

Izabella HYLA
Józef ŚLEZIONA

WPLYW ODDZIAŁYWANIA OSNOWY NA WŁASNOŚCI DRUTÓW ZBROJĄCYCH
W KOMPOZYTACH WYTWARZANYCH METODĄ ODLEWNICZĄ
CIŚNIENIOWO-PRÓŻNIOWĄ

Streszczenie. W pracy omówiono wpływ kontaktu osnowy aluminiowej na własności mechaniczne drutów D70A, H18N10, H25N20S2. Przedstawiono wyniki badań dotyczące oceny zmian modułu sprężystości, wytrzymałości na rozciąganie i odkształcenia drutów wyekstrahowanych z osnowy AM4 poddanej różnym zabiegom. Stwierdzono niekorzystny wpływ osnowy Al na druty stalowe objawiający się znacznym spadkiem własności mechanicznych i tworzeniem się warstw dyfuzyjnych.

Obliczając wytrzymałość projektowanego kompozytu wprowadza się na ogół do określonych związków teoretycznych wyjściowe własności mechaniczne komponentów, bez uwzględniania zmian, jakie mogą w nich powstać w procesie wytwarzania materiału kompozytowego. Prowadzi to często do znacznych rozbieżności pomiędzy wielkościami obliczonymi i rzeczywistymi. Bezpośrednie przyczyny występujących rozbieżności mogą być dość zróżnicowane, np. powstawanie warstw pośrednich na granicy rozdziału komponentów, naprężenia własne układu, czy wreszcie spadek wytrzymałości wyjściowej drutów zbrojących wywołany parametrami procesu technologicznego podczas wytwarzania kompozytu. Ogólnie można właściwie uznać wszystkie te przyczyny za zróżnicowane formy oddziaływania osnowy na włókna zbrojące w materiałach kompozytowych.

Oddziaływanie osnowy na druty zbrojące występuje szczególnie wyraźnie w procesach technologicznych z ciekłą osnową. W literaturze z zakresu tej tematyki spotyka się przede wszystkim informacje dotyczące składu tworzących się warstw przejściowych [1, 2], brak jest natomiast informacji odnośnie do wpływu procesu technologicznego na zmianę własności wytrzymałościowych komponentu zbrojącego. W przedstawionej pracy zwrócono zatem przede wszystkim uwagę na oddziaływanie osnowy wyrażające się zmianą własności mechanicznych drutów zbrojących w procesie wytwarzania kompozytu.

Badaniom poddano druty stalowe w gatunku D70A, H18N10, H25N20S2, stanowiące zbrojenie stopu aluminiowego AM4. Materiał kompozytowy otrzymano z wymienionych komponentów na drodze odlewniczej przy zastosowaniu metody ciśnieniowo-próżniowej [3]. Udział objętościowy zbrojenia wynosił 15%. Warunki termiczne procesu technologicznego przyjęto zgodnie z [4] na na-

stępującym poziomie: temperatura osnowy $T_0 = 1050$ K, temperatura kokili i zbrojenia $T_{wk} = 820$ K. Badania zrealizowano dla dwóch podstawowych grup próbek. Jedną grupę stanowiły druty zbrojące w stanie wyjściowym oraz po wyekstrahowaniu z kompozytu, drugą natomiast próbki materiału kompozytowego Al - stal. Wszystkie próbki poddawano próbie rozciągania w celu wyznaczenia R_m , E i A_p .

W pierwszej grupie, którą stanowiły próbki drutów zbrojących, wyodrębniono cztery podgrupy:

- druty w stanie wyjściowym, tzn. w takim, jaki posiadają przed kontaktem z ciekłą osnową,
- druty wyekstrahowane z próbek kompozytu (osnowę rozpuszczano w 10% gorącym roztworze NaOH),
- druty wyekstrahowane z próbek kompozytowych, które po odlaniu poddano dodatkowo zabiegowi wyżarzania w temperaturze 810 K przez 16 h,
- druty wyżarzane w identycznych warunkach, ale bez uprzedniego ich kontaktu z osnową.

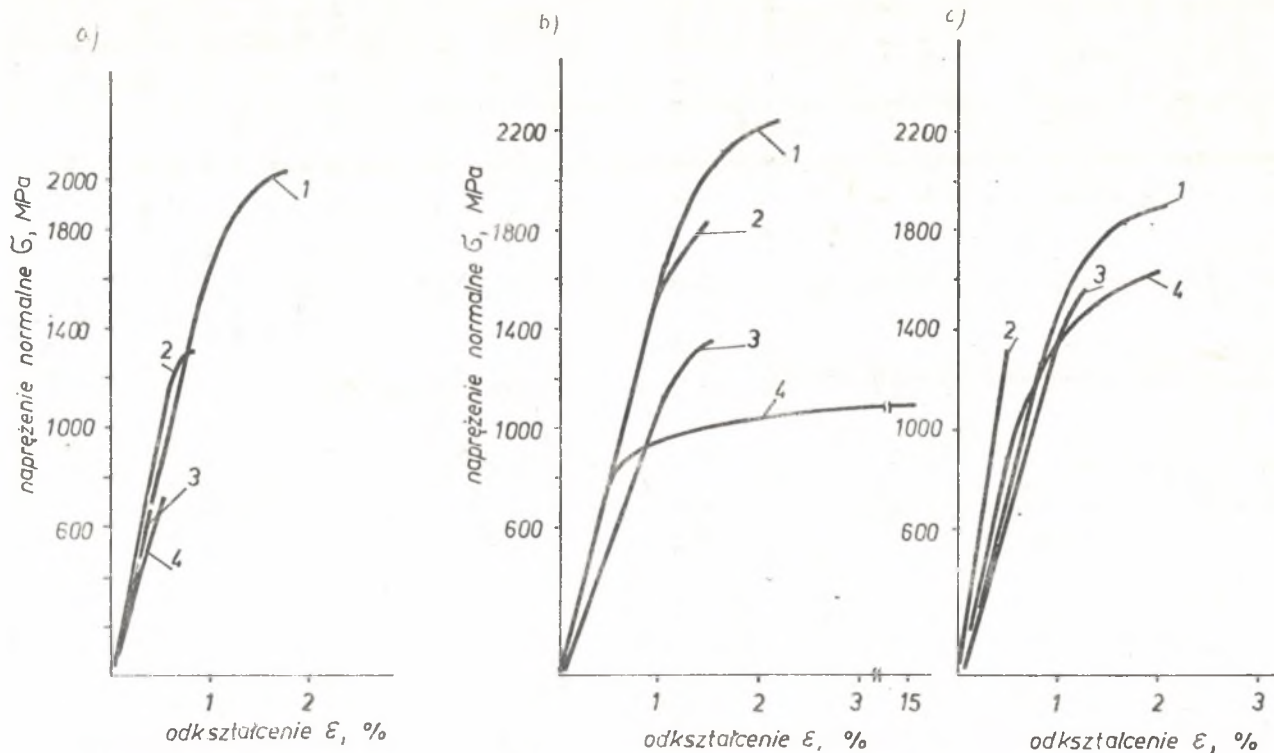
Druga grupa próbek, wykonanych z materiału kompozytowego, poddawana była próbie rozciągania w dwu podgrupach: jedną stanowiły próbki nie wyżarzane po odlaniu, drugą natomiast odlane i wyżarzone w podanych uprzednio warunkach (810 K/16 h). Badania tej grupy próbek miały na celu prześledzenie sumarycznego wpływu oddziaływania różnych czynników (spadek wytrzymałości drutów, występowanie warstw pośrednich, naprężenia własne itp.) na własności mechaniczne kompozytu. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej FPZ-10, natomiast do oceny połączenia na granicy faz wykorzystano badania metalograficzne zrealizowane za pomocą mikroskopu MeF-2 firmy Reichert.

Omówienie wyników badań

Przeprowadzone badania pozwoliły prześledzić, w jakim stopniu zmieniają się charakterystyki mechaniczne drutów zbrojących w trakcie procesu wytwarzania kompozytu oraz jaki wpływ dodatkowy, niezależnie od warunków termicznych, wywiera na wielkość tych zmian osnowa.

Jak widać z wykresów podanych na rysunku 1, każdy z badanych drutów zbrojących w stanie wyjściowym posiadał wysoką wytrzymałość na rozciąganie, rzędu 2000 MPa i bardzo zbliżone charakterystyki wykreślnie.

Stwierdzono, że podczas formowania kompozytu wytrzymałość drutów znacznie obniża się. Jak wynika z danych podanych w tabelicy 1, najwyższy procentowy spadek wytrzymałości, wynoszący ok. 35%, zaobserwowano w drutach gatunku D70A, a najniższy, ok. 18%, w drutach gatunku H18N10. Druty ze stali H25N20S2 wykazały spadek wytrzymałości bliższy drutom D70A, ponieważ wynosił on ok. 30%. Dalsze zabiegi cieplne, jakim mogą być poddawane druty pełniące rolę zbrojenia w materiale kompozytowym, a symulowane w pro-



Rys. 1. Charakterystyki σ - ϵ drutów zbrojących

a) D70A, b) H18N10, c) H25N20S2

1 - stan początkowy (po ciągnięciu), 2 - po zalaniu ciekłą osnową i wyekstrahowaniu, 3 - po wyżarzeniu wraz z osnową i następnie wyekstrahowaniu, 4 - po wyżarzeniu bez kontaktu z osnową

Tablica 1

Własności mechaniczne drutów zbrojących

Lp.	Materiał	Stan	Średnica d, mm	R _m MPa	E GPa	A ₁₀₀ %
1	D70A	C	0,44	2022	191,4	1,88
		Z		1335	219,5	0,75
		ZW		658	195,4	0,39
		CW		735	197,4	0,50
2	H18N10	C	0,39	2231	160,0	2,15
		Z		1830	168,0	1,49
		ZW		1363	112,2	1,50
		CW		1100	168,0	15,00
3	H25N20S2	C	0,37	1918	162,0	2,02
		Z		1353	280,0	0,46
		ZW		1572	140,2	1,26
		CW		1635	186,9	1,91

C - stan początkowy (po ciągnięciu),

Z - po zalaniu ciekłą osnową i wyekstrahowaniu,

ZW - po wyżarzeniu wraz z osnową i następnie wyekstrahowaniu z niej,

CW - po wyżarzeniu bez kontaktu z osnową.

cecie badawczym wyżarzeniem w temperaturze 810 K przez 16 h, powodują dalszy spadek wytrzymałości drutów. Spadek ten jednak różni się swoją wielkością i intensywnością w poszczególnych gatunkach drutów od tego, jaki wywołał kontakt drutu z ciekłą osnową.

Wytrzymałość drutów wyekstrahowanych z osnowy po zabiegu wyżarzenia uległa następującym zmianom:

- w drutach D70A nastąpił dalszy spadek wytrzymałości, w rozmiarach analogicznych do tych, jakie stwierdzono po zalaniu ciekłą osnową (sumaryczny spadek wytrzymałości po zalaniu i wyżarzeniu wynosi ok. 63%),
- w drutach H18N10 spadek ten okazał się większy niż poprzednio (sumaryczny spadek wytrzymałości po zalaniu i wyżarzeniu wynosi około 40%),
- w drutach H25N20S2 podczas wyżarzenia nastąpił wzrost wytrzymałości powodując w efekcie zmniejszenie początkowego spadku wywołanego kontaktem drutu z ciekłą osnową (po zalaniu i wyżarzeniu sumaryczny spadek wytrzymałości wynosi 11%).

Jak widać z przytoczonych przykładów, w samym procesie wytwarzania kompozytu najmniejszy spadek wytrzymałości towarzyszy drutom H18N10, natomiast dalsze przetrzymywanie kompozytu w podwyższonej temperaturze lepiej znoszą druty H25N20S2, a więc można wnioskować, że mogą być przydatne do zbrojenia kompozytu przeznaczonego do pracy w podwyższonej temperaturze.

O wpływie ciekłej osnowy na wytrzymałość badanych drutów można wnioskować porównując wyniki uzyskane dla drutów wyekstrahowanych z osnowy z wynikami uzyskanymi dla drutów poddanych działaniu jedynie identycznych co do wielkości pól temperatur, ale bez kontaktu z metalem osnowy (tabl. 1). Z przedstawionych danych wynika, że korzystny wpływ osnowy daje się zauważyć jedynie w przypadku drutów H18N10, w stosunku do pozostałych oddziaływanie to jest negatywne, ponieważ prowadzi do obniżenia wytrzymałości.

Zmianom wytrzymałości drutów towarzyszą zmiany ich odkształceń granicznych, wyrażonych w tablicy 1 wydłużeniami procentowymi A_{100} . Jak widać z przytoczonych danych, w drutach D70A spadkowi wytrzymałości towarzyszy, we wszystkich obserwowanych przypadkach, spadek wydłużeń granicznych drutów. W drutach wyekstrahowanych z osnowy, wraz z którą poddawane były zabiegowi wyżarzania, spadek ten sięga nawet 75% wydłużenia drutu w stanie wyjściowym. Druty te stają się nadmiernie kruche. W pozostałych gatunkach drutów spadki te były procentowo niższe.

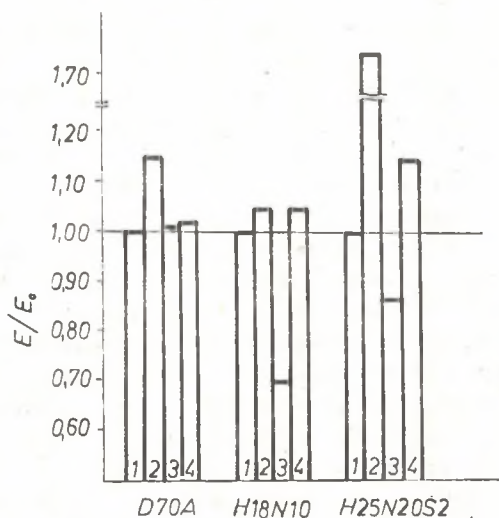
W drutach H25N20S2 wystąpiło ciekawe zjawisko. Po zalaniu ciekłą osnową wydłużenia drutów spadły o ok. 72%, natomiast po wyżarzeniu ich wraz z osnową spadek ten zmalał na tyle, że ostatecznie wynosił tylko 30% w stosunku do stanu wyjściowego drutu.

Badając wpływ osnowy na obserwowane zmiany stwierdzono, że jest on niekorzystny dla wszystkich badanych gatunków drutów, ale szczególnie wyraźnie uwidacznia się to w drutach H18N10 i H25N20S2. Druty te poddane wyżarzaniu poza osnowę wykazały bowiem ponad siedmiokrotny wzrost wydłużeń w porównaniu do swojego stanu wyjściowego, natomiast po kontakcie drutu z osnową zjawiska tego nie stwierdzono.

Analizie poddano także wpływ procesu technologicznego wytwarzania kompozytu oraz zabiegu wyżarzania na moduł sprężystości drutów. Jest to celowe z tego względu, że materiały eksploatowane są w praktyce w przeważającej większości w obszarze odkształceń sprężystych, a więc w pewnych przypadkach można oceniać przydatność komponentów zbrojących z punktu widzenia wielkości i stałości ich modułu sprężystości, a nie doraźnej wytrzymałości.

Wykorzystując dane zebrane w tablicy 1 można stwierdzić, że drut D70A pod tym względem w niczym nie ustępuje pozostałym badanim gatunkom drutów. Jego moduł sprężystości wzdłużnej w stanie wyjściowym jest na poziomie modułu dwóch pozostałych gatunków, a po kontakcie z ciekłą osnową, co ma miejsce w trakcie wytwarzania kompozytu, dodatkowo wzrasta o około 14%. Co prawda wyżarzanie likwiduje znacznie ten efekt, ale mimo to wartość końcowa modułu nie jest niższa od tej, jaką posiadał drut w stanie wyjściowym.

Nieco inaczej przebiega to w pozostałych gatunkach drutów, co obrazowo ilustruje histogram na rysunku 2. Jak widać z przedstawionego histogramu, wpływ osnowy na obserwowane zmiany zaznacza się tu szczególnie mocno w grupie drutów H18N10 i H25N20S2. Wyżarzanie kompozytu prowadzi bowiem do znacznego spadku modułu sprężystości drutów zbrojących, czego nie obser-



Rys. 2. Względna zmiana modułu sprężystości drutów zbrojących (liczby 1, 2, 3, 4 oznaczają druty identycznie jak na rysunku 1)

wuje się podczas wyżarzania samych drutów bez ich kontaktu z osnową. Biorąc zatem pod uwagę wartość i stabilność modułu sprężystości w badanych warunkach, należałoby uznać drut D70A za najlepszy spośród badanych drutów. Posiada on bowiem nie tylko wysoki moduł sprężystości w stanie wyjściowym, ale zachowuje go również po całym cyklu technologicznym wytwarzania kompozytu, a także dalszych zabiegach cieplnych. Zarejestrowane zmiany własności wytrzymałościowych drutów wykorzystano do oceny wielkości błędu popełnianego przy projektowaniu wytrzymałości kompozytu z wykorzystaniem reguły mieszanin. Uzyskane dane zebrano w tabelicy 2.

Własności mechaniczne próbek kompozytowych, oznaczone w tabelicy 2 symbolem R_{mt}^* i E_t^* , obliczono z reguły mieszanin przy uwzględnieniu ustalonych zmian charakterystyk mechanicznych drutów zbrojących wywołanych procesem wytwarzania, a następnie wyżarzania kompozytu. Natomiast R_{mt} i E_t uzyskano korzystając z obliczeń z wyjściowych charakterystyk drutów zbrojących. Obliczenia wykonano dla udziału objętościowego zbrojenia $V_w = 15\%$. Jak widać z przytoczonych wyników, pomimo wprowadzonych poprawek rozbieżności pomiędzy wartościami zmierzonymi (R_m , E) i obliczonymi nie dało się całkowicie usunąć, a jedynie ograniczyć ich wielkość. Występujące nadal rozbieżności potwierdzają podane na wstępie założenie, że spadek wytrzymałości drutów w procesie wytwarzania kompozytu jest tylko jedną z przyczyn spadku wytrzymałości kompozytu. Drugą przyczyną zbyt niskiej w stosunku do oczekiwanej wytrzymałości może tkwić w jakości połączenia komponentów. Przeprowadzono zatem badania metalograficzne przełomów próbek kompozytu przed i po wyżarzeniu. Bezpośrednio po zalaniu w kompozytach

Własności kompozytu AM4 - drut stalowy

Lp.	Materiał	Stan	Grubość warstwy μm	V_b %	R_m MPa	R_{mt}^* MPa	R_{mt} MPa	E GPa	E_t^* GPa	E_t GPa	ϵ_w %
1	AM4	Z	-	-	200	-	-	75,3	-	-	0,5
2	AM4	Z <i>i</i>	-	-	300	-	-	78,6	-	-	1,0
3	AM4-D70A	Z	0	0	172,2	324	473	81,8	84,3	92,7	$\epsilon_w > \epsilon_0$
4	AM4-D70A	ZW	45	6,1	185,7	288	-	85,1	96,5	-	$\epsilon_w < \epsilon_0$
5	AM4-H18N10	Z	10	1,5	305,0	287	504	88,1	88,0	88,0	$\epsilon_w > \epsilon_0$
6	AM4-H18N10	ZW	20	3,1	266,8	450	-	79,3	82,0	-	$\epsilon_w = \epsilon_0$
7	AM4-H25N20S2	Z	5	0,8	181,6	360	458	70,5	105,2	90,0	$\epsilon_w < \epsilon_0$
8	AM4-H25N20S2	ZW	44	7,1	295,0	436	-	74,7	87,8	-	$\epsilon_w < \epsilon_0$

Z - po odlaniu,

ZW - po odlaniu i wyżarzeniu,

R_{mt}^* - w regule mieszania uwzględniono zmianę wytrzymałości komponentów,

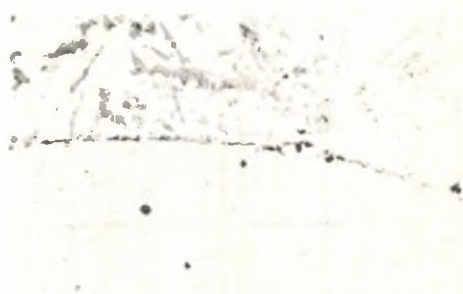
E_t^* - w regule mieszania uwzględniono zmianę modułu sprężystości drutów,

E_t , R_{mt} - w obliczeniach stosowano własności wyjściowe komponentów.

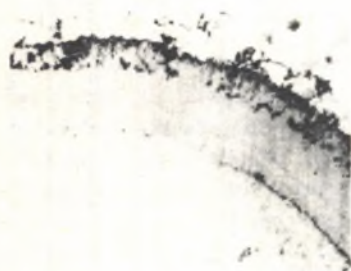
AM4 - D70A nie stwierdzono występowania warstwy dyfuzyjnej, a w pozostałych dwóch kompozytach były to warstwy stosunkowo cienkie (rys. 3,4). Za-



Rys. 3. Połączenie drutu zbrojącego z osnową w kompozycie AM4 - D70A (po zalaniu); pow. 400x



Rys. 4. Połączenie drutu zbrojącego z osnową w kompozycie AM4 - H25N20S2 (po zalaniu); pow. 400x



Rys. 5. Połączenie pomiędzy komponentami w kompozycie AM4 - D70A (po zalaniu i wyżarzeniu). Warstwa dyfuzyjna o grubości $45\mu\text{m}$. Widoczna znaczna porowatość na granicy osnowa - warstwa; pow. 400x

bieg wyżarzania spowodował znaczny jej wzrost wraz z pojawieniem się efektu Kirkendala, co - jak wiadomo - obniża wytrzymałość połączenia włókna z osnową (rys. 5). Jak wykazały pomiary (tabl. 2), najmniejsza grubość warstwy po wyżarzeniu wystąpiła w kompozytach AM4 - H18N10 (grubość warstwy $s = 20\mu\text{m}$). Badając wytrzymałość drutów wyekstrahowanych z tego kompozytu stwierdzono, że ta grubość warstwy nie obniża, a raczej nieco podwyższa własności wytrzymałościowe zbrojenia. Natomiast warstwy grubsze, takie jakie pojawiły się w pozostałych kompozytach, wyraźnie wytrzymałość drutów obniżały.

Przeprowadzona analiza uzyskanych wyników badań pozwoliła prześledzić zmiany, jakim ulegają charakterystyki mechaniczne drutów zbrojących w procesie wytwarzania kompozytu i dalszej jego eksploatacji w podwyższonej temperaturze, a tym samym na dokonanie wstępnej oceny przydatności niektórych gatunków drutów do wykorzystania ich jako komponentów zbrojących. Ponadto przedstawione wyniki mają również na celu zwrócenie uwagi na konsekwencje stosowania reguły mieszanin przy projektowaniu wytrzymałości kompozytów metalicznych wytwarzanych metodami odlewniczymi.

LITERATURA

- [1] Weston L.W., Scala E.: Composites: State of the Art, w tłum. rosyjskim: Wołokonnyje kompozycyjnyje materiały, "Metallurgia", Moskwa 1978.
- [2] Karpinos D.M., Maksimowicz G.G., Kadyrow W.H., Lutyj E.M.: Procznośc kompozycyjnych materiałów, "Naukowa Dumka", Kijew 1978.
- [3] Hyla I., Śleziona J.: Inżynieria Materiałowa, nr 3, 1981.
- [4] Śleziona J.: Praca doktorska, Biblioteka Główna Politechniki Śląskiej, Katowice 1980.

Recenzent: Prof. dr hab. Henryk Ziencik

ВЛИЯНИЕ ДЕЙСТВИЯ ОСНОВЫ НА СВОЙСТВА АРМАТУРНОЙ ПРОВОЛОКИ
В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ЛИТЬЯ

Р е з ю м е

В работе оговорено влияние контакта алюминиевой основы на механические свойства проволок Д 70А, Н18Н10, Н25Н20С2. Представлены результаты исследований, касающиеся оценки изменения модуля упругости сопротивления на растяжение и деформацию проволок выпрепарированных из основы АМ4. Показано отрицательное влияние основы А1 на стальные проволоки в виде ухудшения механических свойств и образования диффузных слоев.

INFLUENCE OF THE Al MATRIX ON THE STEEL WIRE IN COMPOSITE
MADE BY PRESSURE - VACUUM METHOD

S u m m a r y

In this paper influence of the Al matrix on the mechanical properties of the steel wires D70A, H18N10, H25N20S2 has been discussed.

The results of investigations concern the evaluation of change in Young's modulus, tensile strenght and wire deformations extracted from AM4 matrix subjectes to different treatments have been presented. It has been found out that Al matrix has unprofitable influence on the steel wires which itself as on great decrease on the mechanical properties and the formation of diffusion layers.