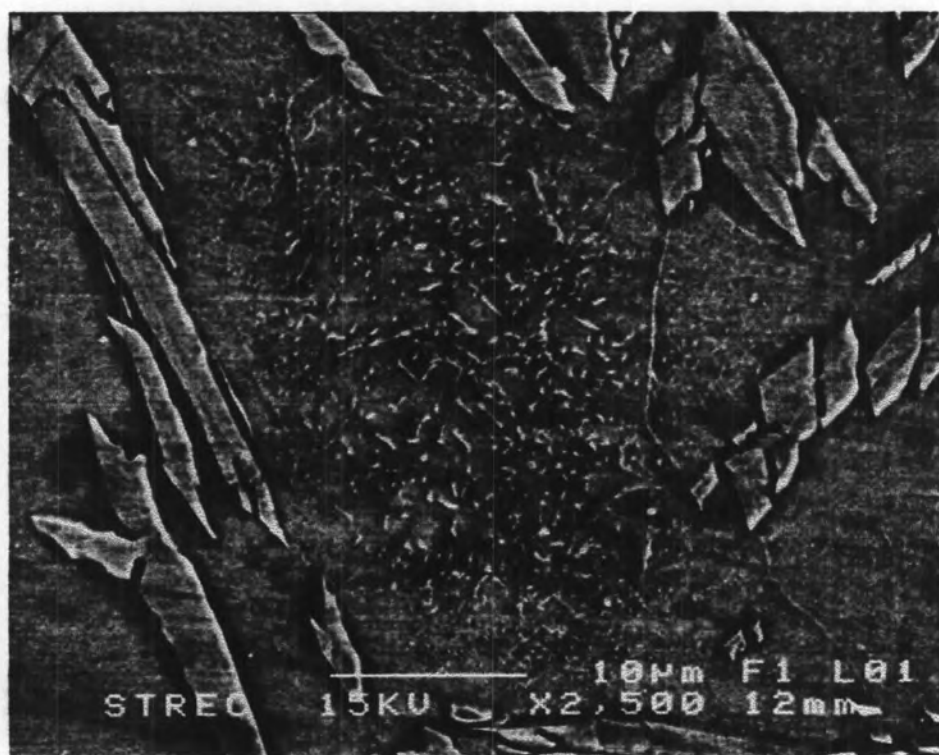
รูปที่ 4.22 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+3%N₂



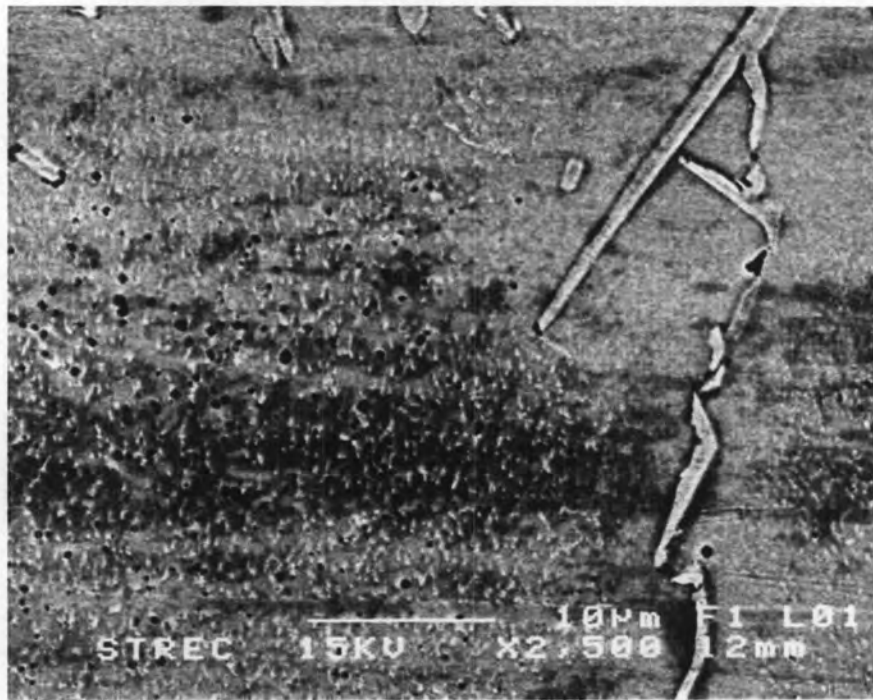
รูปที่ 4.23 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



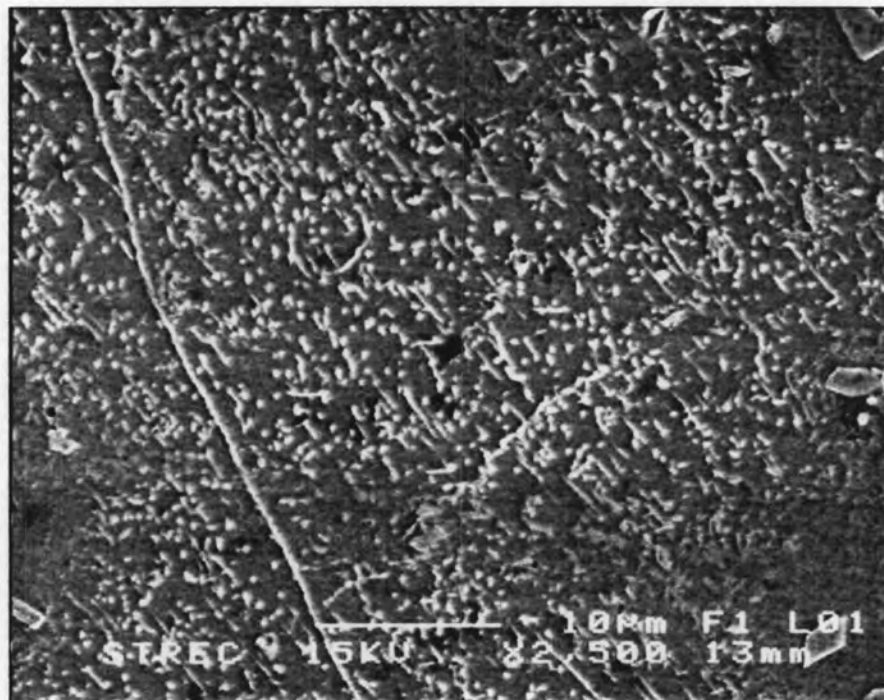
รูปที่ 4.24 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂



รูปที่ 4.25 ตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า

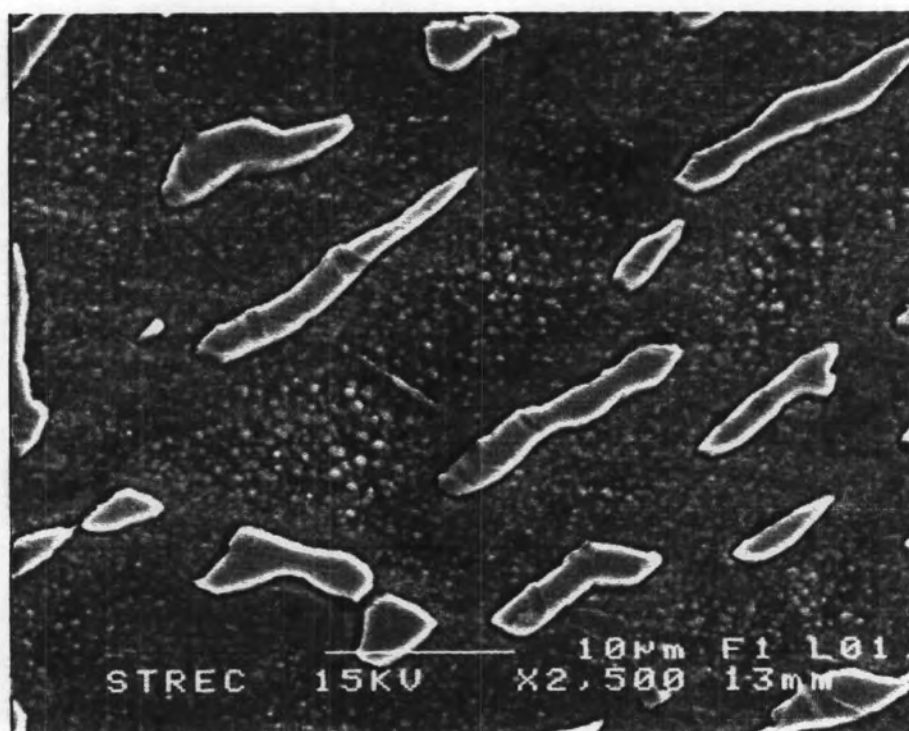


ก. Ar+1%N₂

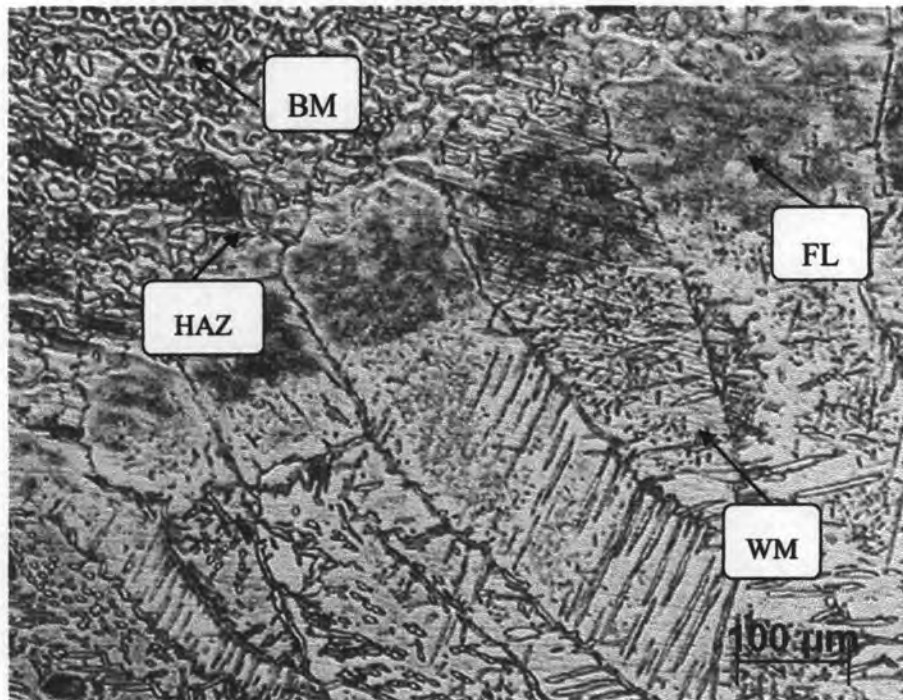


ข. Ar+5%N₂

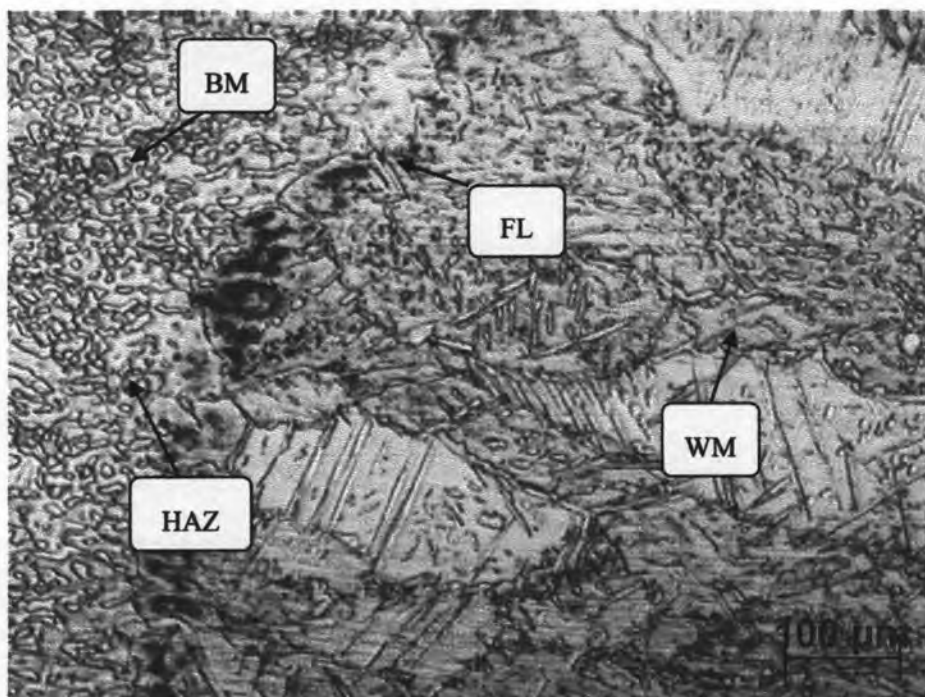
รูปที่ 4.26 ตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า

ก. Ar+1%N₂ข. Ar+5%N₂

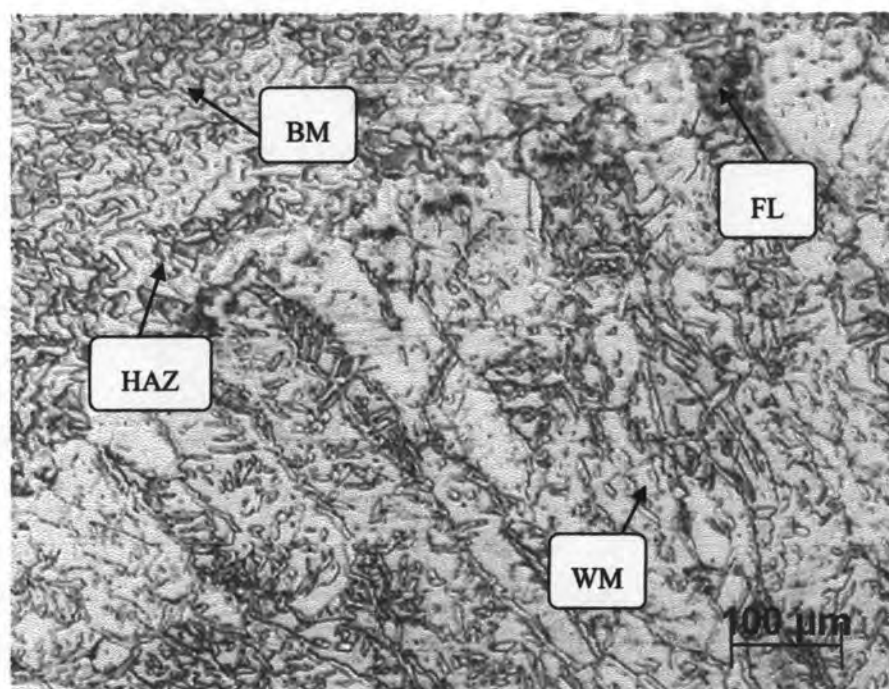
รูปที่ 4.27 ตะกอนโครเมียมไนไตรต์ในบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K1 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า



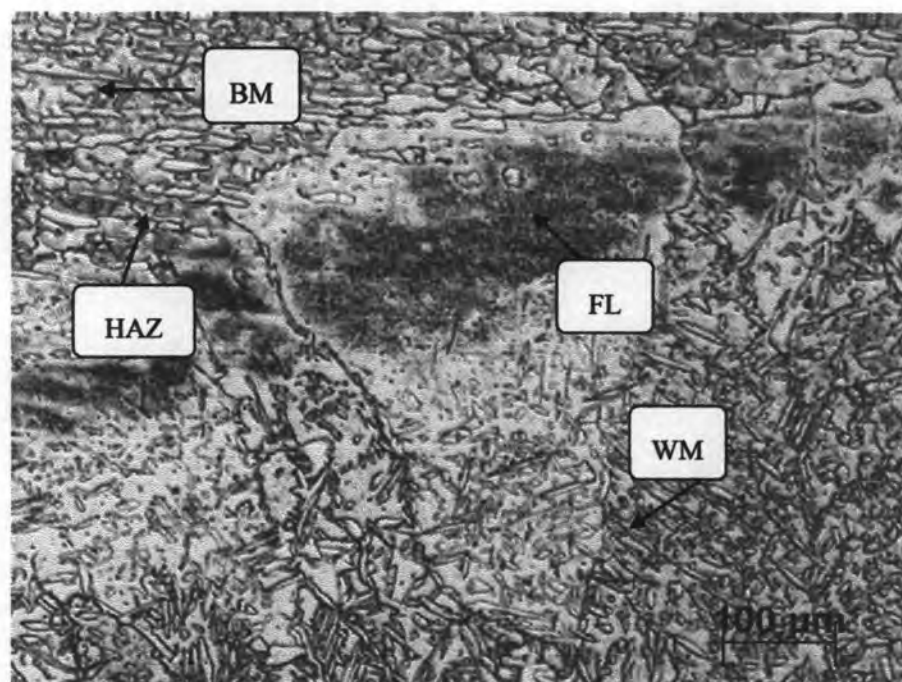
รูปที่ 4.28 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K2 ภายหลังจากเชื่อมทิกพัสโดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+1\%N_2$



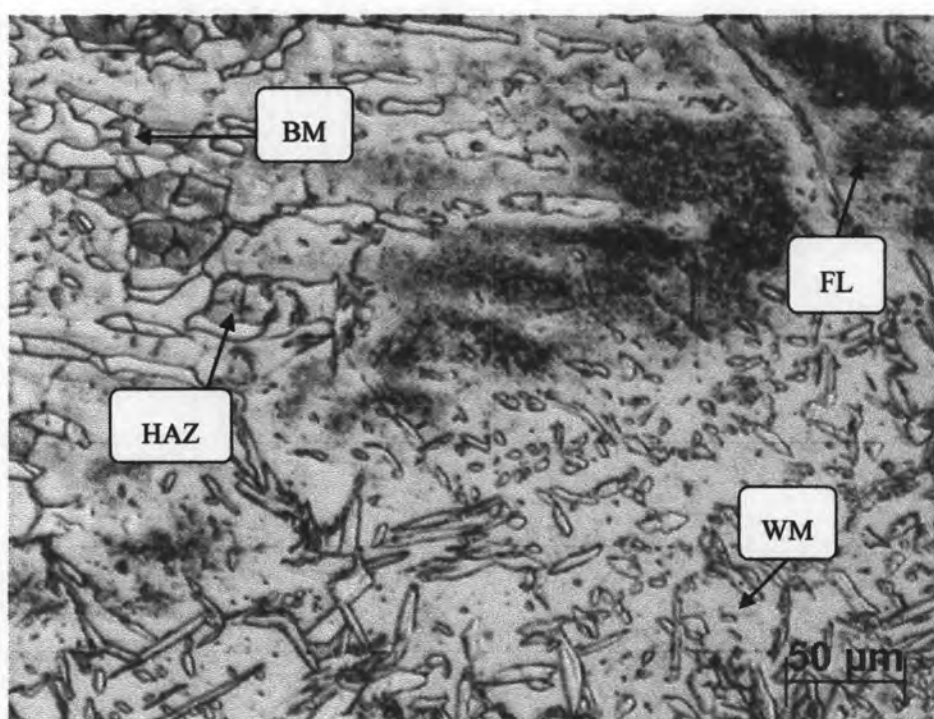
รูปที่ 4.29 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K2 ภายหลังจากเชื่อมทิกพัสโดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+2\%N_2$



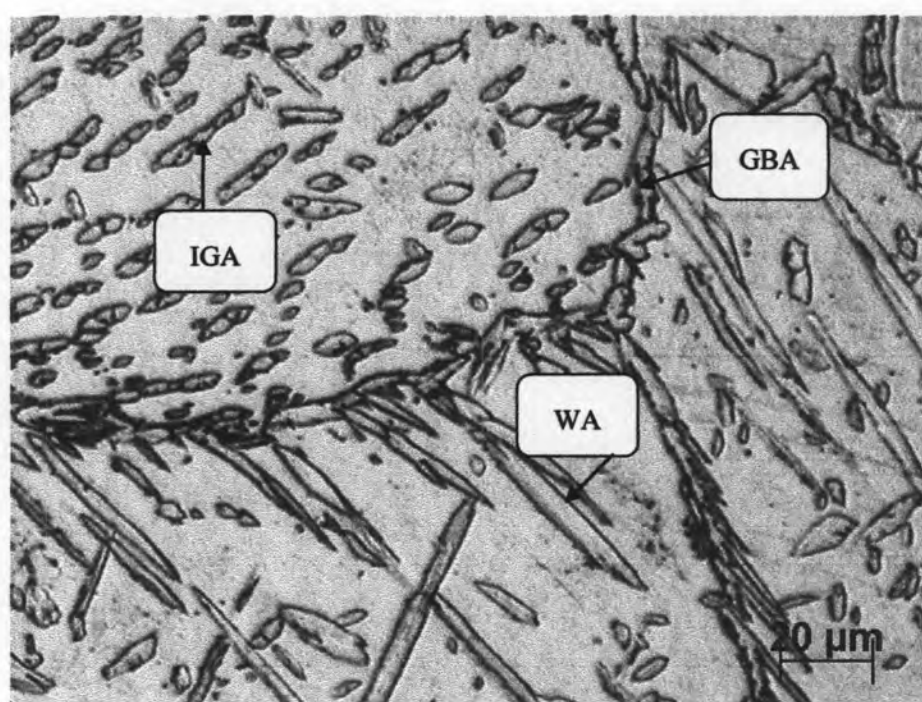
รูปที่ 4.30 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K2 ภายหลังจากเชื่อมทิกพัสโดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+3%N₂



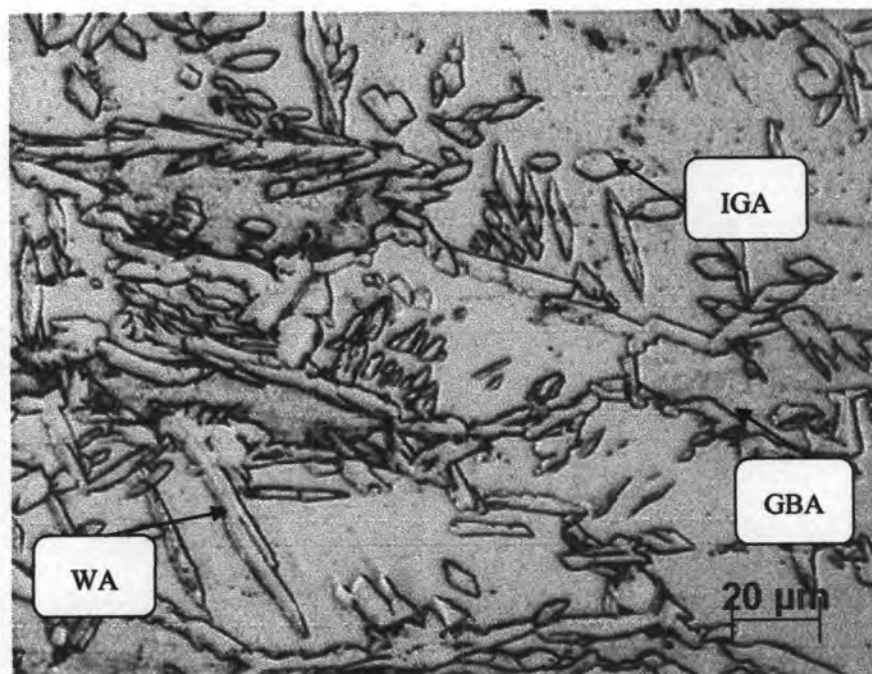
รูปที่ 4.31 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K2 ภายหลังจากเชื่อมทิกพัสโดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



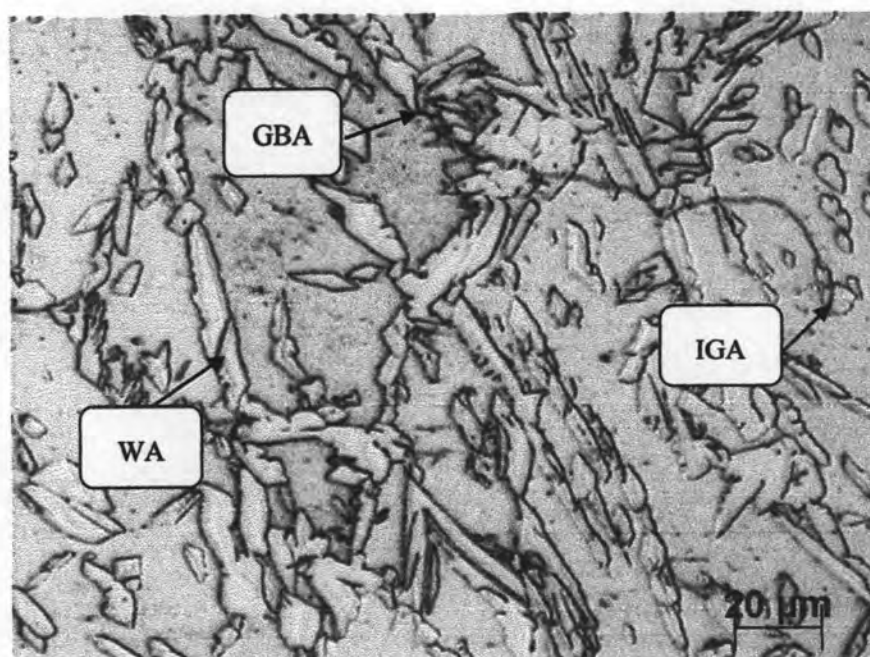
รูปที่ 4.32 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K2 ภายหลังจากเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂



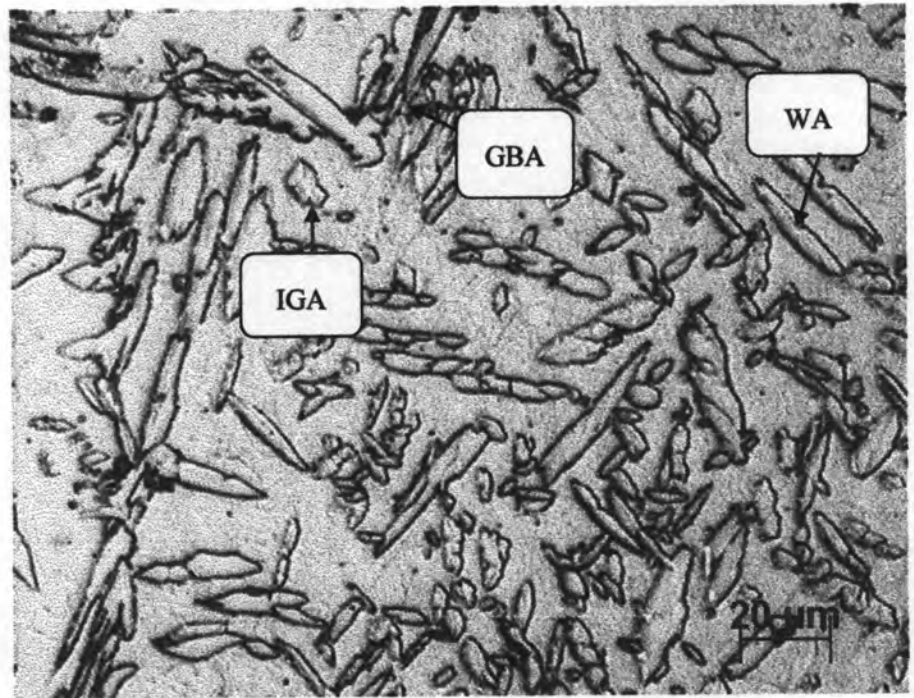
รูปที่ 4.33 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



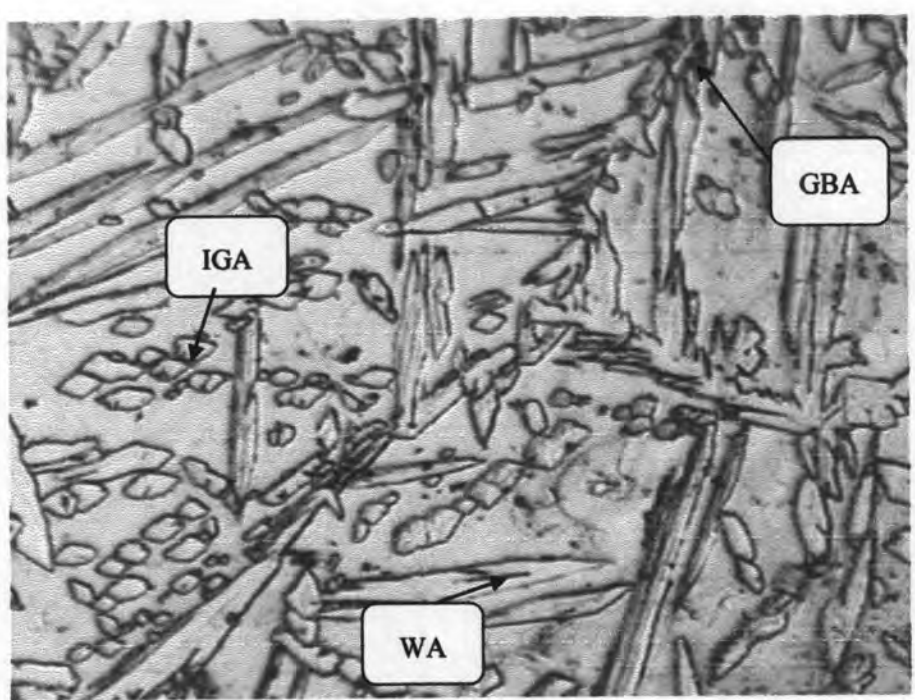
รูปที่ 4.34 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+2\%N_2$



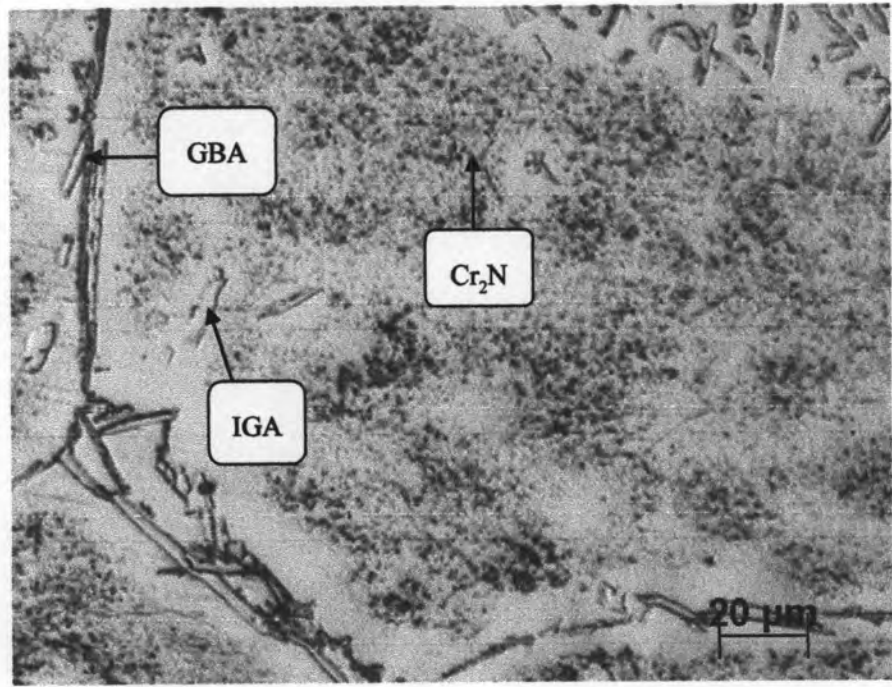
รูปที่ 4.35 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+3\%N_2$



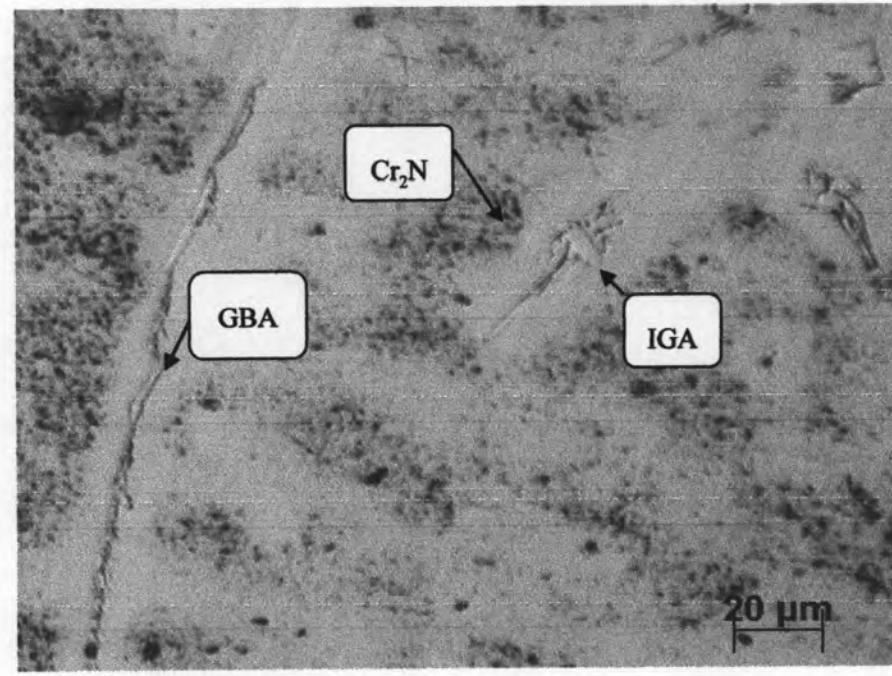
รูปที่ 4.36 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



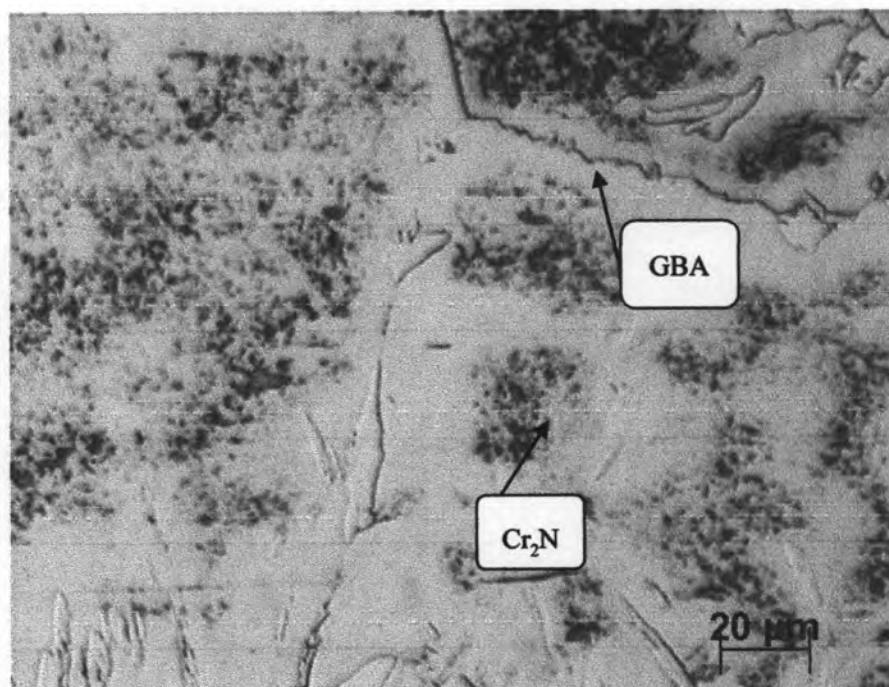
รูปที่ 4.37 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂เหล็ก K2



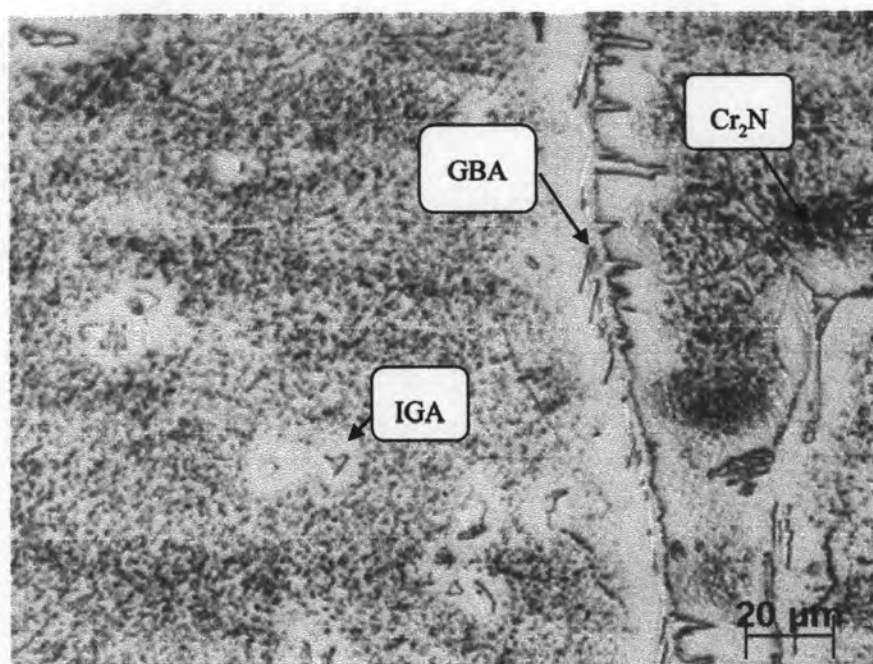
รูปที่ 4.38 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



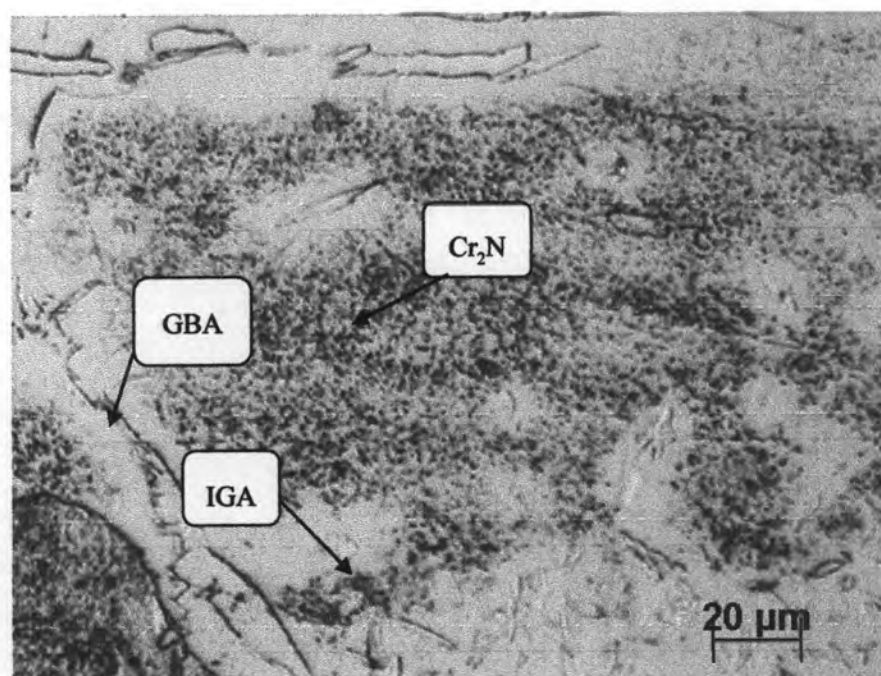
รูปที่ 4.39 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+2%N₂



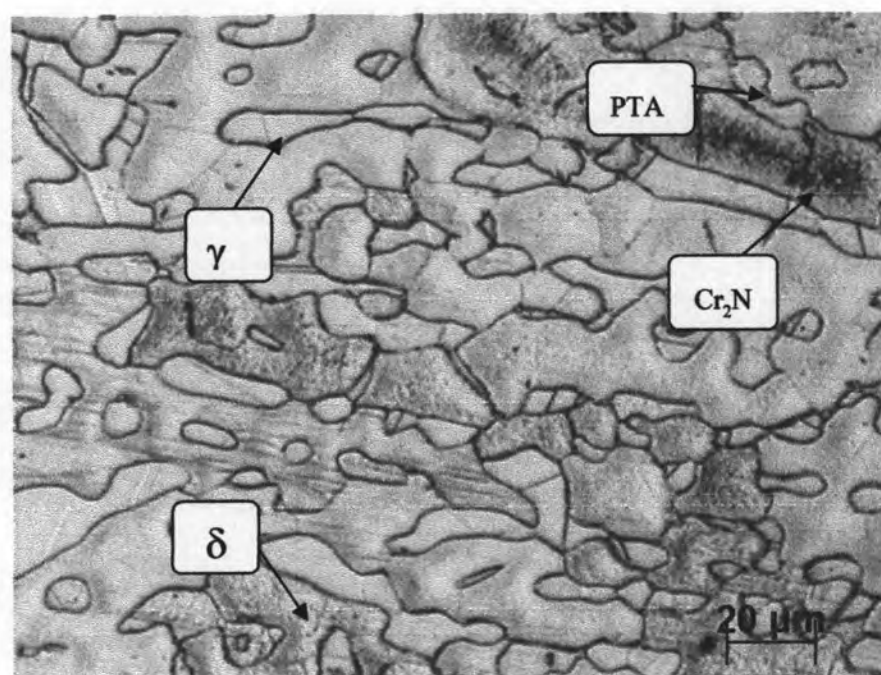
รูปที่ 4.40 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+3%N₂



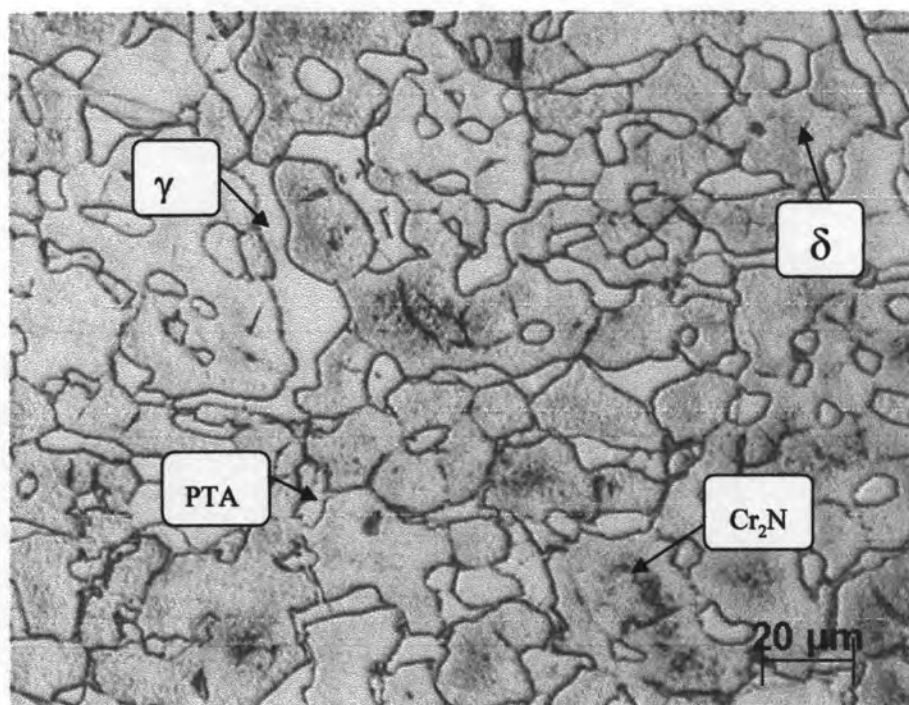
รูปที่ 4.41 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



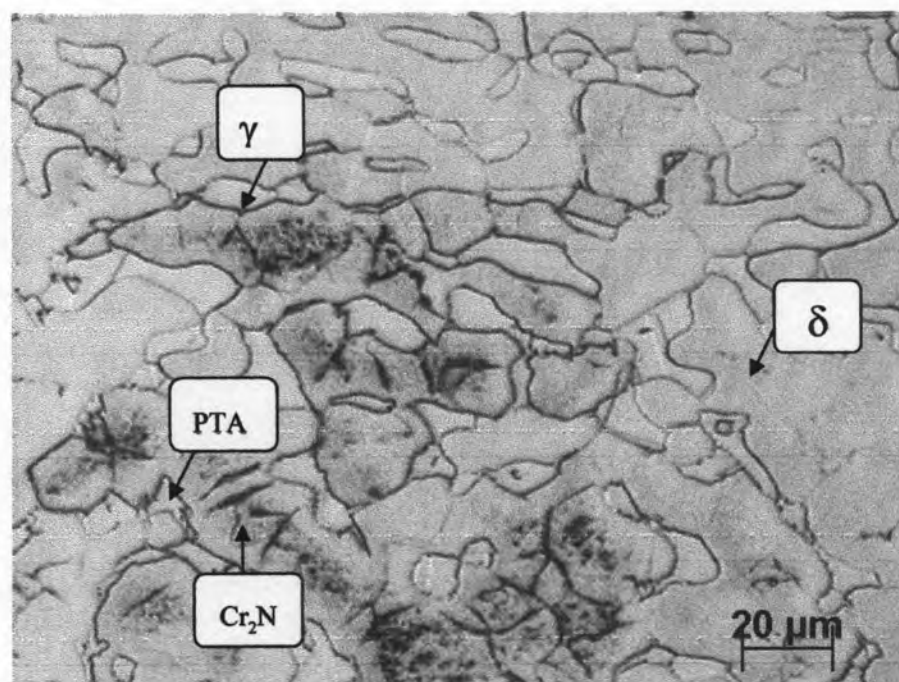
รูปที่ 4.42 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂เหล็ก K2



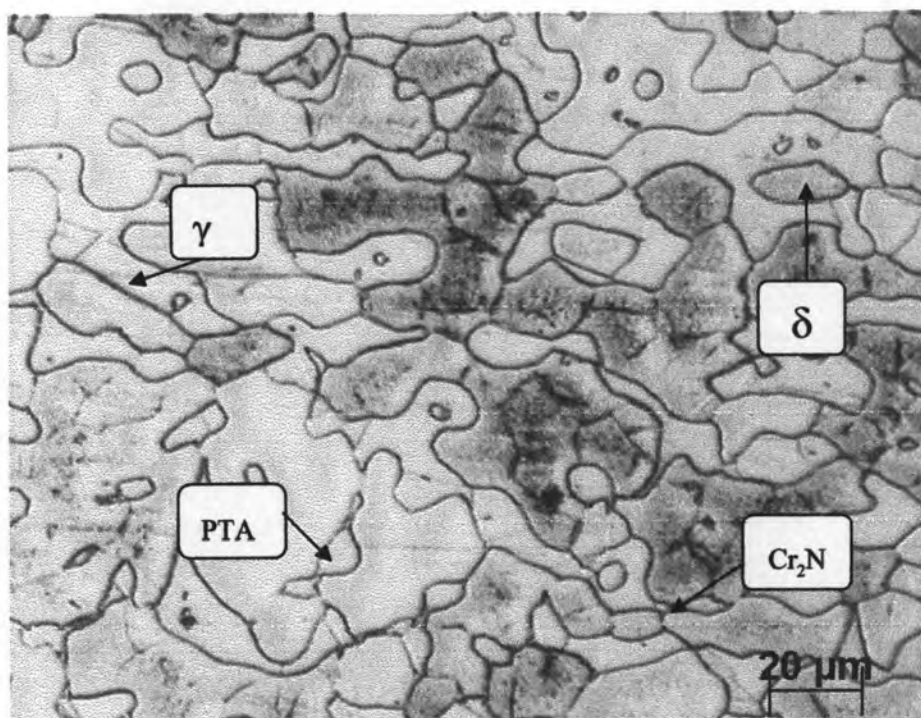
รูปที่ 4.43 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทันร้อนของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



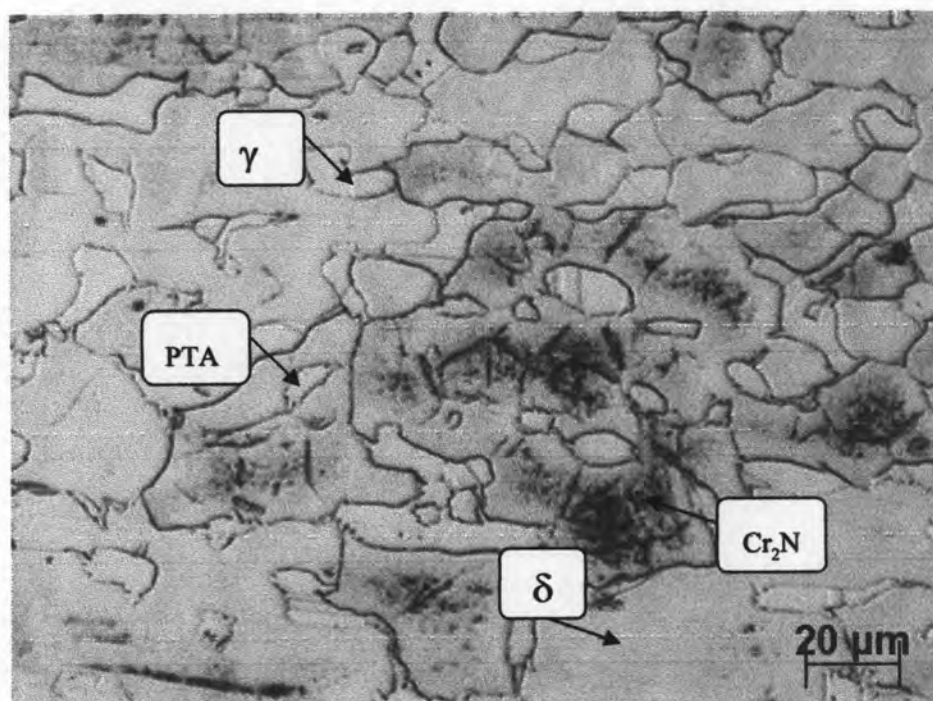
รูปที่ 4.44 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+2\%N_2$



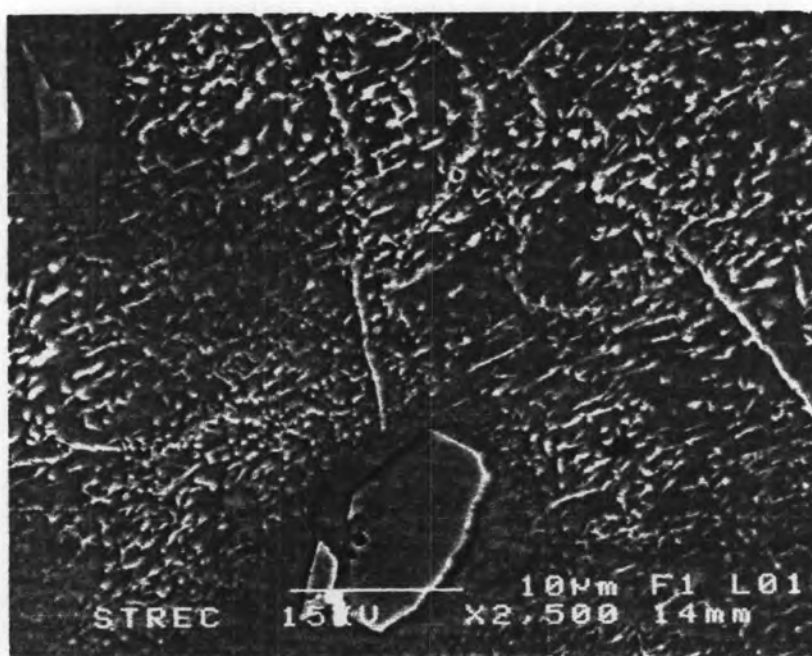
รูปที่ 4.45 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+3\%N_2$



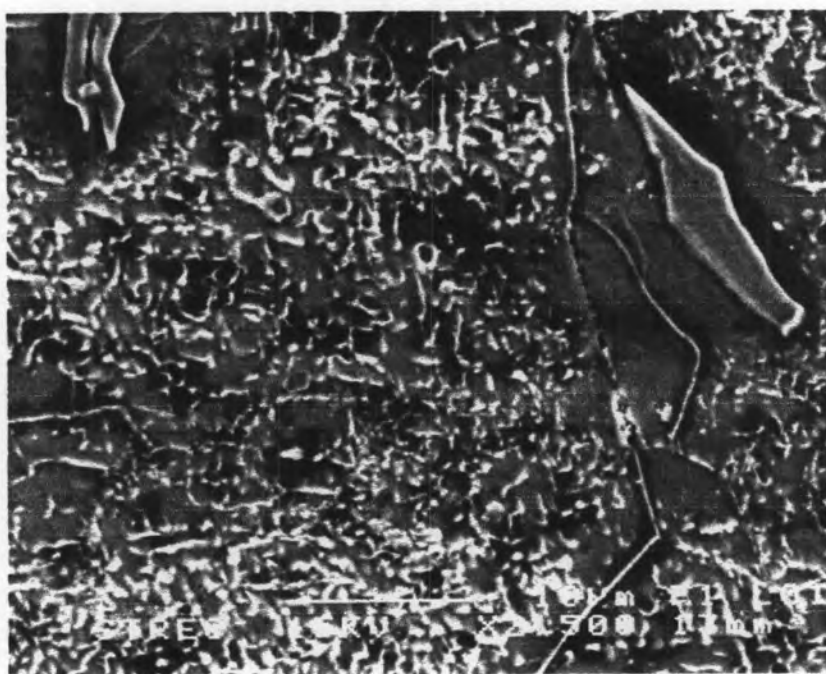
รูปที่ 4.46 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนที่ของเหล็ก K2 ผ่านการเชื่อม
 ทิกพัลสโดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+4\%N_2$



รูปที่ 4.47 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อม
 ทิกพัลสโดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+5\%N_2$

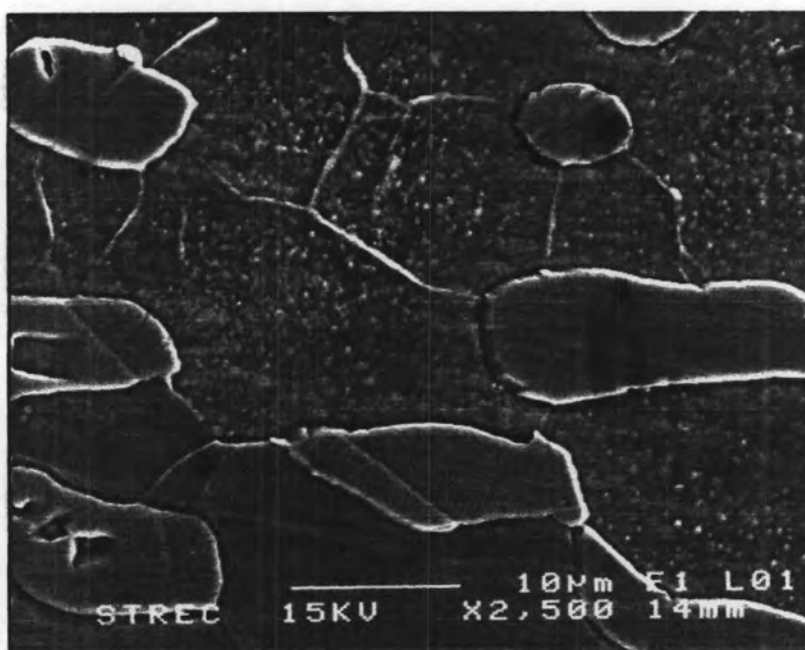


ก. Ar+1%N₂

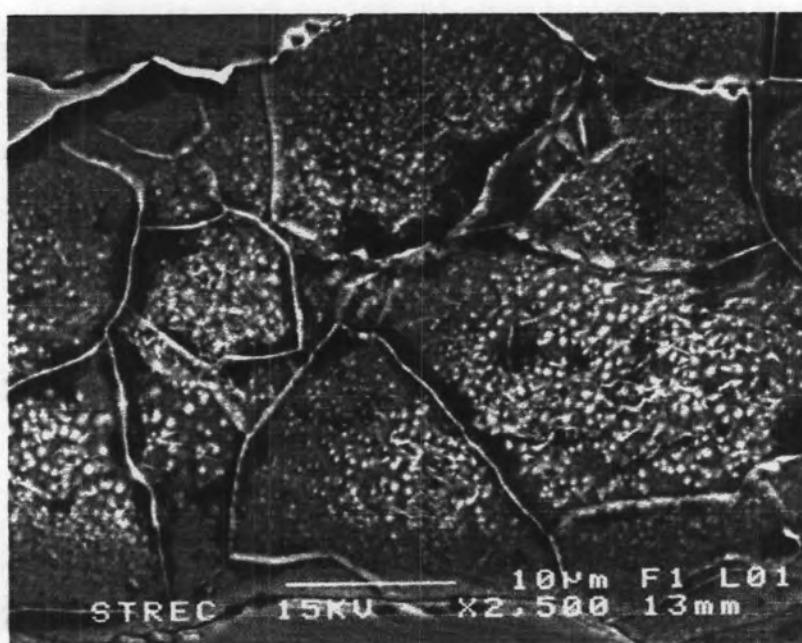


ข. Ar+5%N₂

รูปที่ 4.48 ตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K2 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า

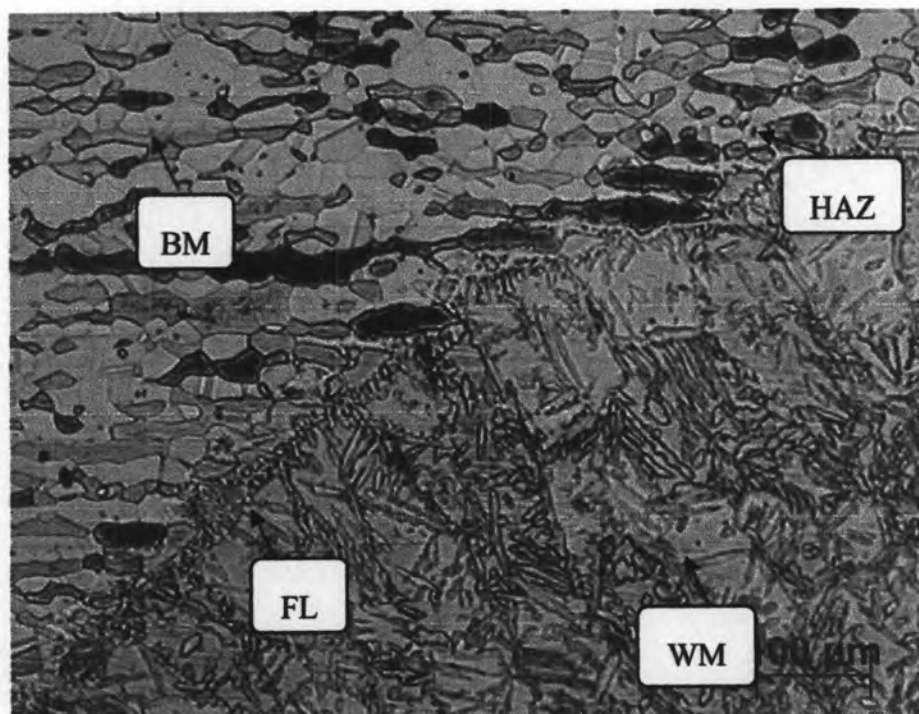


ก. Ar+1%N₂

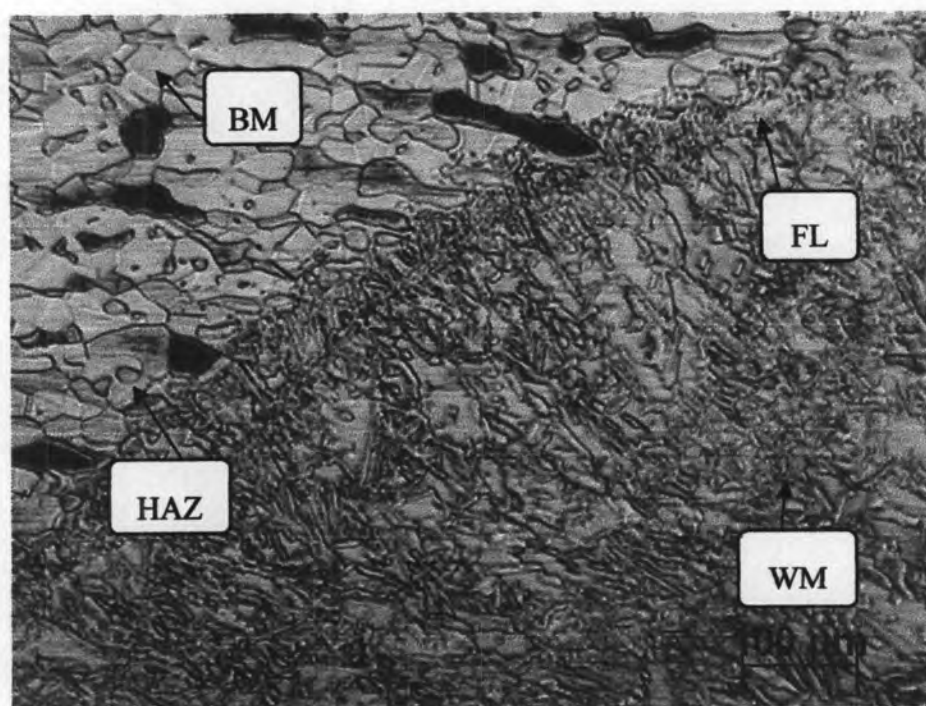


ข. Ar+5%N₂

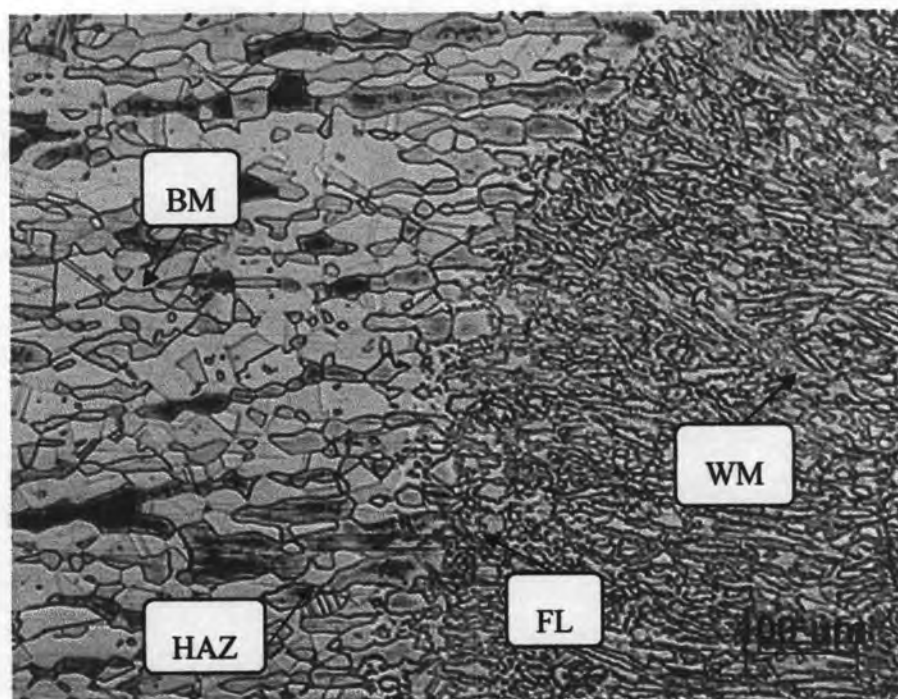
รูปที่ 4.49 ตะกอนโครเมียมไนไตรต์ในบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K2 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า



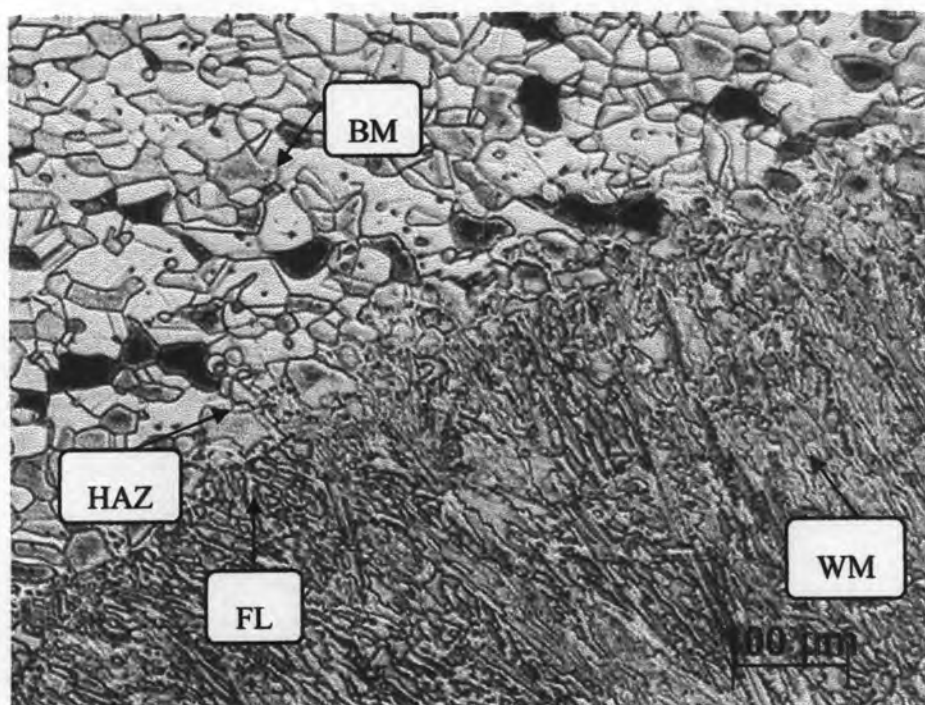
รูปที่ 4.50 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K3 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



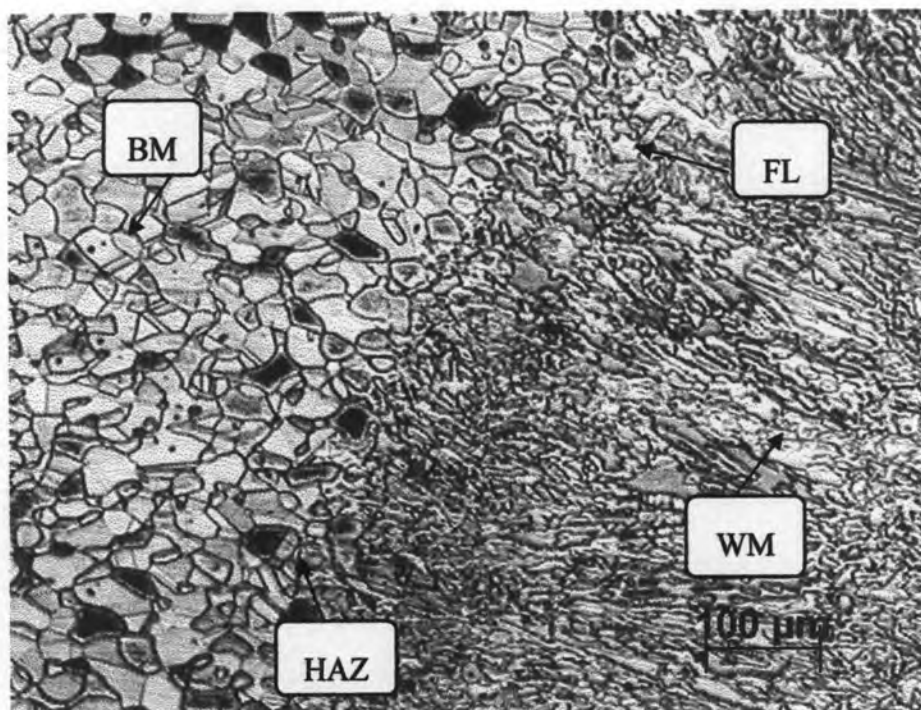
รูปที่ 4.51 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K3 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+2%N₂



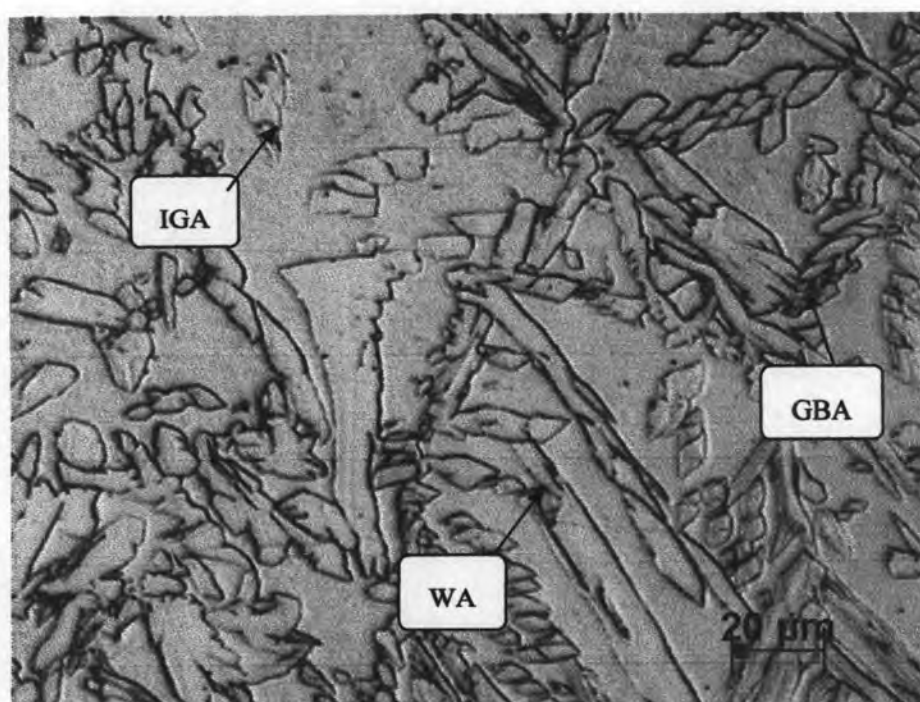
รูปที่ 4.52 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K3 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+3\%N_2$



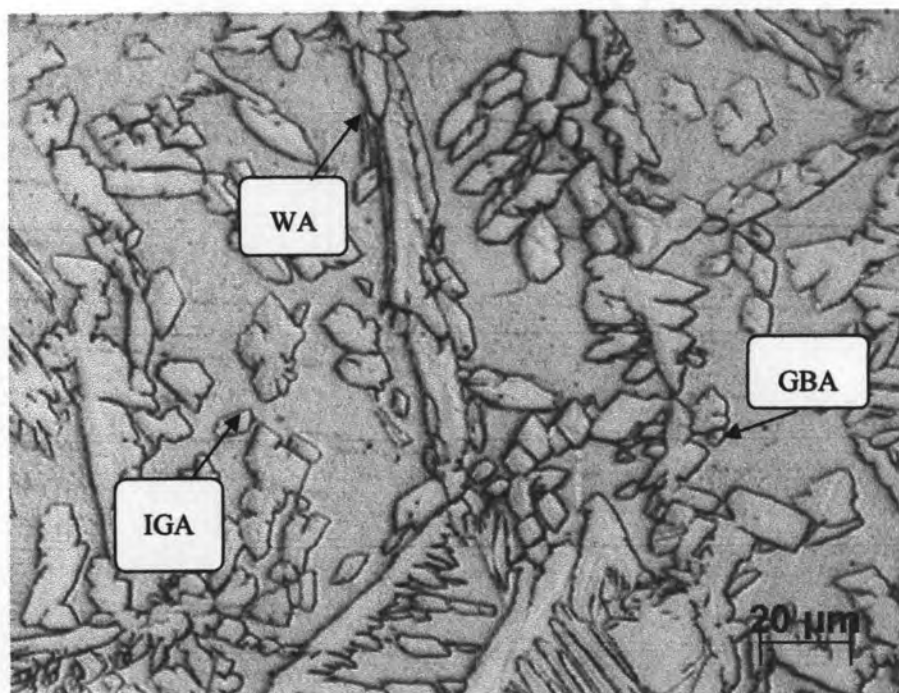
รูปที่ 4.53 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K3 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+4\%N_2$



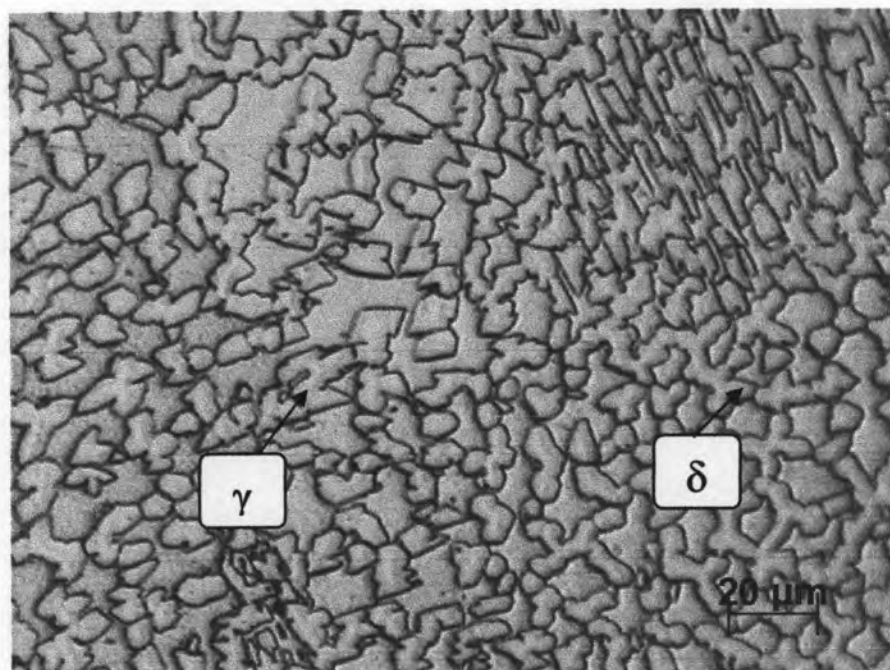
รูปที่ 4.54 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K3 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂



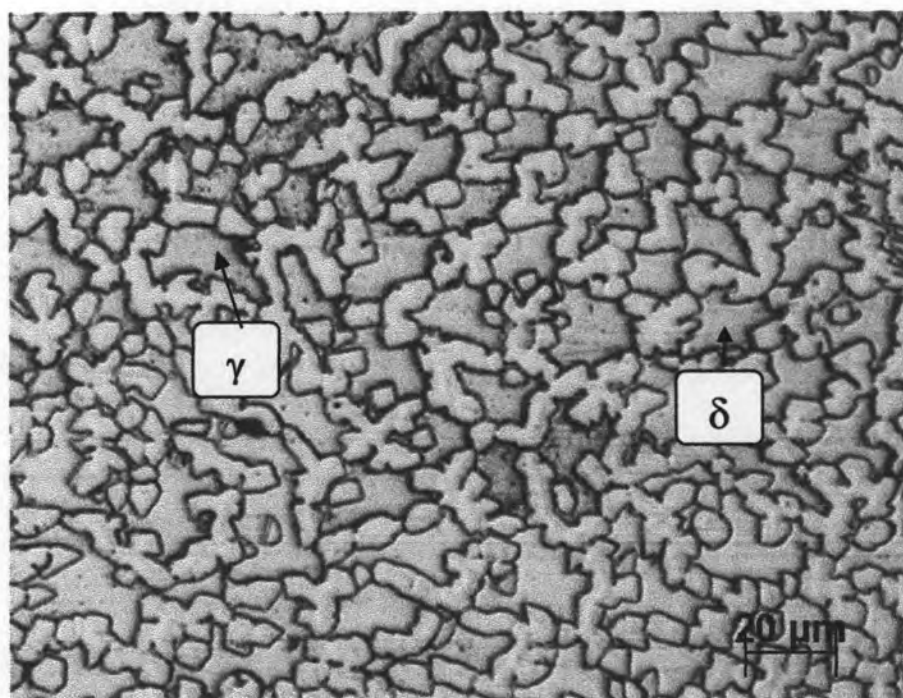
รูปที่ 4.55 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



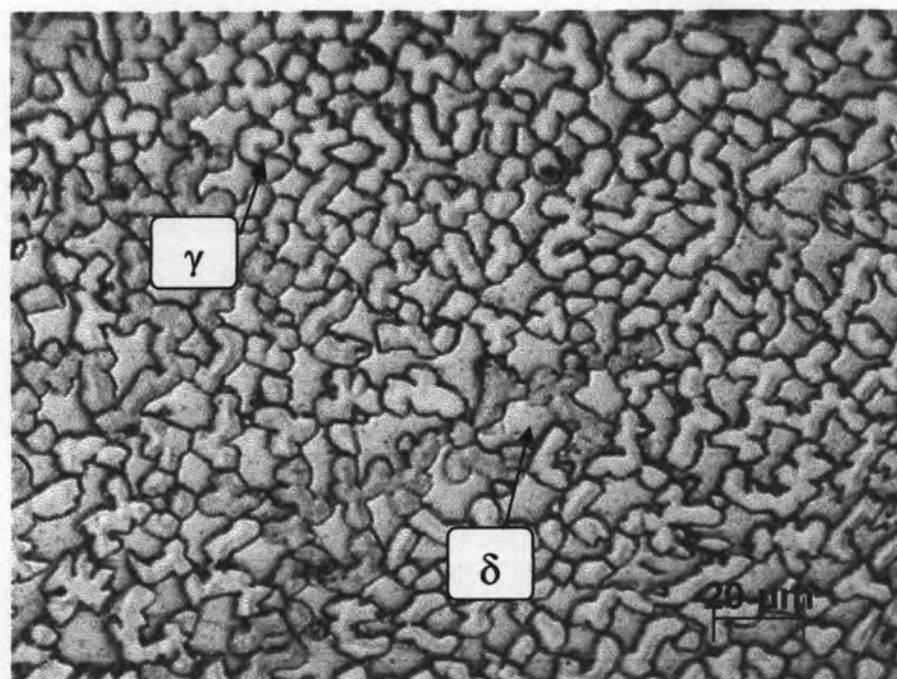
รูปที่ 4.56 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+2%N₂



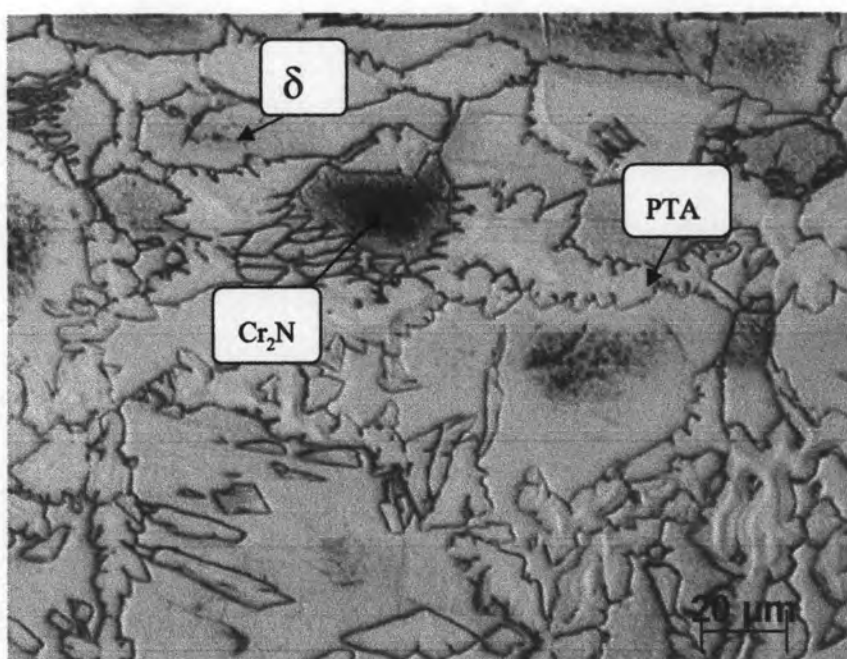
รูปที่ 4.57 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+3%N₂



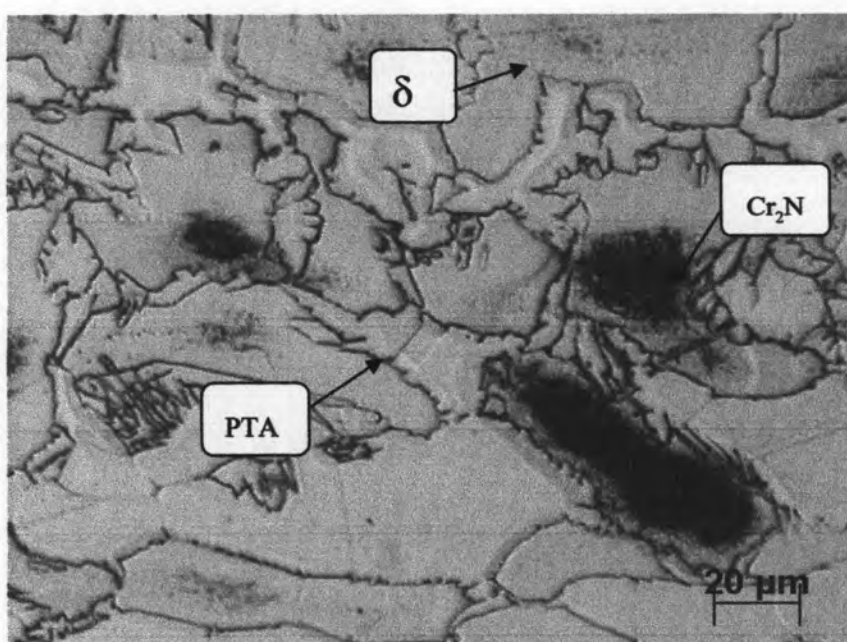
รูปที่ 4.58 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



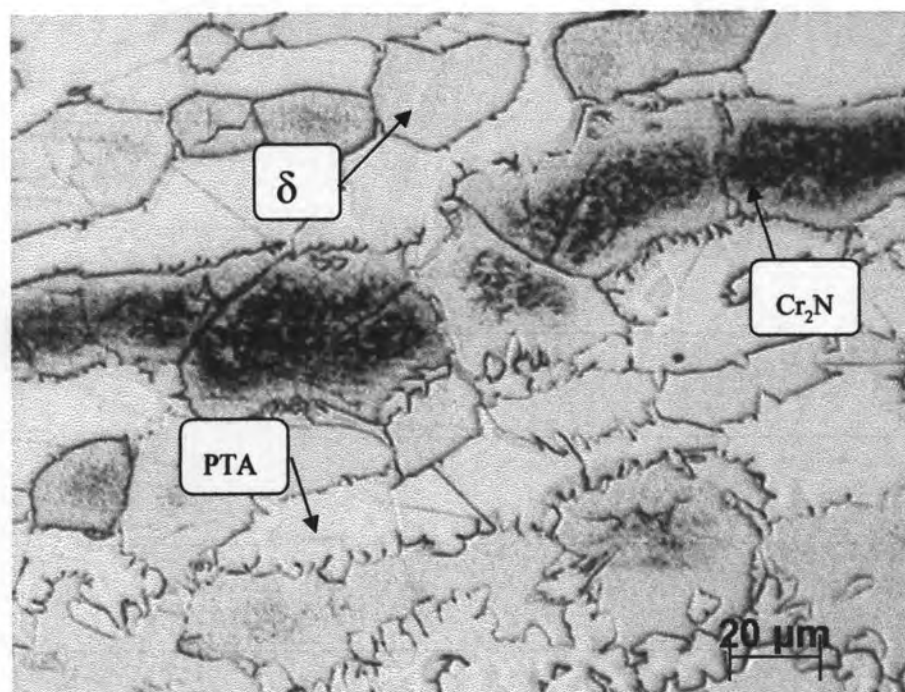
รูปที่ 4.59 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂



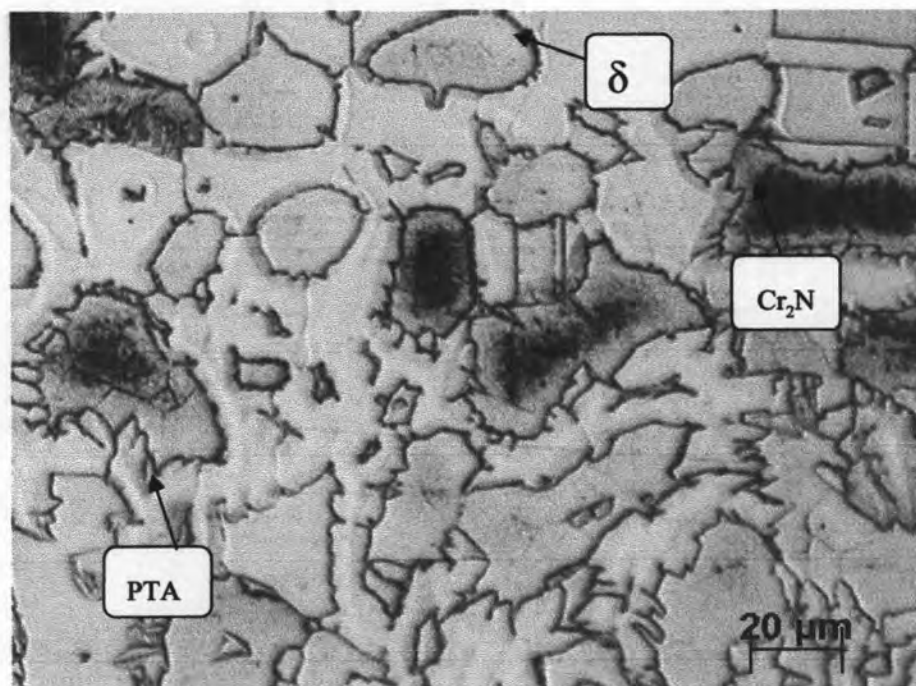
รูปที่ 4.60 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



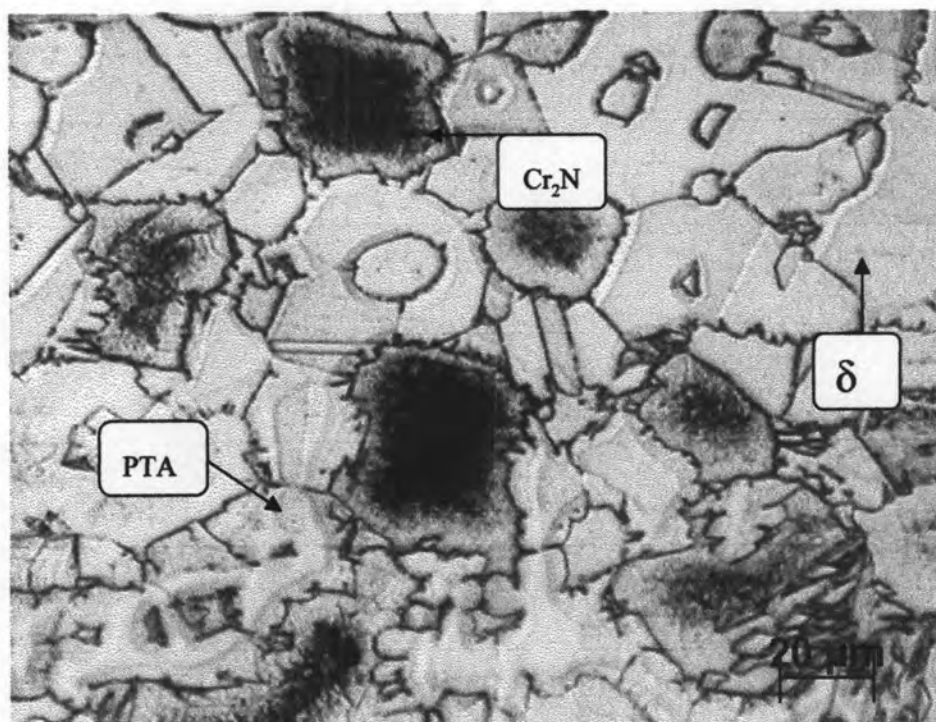
รูปที่ 4.61 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+2%N₂



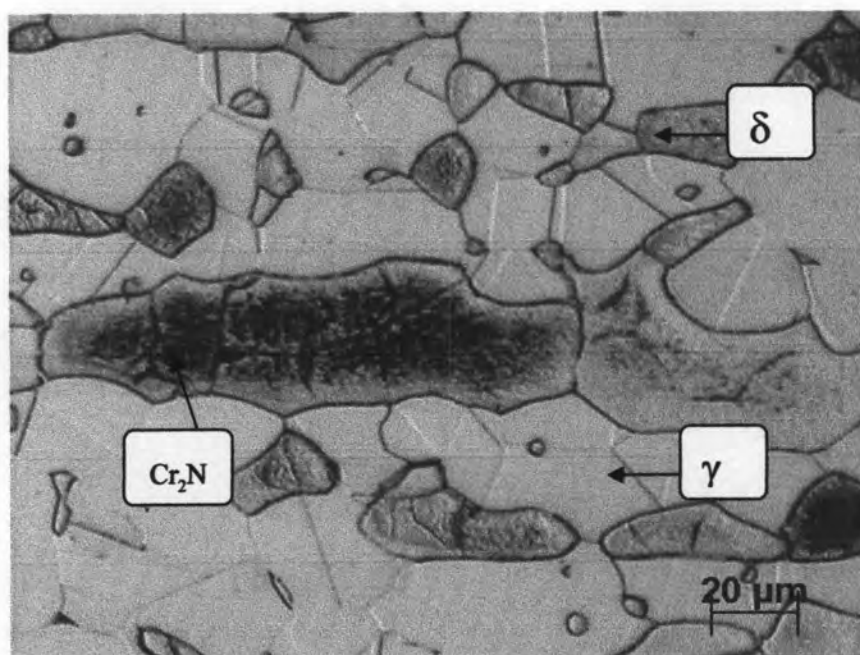
รูปที่ 4.62 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+3%N₂



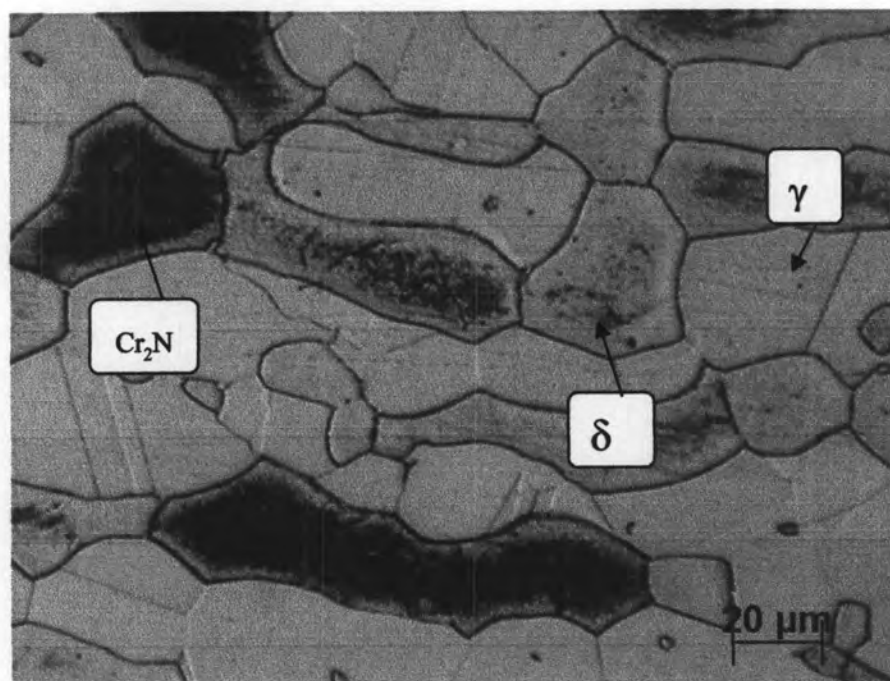
รูปที่ 4.63 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



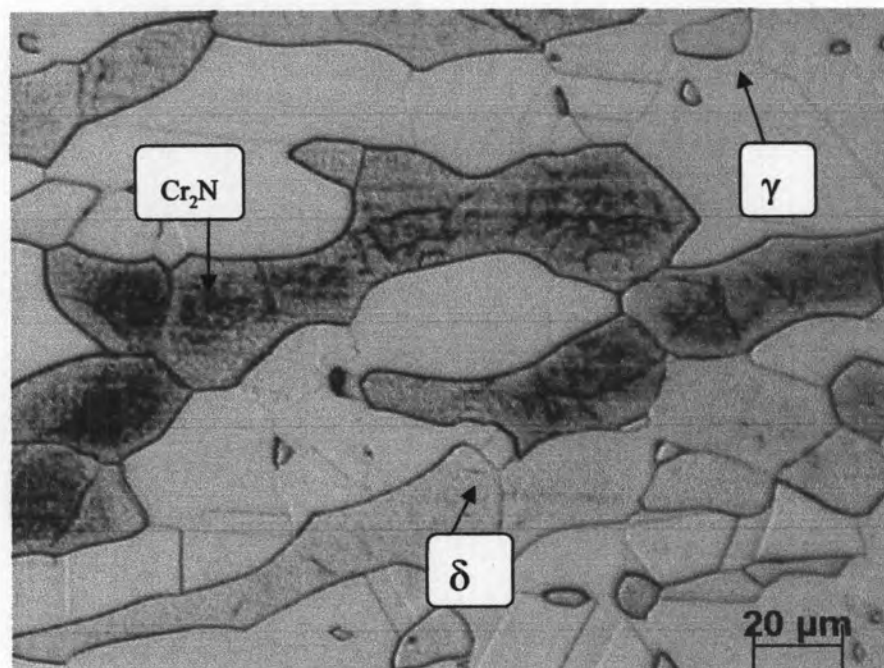
รูปที่ 4. 64 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกทาล์สโดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂



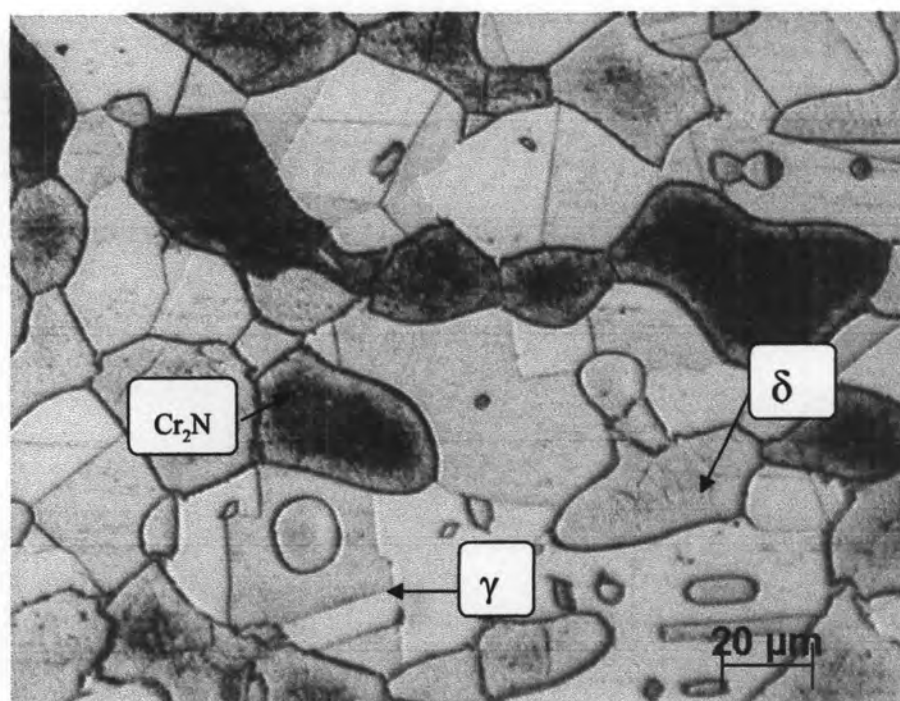
รูปที่ 4.65 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระตบร้อนของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อมทิกทาล์ส
โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



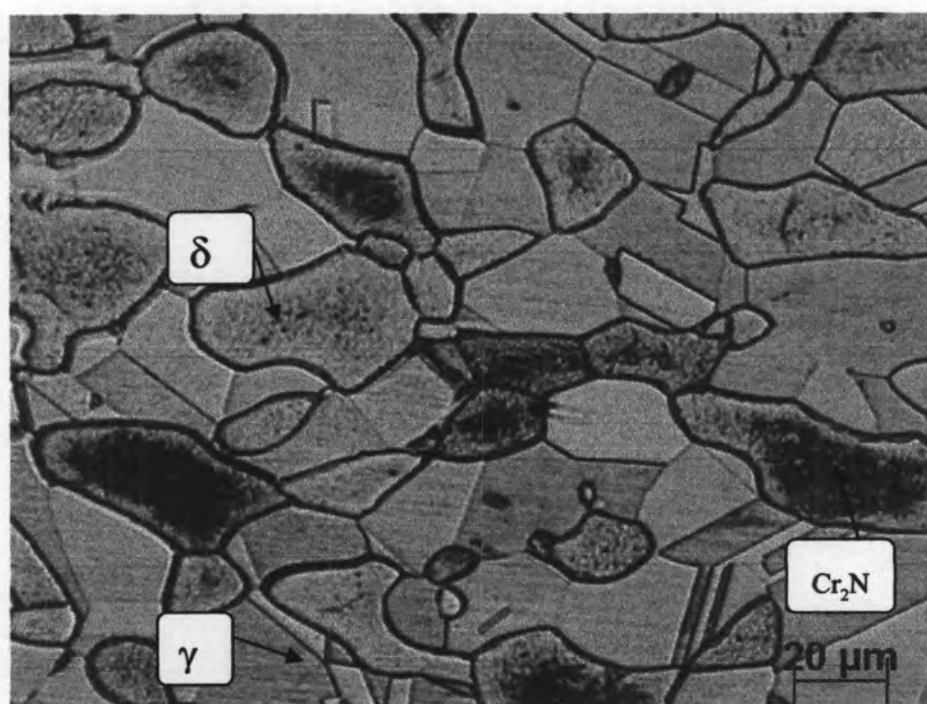
รูปที่ 4.66 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม $\text{Ar}+2\%\text{N}_2$



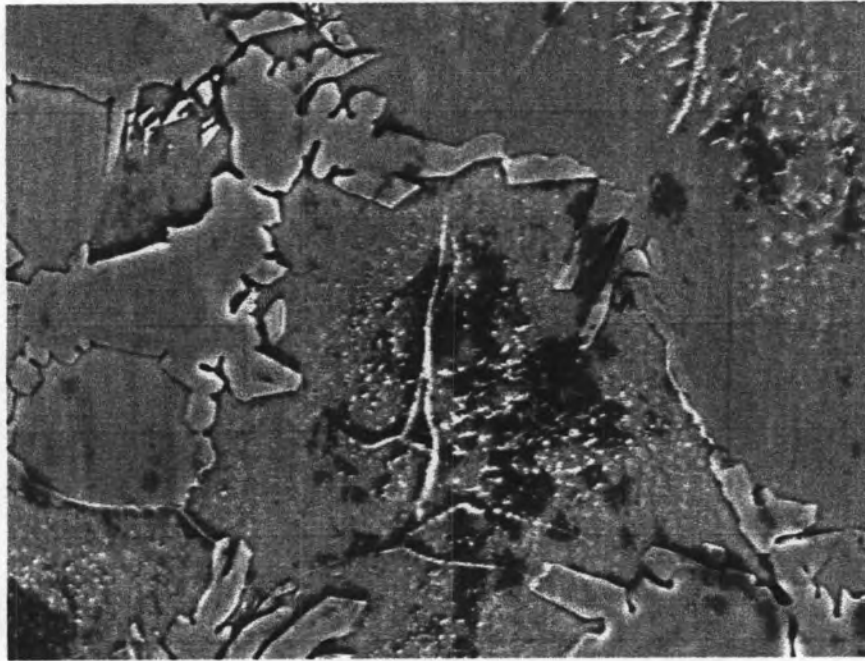
รูปที่ 4.67 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม $\text{Ar}+3\%\text{N}_2$



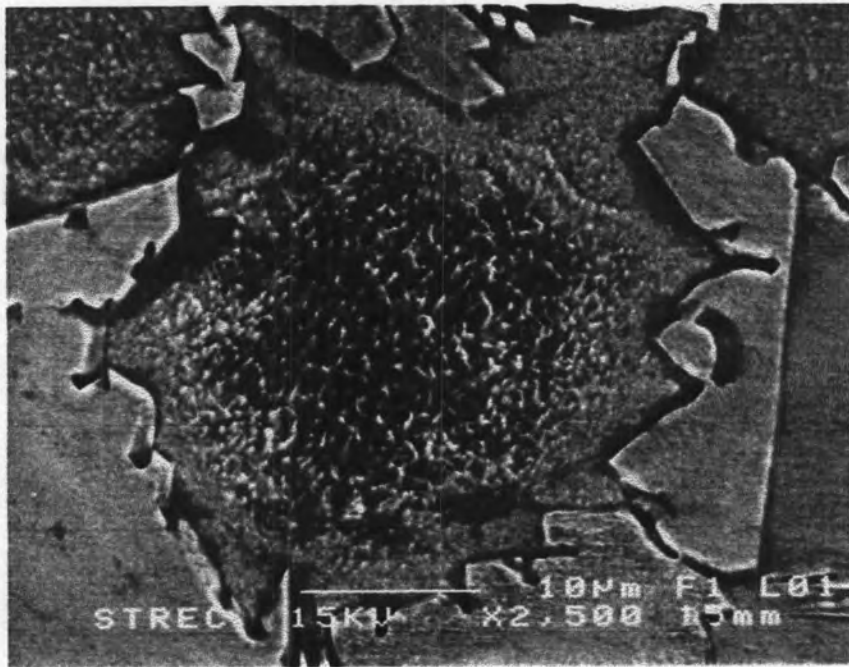
รูปที่ 4.68 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระแทบร้อนของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม $\text{Ar}+4\%\text{N}_2$



รูปที่ 4.69 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระแทบร้อนของเหล็ก K3 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม $\text{Ar}+5\%\text{N}_2$

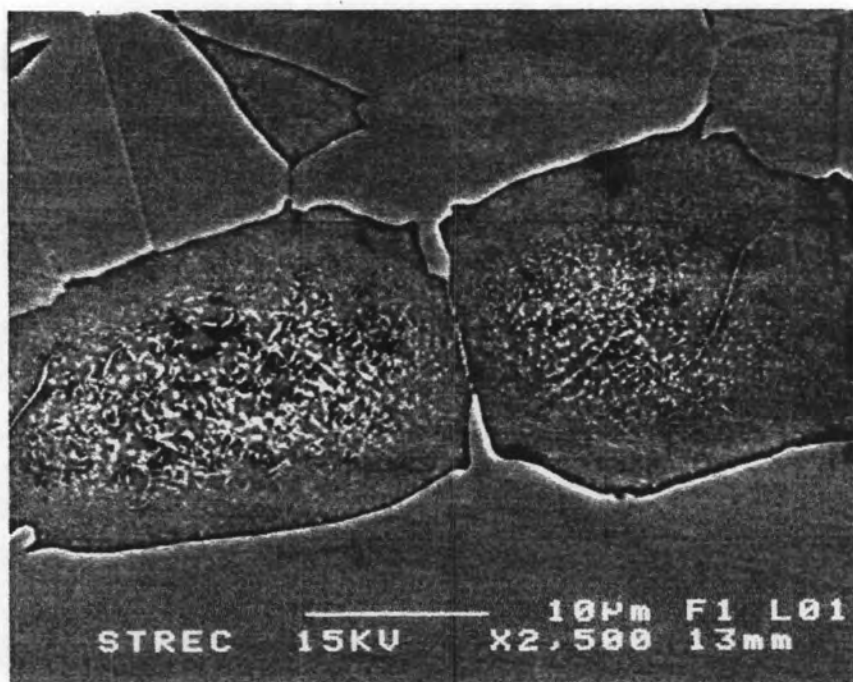


ก. Ar+1%N₂

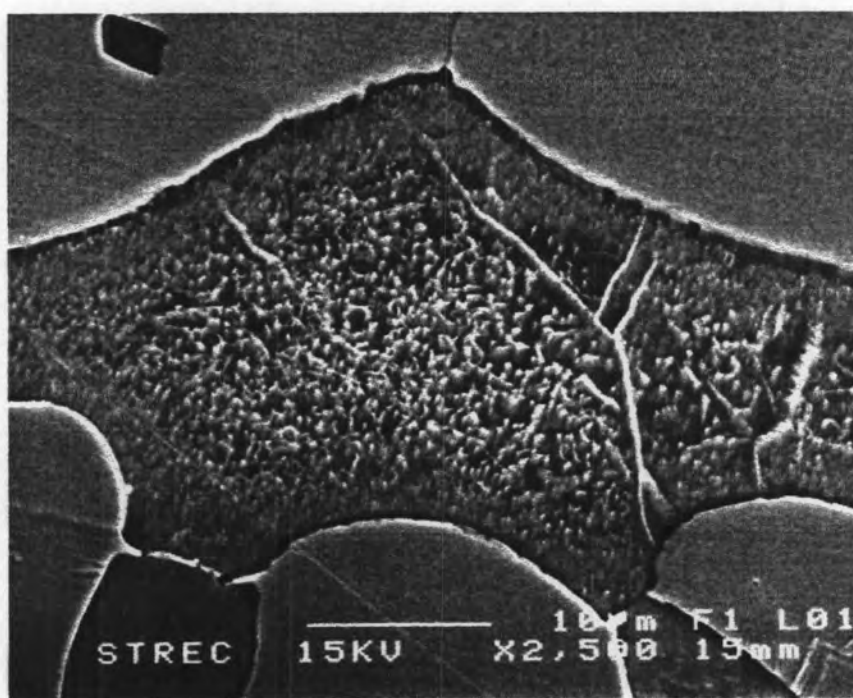


ข. Ar+5%N₂

รูปที่ 4.70 ตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K3 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า

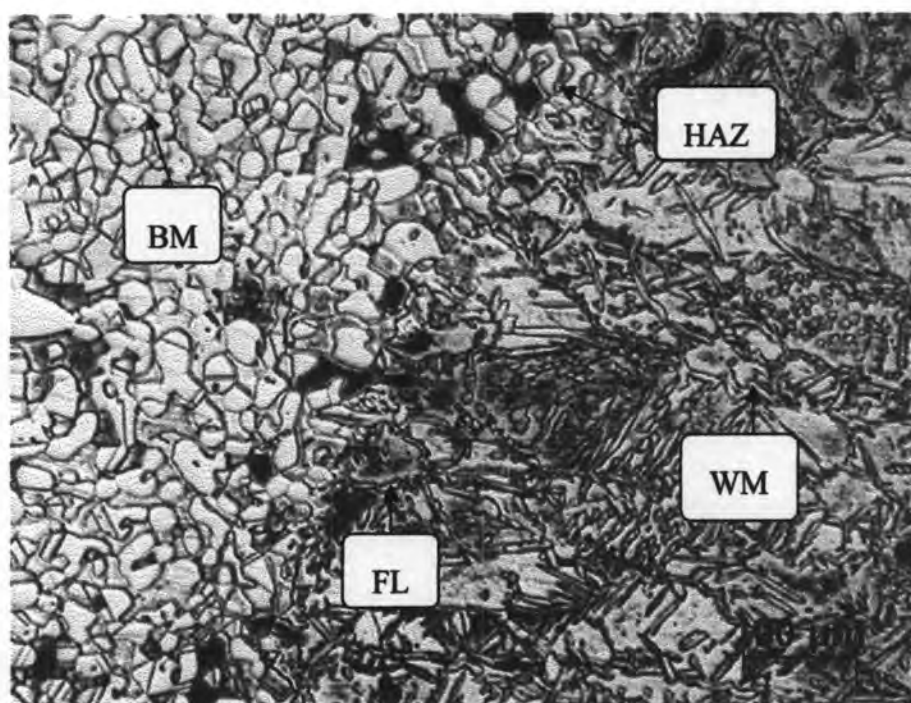


ก. Ar+1%N₂

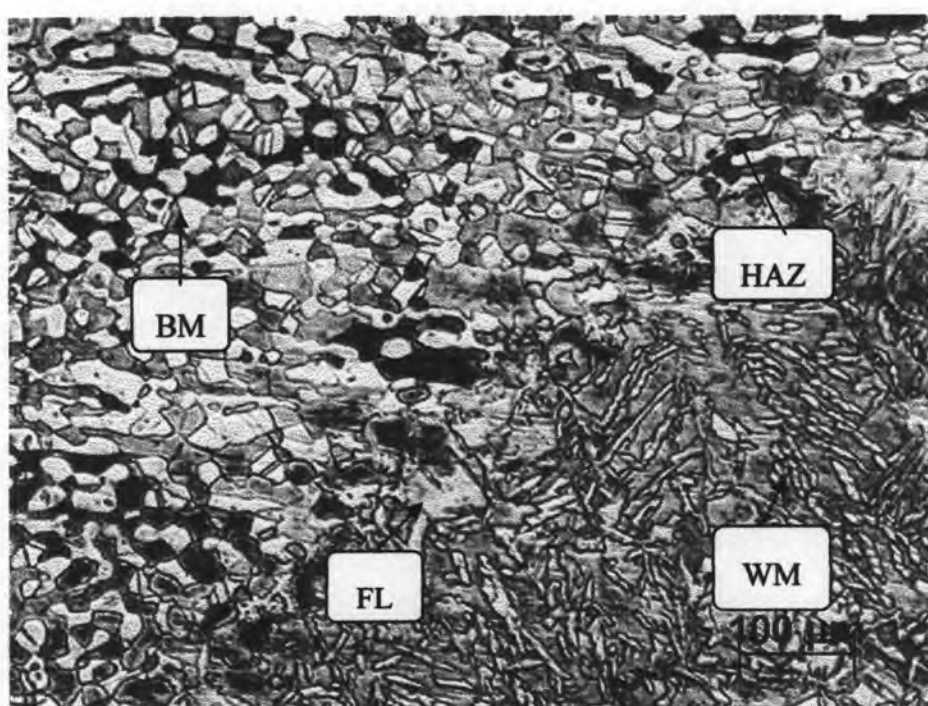


ข. Ar+5%N₂

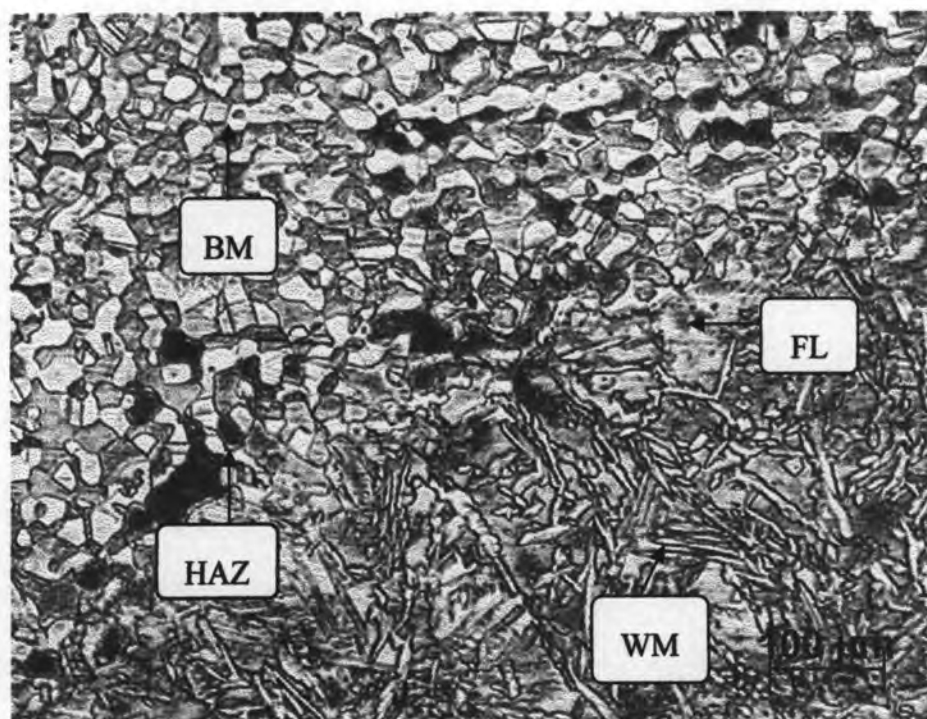
รูปที่ 4.71 ตะกอนโคโรเนียลไนไตรต์ในบริเวณกระทบร้อนของเหล็ก K3 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า



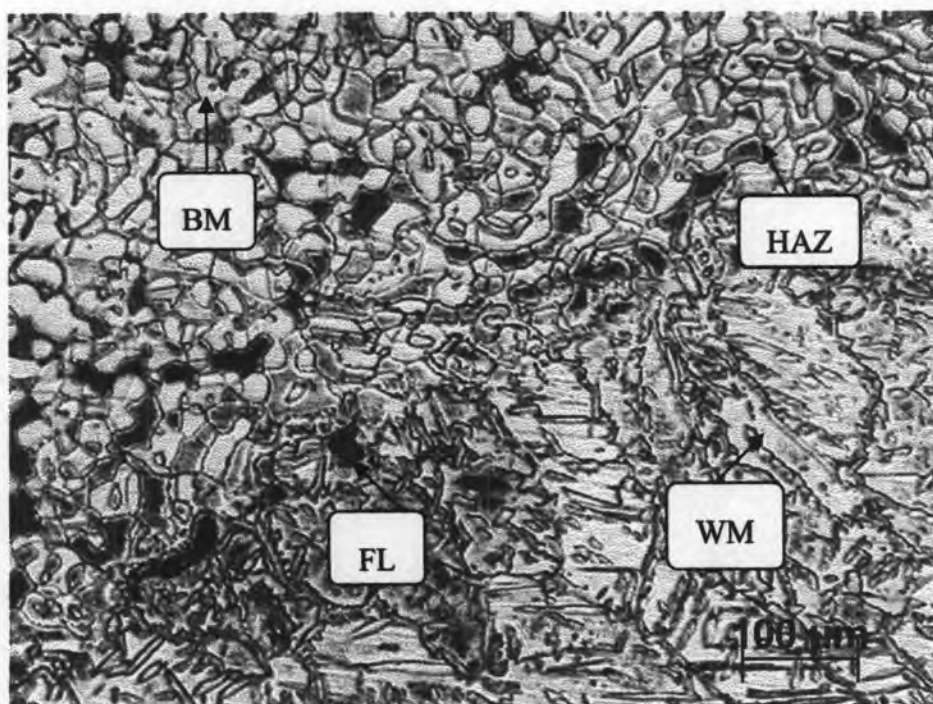
รูปที่ 4.72 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K4 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



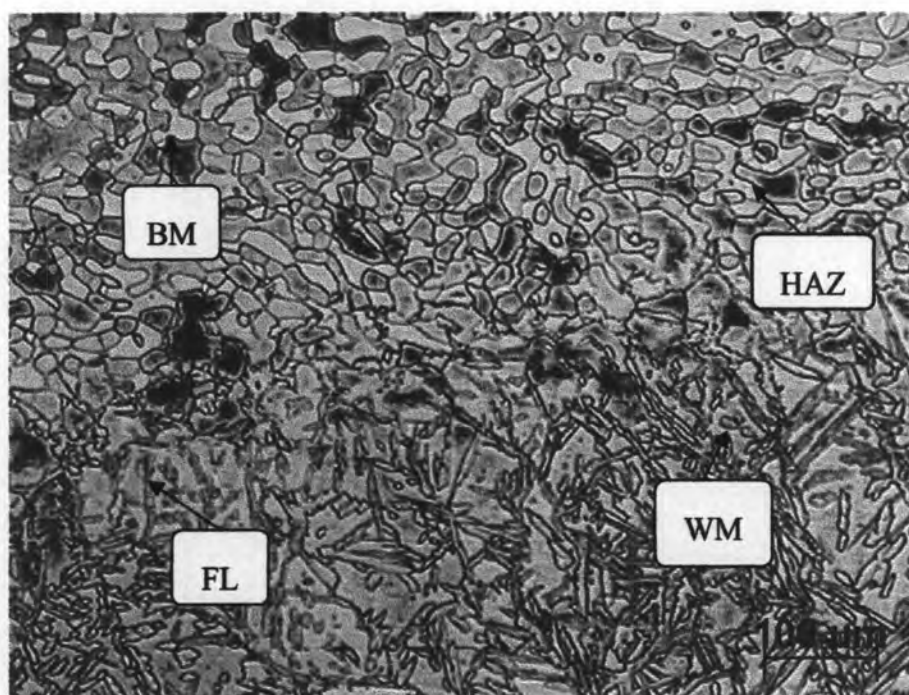
รูปที่ 4.73 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K4 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+2%N₂



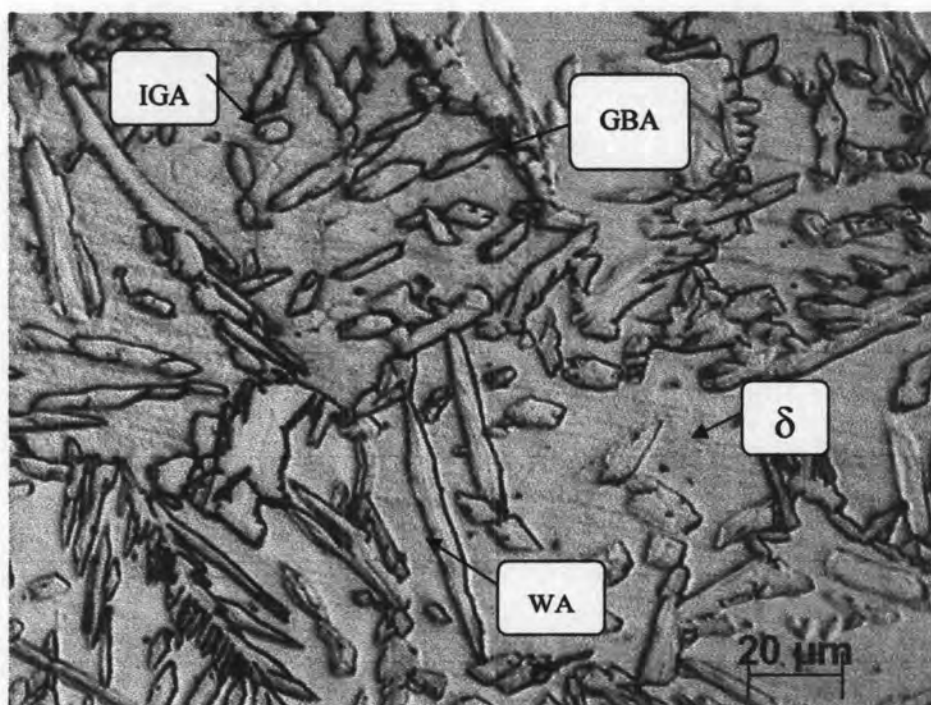
รูปที่ 4.74 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K4 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+3%N₂



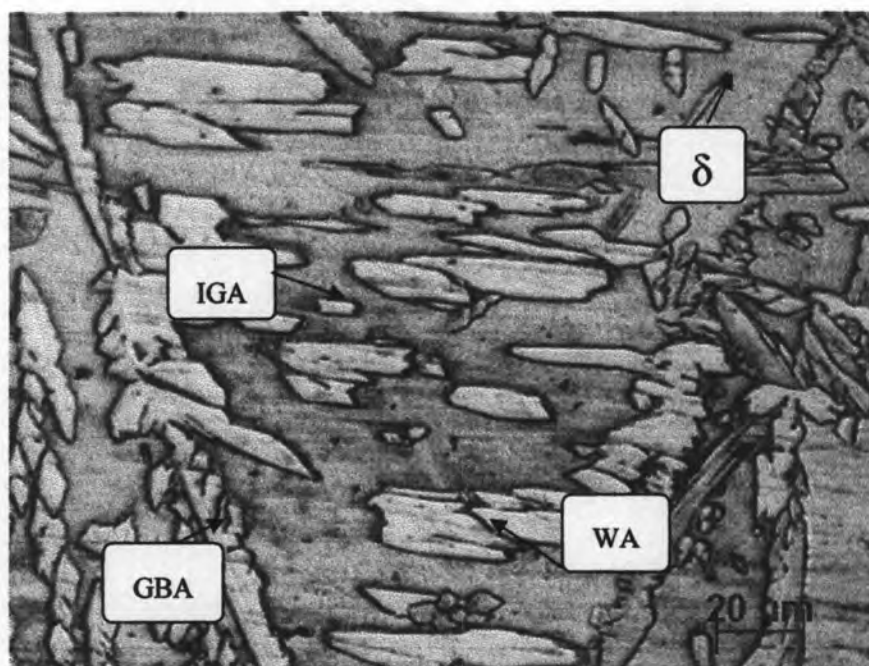
รูปที่ 4.75 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K4 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



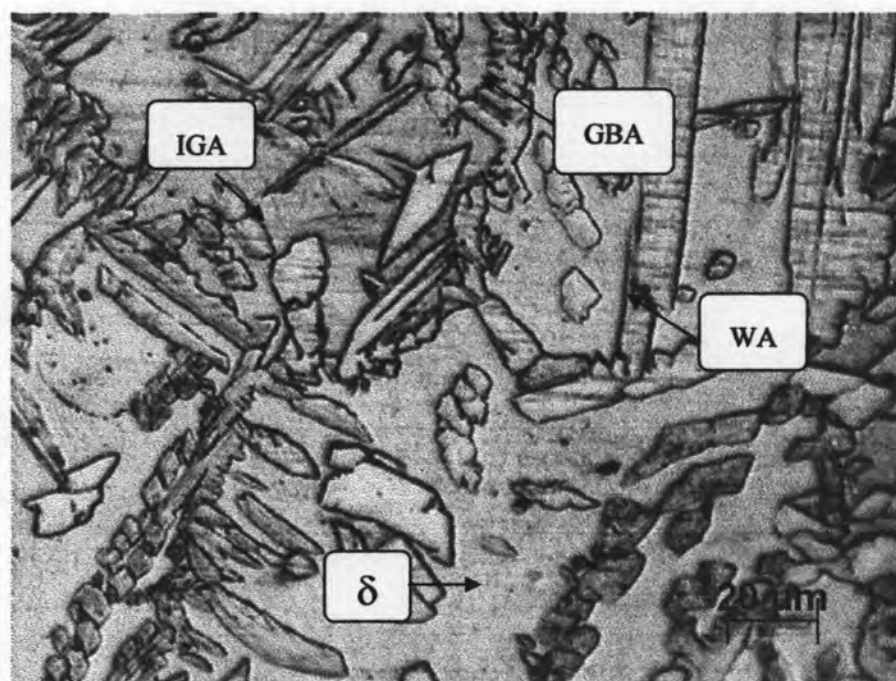
รูปที่ 4.76 โครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K4 ภายหลังจากการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂



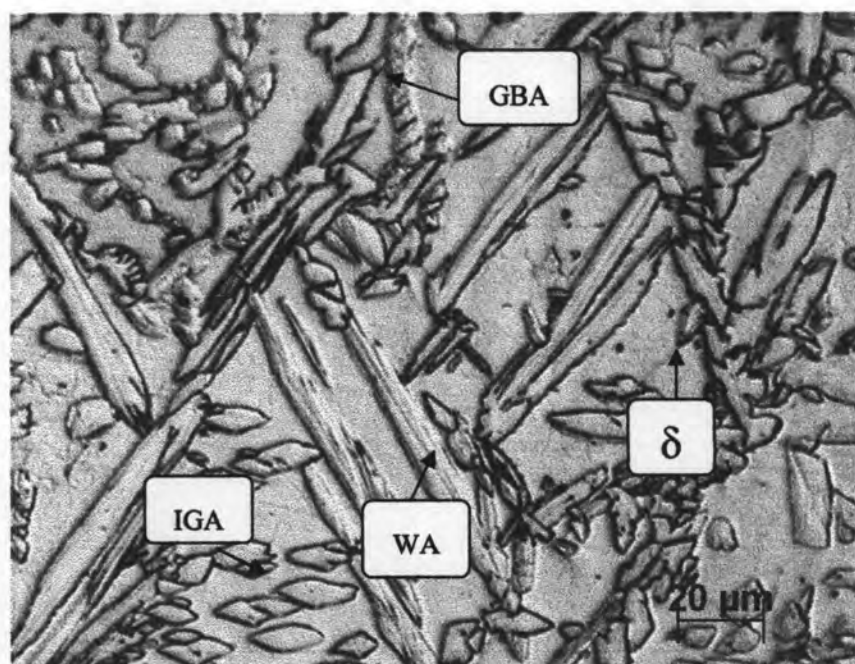
รูปที่ 4.77 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



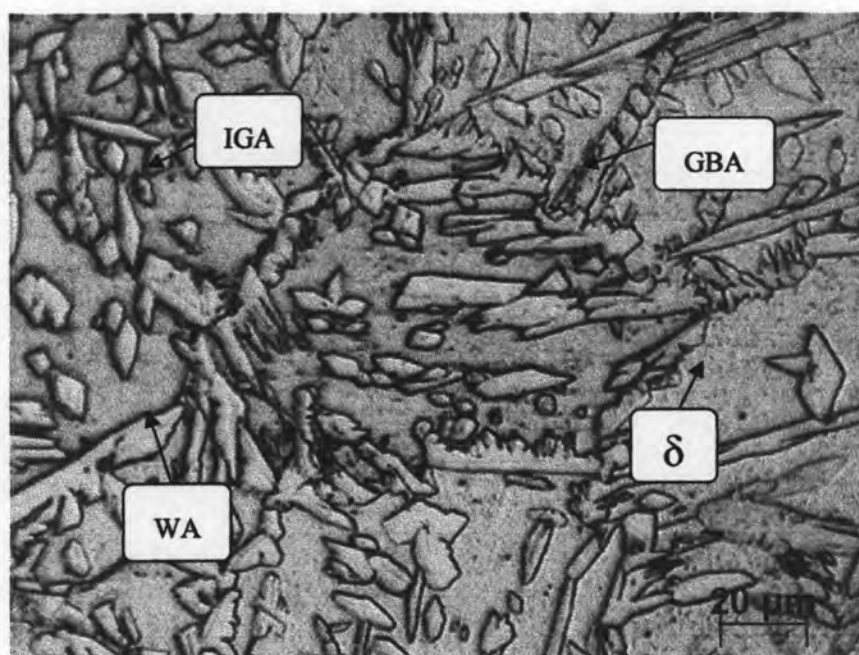
รูปที่ 4.78 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+2\%N_2$



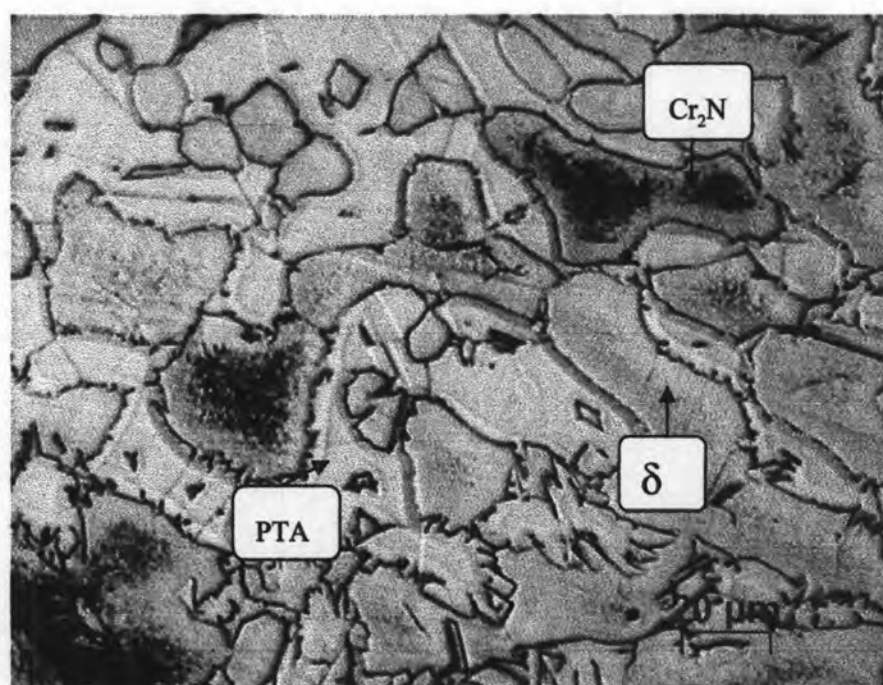
รูปที่ 4.79 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+3\%N_2$



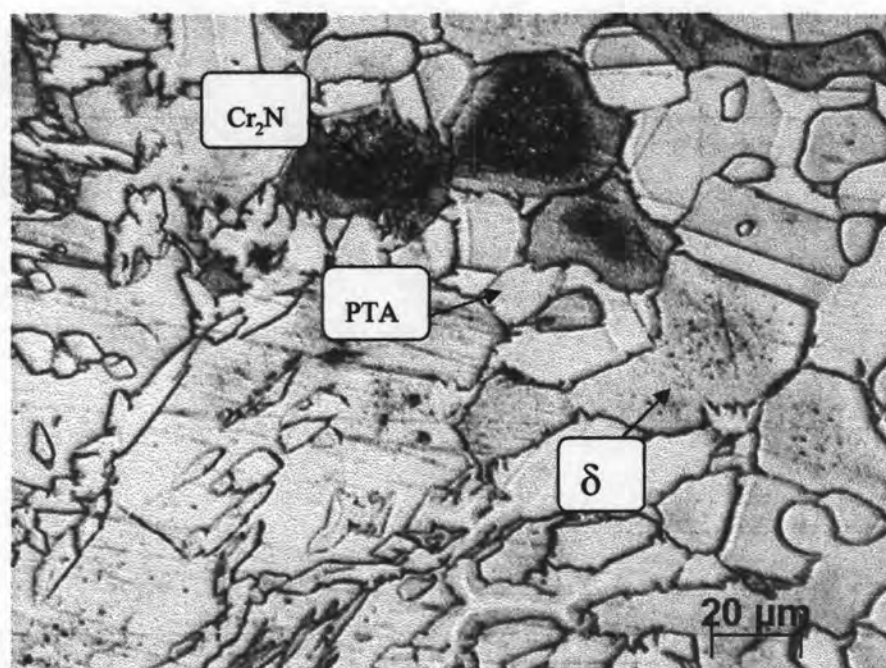
รูปที่ 4.80 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



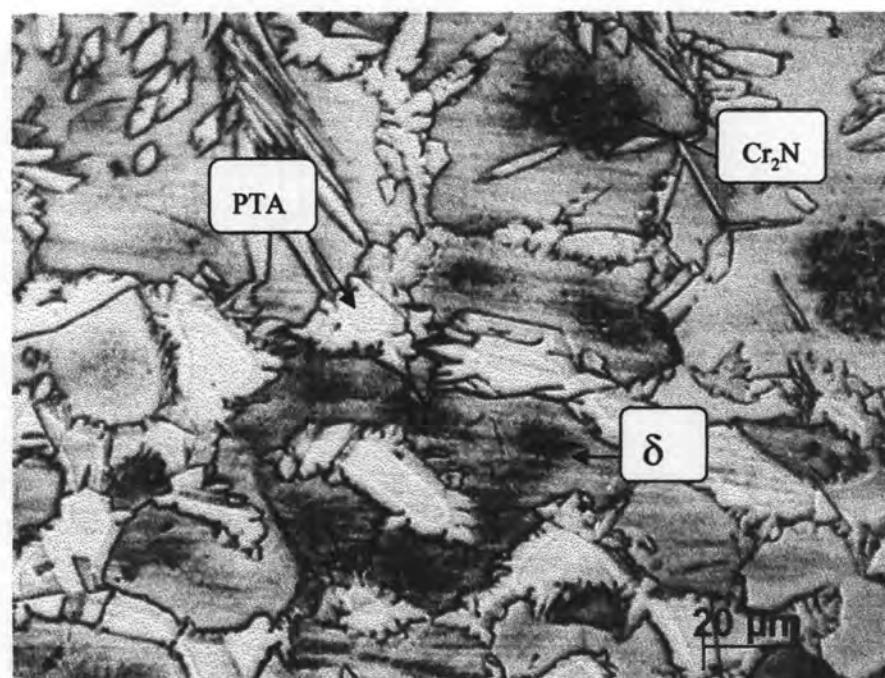
รูปที่ 4.81 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂



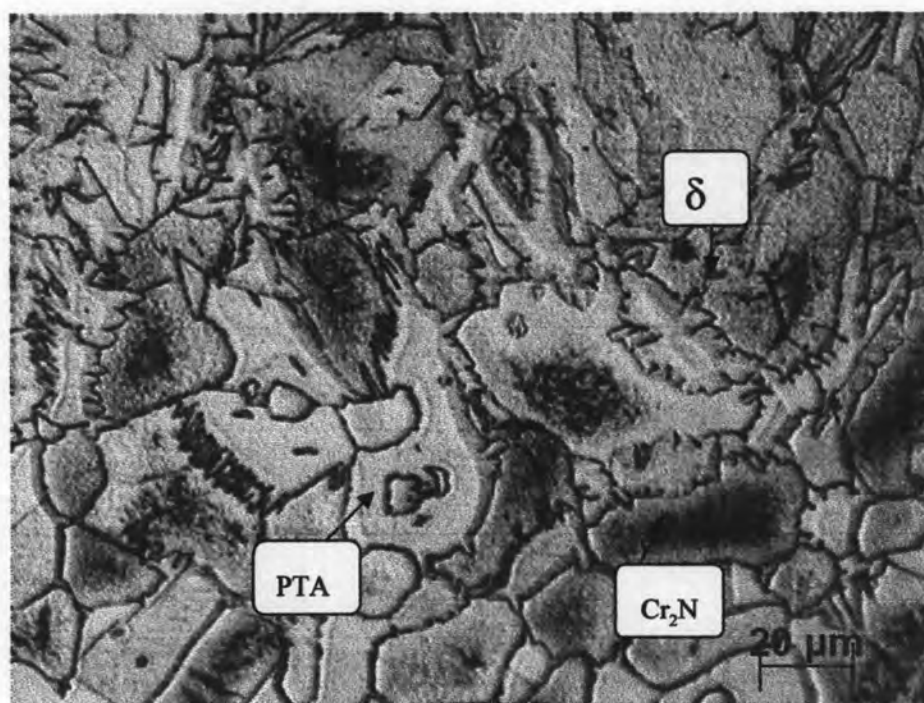
รูปที่ 4.82 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



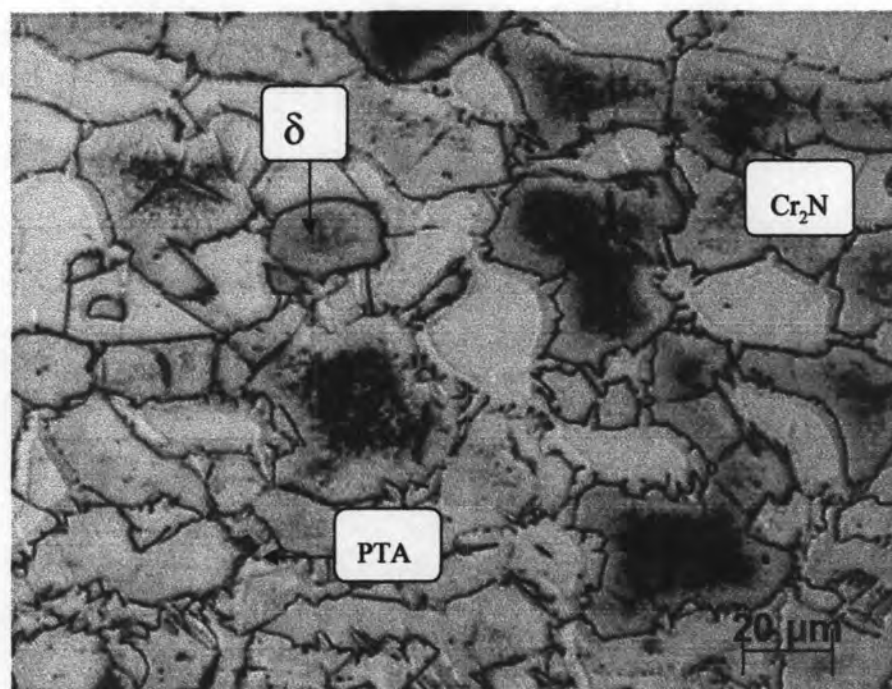
รูปที่ 4.83 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+2%N₂



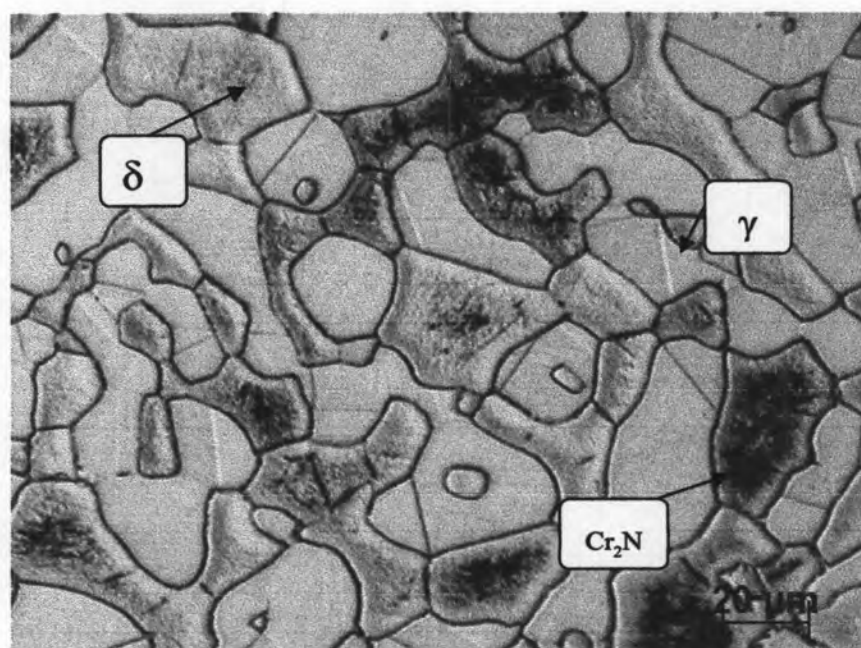
รูปที่ 4.84 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+3%N₂



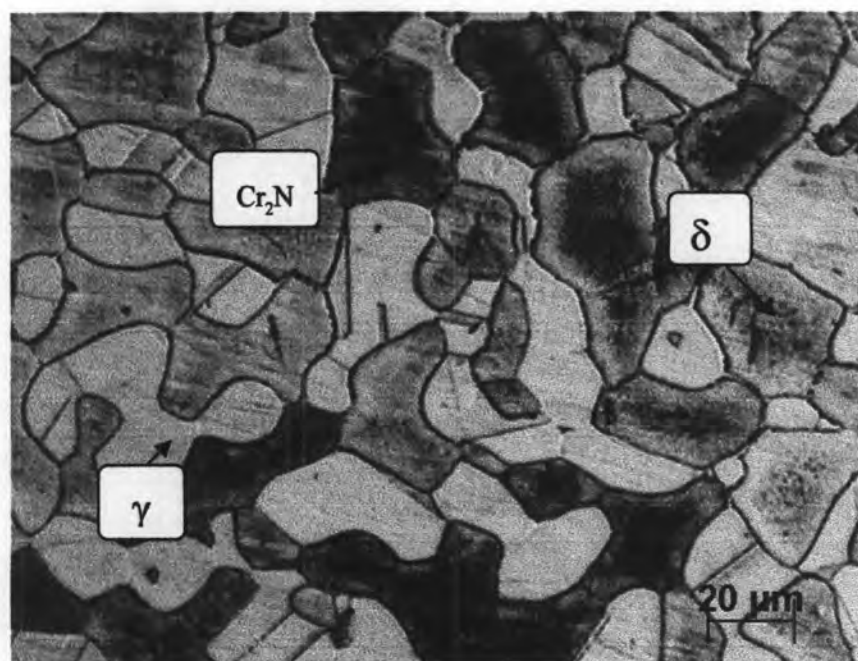
รูปที่ 4.85 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



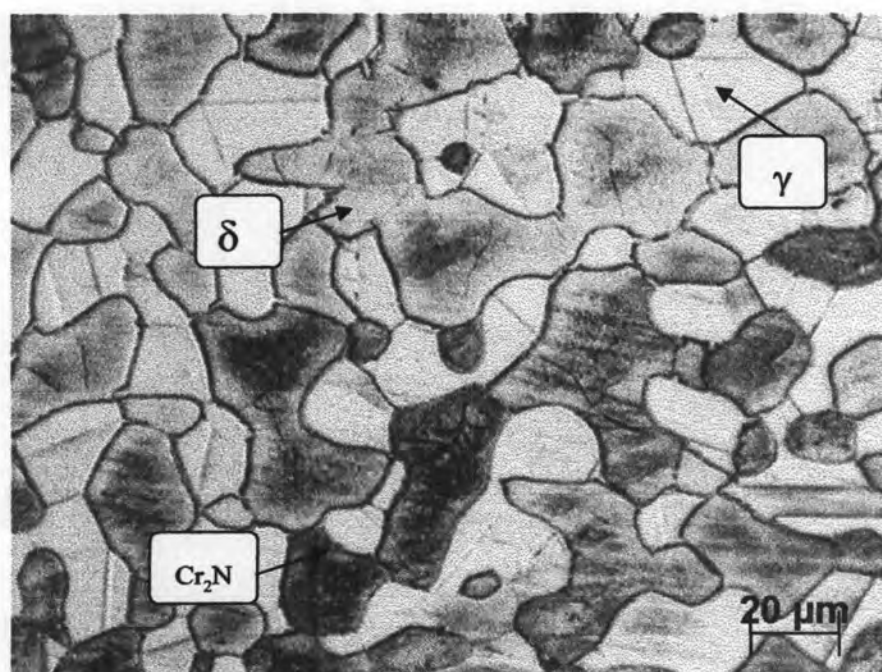
รูปที่ 4.86 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อม
ทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂เหล็ก K4



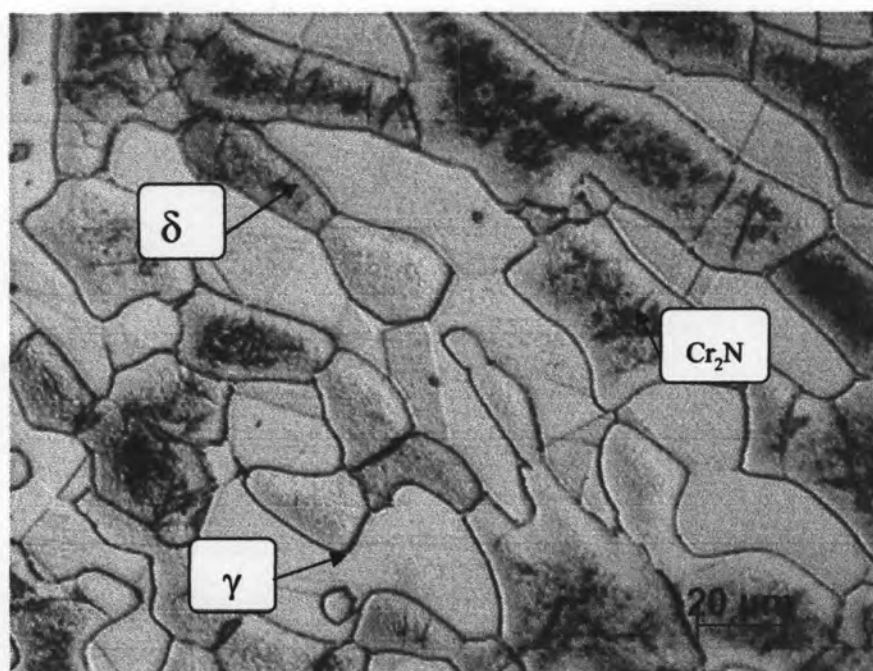
รูปที่ 4.87 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบร้อนของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์
โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂



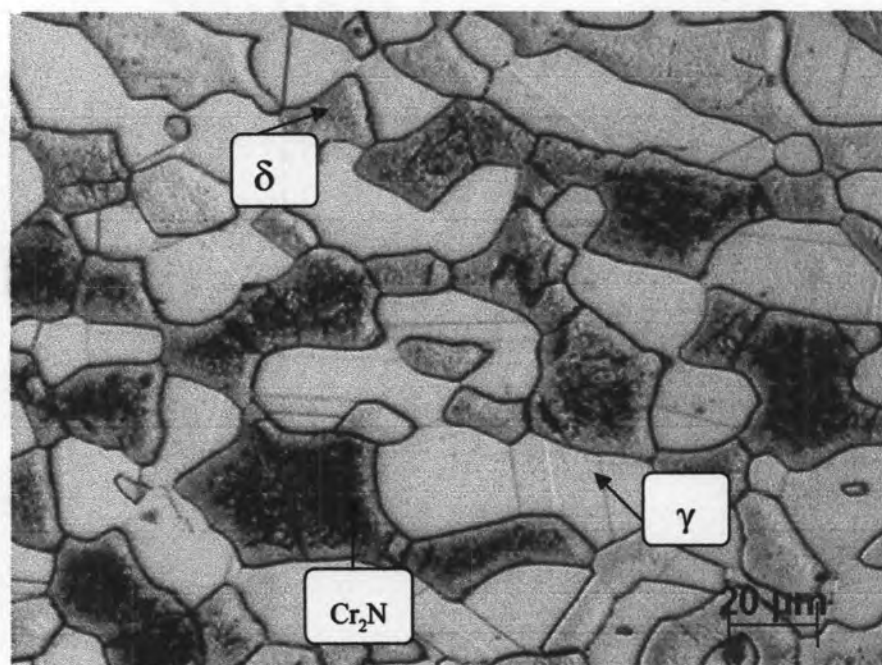
รูปที่ 4.88 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+2\%N_2$



รูปที่ 4.89 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม $Ar+3\%N_2$



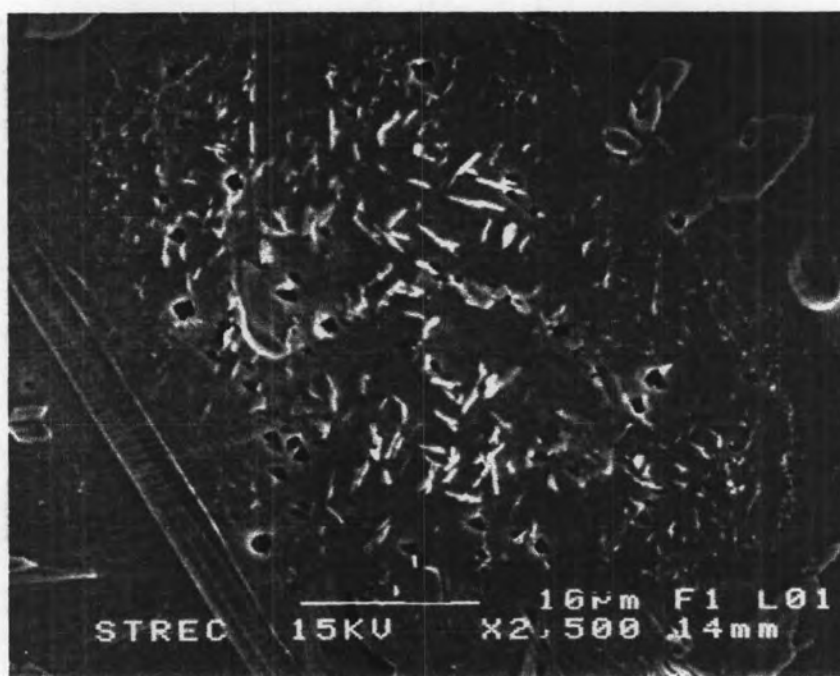
รูปที่ 4.90 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+4%N₂



รูปที่ 4.91 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ โดยใช้แก๊สปกคลุม Ar+5%N₂

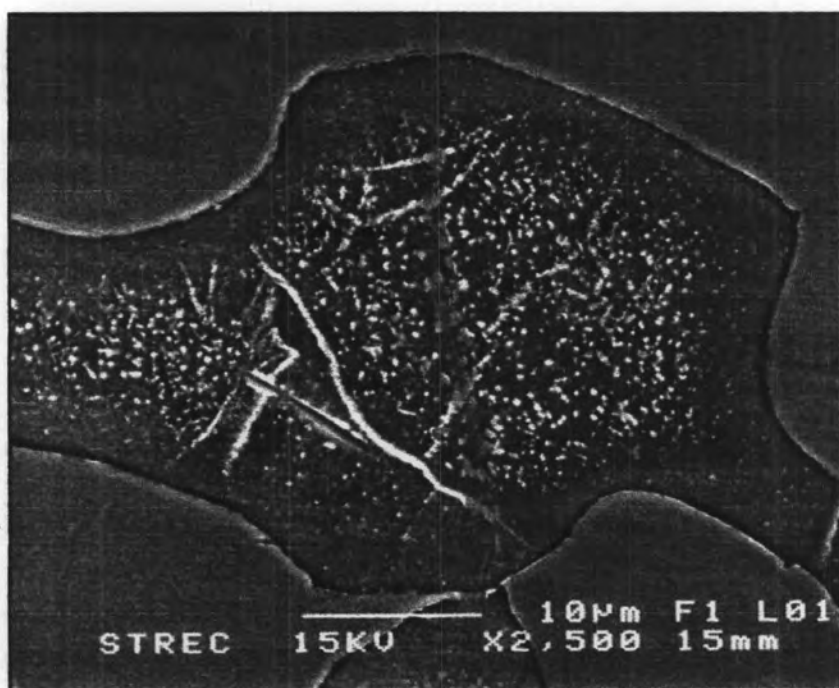


ก. Ar+1%N₂

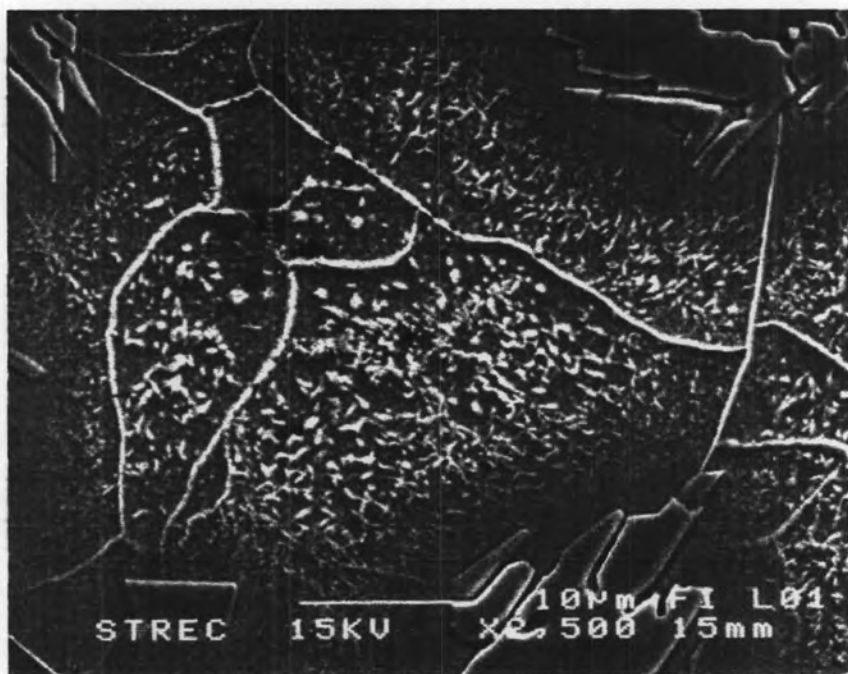


ข. Ar+5%N₂

รูปที่ 4.92 ตะกอนโคโรเนียลไมโครไนต์ในบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K4 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า



ก. Ar+1%N₂



ข. Ar+5%N₂

รูปที่ 4.93 ตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K3 ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 2500 เท่า

4.1.1 โครงสร้างจุลภาคของเหล็ก K1-K4 ที่เนื้อโลหะพื้น

รูปที่ 4.1-4.4 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ K1-K4 ที่บริเวณเนื้อโลหะพื้น พบว่าที่บริเวณเนื้อโลหะพื้นเมื่อผ่านการอบชุบความร้อนดังตารางที่ 3.1 เพื่อให้ได้ออสเทนไนต์ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะพบว่าขนาดของเกรนออสเทนไนต์ของเหล็ก K1 และ K2 มีขนาดเล็ก ส่วนในเหล็ก K3 และ K4 จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากไนโตรเจนทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสจากเฟอไรต์เป็นออสเทนไนต์สูงขึ้น มีเวลาการเปลี่ยนเฟสเป็นออสเทนไนต์มากขึ้น ออสเทนไนต์ที่พบจึงมีขนาดใหญ่กว่าที่พบในเหล็ก K1 และ K2

4.1.2 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1

รูปที่ 4.10-4.14 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก K1 ที่บริเวณเนื้อเชื่อมพบว่า มีลักษณะแตกต่างกันตามปริมาณการเพิ่มของแก๊สไนโตรเจนที่ผสมในอาร์กอน สำหรับเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ด้วยแก๊ส Ar+1-5%N₂ จะพบโครงสร้าง GBA, WA และ IGA โดยเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมด้วยแก๊ส Ar+1%N₂ พบโครงสร้าง GBA, WA และ IGA จำนวนเล็กน้อยดังรูปที่ 4.10 แต่พบว่ามี การตกตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในเฟสเดลตาเฟอไรต์สูง เนื่องจากมีปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในอาร์กอนต่ำแก๊สไนโตรเจนละลายในเนื้อเชื่อมได้น้อยทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสจากเฟอไรต์เป็นออสเทนไนต์ต่ำด้วย เดลตาเฟอไรต์ที่ยังคงไม่เปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์จะอิมมัลยิวด้วยไนโตรเจน (supersaturation of nitrogen) จึงเกิดการตกตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในเฟสเดลตาเฟอไรต์ [16] ดังรูปที่ 4.25 แสดงตะกอนโครเมียมไนไตรด์บริเวณเนื้อเชื่อมที่ติดกับแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมใช้แก๊ส Ar+1%N₂ ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ส่วนในเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมด้วยแก๊ส Ar+2-5%N₂ พบโครงสร้าง IGA กระจายอยู่ภายในเดลตาเฟอไรต์ และพบโครงสร้าง GBA WA บริเวณขอบเกรนจำนวนมาก ดังรูปที่ 4.11-1.14 เมื่อปริมาณแก๊สไนโตรเจนสูงขึ้นอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสจากเฟอไรต์เป็นออสเทนไนต์สูงขึ้นทำให้มีเวลาที่เดลตาเฟอไรต์เปลี่ยนกลับเป็นออสเทนไนต์ได้มากขึ้น ส่งผลให้ลดการตกตะกอนของโครเมียมไนไตรด์

4.1.3 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1

บริเวณแนวการหลอมเหลวคือบริเวณที่อยู่ระหว่างเนื้อเชื่อมและบริเวณกระทบริ้น รูปที่ 4.15-4.19 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1 พบว่าการเชื่อมด้วยแก๊ส $Ar+(1-5\%)N_2$ ไม่พบโครงสร้างของออสเทนไนต์อาจเป็นเพราะเฟรไรต์ไม่สามารถเปลี่ยนกลับเป็นออสเทนไนต์ได้ก่อนการเย็นตัวถึงอุณหภูมิห้อง แต่พบการตกตะกอนโครเมียมไนไตรด์บริเวณที่ติดกับเนื้อเชื่อมตลอดแนวการหลอมเหลวดังรูปที่ 4.26 เช่นเดียวกับงานของ T.A. Palmer และคณะพบว่าหลังการเชื่อมเมื่อเย็นตัวอย่างรวดเร็วมีการตกตะกอนของโครเมียมไนไตรด์บริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ 2205 [14]

4.1.4 โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบริ้นของเหล็ก K1

รูปที่ 4.20-4.24 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบริ้นของเหล็ก K1 พบว่ามีลักษณะโครงสร้างจุลภาคใกล้เคียงกับโลหะพื้น ขนาดออสเทนไนต์ในบริเวณกระทบริ้นจะมีขนาดเล็กกว่าแต่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่ามี การตกตะกอนโครเมียมไนไตรด์เกิดขึ้นบริเวณใจกลางเคลตาเฟรไรต์ดังรูปที่ 4.27

4.1.5 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K2

รูปที่ 4.33-4.37 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก K2 ที่บริเวณเนื้อเชื่อมพบว่ามีลักษณะแตกต่างกันตามปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ผสมในอาร์กอน เหล็ก K2 ที่ผ่านการเชื่อมด้วยแก๊สไนโตรเจนผสมในอาร์กอนพบโครงสร้างออสเทนไนต์ในเนื้อเชื่อมเพิ่มมากขึ้นตามเปอร์เซ็นต์แก๊สไนโตรเจนที่ผสมลงไปแก๊สอาร์กอน โดยออสเทนไนต์มีลักษณะต่าง ๆ เกิดขึ้นคือ GBA, IGA และโครงสร้าง WA กระจายอยู่ในเนื้อเชื่อม

4.1.6 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K2

รูปที่ 4.38-4.42 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก K2 ที่บริเวณแนวการหลอมเหลว พบโครงสร้างของ GBA และ WA ในปริมาณน้อยมากเนื่องจากเวลาการเย็นตัวที่รวดเร็วและปริมาณไนโตรเจนที่ต่ำ [19] ทำให้เกิดการตกตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในโครงสร้างเฟรไรต์ที่บริเวณแนวการหลอมเหลวจำนวนมาก การเย็นตัวอย่างรวดเร็วทำให้เฟรไรต์เปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์ไม่ทันจึงรวมตัวกับโครเมียมเกิดเป็นตะกอนไนไตรด์ดังรูปที่ 4.48 แสดงบริเวณแนวการหลอมเหลวของชิ้นงาน K2 ที่ใช้แก๊สปกคลุม $Ar+1\%N_2$ และ $Ar+5\%N_2$ ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

4.1.7 โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันของเหล็ก K2

รูปที่ 4.43-4.47 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันของเหล็ก K2 พบว่ามีลักษณะโครงสร้างจุลภาคใกล้เคียงกับโลหะพื้น แต่ขนาดออสเทนไนต์ในบริเวณกระทันจะมีขนาดเล็กกว่าเช่นเดียวกับที่พบในเหล็ก K1 และยังพบการตกตะกอนโครเมียมไนไตรต์ในบริเวณกระทันด้วยดังรูปที่ 4.49

4.1.8 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K3

รูปที่ 4.55-4.59 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก K3 1-5%N₂ ที่บริเวณเนื้อเชื่อมพบว่าเฟสออสเทนไนต์มีลักษณะแตกต่างกันตามปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ผสมในแก๊สอาร์กอน สำหรับเหล็ก K3 ที่ใช้แก๊สปกคลุม Ar+1-2%N₂ พบโครงสร้างออสเทนไนต์ GBA, IGA และโครงสร้าง WA ดังรูปที่ 4.55-4.56 เช่นเดียวกับเหล็ก K1 และ K2 แต่ในเหล็ก K3 ที่การเชื่อมใช้แก๊สปกคลุม Ar+3-5%N₂ พบโครงสร้างเดนไดรต์ของออสเทนไนต์ (ดังรูปที่ 4.57-4.59) ในกรณีนี้การแข็งตัวจะเกิดเฟสเดนไดรต์เฟอไรต์ก่อนแล้วเกิดเฟสเดนไดรต์ออสเทนไนต์ตามมา (ferrite-austenite mode) [7] อาจเป็นเพราะปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเชื่อมเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ผสมไนโตรเจนในอาร์กอนทำให้การเปลี่ยนรูปแบบการแข็งตัว (solidification mode) [10] ไม่พบการตกตะกอนโครเมียมไนไตรต์ในเนื้อเชื่อม [14][16]

4.1.9 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K3

รูปที่ 4.60-4.64 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก K3 ที่บริเวณแนวการหลอมเหลวพบว่ามีโครงสร้าง PTA ซึ่งอาจยับยั้งการขยายตัวของเดลตาเฟอไรต์ ทำให้ปริมาณเดลตาเฟอไรต์ลดลง [19] ดังรูปที่ 4.70 บริเวณแนวการหลอมเหลวของชิ้นงาน K3 ที่ใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂ และ Ar+5%N₂ ถ่ายภาพโดยจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

4.1.10 โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันของเหล็ก K3

รูปที่ 4.65-4.69 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันของเหล็ก K3 พบว่ามีลักษณะโครงสร้างจุลภาคใกล้เคียงกับเนื้อโลหะพื้น แต่ขนาดออสเทนไนต์ในบริเวณกระทันจะมีเล็กกว่า และพบการตกตะกอนของโครเมียมไนไตรต์ในเดลตาเฟอไรต์ รูปที่ 4.71 บริเวณแนวการหลอมเหลวของชิ้นงาน K3 ที่เชื่อมโดยใช้ Ar+1%N₂ และ Ar+5%N₂ ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

4.1.11 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมของเหล็ก K4

รูปที่ 4.77-4.81 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก K4 ที่บริเวณเนื้อเชื่อมพบว่า มีลักษณะออสเทนไนต์แตกต่างกันตามปริมาณของแก๊สไนโตรเจนที่ผสมในแก๊สอาร์กอนเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีโครงสร้าง GBA, WA และโครงสร้าง IGA เช่นเดียวกันกับเหล็ก K1 และ K2

4.1.12 โครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K4

รูปที่ 4.82-4.86 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็ก K1-K4 ที่บริเวณแนวการหลอมเหลว พบโครงสร้าง PTA เช่นเดียวกันกับเหล็ก K3 แต่ปริมาณอาจน้อยกว่า และยังมีการตกตะกอนโครเมียมไนไตรด์อาจมากกว่าเหล็ก K3 ดังรูปที่ 4.92 แสดงบริเวณแนวการหลอมเหลวของชิ้นงาน K4 ที่เชื่อมด้วยแก๊ส Ar+1%N₂ และ Ar+5%N₂ ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

4.1.13 โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันของเหล็ก K4

รูปที่ 4.87-4.91 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันของเหล็ก K4 ขนาดออสเทนไนต์ในบริเวณกระทันจะเล็กกว่าโลหะเนื้อพื้นเช่นเดียวกับเหล็ก K3 พบการตกตะกอนโครเมียมไนไตรด์ในเดลตาเฟอไรต์ซึ่งอาจมีปริมาณมากกว่าเหล็ก K3 ดังรูปที่ 4.93 แสดงบริเวณกระทันของชิ้นงาน K4 ที่ใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂ และ Ar+5%N₂ ถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

4.2 ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟรไรต์และออสเทนไตในแนวเชื่อมของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ ใช้แก๊สปกคลุม $Ar+(1-5\%)N_2$

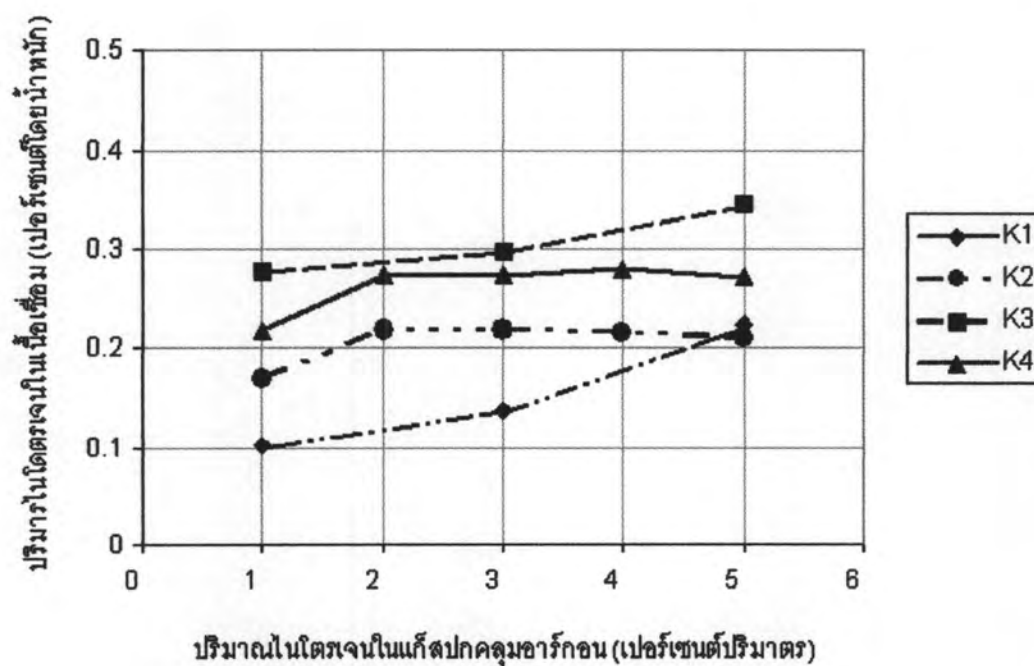
ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเชื่อมที่ปริมาณไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.94 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนและปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเชื่อม พบว่าการเชื่อมที่ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมไนโตรเจน 1 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ Y.C. Lin และ P.Y. Chen [4] เพราะไนโตรเจนทำให้ออสเทนไตมีเสถียรภาพสูง (austenite stabilizer) [16] เมื่อปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาณออสเทนไตในเนื้อเชื่อมเพิ่มขึ้นตามข้อมูลตารางที่ 4.2 และดังแสดงในรูปที่ 4.95 เป็นผลให้ปริมาณเดลตาเฟรไรต์ในเนื้อเชื่อมลดลง ในรูปที่ 4.94 ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเชื่อมของเหล็ก K3 สูงกว่าเหล็ก K4, K2 และ K1 ตามลำดับซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนและปริมาณออสเทนไตในเนื้อเชื่อมของเหล็ก K3 ที่มีปริมาณสูงสุด รองลงมาคือเหล็ก K4 K2 และ K1 ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเชื่อมเหล็ก K4 ต่ำกว่าปริมาณในโลหะเนื้อพื้น อาจเป็นเพราะผลของแรงดึงผิวขณะหลอมเหลว [20]

ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.96 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนและปริมาณออสเทนไตที่แนวการหลอมเหลวของรอยเชื่อมเหล็ก K1-K4 พบว่าแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1 ไม่มีออสเทนไตแต่ของเหล็ก K2 พบอยู่เล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นเพราะมีปริมาณไนโตรเจนที่ละลายอยู่น้อยและรอยเชื่อมอัตราการเย็นตัวสูง ทำให้เดลตาเฟรไรต์ไม่สามารถเปลี่ยนกลับเป็นออสเทนไตได้ทันจึงทำให้พบเฟสเฟรไรต์ปริมาณมาก แต่อาจเกิดตกตะกอนโครเมียมไนไตรด์มากขึ้น ส่วนในเหล็ก K3 และ K4 พบออสเทนไตในปริมาณมาก เนื่องจากปริมาณแก๊สไนโตรเจนที่ผสมลงไปแนวเชื่อมทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนเป็นออสเทนไตสูงขึ้น

ตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.97 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนและปริมาณออสเทนไตที่บริเวณกระแทกร้อนของเหล็ก K1-K4 พบว่าปริมาณออสเทนไตใกล้เคียงกับเนื้อพื้น เมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนทำให้ปริมาณออสเทนไตเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเชื่อม ปริมาณออสเทนไตในเหล็ก K3 จะมีปริมาณมากที่สุดรองลงมาเป็นเหล็ก K4 K2 และ K1 ตามลำดับสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนที่พบใน K3 ซึ่งมีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 4.1 ปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนและปริมาณไนโตรเจน
 ในเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์โดยใช้แก๊สปกคลุม
 $Ar+(1-3-5\%) N_2$

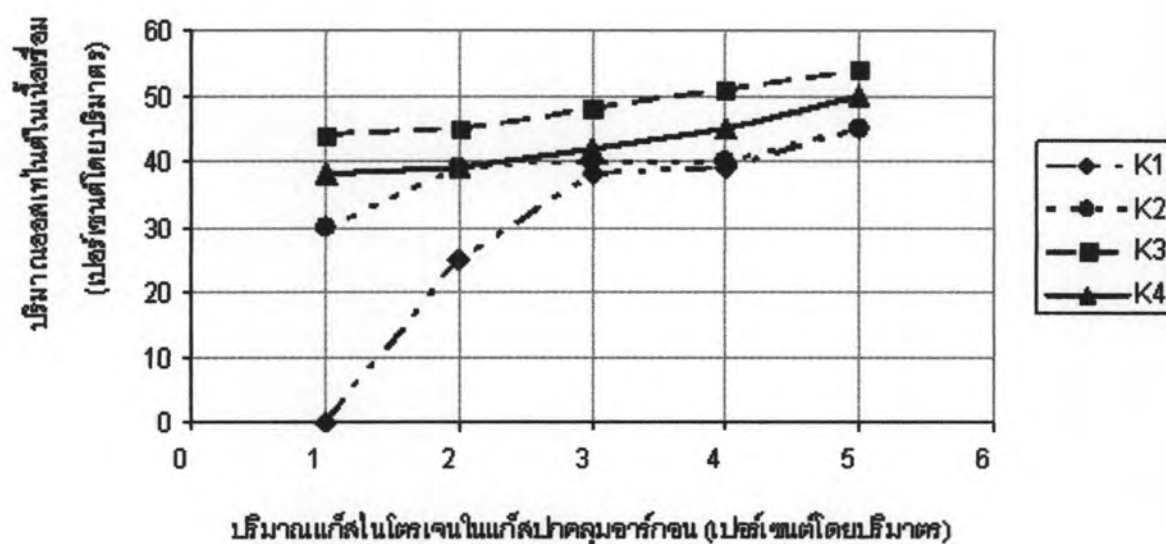
เหล็ก	ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเชื่อม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)		
	1% N ₂	3% N ₂	5% N ₂
K1	0.1031	0.1382	0.2254
K2	0.1701	0.2183	0.2105
K3	0.2773	0.2968	0.3451
K4	0.2181	0.2723	0.2708



รูปที่ 4.94 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนและ
 ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

ตารางที่ 4.2 ปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนและปริมาณออกสเตนไนต์
 ในเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

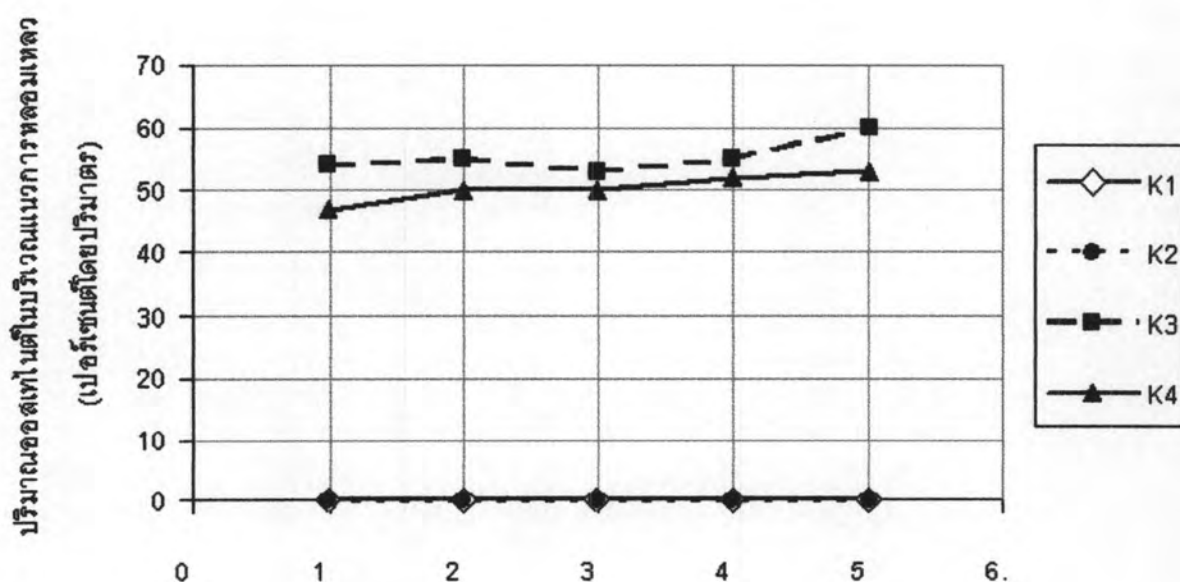
เหล็ก	ปริมาณออกสเตนไนต์(เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)				
	1% N ₂	2% N ₂	3% N ₂	4% N ₂	5% N ₂
K1	0	25	38	39	45
K2	30	39	40	40	45
K3	44	45	48	51	54
K4	38	39	42	45	50



รูปที่ 4.95 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอน และปริมาณ
 ออกสเตนไนต์ที่เนื้อเชื่อม ของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

ตารางที่ 4.3 ปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอน 1-5% N₂ และปริมาณออกสเตไนต์
ในแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

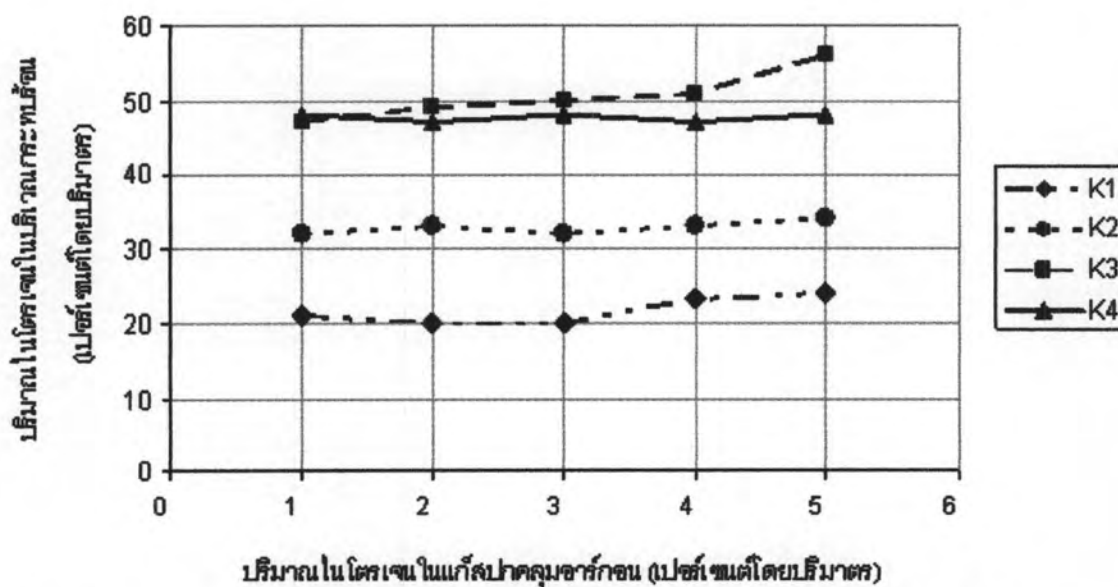
เหล็ก	ปริมาณออกสเตไนต์(เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)				
	1% N ₂	2% N ₂	3% N ₂	4% N ₂	5% N ₂
K1	0	0	0	0	0
K2	0	0	0	0	0
K3	54	55	53	55	60
K4	47	50	50	52	53



รูปที่ 4.96 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนและปริมาณ
ออกสเตไนต์ที่แนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

ตารางที่ 4.4 ปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอน 1-5%N₂และปริมาณออกสเตนไนต์
 ในบริเวณกระทะร้อนของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

เหล็ก	ปริมาณออกสเตนไนต์(เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)				
	1% N ₂	2% N ₂	3% N ₂	4% N ₂	5% N ₂
K1	21	20	20	23	23
K2	32	33	32	33	34
K3	47	49	50	51	56
K4	48	47	48	47	48



รูปที่ 4.97 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนและปริมาณ
 ออกสเตนไนต์ที่บริเวณกระทะร้อนของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

4.3 ผลของไนโตรเจนต่อการตกตะกอนโครเมียมไนไตรต์ในแนวเชื่อมเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ใช้แก๊สปกคลุม Ar+(1-5%) N₂

ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.98 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโครเมียมไนไตรต์ในเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1-K4 ในเนื้อเชื่อมเหล็ก K1 และ K2 พบว่าการตกตะกอนโครเมียมไนไตรต์บริเวณติดกับแนวการหลอมเหลว ในเนื้อเชื่อมเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ใช้แก๊สปกคลุม Ar+1%N₂ มีการตกตะกอนโครเมียมไนไตรต์เป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในอาร์กอนต่ำ ไนโตรเจนละลายในเนื้อเชื่อมได้น้อยทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสจากเฟอร์ไรต์เป็นออสเทนไนต์ต่ำด้วย เดลตาเฟอร์ไรต์ที่ยังคงไม่เปลี่ยนเป็นออสเทนไนต์จะอิมตัวยิ่งยวดด้วยไนโตรเจน แต่ในเนื้อเชื่อมเหล็ก K1 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ใช้แก๊สปกคลุม Ar+(2-5%)N₂ มีปริมาณไนโตรเจนละลายในเนื้อเชื่อมสูงนั้นจะพบว่าการตกตะกอนโครเมียมไนไตรต์น้อยลง เพราะไนโตรเจนทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์เป็นเดลตาเฟอร์ไรต์สูงขึ้นเวลาการเปลี่ยนเฟสลดลง ปริมาณออสเทนไนต์เพิ่มสูงขึ้นให้ไม่เกิดบริเวณที่มีไนโตรเจนละลายอิมตัวยิ่งยวดในเดลตาเฟอร์ไรต์ [1] [16] ผลทำนองเดียวกับที่พบในเนื้อเชื่อมเหล็ก K3 และ K4 คือไม่พบการตกตะกอนของโครเมียมไนไตรต์ในเนื้อเชื่อมแม้ว่ามีปริมาณไนโตรเจนละลายอยู่ในเนื้อเชื่อมสูงเช่นกัน

ตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.99 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโครเมียมไนไตรต์บริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1-K4 ในแนวการหลอมเหลวเหล็ก K2 พบว่าการตกตะกอนโครเมียมไนไตรต์มากที่สุดเพราะว่าปริมาณไนโตรเจนเนื้อเชื่อมที่เพิ่มขึ้นจากการใช้แก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน การละลายของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและอัตราการเย็นตัวอย่างรวดเร็วในแนวการหลอมเหลวเดลตาเฟอร์ไรต์เปลี่ยนกลับเป็นออสเทนไนต์ไม่ทันทำให้ไนโตรเจนละลายในเฟอร์ไรต์อิมตัวยิ่งยวดในเดลตาเฟอร์ไรต์เมื่อเย็นตัวลงมาตกตะกอนของโครเมียมไนไตรต์จึงเกิดขึ้นได้ [14][16] นอกจากนี้ในแนวการหลอมเหลวเหล็ก K1, K3 และ K4 พบการตกตะกอนของโครเมียมไนไตรต์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนเพิ่ม

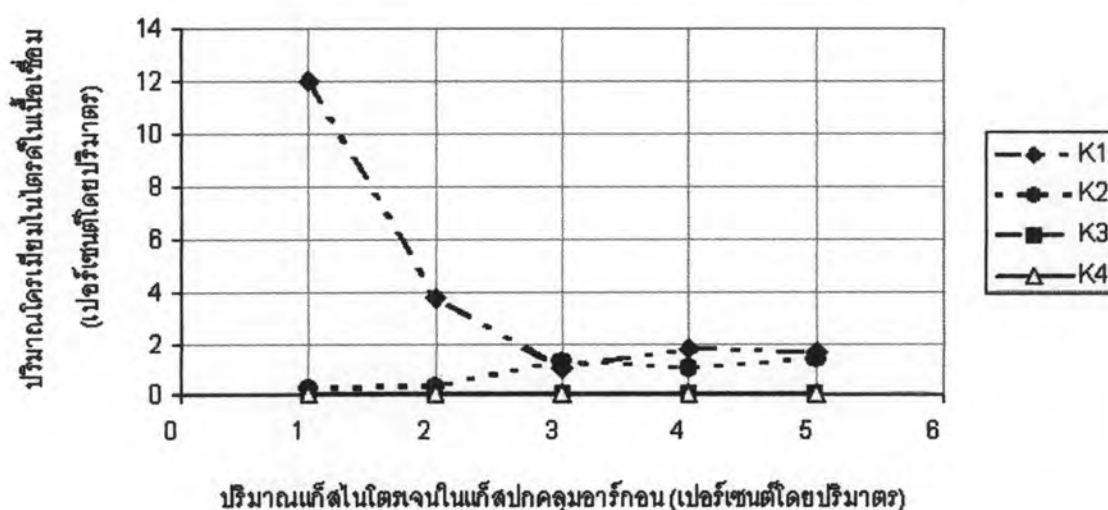
ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.100 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนและปริมาณโครเมียมไนไตรต์ในบริเวณกระทันของเหล็ก K1-K4 เมื่อปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนเพิ่มส่งผลให้ปริมาณตะกอนโครเมียมไนไตรต์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเหล็ก K1 และ K2 พบการตกตะกอนโครเมียมไนไตรต์ในบริเวณกระทันเพิ่ม

มากขึ้นตามการเพิ่มปริมาณแก๊สไนโตรเจนในอาร์กอน ส่วนเหล็ก K3 และ K4 พบว่ามีการตกตะกอนของโครเมียมไนไตรด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เหล็ก K4 มีการตกตะกอนของโครเมียมไนไตรด์มากกว่าเหล็ก K3 เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมต่ำกว่า

จากการผลการทดลองอาจสรุปได้ในภาพรวม คือ การเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนส่งผลให้ไนโตรเจนละลายในเนื้อเชื่อมมากขึ้น หากเวลาการเปลี่ยนแปลงจากเดลตาเฟไรต์เป็นออสเทนไตน์น้อยจะทำให้เกิดปริมาณออสเทนไตน์ไม่มาก ไนโตรเจนจึงสามารถรวมตัวกับโครเมียมเป็นตะกอนโครเมียมไนไตรด์

ตารางที่ 4.5 ปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอน 1-5%N₂และโครเมียมไนไตรด์ในเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

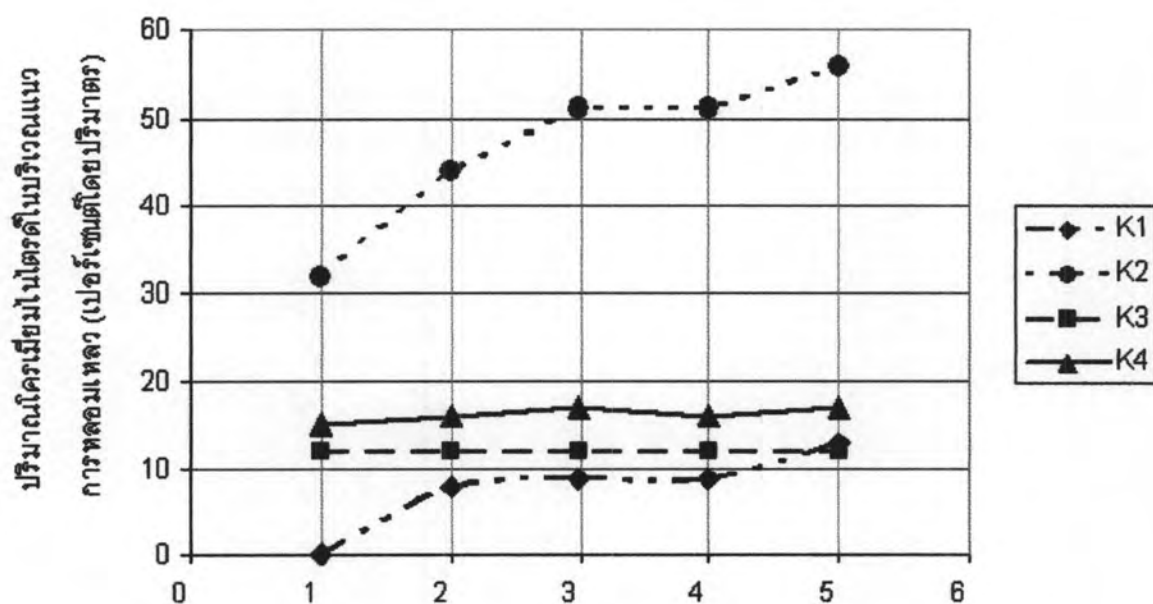
เหล็ก	ปริมาณโครเมียมไนไตรด์ (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)				
	1% N ₂	2% N ₂	3% N ₂	4% N ₂	5% N ₂
K1	12	3	1	1	1
K2	0.2	0.3	1.3	1	1.4
K3	0	0	0	0	0
K4	0	0	0	0	0



รูปที่ 4.98 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโครเมียมไนไตรด์ในเนื้อเชื่อมของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

ตารางที่ 4.6 ปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอน 1-5%N₂และโครเมียมไนไตรด์
ในแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

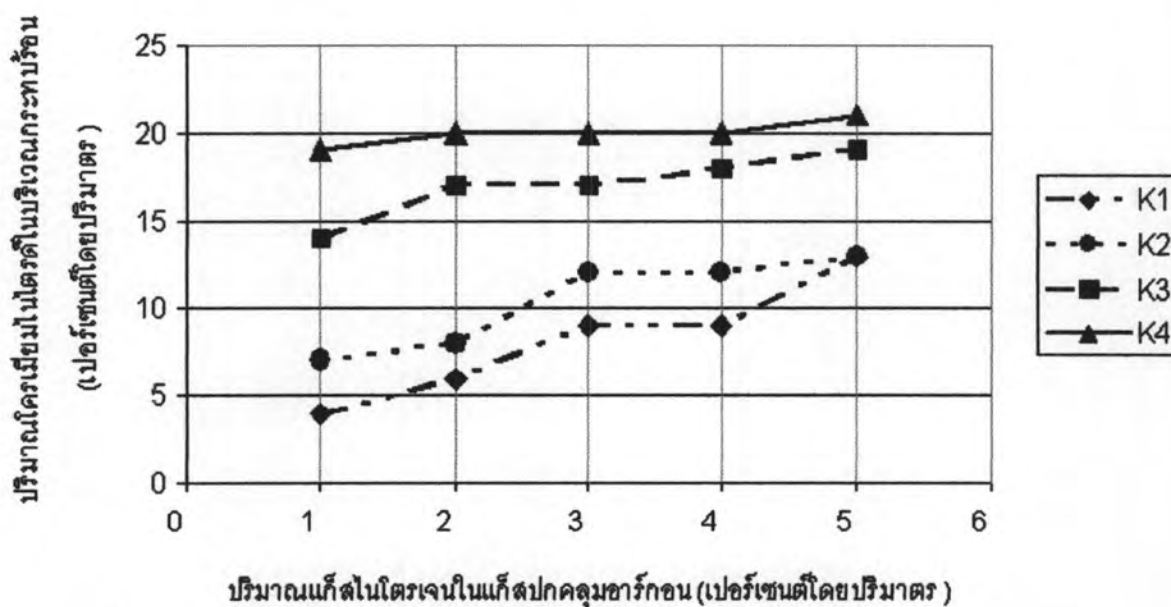
เหล็ก	ปริมาณโครเมียมไนไตรด์(เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)				
	1% N ₂	2% N ₂	3% N ₂	4% N ₂	5% N ₂
K1	0	8	9	9	13
K2	32	44	51	51	56
K3	12	12	12	12	12
K4	15	16	17	16	17



รูปที่ 4.99 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สไนโตรเจนและปริมาณโครเมียมไนไตรด์
บริเวณแนวการหลอมเหลวของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

ตารางที่ 4.7 ปริมาณแก๊สไนโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอน 1-5% N₂ และโครเมียมไนไตรด์
 ในบริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์

เหล็ก	ปริมาณโครเมียมไนไตรด์(เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)				
	1% N ₂	2% N ₂	3% N ₂	4% N ₂	5% N ₂
K1	4.13	6.13	9.2	9.2	12.8
K2	6.8	7.9	11.8	12	13
K3	14.2	16.88	17.4	18.6	18.86
K4	19.5	20.06	20.04	20.04	21.2



รูปที่ 4.100 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแก๊สไนโตรเจนและปริมาณโครเมียมไนไตรด์
 บริเวณกระทบบร้อนของเหล็ก K1-K4 ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์